

УДК 621.923-5

Клименко Н.Н. к.т.н., Лебедев В.Г. д.т.н., Луговская Е.А. к.т.н.

Одесский национальный политехнический университет

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР ШЛИФОВАНИЯ ТЕРМОПАРАМИ ПРИ ОБРАБОТКЕ НАПЛАВЛЕННЫХ И НАПЫЛЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Розглядаються питання експериментального визначення температур поверхні при шліфуванні сталей. Наведено закономірності, що зв'язують електричний сигнал термо- е.р.с, що надходить на реєструючий прилад, з істинною температурою в зоні різання.

Ключові слова: шліфування, термо- е.р.с

Рассматриваются вопросы экспериментального определения температур поверхности при шлифовании сталей. Приведены закономерности связывающие электрический сигнал термо- э.д.с, поступающий на регистрирующий прибор, с истинной температурой в зоне резания.

Ключевые слова: шлифование, термо- э.д.с

The questions of experimental determination of the temperature of the grinding of a steel is studied.. The main regularities linking thermal e.m.f. of electrical signal input to the recording device with the true temperature in the cutting zone are observed.

Keywords: grinding, thermal e.m.f.

Введение. Для повышение ресурса деталей, работающих в тяжелых условиях повышенного трения и колебаний, высокой температуры и агрессивных сред, необходимо, чтобы рабочие поверхности этих деталей обладали комплексом свойств, позволяющим им сохранять работоспособность в период срока эксплуатации.

В этом случае широко применяются технологии наплавки рабочих поверхностей деталей, так как значительно дешевле изготовить деталь из сравнительно дешевого материала и наплавить на рабочие поверхности износостойкий, материал.

Однако, если технологии наплавки и напыления решают задачу создания на рабочих поверхностях деталей слоя необходимого химического состава, то они окончательно не решают обеспечение всего комплекса качественных характеристик, определяющих пригодность детали к эксплуатации.

Повышение требований к точности деталей машин, применение новых труднообрабатываемых материалов для наплавки, остро поставили вопрос об эффективной чистовой обработке заготовок, придающей им окончательную точность и необходимый комплекс физико-механических характеристик. Одним из видов такой обработки является шлифование.

Формирование физических свойств поверхностного слоя детали при шлифовании в значительной степени зависит от температуры в зоне контакта круга с деталью, что обеспечивает определенный фазово-структурный состав, текстуру этого слоя, напряженное состояние его. Все это оказывает большое влияние на эксплуатационные характеристики детали - на показатели надежности и долговечности.

Температура, возникающая в зоне контакта шлифовального круга с деталью, может иметь максимальные значения, достигающие до 1200-1300⁰С, что вызывает шлифовочные дефекты - глубокие изменения фазово-структурного состава поверхностного слоя, что создает благоприятные условия для образования остаточных напряжений и как следствие трещин. [1]. Как известно из литературы [2] тепловые шлифовочные дефекты снижают долговечность детали в 3 - 4 раза.

Цель работы – разработать способ и методику измерения температуры шлифования, установить экспериментальные зависимости температур от технологических факторов процесса шлифования, что может дать возможность эффективно управлять температурным режимом при обработке и не допускать возникновения тепловых дефектов.

Результаты исследований. Перемещающиеся с большой скоростью абразивные зерна создают мгновенные тепловые импульсы, интенсивность которых зависит от размеров зерен, глубины вдавливания их в металл и скорости перемещения. Это определяет мгновенную температуру резания отдельными зернами T_m , контактную температуру шлифуемой поверхности T_k , являющуюся результатом суммарного действия множества тепловых импульсов, число которых зависит от характеристики шлифовальных кругов, обрабатываемого металла и режимов обработки, а также суммарную импульсную температуру T_u , представляющую собой сумму мгновенной и контактной температуры шлифования.

Контактная температура является наиболее важным фактором, она распространяется вглубь шлифуемой поверхности, разогревая ее, что вызывает изменение фазово-структурного состояния

поверхностного слоя.

Из разработанных в настоящее время методов измерения температур шлифования метод срезаемой полуискусственной микротермопары, состоящей из обрабатываемого металла и термоэлектрода, помещенного в шлифуемую деталь, является наиболее доступным и удобным, дающим наглядное распределение температуры в зоне резания и позволяет производить регистрацию и измерение температур резания отдельных абразивных зерен непосредственно в зоне шлифования. Одним из электродов такой микротермопары является обрабатываемая деталь, а вторым термоэлектродом является константановая проволочка диаметром 6-20 мкм.

