

## СТРУКТУРА ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА АЛМАЗНОГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ

Для эффективного прогнозирования энергосиловых характеристик алмазного выглаживания необходимо разработать математические модели, отражающие связь функциональных характеристик процесса с технологическими параметрами режимов обработки. Правильное построение модели возможно при условии разработки структурно-логической схемы, определяющей методы и последовательность теоретических и экспериментальных исследований.

Наиболее подходящими для расчета процессов пластического деформирования являются методы, основанные на замкнутой системе уравнений механики сплошных сред [1, 2]. В этом случае деформируемый металл рассматривается как идеализированная сплошная среда с осредненными механическими свойствами реального металла. При этом для описания процесса деформирования вводится четырехмерное пространство, а сам процесс деформации в общем виде можно описать, вводя функцию четырех переменных

$$f(x, y, z, ct) = 0.$$

Теоретический анализ большинства технологических процессов совместно с результатами проведенных экспериментов позволяют определить характер зависимости скорости движения частиц пластически-деформируемого металла от координат.

Скорость перемещения частиц в четырехмерном пространстве может быть представлена вектором скорости

$$\vec{V} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j} + v_z \vec{k} + v_t \vec{n}. \quad (1)$$

Закон постоянства объема при деформировании выражается уравнением неразрывности

$$\operatorname{div} \vec{v} = 0. \quad (2)$$

Использование уравнения (1) и уравнения постоянства объема (2) позволяет определить вид функциональной зависимости скорости от координат. Таким образом, определяется поле скоростей течения частиц материала, которое дает возможность вычислить скорости деформации и их интенсивность по формулам

$$\varepsilon_{q_1 q_1} = \frac{1}{H_1} \frac{\partial V_{q_1}}{\partial q_1} + \frac{V_{q_2}}{H_1 H_2} \frac{\partial H_1}{\partial q_2} + \frac{V_{q_3}}{H_1 H_3} \frac{\partial H_1}{\partial q_3};$$

$$\varepsilon_{q_1 q_2} = \frac{1}{H_2} \frac{\partial V_{q_1}}{\partial q_2} + \frac{1}{H_1} \frac{\partial V_{q_2}}{\partial q_1} - \frac{V_{q_1}}{H_1 H_2} \frac{\partial H_1}{\partial q_1} - \frac{V_{q_2}}{H_1 H_2} \frac{\partial H_2}{\partial q_1},$$

где  $q_1, q_2, q_3$  – криволинейные ортогональные координаты.

При этом имеют место уравнения связи

$$x = x(q_1, q_2, q_3), y = y(q_1, q_2, q_3), z = z(q_1, q_2, q_3),$$

$$H_k = \sqrt{\sum_{i=1}^3 \left( \frac{\partial x_i}{\partial q_k} \right)^2} \quad \text{- коэффициенты Ламэ.}$$

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{3}}{2} \sqrt{\left( \varepsilon_{q_1 q_2} - \varepsilon_{q_2 q_2} \right)^2 + \left( \varepsilon_{q_2 q_2} - \varepsilon_{q_3 q_3} \right)^2 + \left( \varepsilon_{q_3 q_3} - \varepsilon_{q_1 q_1} \right)^2 + \frac{3}{2} \left( \varepsilon^2_{q_1 q_2} + \varepsilon^2_{q_2 q_3} + \varepsilon^2_{q_3 q_1} \right)^2}$$

Далее необходимо определить составляющие деформации, которые необходимы для нахождения энергосиловых параметров процесса

$$e_{11} = \int \varepsilon_{11} dt,$$

$$e_{12} = \int \varepsilon_{12} dt.$$

и интенсивность деформаций:

$$e_i = \frac{\sqrt{3}}{2} \sqrt{\left( e_{11} - e_{22} \right)^2 + \left( e_{22} - e_{33} \right)^2 + \left( e_{33} - e_{11} \right)^2 + \frac{3}{2} \left( e^2_{12} + e^2_{23} + e^2_{31} \right)}.$$

Известно, что полная работа деформации равна сумме работ изменения объема и изменения формы тела. Пренебрегая изменением объема и используя гипотезу о несжимаемости материала, получим, что работа пластической деформации расходуется на формообразование детали. Для сплошной среды работа деформирования будет определяться через функцию диссипации энергии

$$A = \int_{(t)} \iiint_{(v)} E dv dt,$$

где  $E$  – функция диссипации энергии, которая определяется формулой

$$E = \sigma_j \cdot \varepsilon_j. \quad (3)$$

Для определения мощности деформации, функцию диссипации энергии (3) необходимо проинтегрировать только по объему

$$N = \iiint_{(v)} E dv. \quad (4)$$

При нахождении функции диссипации энергии по формуле (3) вместо  $\sigma_j$  подставим значение осредненного напряжения текучести  $\sigma_{so}$ , определяемого из диаграммы кривых упрочнения, построенных при стандартных механических испытаниях материала на сжатие.

