

УДК 621.923.77

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ТЕМПЕРАТУРУ
В КОНТАКТНОЙ ЗОНЕ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫМ
ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ РОЛИКАМИ**

Отений Я.Н., Мартыненко О.В., Казак В.Ф.

*Камышинский технологический институт, филиал ГОУ ВПО «Волгоградский государственный
технический университет», Камышин, e-mail: ktm@kti.ru*

Статья посвящена исследованию влияния технологических факторов на тепловые явления в контактной зоне в процессе обработки поверхностным пластическим деформированием роликами. Приводятся расчеты для определения максимальных значений температуры в зоне контакта и способы уменьшения количества тепла, выделяемого при обкатывании.

Ключевые слова: деформирование, ролики, температура, зона контакта, качество

**TECHNOLOGICAL FACTORS INFLUENCE ON THE TEMPERATURE IN
THE CONTACT AREA WHEN TREATING PARTS WITH SURFACE PLASTIC
DEFORMATION BY THE ROLLERS**

Oteniy Y.N., Martynenko O.V., Kazak V.F.

*Kamyshin Technological Institute, branch of Volgograd State Technical University, Kamyshin,
e-mail: ktm@kti.ru*

The article is dedicated to the research technological factors influence heat effects in the contact area during the treatment process by rollers surface plastic deformation. Calculations are provided to determine maximum temperature readings in the contact area as well as decreasing the amount of heat discharged ways of while rolling.

Keywords: deformation, roller, temperature, contact area, quality

Тепловые процессы при обработке деталей поверхностным пластическим деформированием (ППД) роликами могут существенно повлиять на качество поверхностного слоя. Однако это будет происходить тогда, когда тепловое воздействие на контакт между роликом и деталью превысит определенный предел, при котором начнут возникать фазовые и структурные изменения в поверхностном слое. Существуют различные сведения о значениях температур возникающих в контактной зоне. Температура зависит от многих факторов: усилия деформирования, формы и размеров контактной зоны, скорости деформирования, проскальзывания, формы и размеров деформирующих роликов, характера и количества подводимой смазывающе-охлаждающей технологической среды. Учет всех составляющих на температуру в контактной зоне представляет собой сложную математическую задачу. Поэтому, прежде чем создавать уточненную математическую модель расчета тепловых явлений, учитывающую все особенности протекания процесса, необходимо определить значение максимальной температуры возникающей в зоне контакта при максимально возможной в производственной практике интенсивности деформирования. Если температура окажется при этих заранее завышенных условиях больше порогового значения, то необходимо произ-

водить более точные исследования. В этой связи примем некоторые допущения.

Будем предполагать, что контактная зона представляет собой полосовой источник с геометрическими размерами равными произведению максимальной полуширины контакта z_{km} на длину контактной зоны L_k . Вся расходуемая мощность превращается в тепло. Поверхность детали является адиабатической, то есть все тепло распространяется в тело детали. При этих предположениях, очевидно, достигается максимально возможная температура на площади контакта. При тепловых расчетах будем использовать положения метода источников теплоты [1]. Количество теплоты, выделяемое в контактной зоне в единицу времени состоит из двух составляющих

$$Q_k = Q_{kd} + Q_{mp}, \quad (1)$$

где Q_{kd} – теплота, выделяемая при деформировании поверхности детали; Q_k – теплота, выделяемая при проскальзывании ролика.

Первая составляющая может быть вычислена по формуле

$$dQ_{kd} = V_i \sigma_i dS, \quad (2)$$

где V_i – скорость деформирования элементарной площадки dS в пределах контакта; σ_i – напряжение, действующее на этой площадке.

Подставим в формулу (2) значения для напряжений и скорости деформирования.

Тогда полное количество теплоты, выделяемое в контактной зоне, будет равно

$$Q_{kd} = A\omega_p L_k \int_0^{z_k} \left(\frac{Dz}{\rho r_p \sqrt{1 - \left(\frac{z}{r_p}\right)^2}} \right)^m \frac{Dz}{\rho} dz + Q_{kT}, \quad (3)$$

где ω_p – угловая скорость вращения ролика.

Полученное значение количества теплоты распределяется на площади поверхности детали, равной длине пути проходимой роликом в единицу времени и умноженной на длину контакта

$$S_p = V_p L_k = \omega_p r_p L_k \quad (4)$$

Количество контактов, которые могут быть размещены на этой площади равно

$$n_k = \frac{V_p}{z_k} = \frac{\omega_p \cdot r_p}{z_k}. \quad (5)$$

Следовательно, количество теплоты, приходящееся на площадь, занимаемую одним контактом, составит величину

$$Q_k = \frac{Q_{kd}}{n_k} = \frac{Q_{kd} z_k}{\omega_p r_p}. \quad (6)$$

Удельное тепловыделение в контакте с учетом (4) и (6) будет равно

$$q_k = \frac{Q_k}{S_k t_k} = \frac{Q_{kd}}{S_k}. \quad (7)$$

где t_k – время прохождения роликом ширины контакта. Приняв, что максимальная ширина контакта в реальных условиях не превышает 5 мм, а скорость деформирования равна 120 м/мин, получим

$$t_k = \frac{z_k}{V_p} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 60}{120} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ с}.$$

