

ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ДЕТАЛИ ПРИ АЛМАЗНОМ ВЫГЛАЖИВАНИИ

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

Обеспечение заданного уровня параметров поверхностного слоя деталей является важнейшим условием достижения требуемых эксплуатационных свойств машин в современном производстве. В связи с этим возникает необходимость постоянного совершенствования методик количественной оценки этих параметров, что определяет и актуальность представляемой работы.

В настоящее время хорошо известны основные закономерности формирования поверхностного слоя деталей для различных видов обработки, широко представленные в справочно-нормативной литературе в виде теоретических и эмпирических зависимостей [1, 2]. Однако, для практических расчетов остаточных напряжений в поверхностном слое детали в конкретных условиях обработки имеющейся информации недостаточно. Представляет интерес дальнейшее развитие методики оценки остаточных напряжений и прежде всего для одного из наиболее перспективных методов отделочно-упрочняющей обработки – алмазного выглаживания.

Цель работы – разработать методику расчета остаточных напряжений в поверхностном слое детали при алмазном выглаживании и исследовать влияние основных параметров процесса алмазного выглаживания на остаточные напряжения.

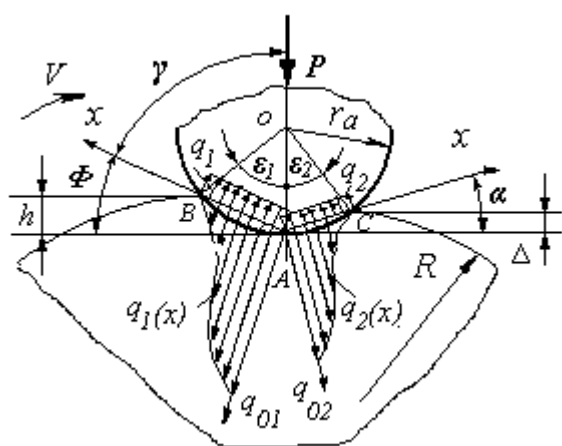


Рис. 1 Схематизация процесса алмазного выглаживания

В процессе алмазного выглаживания детали радиуса R , вращающейся со скоростью V (рис.1.), алмазный индентор, имеющий форму сферы радиусом r_a под воздействием радиальной силы выглаживания P , пластически деформирует материал на глубину h . Величина Δ представляет собой упругое восстановление материала детали после прохода инструмента. Вся длина контакта между инструментом и деталью ABC делится на два участка, называемых по аналогии с режущим инструментом передней поверхностью AB (определяемой углами Φ , γ и ε_1) и задней AC (определяемой углами α и ε_2). Углы контакта ε_1 и ε_2 определяются условиями упругопла-

стического деформирования поверхностного слоя. Так для закаленных сталей при сглаживающем режиме обработки $\varepsilon_1 = 6 - 7^\circ$; для мягких материалов - $\varepsilon_1 = 2 - 3^\circ$ [3]. Вследствие малости углов ε_1 и ε_2 дуги AB и AC могут быть заменены соответствующими хордами.

Проекция контактной площадки между сферической рабочей частью инструмента и цилиндрической поверхностью детали при статическом вдавливании имеет форму эллипса. Вследствие движения индентора и деформации материала детали форма поверхности контакта отличается от эллипса, однако с достаточной точностью контактную поверхность можно заменить круговой площадкой, для расчета размеров ко-

ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

торой можно использовать формулу:

$$r = 0,015 r_{\varepsilon I}. \quad (1)$$

Остаточные напряжения, возникающие в поверхностном слое обработанной детали, представляются как алгебраическая сумма механических σ_M и температурных σ_T остаточных напряжений [4]:

$$\sigma_O = \sigma_M + \sigma_T \quad (2)$$

Механические остаточные напряжения определяются на основании формулы:

$$\sigma_M(z) = \frac{P}{\pi} \left[\frac{3}{2(r^2 + z^2)} + \frac{1.2}{r^2} \ln \left(\frac{z}{2r} \right) - \frac{3}{10r^2} \right] \quad (3)$$

где r – радиус кругового поля контакта; z – текущая координата, определяющая глубину поверхностного слоя.

В формуле (3) введем безразмерную координату $v = z/r$:

$$\sigma_M(z) = \frac{P}{\pi r^2} \left[\frac{3}{2(1 + v^2)} + 1.2 \ln \left(\frac{v}{2} \right) - 0.3 \right]. \quad (4)$$

Температурные остаточные напряжения определяются с учетом распределения температур по глубине поверхностного слоя $\Theta(z)$:

$$\sigma_T(z) = \alpha E \Theta(z) \quad (5)$$

где α – коэффициент линейного расширения материала детали; E – модуль упругости материала.

