

HEAT POWER ENGINEERING

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-264-7-14>

RESTORATION OF THE TEMPERATURE FIELD ON THE SURFACE OF A METAL SAMPLE DURING COOLING IN LIQUIDS

ВІДНОВЛЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ НА ПОВЕРХНІ МЕТАЛЕВОГО ЗРАЗКА ПРИ ОХОЛОДЖЕННІ В РІДИНАХ

Moskalenko A. A. **Москаленко А. А.**

*Candidate of Technical Sciences,
Senior Research Officer
Institute of Engineering Thermophysics
of the National Academy of Sciences
of Ukraine* *кандидат технічних наук, старший
науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики
Національної академії наук України*

Razumtseva O. V. **Разумцева О. В.**

*Research Assistant
Institute of Engineering Thermophysics
of the National Academy of Sciences
of Ukraine* *молодший науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики
Національної академії наук України*

Protsenko L. M. **Проценко Л. М.**

*Research Assistant
Institute of Engineering Thermophysics
of the National Academy of Sciences
of Ukraine
Kyiv, Ukraine* *молодший науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики
Національної академії наук України
м. Київ, Україна*

Для вирішення нагальних проблем термообробки у відділі ТГЕТУ ІТТФ НАН України був створений апаратно-програмний комплекс для термоакустичної діагностики охолоджуючих рідин (АПК) на базі існуючих міжнародних стандартів [1].

АПК є з'єднання в одному блоці програмного забезпечення функцій реєстрації, графічної обробки показань термометричних і акустичного датчиків, а також розрахунку температурних полів в перетинах зразка і

інтенсивності процесу його охолодження за допомогою розробленої програми IQLab [2, с. 106].

Термометричний модуль апаратно-програмного комплексу використовується у двох основних напрямках: визначення охолоджуючої здатності тестованих рідин, згідно міжнародних стандартів та розрахунків теплофізичних параметрів процесу гартування за допомогою програми IQLab.

Програма дозволяє вирішувати завдання відновлення температури поверхні металевого зразка (відома як обернена задача теплопровідності – ОЗТ), визначати граничні умови на його поверхні за наявності експериментальних даних за температурою в центрі зразка. В роботі представлено методику відновлення температурного поля поверхні зразка діаметром 50мм.

Оцінка охолоджуючих властивостей рідин нашим апаратно-програмним комплексом використовується для вибору оптимальної охолоджуючої рідини з метою одержання заданих властивостей металевого виробу, для контролю збереження охолоджуючих властивостей рідини [3, с. 37], і для комп'ютерного розрахунку коефіцієнта тепловіддачі циліндричних термозондів відповідно до прийнятих стандартів.

Розглянемо охолодження хромо-нікелевого зразка циліндричної форми розмірами 50x200 мм у 14% водному розчині NaCl при $T_{ж} = 20^{\circ}\text{C}$. Зразок оснащувався трьома хромель-алюмелевими термопарами – центральною (в геометричному центрі зразка), поверхневою (на поверхні зразка) та приповерхневою (на глибині 5 мм від поверхні зразка). Установка трьох термопар диктувалася необхідністю встановлення термопари на поверхні та ТП, встановленої на глибині 5мм від поверхні, для підтвердження точності відновлення температури поверхні $T_{ц}$ при вирішенні ОЗТ і можливості використання тільки однієї центральної термопари для коректного відновлення температури поверхні зразка.

Процес вирішення ОЗТ ітераційний. Після виконання ітерації рішення ОЗТ представляється у вигляді відновленої температури поверхні та розрахункової температури у будь-якій точці всередині зразка в інтервалі часу його охолодження.