Характер распространения тепла в тело детали зависит от скорости движения источника по поверхности детали, его размеров и интенсивности тепловыделения. Как

известно, все источники тепла подразделяются на неподвижные, движущиеся и быстро движущиеся. Быстро движущиеся – это источники, скорость v перемещения которых превышает скорость V распространения теплоты в данном теле. Оценку того, что источник тепловыделения является быстро движущимся производят с помощью безразмерного критерия Пекле:

$$Pe = \frac{V_p \cdot z_k}{\omega_\Theta}, \quad (8)$$

где z_k – длина источника в направлении перемещения; v_p – скорость перемещения источника, м/с; ω_Θ – коэффициент температуропроводности материала, по которому перемещается источник, м²/с.

Если $Pe \geq 10$, то источник относят к быстро движущимся [83]. Расчеты показывают, что коэффициент Пекле при обработке ППД находится в пределах 400...750. Таким образом, в случае ППД роликами контактная зона является быстро движущимся источником тепловыделения. Поскольку скорость перемещения быстро движущегося источника превышает скорость распространения теплоты, то распространяется только под источником и позади него.

Вследствие высокой скорости движения время соприкосновения источника с элементом поверхности равным ширине контакта столь мало, что во всех точках контакта температуру можно считать одинаковой, а источник двумерным мгновенным и полосовым. Для этого случая существует математическое выражение, описывающее температурное поле в теле детали при прямолинейном движении источника вдоль координаты x :

$$\theta(z, y) = \frac{q_k \sqrt{\omega_\Theta}}{2\lambda \sqrt{\pi \cdot v_p}} \int_0^P \frac{dz_u}{\sqrt{z - z_u}} \exp\left[-\frac{v_p y^2}{4\omega_\Theta(z - z_u)}\right], \quad (9)$$

где l – коэффициент теплопроводности; Вт/м·К; z, y – координаты точки M , в которой рассматривается температура, м; z_u – удаление источника тепла по координате z от точки M , м; q_k – плотность теплового потока; v_p – скорость перемещения источника тепловыделения.

Верхний предел интегрирования P зависит от абсциссы z точки M , для которой рас-

считывается температура. При обработке валов источник тепла движется по цилиндрической поверхности, поэтому расстояние $z - z_u$ в формуле (3.67) необходимо заменить радиус-вектором R_p , соединяющим начало движения источника с его текущим положением на окружности сечения детали (рис. 1).

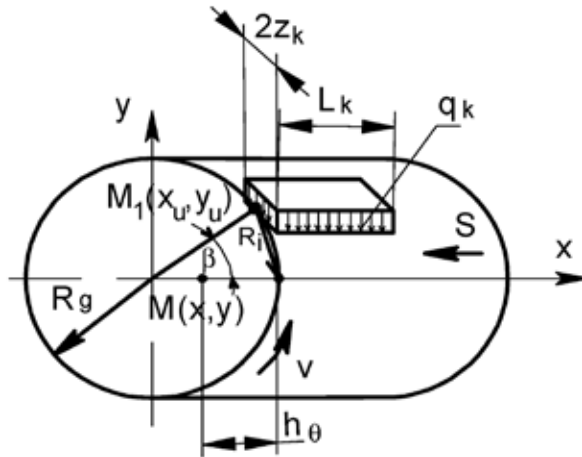


Рис. 1. Схема для определения радиус-вектора R_i удаления источника от начала перемещения

Координаты точек окружности, по которой перемещается источник и точка M , в которой рассматривается температура, равны:

$$\begin{aligned} z_u &= R_d \cos \beta; \quad y_u = R_d \sin \beta; \\ z &= (R_d - h_\theta); \quad y = 0, \end{aligned}$$

где b – угол поворота, на который смещается контактная зона; h_q – глубина распространения температуры; R_g – радиус обрабатываемой детали.

Используя эти данные, находим значение радиус-вектора R_i :

$$R_i = \sqrt{(z - z_u)^2 + (y - y_u)^2} = \sqrt{[(R_g - h_\theta) - R_g \cos \beta]^2 + (R_g \sin \beta)^2} \quad (10)$$

Подставив полученное значение в формулу (3.67), найдем температуру выделенную всеми роликами за один оборот детали:

$$\theta(\beta, h_\theta) = \frac{q_k \sqrt{\omega_\ominus} \cdot n_p}{2\lambda \sqrt{\pi v_p}} \int_0^{2\pi} \frac{d\beta}{R_i} \exp \frac{v_p R_i h_\theta^2}{4\omega_\ominus R_i}, \quad (11)$$

где n_p – количество роликов, одновременно установленных по окружности детали.