В зоне обработки возникают два основных источника теплоты: q_{1T} – в зоне пластической деформации на передней поверхности AB и q_{2T} – в зоне упругого восстановления на задней поверхности BC (максимальные интенсивности источников q_{01} и q_{02}). Источники теплоты при алмазном выглаживании рассматриваются как плоские, стационарные, так как процесс теплообмена при выглаживании достаточно быстро устанавливается. Источники теплоты являются неподвижными для инструмента и быстро движущимися для детали. Теплота каждого из источников передается детали и индентору. Плотности тепловых потоков (стоков), направленных из детали в инструмент, на передней q_1 и задней q_2 поверхностях индентора принимаются равномерно распределенными [5].

На основании анализа температурного поля в поверхностном слое детали при алмазном выглаживании, возникающего в результате взаимодействия с алмазным индентором под воздействием быстро движущегося полосового источника теплоты, для определения распределения температур по глубине поверхностного слоя получена следующая зависимость [5]:

$$\Theta(z) = PT(v) = P \left[\int_0^{\Delta} \frac{e^{\left[-3(1-\psi_u)^2 \right]}}{\sqrt{1-\psi_u}} d\psi_u e^{\left(-\frac{Pe}{4} \frac{v^2}{1-\psi_u} \right)} + \int_0^{\Delta} \frac{nd\psi_u}{\sqrt{1-\psi_u}} e^{\left(-\frac{Pe}{4} \frac{v^2}{1-\psi_u} \right)} \right], \quad (6)$$

ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

где $l_1 = AB = 0,017 r \varepsilon_1$; $\psi = x/l_1$, $\psi_u = x_u/l_1$, $v = z/l_1$ - безразмерные координаты; $n = q_1/q_{01}$ - безразмерная величина, учитывающая различие тепловых потоков; 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; $P = K_{01}q_{01}/2\lambda_0(\pi Pe)^{0,5}$ - размерный коэффициент; $Pe = Vl_1/\omega_0$ - критерий Пекле; λ_0 , ω_0 - коэффициенты теплопроводности и температуропроводности детали.

Закономерности изменения температуры Θ по глубине детали при различных усилиях выглаживания P представлены на рис. 2.

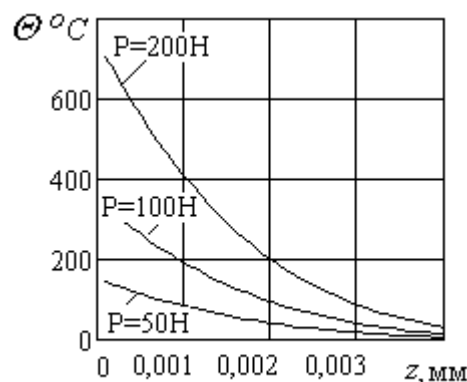


Рис. 2. Графики изменения температуры по глубине детали при различных усилиях выглаживания

Расчеты выполнялись для следующих условий: обрабатываемый материал - сталь 45; $\sigma_s = 750 \text{ МПа}$; диаметр детали $d = 200 \text{ мм}$; радиус индентора $r_a = 2 \text{ мм}$; скорость $V = 3 \text{ м/с}$.

Графики свидетельствуют о достаточно быстром убывании температуры по глубине поверхностного слоя детали. С увеличением усилия выглаживания температура детали существенно увеличивается. Это связано с увеличением общего количества теплоты, выделяемого при выглаживании.

С использованием полученных зависимостей проведены исследования остаточных напряжений в поверхностном слое детали при алмазном выглаживании, представленные на рис. 3.

На формирование безразмерных суммарных остаточных напряжений $\sigma_{об}$ (рис. 3а) оказывают влияние безразмерные температурные $\sigma_{о темп}$ и безразмерные механические $\sigma_{о мех}$ остаточные напряжения.

