

МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК. 621.923.4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ГАЗОВОГО АНАЛИЗА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ СВЕРЛЕНИИ

К.В. Афанасьев¹, В.А. Рогов²

¹Областное автономное учреждение
«Новгородский научно-координационный центр»
ул. Новолучанская, 27а, Великий Новгород, 173001

²Кафедра технологии машиностроения,
металлорежущих станков и инструментов
Инженерный факультет
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

Предлагается новый бесконтактный способ определения температуры резания при сверлении на основе метода газового анализа. Установлено, что температура резания и концентрация образованного в зоне резания газа связаны линейной зависимостью. Показаны преимущества использования способа. По экспериментальным данным получено математическое выражение для расчета температуры резания в зависимости от концентрации газа для обработки стали 45.

Ключевые слова: температура резания, сверление, метод газового анализа.

Температура резания является одним из важнейших параметров при сверлении, температурные значения периодически требуются при испытаниях нового режущего инструмента, построении тарировочных кривых между диагностируемым параметром процесса резания и температурой, получением математических моделей, в методиках оптимизации режимов обработки и многих других случаях. Возникает потребность в экспресс-контроле температуры резания.

В настоящее время устройства для измерения температуры, в основе которых лежат физические принципы, уже не требуют встраивания в инструментальные узлы станков, предварительной настройки или тщательной калибровки.

Многие устройства, используемые в резании для определения температуры, непригодны при сверлении. Пирометр практически сложно использовать при свер-

лении ввиду скрытой (изолированной) зоны резания. Устройства для измерения температуры с помощью термпары требуют размещения отдельных элементов устройства на быстродвижущихся узлах станка, что значительно усложняет конструкцию.

Целью работы является создание нового способа определения температуры в зоне резания и исследование возможности его использования при сверлении.

Способ бесконтактного определения температуры резания при механической обработке на основе метода газового анализа разработан К.В. Афанасьевым, И.В. Швецовым и В.А. Щёголевым [1]. Предложенный способ заключается в том, что «зону резания изолируют от внешней воздушной среды защитным кожухом, зонд газоанализатора размещают вблизи изолированной зоны резания, измеряют концентрацию образующихся углеродсодержащих газов и определяют температуру процесса резания при помощи корреляционной зависимости между указанной температурой и концентрацией образующихся газов». Способ позволяет осуществлять непрерывный контроль над тепловыми и диффузионными процессами в зоне резания.

Основные положения метода газового анализа изложены в работах [2; 3]. Данный способ имеет ряд преимуществ: высокое быстродействие и низкая погрешность измерений. Быстродействие определяется исключительно технической возможностью газоанализатора, а погрешность измерений газовых каналов составляет не более 4—6% (для оптико-абсорбционного газоанализатора, при использовании других, более высокоточных приборов погрешность снижается до 1—3%). Полученный газоанализатором сигнал передается на персональный компьютер, где выдаются значения температуры, соответствующие концентрации образованных газов. Кроме того, влияние на показания измерительного прибора таких помех, как вибрация, акустические волны и др., замечено не было. За счет этого значительно повышается качество регистрируемого сигнала.

В то же время есть и ограничения по применению предложенного способа: 1) использование только при сухом резании, которое, по разным источникам, занимает до 60% от всей механической обработки; 2) диапазон измеряемых температур — от $0,4 \cdot T_{пл}$ до температуры теплостойкости материала. Например, для сухого сверления стальных материалов температурный диапазон применяемого способа [600, 900 °C]. Однако этого диапазона достаточно для работы на оптимальных режимах резания.

Взаимосвязь параметров коэффициента диффузии, энергии активации и температуры резания определяется выражением [4]

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right), \quad (1)$$

где D — коэффициент диффузии, $\text{см}^2/\text{с}$; D_0 — предэкспоненциальный или частотный множитель, $\text{см}^2/\text{с}$; Q — тепловая энергия (энергия активации), $\text{кал}/\text{г-атом}$; R — универсальная газовая постоянная, $R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{м})$; T — температура резания, К.

В выражении (1) значения Q и D_0 являются табличными величинами для заданного диффундирующего элемента из кристаллической решетки растворителя. На рисунке 1 изображен график зависимости, рассчитанный по формуле (1) для атомов углерода, диффундирующих из кристаллической решетки обрабатываемого материала — стали 45.