После установки термоэлектрода в образец (рис. 1), конец последнего выводится на поверхность образца и зашлифовывается. Во время эксперимента измеряется одновременно контактная, мгновенная и импульсная температуры, поэтому необходимо рассчитывать временные и частотные характеристики измерительных трактов.

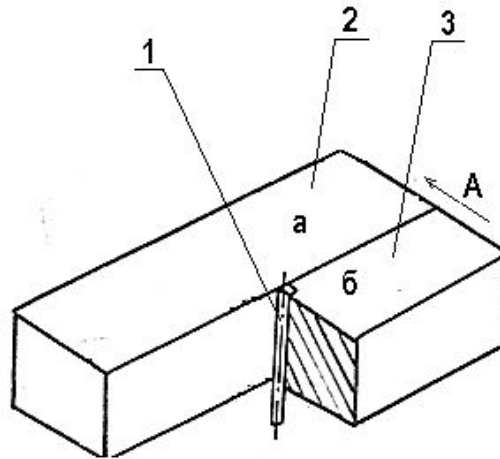


Рис. 1. Образец для измерения температуры методом полуискусственной термопары: 1- термоэлектрод; 2- часть образца а; 3- часть образца б; А- направление шлифования

Длительность импульса контактной температуры будет:

$$\tau = \frac{d_m + \sqrt{D \cdot t}}{v_d} \quad (1)$$

где d_m – диаметр термоэлектрода, D – диаметр круга, t – глубина шлифования, v_d – скорость детали (скорость перемещения пятна контакта круга по детали).

Длительность импульса мгновенной и импульсной температуры определится следующим выражением:

$$\tau' = \frac{d_m + S + r'}{v_{кр}} \quad (2)$$

где S – толщина изоляции термоэлектрода, r' – длина проекции радиуса закругления зерна, $v_{кр}$ – скорость вращения круга.

В свою очередь r' определится:

$$r' = \sqrt{2hr - h^2} \quad (3)$$

где h – величина углубления зерна в металл, r – радиус закругления зерна.

Частота следования импульсов мгновенной температуры будет:

$$\nu = \frac{v_{кр}}{l_\phi} \quad (4)$$

где l_ϕ – фактическое расстояние между зернами на поверхности круга.

По этим данным составлена измерительная схема (рис. 2), где 1 – усилитель сигнала, 2 – усилитель запуска развертки, 3 – осциллограф регистрации амплитуды, 4 – осциллограф регистрации длительности импульса.

При измерении основными погрешностями будут: 1 – погрешность из-за различных законов изменения температуры поверхности и торца термоэлектрода при нагреве и 2 – погрешность, связанная с различной контактной температурой поверхности и торца термоэлектрода.

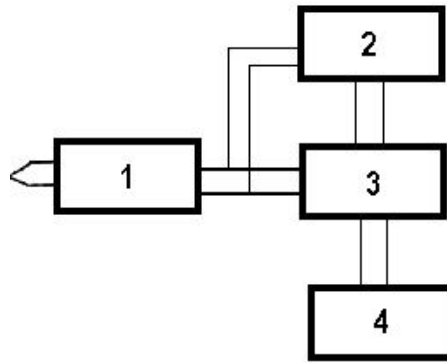


Рис. 2. Блок-схема измерения температуры шлифования

Когда тепловой источник (пятно контакта круга) вступает в контакт со шлифуемой поверхностью, последняя мгновенно (за 10^{-11} с) приобретает так называемую контактную температуру, определяемую по [3].

$$T'_k = \frac{T_u \cdot \varepsilon_u}{\varepsilon_u + \varepsilon_m} \quad (5)$$

где T' – контактная температура, T_u – температура источника, $\varepsilon_m, \varepsilon_u$ – коэффициенты тепловой активности металла и источника соответственно.

После установления температуры контакта будет происходить ее повышение, что можно записать как:

$$T_{n(\tau)} = T'_k + T_{изб} \quad (6)$$

где $T_{n(\tau)}$ – температура поверхности в любой момент времени после контакта, $T_{изб}$ – избыточная температура по отношению к контактной.

Относительная температура определится [3]:

$$T_{отн} = \frac{T_{n(\tau)} - T'_k}{T_m - T'_k} = \frac{T_{изб}}{T_n - T'_k} + \Phi \left(\frac{b}{\varepsilon_m} \cdot \sqrt{\tau'} \right) \quad (7)$$

где b – коэффициент теплообмена между источником и поверхностью, τ' – время теплообмена между источником и поверхностью.