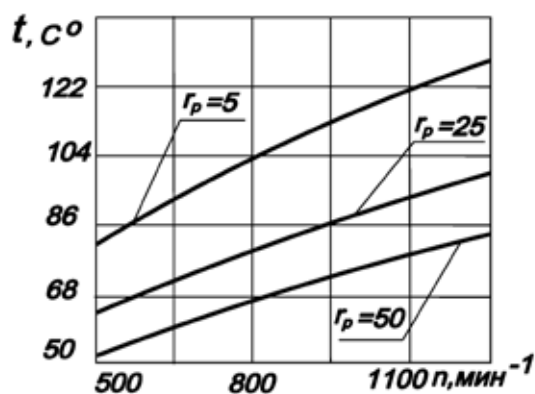
Вышеприведенные формулы позволяют определить максимальное значение тем-

пературы в зоне контакта. Так, например, решение уравнения (11) приводит к выражению для определения температуры приходящейся на единичный контакт

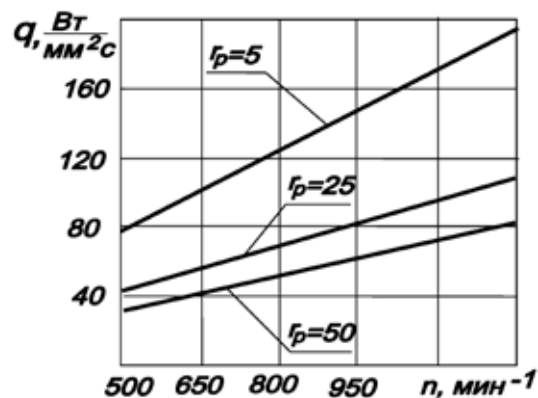
$$\theta = \frac{2z_m \cdot q_k}{\lambda \sqrt{\pi} \sqrt{Pe}}. \quad (12)$$

Из графиков, приведенных на рис. 2, видно, что температура увеличивается с ростом скорости обработки.

а



б



в

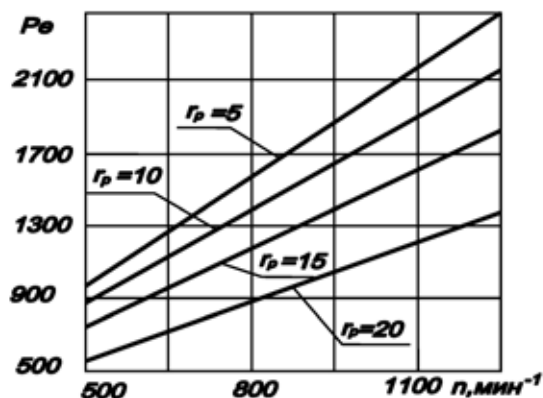


Рис. 2. Изменение температуры на поверхности контакта (а) (б), плотности тепловыделения в контакте (в) и отношения плотности тепловыделения в контакте к корню квадратному из коэффициента Пекле(з) от частоты вращения детали:

$$1 - r_p = 10 \text{ мм}; 2 - r_p = 32 \text{ мм}; 3 - r_p = 50 \text{ мм}, \text{ глубина внедрения ролика } h_m = 0,25 \text{ мм}$$

Из графиков также следует, что с увеличением частоты вращения детали от 300 мин^{-1} до 1500 мин^{-1} температура возрастает от 60°C до 120°C . Это ниже критического уровня, температуры, при которой не происходит существенных изменений в поверхностном слое детали. Учитывая, при этом, что в процессе обработки применяется интенсивное охлаждение, главным образом охлаждение инструмента, поскольку он постоянно находится под воздействием температуры, то нагрев поверхности детали будет существенно меньше расчетного значения. Другим выводом, который можно сделать при анализе полученных графиков, что температура существенно зависит от радиуса деформирующего ролика: большому значению радиуса ролика соответствует увеличенное количество тепла, выделяемого в контактной зоне при одной и той же

глубине внедрения ролика. Это объясняется тем, что одновременно увеличиваются размеры контактной зоны и время действия источника в локальной области.

Таким образом, для уменьшения количества тепла, выделяемого при обкатывании и сохранении заданных производительности и интенсивности напряжений необходимо уменьшить диаметр деформирующего ролика.

Список литературы

1. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 1978. – 152 с.
2. Мартыненко О.В. Исследование влияния тепловых явлений в контактной зоне на качество поверхности в процессе обработки поверхностным пластическим деформированием роликами – Орел: Известия ОрелГТУ, № 3 2004. – С. 20-22.
3. Резников А.Н. Тепловые процессы в технологических системах. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.