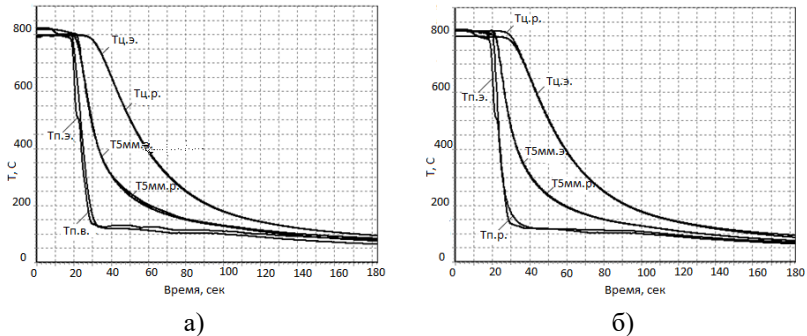
У процесі дозволу ОЗТ точність оцінюється середньо-інтегральною помилкою.

Ця помилка використовується для знаходження оптимального рішення при вирішенні оберненого завдання для конкретного експерименту.

Для візуальної оцінки також розраховується ще одна помилка, яка визначається як максимальна різниця між експериментальною (T_e) та розрахунковою (T_p) температурою у точці збору дослідних даних: $\Delta T = \max |T_p(T) - T_e(T)|$.

Оскільки при дослідженні процесів охолодження найбільші розбіжності відбуваються в основному в початковий проміжок часу, а в іншій, як правило, набагато більшій частині розбіжності зневажливо малі, саме остання формула помилки дає хорошу порівняльну оцінку якості рішення зворотних завдань для різних експериментів. Перша формула помилки дає характеристику, яка оцінює якість наближення у межах однієї й тієї задачі для одного експерименту.

Результати рішення ОЗТ при охолодженні зразка:



Графіки температури зонда 50x200 мм, що охолоджується в 14% водному розчині NaCl при $T_{ж} = 20^{\circ}\text{C}$, де:

а) $T_{ц.э.}$, $T_{п.э.}$, $T_{5мм.э.}$ – відповідно, експериментальні значення температури центру, поверхні та на відстані 5 мм від поверхні; $T_{ц.р.}$, $T_{5мм.р.}$, $T_{п.р.}$ – відповідно, температура розрахунка в центрі та на відстані 5 мм від поверхні, температура поверхні, відновлена (в результаті розрахунку ОЗТ $T_{5мм}$).

б) $T_{ц.э.}$, $T_{п.э.}$, $T_{5мм.э.}$ – відповідно, експериментальні значення температури центру, поверхні та на відстані 5 мм від поверхні; $T_{ц.р.}$, $T_{5мм.р.}$, $T_{п.р.}$ – відповідно, температура розрахунка в центрі та на відстані 5 мм від поверхні, температура поверхні відновлена (в результаті розрахунку ОЗТ по $T_{ц.э.}$).

Помилка при вирішенні ОЗТ за допомогою програми Iqlab склала: для варіанта а) – $4,1^{\circ}\text{C}$, а варіанта б) – $3,9^{\circ}\text{C}$, що є досить хорошою

точністю відновлення температури поверхні центральною термопарі на зразку такого розміру і не перевищує похибки вимірювання температури об'єкта в експериментах із хромель-алюмелевими термопарами.

Висновок: програма дозволяє вирішувати ОЗТ із прийнятною точністю відновлення температури поверхні лише по одній центральній термопарі, що значно полегшує проведення експерименту в технічному та економічному плані. А для більш габаритних зразків $D \geq 50$ мм необхідно встановлювати контрольні проміжні термопари та проводити дослідно-промислові випробування у виробничих умовах.

Література:

1. ISO 9950, “Industrial Quenching Oils–Determination of Cooling Characteristics – Nickel-Alloy Probe Test Method, 1995(E),” International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1995.
2. Использование программы IQLab для выбора оптимальных режимов процесса термообработки стальных изделий. Зотов Е.Н., Москаленко А.А., Добривечер В.В., Кобаско Н.И., Дейнеко Л.Н. Сборник докладов 6-й Международной конференции «Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов», (ОТТОМ-6), ч. II, Харьков, ННЦ ХФТИ, ИПЦ «Контраст», 2005.-с.106-115.
3. Moskalenko A.A., Razumtseva O.V., Protsenko L.N. Express Method for Restoring the Cooling Properties of Mineral Oils in Industrial Heat Treatment Technologies. DOI: 10.24412/2520-6990-2021-21108-37-41 Colloquium-journal» #21(108), 2021, p. 37-41.