Совместное решение 6 и 7 дает:

$$T_n = T_u \left[\frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_u + \varepsilon_n} + \Phi \left(\frac{b}{\varepsilon_n} \cdot \sqrt{\tau'} \right) \right] \cdot \left[\left(1 - \frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_u + \varepsilon_n} \right) \right]. \quad (8)$$

Время, за которое температура поверхности повысится до температуры источника, будет примерно найдено из условия [3]:

$$T_n = \frac{T_{изб}}{T_{изб} - T'_k} = \Phi \left(\frac{b}{\varepsilon_n} \cdot \sqrt{\tau'} \right) = 1. \quad (9)$$

Из последнего уравнения следует, что повышение температуры на 7 % по отношению к контактной (соответствует 7 % погрешности измерительной схемы) произойдет за 10 мс. Следовательно, за время измерения (до 10 мс) температура поверхности существенно не повышается (рис. 3).

Поскольку при шлифовании происходит образование термопары "термоэлектрод-деталь", то сигнал такой термопары будет соответствовать температуре термоспая, в то время как необходимо определить температуру поверхности детали. Как температура поверхности, так и температура торца термоэлектрода может быть описана выражением [3]:

$$T_n = \frac{1.12 \cdot Q \cdot \sqrt{\tau}}{F \cdot \varepsilon_n}, \quad (10)$$

где Q – мощность теплового источника, F – площадь пятна контакта круга с деталью, T_n – определяемая температура.

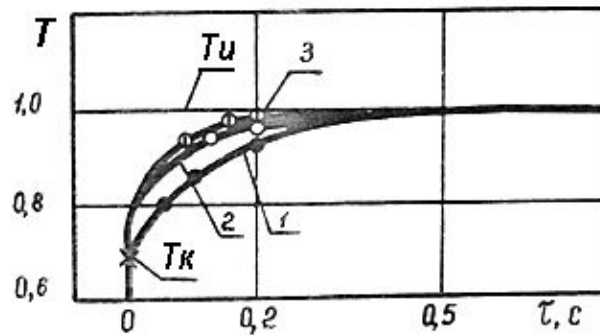


Рис .3. График изменения температуры поверхности образца и торца термоэлектрода во времени (экспериментально): T_u - температура источника нагрева; T_k - контактная температура; 1 - сталь 12Х2Н4А, 2 - константан, 3 - хромель

Контактная температура по [3] будет:

$$\frac{T_k - T_n}{T_m - T_n} = \frac{\epsilon_m}{\epsilon_n + \epsilon_m} \quad (11)$$

Однако, исходя из [3], температура поверхности и температура термоэлектрода соответственно будут равны:

$$T_n = 1,12 \cdot \frac{Q \cdot \sqrt{\tau}}{F \cdot \epsilon_n} \quad (12)$$

$$T_m = 1,12 \cdot \frac{Q \cdot \sqrt{\tau}}{F \cdot \epsilon_m} \quad (13)$$

Решая совместно 11,12,13 получаем выражение для пересчета контактной температуры термоспая в температуру поверхности:

$$T_i = \dot{O}_\epsilon \cdot \frac{\epsilon_i + \epsilon_o}{2 \cdot \epsilon_i} \quad (14)$$

Окончательно температура определяется по величине термо-э.д.с. по выражению:

$$T_n = \frac{\epsilon_n + \epsilon_m}{2 \cdot \epsilon_n} \cdot E \cdot \lambda = \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot E \quad (15)$$

где
$$\kappa_1 = \frac{\epsilon_n + \epsilon_m}{2 \cdot \epsilon_n} \cdot \lambda \quad (16)$$

и E – величина термо-э.д.с; λ – коэффициент связи между температурой термоспая и термо-э.д.с; κ_2 – коэффициент усиления схемы.

Экспериментальные зависимости изменения температур шлифования.

Характерная осциллограмма электронного запоминающего осциллографа, на которой зафиксированы контактная, мгновенная и импульсная температуры шлифования, показаны на рис. 4.

На данной осциллограмме нижняя огибающая соответствует контактной температуре T_k , осредненной по зоне контакта круга с деталью. Длительность действия данной температуры в зависимости от режимов обработки колеблется в пределах от 1,76 мс до 166 мс и определяется временем контакта шлифовального круга с заданной точкой шлифуемой поверхности.

Импульсы, расположенные на нижней огибающей, т.е. те импульсы, амплитуда которых измеряется от нижней огибающей до верхних пиковых значений, соответствуют температуре, которую приобретает заданная точка шлифуемой поверхности при резании ее зерном шлифовального круга.