Мощность деформации можно определить также по формуле

$$N = P_z v, \quad (5)$$

где  $v$  – скорость выглаживания;  $P_z$  – величина тангенциальной силы выглаживания.

Приравняв левые части выражений (4) и (5), получим

$$P_z v = \iiint_{(v)} E dv. \quad (6)$$

Формула (6) может быть полезна при определении силы выглаживания, необходимой для расчета температур в зоне контакта инструмента с деталью.

Общеизвестно, что основным источником теплообразования при различных процессах механической обработки является работа пластической деформации, следовательно, можно принять допущение, что количество теплоты, выделяющееся в зоне обработки при алмазном выглаживании, эквивалентно работе пластического деформирования материала детали в единицу времени.

Пластическое деформирование сопровождается интенсивным тепловыделением и повышением температуры в зоне контакта инструмента и детали. В связи с этим для обеспечения максимальной эффективности процесса алмазного выглаживания необходимо знать температуры, возникающие в зоне контакта инструмента и детали.

В настоящее время существует множество теоретических и экспериментальных методов исследования теплового состояния в зоне обработки. Для теплофизического анализа процесса обработки определим конфигурацию, а также размеры поверхности контакта между рабочей частью инструмента и поверхностью детали.

При схематизации процесса выглаживания А.Н. Резников [3] условно разделил источник тепла на две части, отличающихся характером протекающих процессов (рис. 1). С учетом этого разделения на первом участке выделяется основная часть теплоты деформации, а также теплота трения, а на втором – преимущественно теплота трения между индентором и упруговосстанавливающимся обрабатываемым материалом. В результате А.Н. Резниковым получены зависимости для расчета средних температур на двух участках:

$$\theta_1 = 0,057 \frac{\sqrt{\omega l_1}}{\lambda \sqrt{v}} (q_{01} - 2,78 q_1);$$

$$\theta_2 = 0,087 \frac{\sqrt{\omega l_1}}{\lambda \sqrt{v}} \left[ q_{02} \sqrt{\beta} + 0,86 \chi_1 q_{01} - 1,84 (q_2 \sqrt{\beta} + \chi_2 q_1) \right];$$

$$q_{01} = 7,62 \frac{P_z v}{l_1 (b_1 + b_2)} - 1,92 \sigma_{-B} \mu_2 v \frac{l_2}{l_1};$$

$$q_{02} = 1,92 \sigma_{-B} \mu_2 v; \beta = \frac{l_2}{l_1},$$

где  $b_1, b_2$  – ширина зоны контакта индентора и детали 1-го и 2-го участков соответственно;  $\chi_1, \chi_2$  – функции, зависящие от  $\beta$ ; от  $l_1, l_2$  – длина зоны контакта индентора и детали 1-го и 2-го участков соответственно;  $\omega$  – коэффициент температуропроводности инструментального материала;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности инструментального материала;  $v$  – скорость движения источника;  $q_{01}, q_{02}$  – интенсивность тепловых источников;  $q_1, q_2$  – интенсивность тепловых стоков;  $\mu_2$  – средний коэффициент трения на поверхности контакта индентора с обрабатываемым материалом;  $\sigma_{-B}$  – временное сопротивление обрабатываемого материала;  $P_z$  – величина тангенциальной силы выглаживания.

