

3. Верезуб В. И. Моделирование процесса ленточного шлифования. Автоматизация технологических процессов. Харьков, 1981, вып. 2, с. 130-134.
4. Справочник по технике магнитной записи/Под ред. О. В. Поридского, Е. Н. Травникова. — К., Техніка. 1981.—318 с.
5. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах. М.: Мир, 1969. — 395 с.

УДК 621.923.7

*В. М. АЛИМОЧКИН*, канд. техн. наук,  
*В. Д. ПРОСКУРИН*

### **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ГИБКИМ АБРАЗИВНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ**

В последние годы все большее распространение в промышленности при выполнении отделочных операций получают новые виды абразивного инструмента. Наиболее перспективным видом гибких абразивных инструментов являются лепестковые круги, представляющие собой ступицу с закрепленными на ней лепестками абразивной шкурки.

Широкое применение в промышленности лепестковых кругов для чистовой обработки поверхностей деталей до  $R_a=0,63 \div \div 0,04$  мкм объясняется целым рядом их достоинств: высокой стойкостью, постоянством режущей способности и шероховатости за время их работы, отсутствием засаливания рабочей поверхности круга, что особенно важно при обработке деталей из алюминиевых сплавов, отсутствием прижогов и др.

Осуществление процесса чистовой обработки деталей из сплавов Д16Т, В95 и других с использованием лепестковых кругов связано с определением оптимальных условий процесса (конструкция инструмента, характеристика шлифовальной шкурки, режимы обработки). Это в свою очередь предопределяет целый ряд технологических особенностей процесса.

Важным технологическим фактором, определяющим выбор инструмента для финишной чистовой обработки ответственных деталей, является тепловой режим выполняемой операции. Высокие температуры и градиенты температур, возникающие при шлифовании поверхностей деталей, оказывают неблагоприятное воздействие на состояние обрабатываемого материала в поверхностном слое, вызывают структурные изменения, разупрочнение, способствуют возникновению микротрещин. В связи с этим при разработке технологических процессов финишной обработки деталей, подвергающихся при эксплуатации повышенным нагрузкам, накладываются ограничения по максимальному нагреву обрабатываемых поверхностей. Это касается прежде всего деталей силового набора самолетов, изготавливаемых

из алюминиевых сплавов типа Д16Т и В95, для которых максимально допустимая температура в зоне контакта инструмента с деталью не должна превышать 100 °С.

По характеру теплового воздействия на обрабатываемую поверхность лепестковый круг сходен с жестким абразивным кругом с прерывистой рабочей поверхностью.

При шлифовании как лепестковым, так и прерывистым кругом, тепловую схему процесса можно представить как последовательно движущиеся по обрабатываемой поверхности полосовые источники тепла, между которыми располагается фаза теплообмена нагретой поверхности с окружающей средой. Однако, учитывая большое количество лепестков, составляющих круг (250), а также незначительное время фазы теплообмена с окружающей средой ( $5 \cdot 10^{-5}$  с), лепестковый круг может быть представлен как сплошной.

Тепловая схема и аналитический расчет температуры при сплошном шлифовании подробно разработаны на основе решения уравнения теплопроводности с заданными граничными условиями с применением метода тепловых источников [2, 3]. Обрабатываемая деталь представляется в виде полубесконечного тела, ограниченного плоскостью, по которой со скоростью  $V$ , равной продольной подаче, перемещается полосовой источник тепла с равномерной плотностью теплового потока  $q$ , имеющий ширину  $2h$ , которую можно определить как [1]:

$$h = \sqrt{2R \cdot \delta},$$

где  $R$  — радиус круга;  $\delta$  — деформация круга в радиальном направлении.

Поверхность полубесконечного тела считается теплоизолированной, теплообменном с окружающей средой — воздухом — можно пренебречь, поскольку это снижает точность расчета лишь на 1—2 % [2]. Плотность теплового потока определяется расчетным путем через экспериментально измеренную мощность  $N$ , затрачиваемую на шлифование. На основе данных, приведенных в работах [3, 4] и с учетом небольшой массы, удаляемой в единицу времени стружки, а также крайне низкой теплопроводности лепестков шлифовальной шкурки, из которых собирается круг, можно принять коэффициент перехода механической работы в теплоту нагрева обрабатываемой поверхности равным  $\psi = 0,95$ .

Максимальная температура обрабатываемой поверхности будет развиваться на задней кромке теплового источника, т. е. по истечении времени  $\tau$ , за которое источник переместится на свою ширину:

$$\tau = \frac{2h}{V}.$$

Пользуясь частным решением уравнения теплопроводности для вышеописанной тепловой схемы, полученным в работе [2], выведем уравнение максимальной температуры поверхности, обрабатываемой лепестковым кругом:

$$\theta = \frac{N_a \psi}{\pi \lambda V B \sqrt{2R\delta}} (V' \pi x [1 - \Phi(\sqrt{x})] - e^{-x} + 1),$$

здесь  $a$  — коэффициент температуропроводности;  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала;  $B$  — высота круга;  $\Phi(u)$  — интеграл вероятностей;  $x$  — безразмерная величина, равная  $\frac{V^2 t}{4a}$  [2].