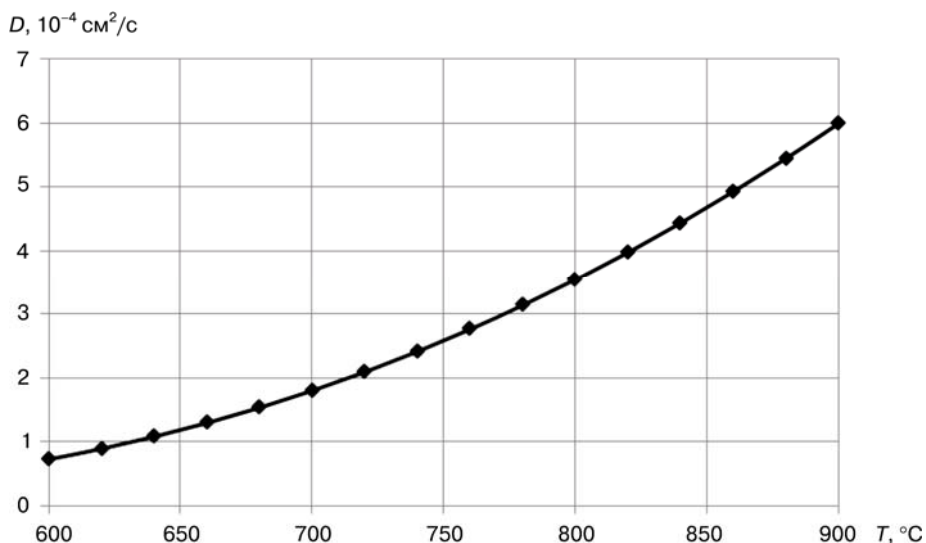


Рис. 1. График зависимости коэффициента диффузии D от температуры резания T :
 $D_0 = 0,04$ см²/с, $Q = 31\,400$ кал/г-атом

Для построения графической зависимости $N(z, \tau) = f(T)$ проведем серии экспериментов на вертикально-сверлильном станке 2Н118 с самоустанавливающейся подачей. Замеры концентрации образованного газа $N(z, \tau)$ осуществлялись при установленных режимах резания и соответствующей им температуре резания.

Расчет температуры резания осуществляют по эмпирическим формулам, приведенных в работах [5; 6; 7]:

$$T = K_1 V^{k_2} S^{k_3} t^{k_4} HB^{k_6}, \quad (2)$$

где $k_1 \dots k_6$ — коэффициенты, определяемые в ходе проведения эксперимента; V — скорость резания, м/мин.; S — подача, мм/об.; t — глубина резания, мм; h — износ, мм; HB — твердость обрабатываемого материала, ед.

Используем модель А.Д. Макарова [6] как наиболее предпочтительную для данных режимов обработки. Температура резания, использованная в работе [6], находится из формулы

$$T = 266,7 \cdot V^{0,384} S^{0,132} t^{0,098}. \quad (3)$$

Варьирование осевой подачи осуществляют таким образом, чтобы исходя из расчетной формулы (3) температура резания с каждым новым режимом увели-

чивалась на 20—25 °С в диапазоне температур 600÷900 °С. За счет самоустанавливающейся от грузов подачи был рассчитан необходимый шаг в граммах массы грузов, который прибавлялся для увеличения подачи и, как следствие, температуры резания. Зависимость температуры резания от подачи представлена на рис. 2.

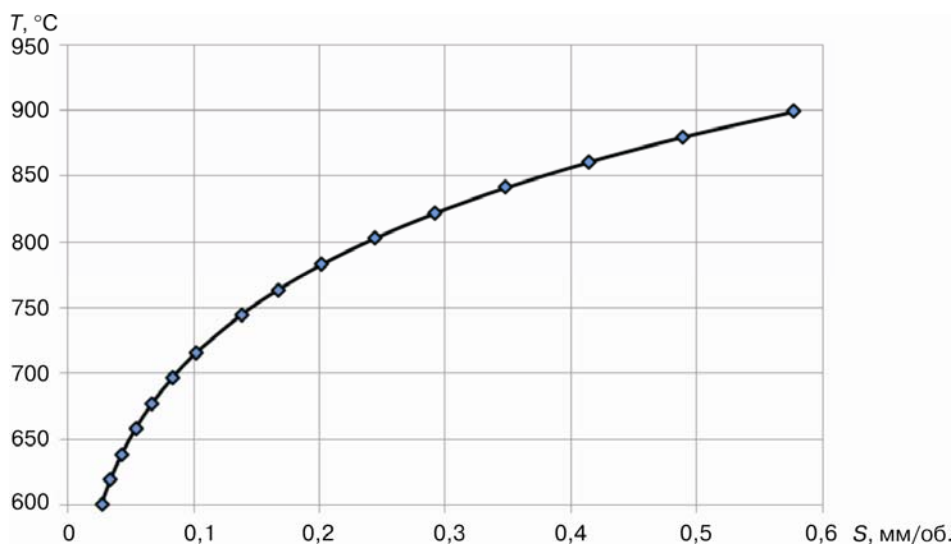


Рис. 2. Зависимость температуры резания от осевой подачи

В каждом режиме резания осуществляли не менее семи экспериментов, выбиралось новое стандартное сверло, ранее не использовавшееся в работе. Режимы обработки: скорость резания $V = 20,1$ м/мин., $S = 0,03 \div 0,58$ мм/об., глубина сверления $L/d = 5$, диаметр сверла $d = 8$ мм, материал сверла — Р6М5, материал заготовки — сталь 45.

На основе проведенных экспериментов была получена следующая зависимость.