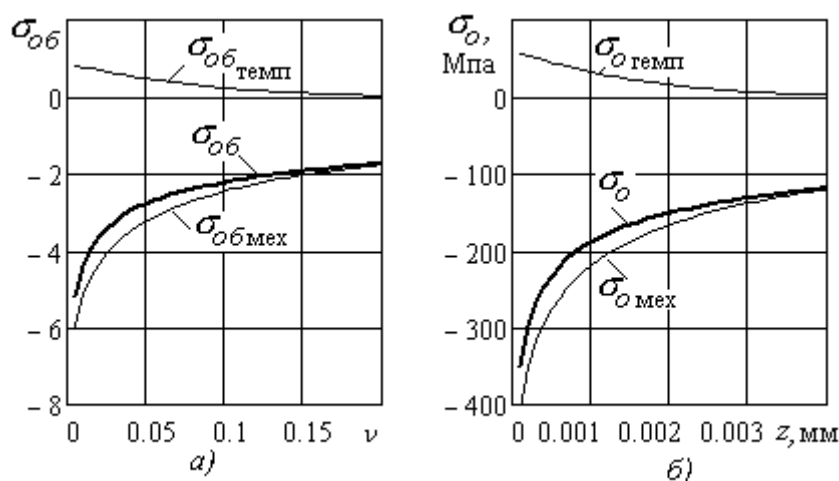


Рис. 3. Распределение остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя детали при алмазном выглаживании: безразмерных - а), фактических - б)

Определяя для конкретных условий обработки действующие силы и размеры площадки контакта, от безразмерного распределения остаточных напряжений легко

Выполненные расчеты и представленные графики свидетельствуют о том, что механические остаточные напряжения являются сжимающими, а температурные - растягивающими. При различных сочетаниях уровней температурных и механических составляющих суммарные остаточные напряжения могут быть растягивающими или сжимающими.

ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

перейти к их фактическому распределению. Расчеты фактических остаточных напряжений выполнялись для указанных ранее условий обработки при усилии выглаживания $P = 100\text{Н}$. Из графиков следует, что для указанных режимов обработки имеют место сжимающие остаточные напряжения.

С использованием разработанной методики выполнен анализ остаточных напряжений, возникающих в поверхностном слое детали при различных условиях алмазного выглаживания, представленных на рис. 4.

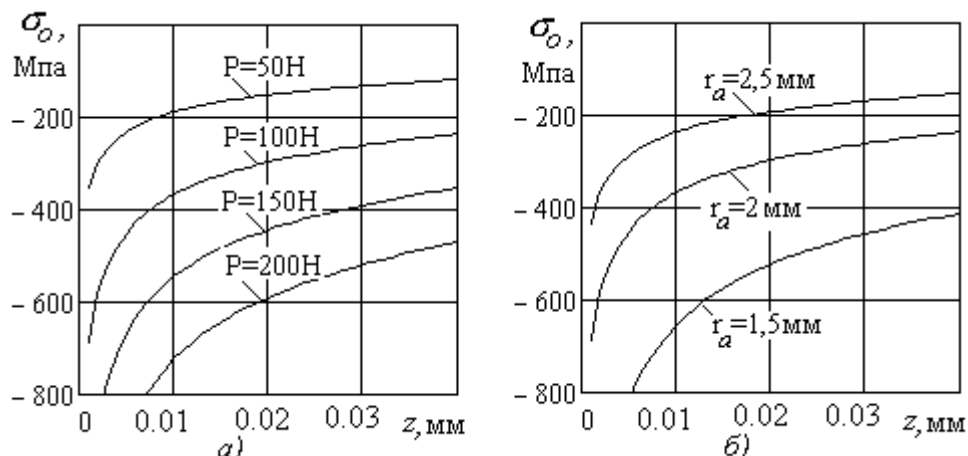


Рис. 4. Распределение остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя детали при алмазном выглаживании для различных параметров обработки: усилий выглаживания P – а) и радиуса алмазного индентора r_a – б)

В результате анализа установлены характер и степень влияния усилий выглаживания и радиуса алмазного индентора на остаточные напряжения в поверхностном слое детали. Остаточные напряжения при алмазном точении возрастают с увеличением усилия выглаживания и уменьшением радиуса алмазного индентора.

Таким образом, на основании разработанной методики выполнен анализ остаточных напряжений, возникающих в поверхностном слое детали при алмазном выглаживании. Полученные результаты позволяют регламентировать рациональные параметры обработки в зависимости от заданного уровня остаточных напряжений.

Список литературы: 1. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. - М.: Машиностроение, 2000. - 320с. 2. Качество машин: Справочник. В 2 т. Т.1 / А.Г. Суслов, Э.Д. Браун, Н.А. Виткевич и др. - М.: Машиностроение, 1995.-256с. 3. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. - М.: Машиностроение, 1981. - 279с. 4. Безъязычный В.Ф. Назначение режимов резания по заданным параметрам качества поверхностного слоя. - Ярославль: ЯПИ, 1978. - 86с. 5. Ивченко Т.Г., Определение тепловых потоков и температур в зоне обработки при алмазном выглаживании // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 7. - Донецьк, ДонНТУ, 2010.- С.120 – 125.