Сравнение результатов расчета температуры поверхности, шлифуемой лепестковым кругом, по приведенной формуле с данными проведенных экспериментов показывает их сходимость в пределах  $\pm 10^\circ\text{C}$ .

Для исследования влияния параметров режима шлифования на температуру обрабатываемой поверхности была проведена серия опытов. Экспериментальная установка была оборудована на базе горизонтально-фрезерного станка, снабженного шлифовальным шпинделем. Лепестковый круг диаметром 120 мм и шириной 50 мм из шлифовальной шкурки 14А40 получал вращение от двигателя постоянного тока с возможностью регулирования скорости шлифования в широких пределах. Отдельный привод с кулачковым толкателем сообщал кругу движение осцилляции с частотой  $\approx 3$  Гц и амплитудой 3 мм. Продольные подачи выбирались из ряда подач, имеющегося на станке.

Температура обрабатываемой поверхности измерялась методом полунискусственной термопары с использованном хромелевого электрода толщиной 0,005 мм. В процессе шлифования при срезании электрода возникал «горячий» спай термопары «хромель — сплав Д16Т», термоЭДС которого усиливалась тензометрическим усилителем «Топаз-4-01» и регистрировалась на фотобумаге с помощью осциллографа Н117. Тарировка полунискусственной термопары «хромель-Д16Т» производилась в электропечи типа СУОЛ с помощью специального образца, снабженного стандартным термоэлектрическим преобразователем «хромель—алюмель».

Для построения неполной квадратичной модели влияния параметров режима шлифования на температуру поверхности был реализован полный факторный эксперимент  $2^3$ . Варьируемые факторы кодировались следующим образом:  $x_1$  — скорость шлифования  $V$ , основной уровень  $V_0 = 31,5$  м/с; интервал варьирования  $p_1 = 6,5$  м/с;  $x_2$  — радиальная деформация круга  $\delta$ , основной уровень  $\delta_0 = 0,5$  мм; интервал варьирования  $p_2 = 0,25$  мм;  $x_3$  — продольная подача заготовки  $S$ ; основной уровень  $S_0 = 800$  мм/мин; интервал варьирования  $p_3 = 200$  мм/мин.

В результате обработки экспериментальных данных получена следующая регрессионная зависимость температуры поверхности, обрабатываемой лепестковым кругом, от элементов режима шлифования:

$$t = 51,64 + 10,01 x_1 + 10,49 x_2 - 3,89 x_3 + 3,01 x_1 x_2 - \\ - 0,112 x_1 x_3 - 1,74 x_2 x_3 - 1,113 x_1 x_2 x_3.$$

Анализируя результаты исследований, можно сделать следующие выводы.

1. При анализе теплового состояния поверхности детали, обрабатываемой лепестковым кругом, можно пользоваться зависимостями, справедливыми для случая шлифования жестким сплошным абразивным кругом. Существенным преимуществом шлифования лепестковым кругом, в отличие от применения жестких абразивных кругов, является меньшая теплонапряженность процесса, положительно влияющая на качество обработанной поверхности.

2. Температура обрабатываемой поверхности при шлифовании лепестковыми кругами в первую очередь определяется скоростью шлифования и величиной радиальной деформации круга, зависящей от силы прижима круга к детали. С увеличением скорости продольной подачи температура поверхности снижается.

3. Полученные формулы и уравнения позволяют определить температуру поверхности, шлифуемой лепестковым кругом, в зависимости от мощности, затрачиваемой на шлифование, или по заданным параметрам режима обработки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маслов Е. Н. Теория шлифования металлов. — М.: Машиностроение, 1974. — 320 с.
2. Якимов А. В. Оптимизация процесса шлифования. — М.: Машиностроение, 1975. — 176 с.
3. Сигаилов В. А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. — М.: Машиностроение, 1978. — 167 с.
4. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. — М.: Наука, 1964. — 488 с.

УДК 620:514

*Е. Н. БУТ*, канд. техн. наук

#### ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ МАШИННО-ОРИЕНТИРУЕМОГО ПРОИЗВОДСТВА

Существующая система механического производства может быть описана следующей цепочкой: {конструктор}⇒человеко-ориентированная информация технологу (техническое задание)⇒⇒технолог⇒человеко-ориентированная информация рабочему (чертеж, техпроцесс)⇒рабочее место (станок, рабочий)⇒про-