Верхняя огибающая осциллограммы, мысленно проведенная по вершинам импульсов, соответствует импульсной температуре, которая является результатом суммирования контактной и мгновенной температур. Как видно из рис. 4, импульсная температура выше температуры, осредненной по пятну контакта, и частота ее воздействия на заданную точку поверхности соответствует частоте мгновенной температуры. Таким образом, если рассматривать процесс теплообразования в зоне контакта круга с деталью, то можно сказать, что температура представляет собой сочетание двух импульсных процессов - низкочастотного, соответствующего контактной температуре, частотная характеристика которого изменяется от нескольких Гц до 1 кГц, и высокочастотного процесса с частотой до нескольких мГц. Складываясь, эти оба процесса обеспечивают широкий диапазон теплового воздействия на металл как по величине температуры, так и по ее длительности.

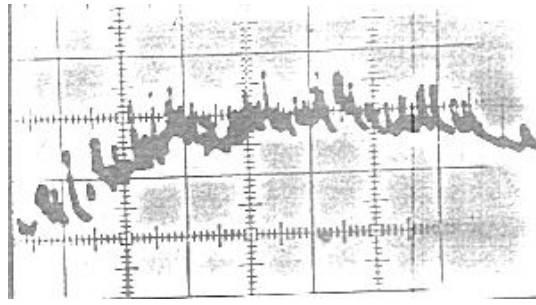


Рис. 4. Характерная осциллограмма теплового процесса в зоне контакта круга с деталью при шлифовании: $V_{кр} = 30$ м/с; $V_{д} = 0,25$ м/с; $S = 5$ мм; материал - сталь I2X2H4A, HRC 62-64; Масштаб по вертикали - 200 °C в клетке, масштаб по горизонтали - 1 мс в клетке

Причины возникновения теплового импульса данного характера отмечены выше, здесь же необходимо отметить, что пульсации температур в основном определяются радиальным биением шлифовального круга, разновысотностью и различием радиусов закруглений зерен шлифовального круга.

Характерные зависимости температур от технологических факторов шлифования показаны на рис. 5.

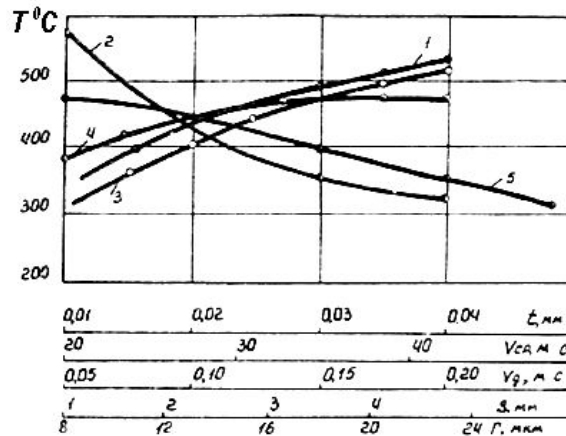


Рис. 5. Характерные зависимости контактной температуры шлифования от технологических факторов: 1 - $T = f(r)$; 2 - $T = f(v_{кр})$; 3 - $T = f(v_{д})$; 4 - $T = f(S)$; 5 - $T = f(r)$.

Опорные значения режимов: $V_{кр} = 35$ м/с, $V_{д} = 0,25$ м/с; $t = 0,005$ мм, $S = 3-5$ мм, $r = 12$ мкм. Материал сталь I2X2H4A(Цем. + 3 = Он) HRC 62-64. Круг Э9А16СМ2

Выводы.

1. Описанная методика дает возможность измерять контактные, мгновенные и импульсные температуры шлифования получая наглядное распределение температуры по длине дуги контакта круга с деталью.

2. Методику можно использовать при измерении температур шлифования закаленных и сырых сталей, а также при шлифовании сплавов цветных металлов.

3. При шлифовании покрытий напыленных металлокерамикой и минералокерамикой необходимо использовать двухэлектродные термодпары.

4. При использовании высоких скоростей развертки электронного осциллографа можно выделять импульсы или ряд импульсов мгновенной температуры, что важно в исследовательских целях.

1. Grabchenko A.I., Fedorovich V.A., Rusanov V.V. 3D simulation of stress-deformed state of grinding zone of superhard materials / Grabchenko A.I., Fedorovich V.A., Rusanov V.V. // International Scientific Conference (MicroCAD : междунар. конф., 7- 8 March 2002. Miscolec, Hungary. – 2002. – С. 95–98.

2. Маталин А.А. Технология машиностроения – Санкт-Петербург - Москва: - Краснодар: Лань, 2008.

3. Лыков А.В. Теория теплопроводности – М.: Высшая школа, 1977. – С.392.