С использованием методов математической статистики [8] для коэффициента корреляции между значениями температуры резания и концентрацией образованного газа получено значение

$$r = 0,972.$$

Данный коэффициент свидетельствует о том, что температура резания и концентрация образованного газа связаны линейной зависимостью:

$$T = 1020 \cdot N + 640. \quad (4)$$

На рисунке 3 изображена прямая, построенная на основе математического выражения (4). Из графика видно, что погрешность между теоретическими и экспериментальными значениями не превышает 3%.

Достоинством способа является простота и низкая стоимость газоаналитического оборудования. Данные поступают на прибор в цифровом виде, что исключает дополнительные алгоритмы обработки и вторичную аппаратуру. Получаемый сигнал может быть использован в качестве входной информации для ЧПУ.

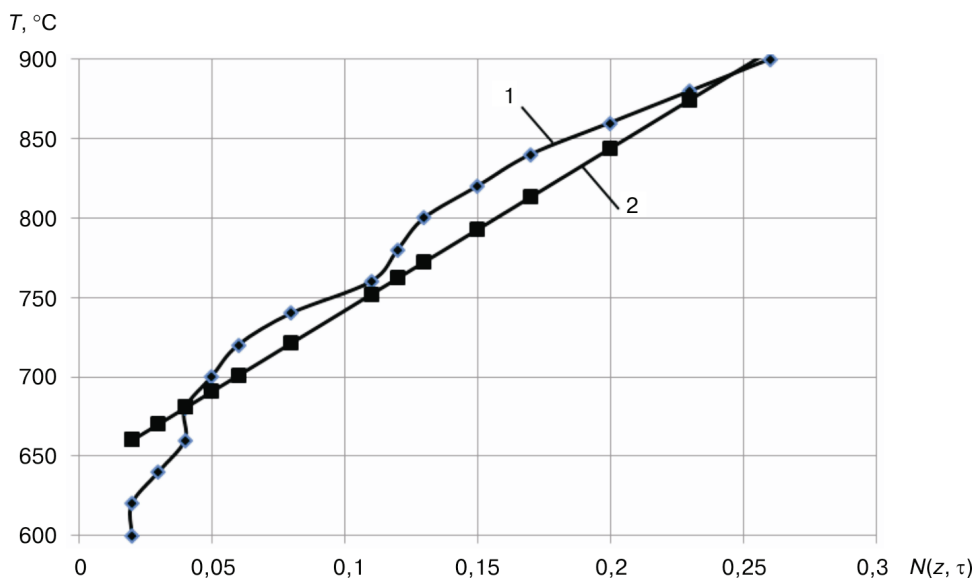


Рис. 3. Зависимости температуры резания от концентрации образованного газа:

1 — по результатам эксперимента;
2 — теоретическая зависимость

Таким образом, разработанный способ бесконтактного определения температуры с помощью метода газового анализа показал принципиальную пригодность при сверлении.

Полученное математическое выражение позволяет рассчитать значения температуры резания на основе показаний концентрации газа, при этом погрешность расчетных и экспериментальных значений не превышает 5%.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Афанасьев К.В., Швецов И.В., Щеголев В.А. Способ бесконтактного определения температуры в зоне резания при механической обработке. Патент на изобретение № 2398659; заявитель и патентообладатель Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого.
- [2] Швецов И.В. Газоаналитическое отображение механической обработки: Монография. — Великий Новгород, 2004.
- [3] Сокол В.В., Афанасьев К.В. Оценка тепловой энергии при решении задач теплофизики резания // Вестник ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии». — 2008. — С. 54—57.
- [4] Болтакс Б.И. Диффузия в полупроводниках. — М.: ГИФМЛ, 1961.
- [5] Вульф А.М. Резание металлов. — Л.: Машиностроение, 1973.
- [6] Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания. — М.: Машиностроение, 1976.
- [7] Юдковский П.А., Крючков Н.К. Четырехленточное спиральное сверло // Станки и инструменты. — 1965. — № 3.
- [8] Rogov В.А., Позняк Г.Г. Методика и практика технических экспериментов. — М.: Машиностроение, 2005.

USING OF GAS ANALYSIS BY WAY OF TEMPERATURE CONTROL IN DRILLING

K.V. Afanasyev¹, V.A. Rogov²

¹Regional Autonomous Institution
“Novgorod Scientific Coordinating Centre”
Novoluchanskaya str., 27a, Veliky Novgorod, Russia, 173001

²Department of Mechanical Engineering,
Metal-cutting machines and tools
Engineering Faculty
People’s Friendship University of Russia
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419

The paper proposes a new contactless method of determining temperature when drilling on the basis of gas analysis. Established that the cutting temperature and the concentration formed in the cutting of gas associated linear dependence. The paper proposes advantages of the method. According to experimental data obtained by the mathematical expression to calculate the cutting temperature, depending on the concentration of gas.

Key words: temperature control of cutting, drilling, the method of gas analysis.