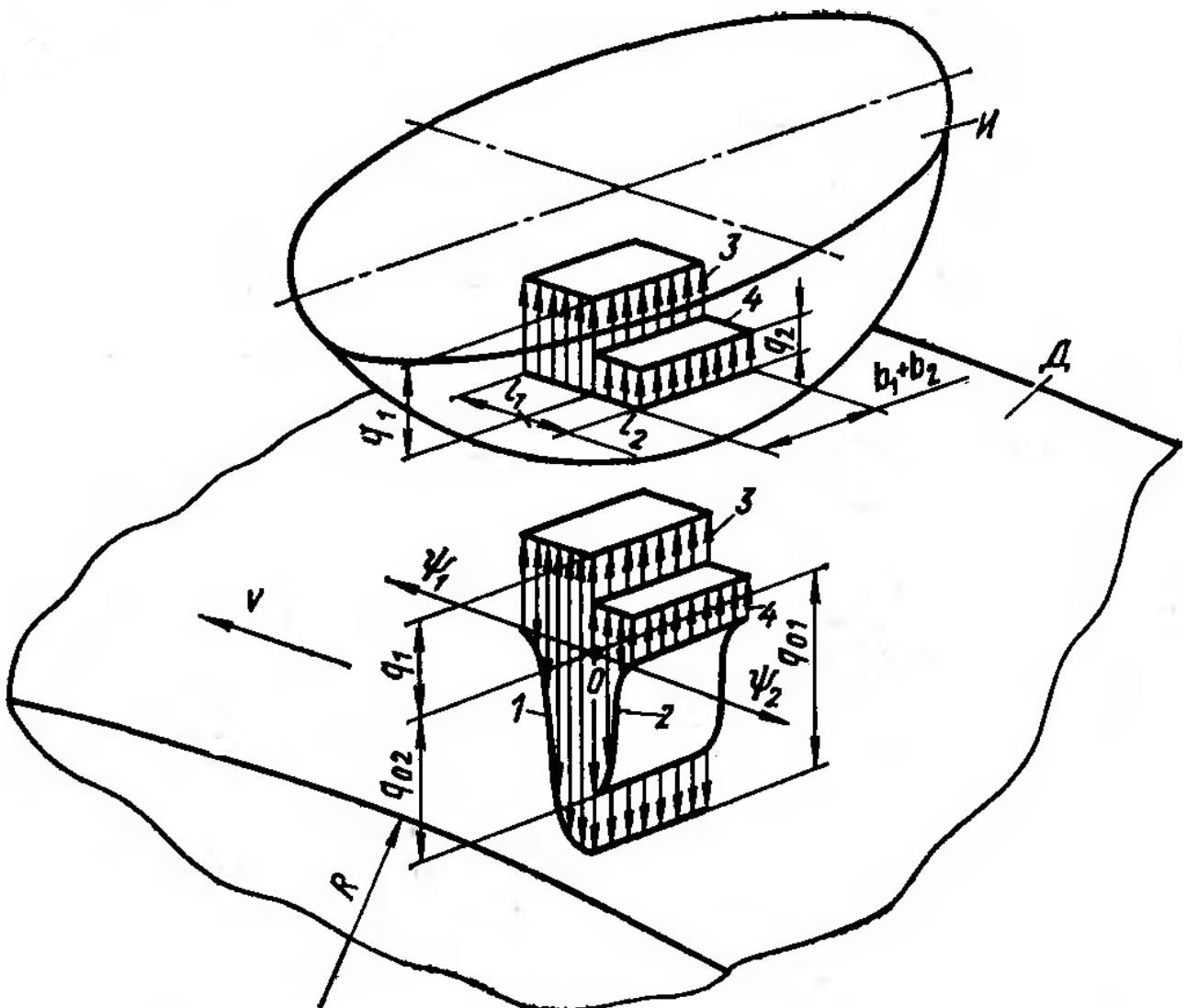


Рисунок 1 Схематизация процесса алмазного выглаживания (деталь Д и индентор И раздвинуты) [3]

Наибольшие значения температуры на площадке контакта инструмента с деталью могут быть определены по формуле

$$\theta_{max} = \frac{4P_z a_1 \tau_m}{IR\Delta\lambda_1 \left[ \frac{4\sqrt{2}a_1\lambda}{v\Delta\lambda_1} \tau_0 + 1 \right]},$$

где  $P_z$  – окружная(тангенциальная) сила при выглаживании, (может быть определена расчетным путем из формулы (6));  $a_1$  – коэффициент температуропроводности материала детали;  $\tau_m$  – максимальное значение безразмерной функции на площади контакта;  $l$  – термический эквивалент работы;  $R$  – радиус площади контакта;  $\Delta$  – глубина пластически деформированного слоя металла при выглаживании;  $\lambda, \lambda_1$  – коэффициенты теплопроводности соответственно материалов инструмента и детали;  $\tau_0$  – безразмерная функция, характеризующая температуру в центре площади контакта.

На заключительном этапе разработки математической модели планируется провести экспериментальные исследования в целях проверки адекватности модельных представлений, а также влияния параметров режимов обработки алмазного выглаживания на производительность и качество поверхности обрабатываемых деталей. После чего, в случае необходимости, планируются корректировка математической модели, разработка и внедрение рекомендаций для повышения эффективности процесса алмазного выглаживания.

## Выводы

1. Предложена структура комплексных теоретико-экспериментальных исследований энергосиловых параметров процесса алмазного выглаживания в целях повышения эффективности рассматриваемого метода обработки.

2. Для теоретического исследования энергосиловых параметров процесса алмазного выглаживания предложен метод расчета процессов пластического деформирования металлов, основывающийся на замкнутой системе уравнений механики сплошных сред.

3. Определение температуры планируется проводить с учетом схематизации процесса, предполагающей разделение источника тепла на две части.

Таким образом, представленная структурная схема комплексных теоретико-экспериментальных исследований позволяет вести прогнозирование энергосиловых параметров, а следовательно, осуществлять эффективное управление процессом алмазного выглаживания.

#### Список использованных источников

1. Алексеев, Ю.Н. Вопросы пластического течения металлов [Текст] / Ю.Н. Алексеев. – Х.: Изд-во ХГУ, 1958. – 187 с.
2. Алексеев, Ю.Н. Введение в теорию обработки металлов давлением прокаткой и резанием [Текст] / Ю.Н. Алексеев. – Х.: Изд-во ХГУ, 1969. – 107 с.
3. Резников, А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов [Текст] / А.Н. Резников. – М.: Машиностроение, 1981. – 278 с.
4. Абразивная и алмазная обработка материалов [Текст]: справ. / под ред. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 390 с.

*Поступила в редакцию 18.02.2013.*

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.К. Борисевич,  
Национальный аэрокосмический университет  
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков*