

8. Электротермическое компактирование металлических материалов: возможности и перспективы / В. Шаповалов та ін. *Заготовительные производства в машиностроении*. 2011. № 5. – С. 5–10.

9. Біметалеві виливки на основі алюмінієвого сплаву / Б. Кивгило та ін. *Теорія і практика металургії*. 2022. № 3. – С. 15–21.

10. Створення біметалевих матеріалів системи залізо-алюміній отриманих методом інфільтрації пористих каркасів / Б. Кивгило та ін. *Теорія і практика металургії*. 2022. № 6. – С. 26–33.

11. Степанчук А. М. *Теорія і технологія пресування порошкових матеріалів* : навч. посіб. Київ : НТУУ “КПІ”, 2017. – 336 с.

12. ДСТУ 4121:2002. *Метали чорні вторинні. Загальні технічні умови*. Чинний від 2003-04-01. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2003. – 40 с.

13. Вплив умов спікання на структуроутворення композиційних матеріалів на основі вольфраму / А. В. Мініцький та ін. *Метал та лиття України*. 2023. № 2 (31). С. 62–68. URL: <https://doi.org/10.15407/steelcast2023.02.062>.

**Клименко Н.М.**

*(НУ«Одеська політехніка», м. Одеса)*

**МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ШЛІФУВАННЯ**

E-mail: [naniklimenko@gmail.com](mailto:naniklimenko@gmail.com)

Підвищення вимог до точності деталей машин, застосування нових важкооброблюваних матеріалів, застосування зміцнюючих технологій особливо гостро порушили питання про ефективну чистову обробку заготовок, що надає їм остаточну точність і необхідний комплекс фізико-механічних характеристик. Одним з видів такої обробки є чистова обробка, зокрема шліфування. Формування фізичних властивостей поверхневого шару деталі при шліфуванні – фазово-структурний склад, текстура цього шару, напружений стан його, що виявляють великий вплив на експлуатаційні характеристики деталі й на показники надійності й довговічності, натрапляє на серйозні труднощі. Відомо, що при шліфуванні на

поверхні деталі утворюються численні теплові шліфувальні дефекти, які знижують загальний рівень якості деталі.

Температура, що виникає в зоні контакту шліфувального круга з деталлю, може мати максимальні значення, що доходять до 1200-1300 °С, що викликає глибокі зміни структури і це створює сприятливі умови для утворення залишкових напруг, і як наслідок, тріщин [1]. Як показує практика шліфування, вимірювання і визначення температур необхідно робити безпосередньо при обробці конкретної деталі, оскільки перенесення результатів вимірів температури на зразках на готову деталь часто некоректне.

Мета роботи – розробити спосіб і методику вимірювання температури шліфування безпосередньо при обробці конкретної деталі, що може дати можливість ефективно керувати температурним режимом.

Абразивні зерна, що переміщуються з великою швидкістю, створюють миттєві теплові імпульси, інтенсивність яких залежить від розмірів зерен, глибини вдавнення їх у метал і швидкості переміщення. Це визначає миттєву температуру різання окремими зернами  $T_m$ , контактну температуру поверхні, що шліфується,  $T_k$ , яка є результатом сумарної дії безлічі теплових імпульсів, інтенсивне число яких залежить від характеристики шліфувальних кругів, оброблюваного металу й режимів обробки, а також сумарну імпульсну температуру  $T_n$ , що представляє собою суму миттєвої й контактної температур шліфування.

Контактна температура є найбільш важливим фактором, вона поширюється вглиб поверхні, що шліфується, розігріваючи її, що також викликає зміну фазово-структурного стану поверхневого шару.

З розроблених у цей час методів вимірювання температур шліфування метод напівштучної термопари, що зрізується, полягає з оброблюваного металу й термоелектроду, поміщеного в деталь, що шліфується, є найбільш припустимим, зручним, що дає наочний розподіл температури в зоні різання й дозволяє робити реєстрацію й вимірювання температур різання окремих абразивних зерен безпосередньо в зоні шліфування.

Цей метод дає можливість вимірювати температуру шліфування тільки на зразках, зважаючи на те, що на фазово-структурний склад впливає в основному контактна температура, а бажано вимірювати температуру на реальній деталі під час реального процесу шліфування. У справжній роботі використано метод вимірювання, заснований на використанні датчика температури, вбудованого в шліфувальний круг.

Основні вимоги, які витримувалися при проектуванні й розрахунках круга-датчика, зводилися до наступного: простота виготовлення й обслуговування пристрою, висока точність вимірів, мала інерційність, незмінність властивостей при виправленнях круга, збереження вихідної шорсткості поверхні в порівнянні зі звичайним шліфувальним кругом, можливість роботи із МОТЗ.

Для задоволення цим вимогам розроблено спеціальний термодатчик, поміщений у круг. Термодатчик (рис. 1) складається із двох фольгових пластин, одна з яких виготовлена з міді, а друга – з константану, між ними міститься прокладка з неелектропровідного матеріалу.

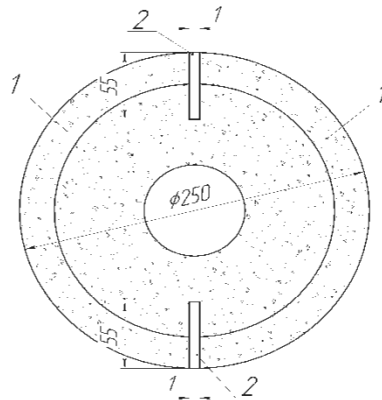


Рис. 1. Круг-термодатчик

Фольгові пластини й прокладка склеюються між собою під пресом бакелітовим лаком або епоксидним клеєм. Загальна товщина датчика 1-1,5 мм. Форма датчика відповідає профілю поперечного перерізу круга. Для встановлення датчика в абразивний інструмент у крузі необхідно прорізати вузький паз. При встановленні в круг двох датчиків, розташованих радіально, необхідно прорізати

два пази. Визначення довжини паза для будь-якого круга може бути зроблене за формулою:

$$K = \frac{D_{нб} - D_{нм}}{2} + 10, \quad (1)$$

де  $K$  – довжина паза;

$D_{нб}$  – найбільший діаметр круга;

$D_{нм}$  – найменший діаметр круга.

Після установки датчиків у шліфувальний круг останній балансується й правиться за звичайною методикою. Датчик є органічною частиною шліфувального круга. Під час виправлень круга пластини датчика легко перерізуються алмазом, і довжина датчика зменшується відповідно до зменшення діаметра шліфувального круга. Міцність круга, як показали випробування на швидкостях, рівних 1,5 робочій швидкості, не порушується.

Круг (див. рис. 1) містить два основні робочі сектори 1 однакових характеристик і два термоприймальних сектори 2, розташованих у крузі радіально під кутом  $180^\circ$  один до одного.

Круг працює в такий спосіб: при шліфуванні термоприймальний сектор 2 торкається поверхні, що шліфується, і утворює з нею термопару «поверхня, що шліфується – термоприймальний сектор», термо-е.д.с. якої пропорційна температурі поверхні, що шліфується.

Термо-е.д.с. передається через обертовий гіроскопічний струмознімач і використовується в якості сигналу, що характеризує величину температури.

Електричний сигнал, що представляє температуру поверхні, має вигляд прямокутних електричних імпульсів частотою 100-200 Гц, амплітуда яких пропорційна температурі поверхні, що шліфується. Обробка такого сигналу може бути зроблена способами, добре відомими в техніці вимірів.

Температура датчика під час контакту його з нагрітою поверхнею, зв'язується з температурою цієї поверхні через постійний коефіцієнт, значення якого

визначається теплофізичними властивостями поверхні, що шліфується, і термодатчика.

Температура поверхні, що шліфується, через температуру датчика визначається наступним вираженням:

$$\theta_n = \theta_\delta \frac{\varepsilon_n + \varepsilon_\delta}{\varepsilon_\delta}. \quad (2)$$

де  $\varepsilon_n$  і  $\varepsilon_\delta$  – коефіцієнти теплової активності поверхні, що шліфується, й термодатчика.

Якщо розрахувати тепер вихідну напругу датчика при температурі поверхні, рівній 100 °С, то його величина виразиться:

$$U_{\delta 100^\circ\text{C}} = \theta_n \frac{\varepsilon_\delta}{\varepsilon_\delta + \varepsilon_n} \approx 0,395 U_{\delta 100^\circ\text{C}}. \quad (3)$$

Якщо відбувається шліфування із МОТЗ, то це також може створити похибку, яку необхідно оцінити. Еквівалентна схема електричного ланцюга «термодатчик струмознімальний пристрій – МОТЗ» показана на рис. 2.

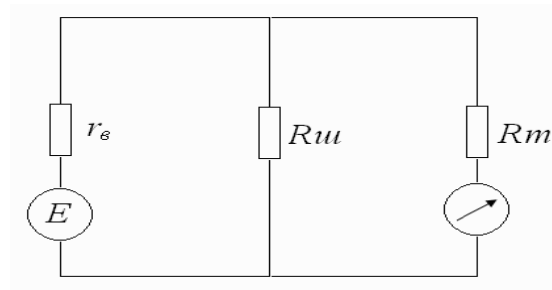


Рис. 2. Еквівалентна схема електричного ланцюга «термодатчик – струмознімальний пристрій – МОТЗ»

Проникаючи в зону різання, МОТЗ електрично взаємодіє з датчиком, тому цікаво оцінити похибку вимірювання круга-датчика при шліфуванні із МОТЗ.

Ця похибка вимірювання, мабуть, може бути оцінена співвідношенням (рис. 2):

$$\Delta = \frac{E - U'}{I} \cdot 100\%, \quad (4)$$

де  $E$  – термо-е.д.с. датчика;

$I$  – загальний струм вимірювального ланцюга;

$R_n$  – внутрішній опір приладу, що реєструє;

$r'$  – внутрішній опір термодатчика;

$U'$  – напруга на вході приладу, що реєструє.

$$\Delta = \frac{I \cdot R_n + I \cdot r' - I \cdot R_n}{I(R_n + r')} \cdot 100\% = \frac{r'}{R_n + r'} \cdot 100\%. \quad (5)$$

Якщо вибрати внутрішній опір приладу, що реєструє, в 1 кОм, то похибка вимірювання складе  $9,9 \cdot 10^{-3} \%$ .

Для визначення припустимої величини шунтуючого опору МОТЗ можна розглянути схему, задаючись попередньо похибкою вимірювання не більше 2 %.

З урахуванням даної схеми значення е.д.с. буде:

$$E = I \left( \frac{R_n \cdot R_{ш}}{R_n + R_{ш}} + r' \right). \quad (6)$$

Відповідно до цього похибка вимірювання складе:

$$U' = E - I \cdot r'; \quad (7)$$

або ж

$$\delta = \frac{I \cdot r'}{I \left( \frac{R_n \cdot R_{ш}}{R_n + R_{ш}} + r' \right)} = \frac{\Delta}{100}; \quad (8)$$

$$R_{ш} = \frac{R_n \cdot r' (1 - \delta)}{R_n \cdot \delta - r' (1 - \delta)}. \quad (9)$$

Таким чином, якщо задатися припустимим значенням похибки 2 %, то мінімальна величина шунтуючого опору визначиться величиною 5 Ом. Оскільки електричний опір усіх без винятку охолодних рідин значно більше – порядку 1-1,5 кОм, то можна стверджувати, що МОТЗ практично не впливає на точність вимірювання температури термодатчиком.

Проаналізувавши перераховані вище похибки, можна стверджувати, що дійсне значення температури поверхні, що шліфується, при вимірюванні її кругом

з термодатчиком однозначно визначається виразом (2). Середньомовірна сумарна похибка становить величину порядку 4,5 %.

Експериментальні дослідження були проведені як на реальних деталях – циліндричні напрямні пресів, так і на зразках методом заставних мікротермопар.

**Висновки:**

1. Запропонований круг-термодатчик дає можливість досить точно виміряти температуру шліфування реальної деталі.

2. Застосування круга-термодатчика в принципі дає можливість керувати температурним режимом шліфування безпосередньо в процесі обробки.

Література:

1. Корчак С. Н. Теория обрабатываемости сталей и сплавов при абразивной обработке. Вестник южно-уральского государственного университета. 2003. № 9, Вып. 4. – С. 82-90.

2. Кремень З.И. Технология шлифования в машиностроении / Кремень З.И., Юрьев В.Г., Бабошкин А.Ф. – СПб: Политехника. – 2015. – С. 424.

3. Комаров О.С. Материаловедение и технология конструкционных материалов / Комаров О.С., Ковалевский В.Н., Керженцева Л.Ф. – Минск: Новое знание, 2009. – С. 670.

**Кондратенко М.М., Савельєв С.Г.**

*(КНУ, м. Кривий Ріг)*

**ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ХВИЛЬ У ВОДНОМУ  
СЕРЕДОВИЩІ МЕТОДОМ КАЛОРИМЕТРІЇ**

E-mail: kondratenkom002@knu.edu.ua

Проблема покращення міцнісних та термостійких властивостей сировини для металургійного переділу вирішується з початку промислового виробництва згрудкованих матеріалів. Обробка домішок в шихту огрудкування ультразвуковими хвилями може значно поліпшувати їх властивості [1].