

## METALLURGY

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-388-0-7>

### USE OF THE TEMPERATURE FIELD CALCULATION PROGRAM FOR THE SELECTION OF OPTIMAL MODES OF THERMAL TREATMENT OF METAL PRODUCTS

### ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМИ РОЗРАХУНКУ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ТЕРМООБРОБКИ МЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ

**Moskalenko A. A.**

*Candidate of Technical Sciences,  
Senior Research Officer,  
Institute of Engineering Thermophysics  
of the National Academy  
of Sciences of Ukraine  
Kyiv, Ukraine*

**Москаленко А. А.**

*кандидат технічних наук, старший  
науковий співробітник,  
Інститут технічної теплофізики  
Національної академії наук України  
м. Київ, Україна*

**Protsenko L. M.**

*Research Assistant,  
Institute of Engineering Thermophysics  
of the National Academy  
of Sciences of Ukraine  
Kyiv, Ukraine*

**Проценко Л. М.**

*молодший науковий співробітник,  
Інститут технічної теплофізики  
Національної академії наук України  
м. Київ, Україна*

**Razumtseva O. V.**

*Research Assistant,  
Institute of Engineering Thermophysics  
of the National Academy  
of Sciences of Ukraine  
Kyiv, Ukraine*

**Разумцева О. В.**

*молодший науковий співробітник,  
Інститут технічної теплофізики  
Національної академії наук України  
м. Київ, Україна*

Розробка технологій термічної обробки будь-яких металовиробів вимагає знання температурного поля металу в процесі нагрівання та охолодження для правильного вибору охолоджуючого середовища, способу та швидкості охолодження та отримання необхідної структури та властивостей металу, що обробляється. Найбільш поширеним видом термообробки сталевих виробів є гартування. Створення нових або оптимізація існуючих технологічних процесів, пов'язаних з термічною обробкою металовиробів (нагрів та охолодження з конкретною

інтенсивністю в рамках певних температурно-часових параметрів тощо) у металургії, машинобудуванні та інших галузях промисловості вимагає проведення значної кількості експериментів (лабораторних та промислових), пов'язаних із значними фінансовими, матеріальними та трудовими витратами.

Одним із способів визначення швидкості охолодження при гартуванні є термометрування. Для цього в різних місцях перерізу виробу розташовуються термопари, наприклад, в центрі циліндричної заготовки, на глибині радіуса від поверхні. Однак іноді такий спосіб важко реалізувати, особливо в умовах виробництва, і він вимагає значних матеріальних і часових витрат. Тому в даний час найбільш ефективним способом дослідження температурного поля виробів, що обробляються, є математичне моделювання процесів, що протікають при термічній обробці і, зокрема, при гартувальному охолодженні.

В Інституті технічної теплофізики Академії наук України розроблено автоматичну систему термоакустичного контролю процесу гартування, яка складається з вимірювального комплексу та програмного забезпечення, створеного Intensive Technologies Ltd., що дозволяє контролювати температурні поля металевих виробів при охолодженні [1, с. 354]. Існуючі програми моделювання процесу охолодження сталевих виробів ґрунтуються на чисельному рішенні рівняння теплопровідності. Однак, такі методики мало підходять для експрес аналізу процесу гартування, тому що при їх застосуванні необхідні професійні навички побудови математичних моделей, що містять велику кількість фізичних та технічних величин. Запропонована у роботі програма моделювання процесу охолодження виробів простої форми заснована на вирішенні задачі теплопровідності методом кінцевих різниць і може бути реалізована в більшості загальнодоступних програмних середовищ. Це може суттєво спростити та прискорити розробку технологічних процесів термічної обробки металевих виробів в умовах промислового виробництва.

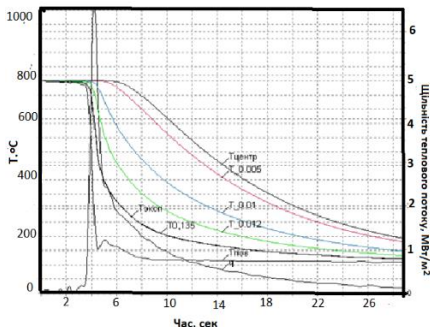
Програма призначена для вирішення одновимірних, нелінійних, прямих та зворотних задач теплопровідності у твердих тілах класичної форми: необмежений циліндр, куля та необмежена пластина за симетричних та несиметричних граничних умов. Програма дозволяє розрахувати температурне поле і завдяки зручному інтерфейсу програми можна з невеликими витратами часу провести підбір бажаних температурних режимів.

Дуже часто у практиці виробництва високоякісних сталевих або чавунних деталей виникає необхідність одержання в металі готового виробу певного структурного стану, що забезпечує необхідний рівень механічних властивостей при мінімальній залишковій напрузі. А це можливо при проведенні термічної обробки за умови знання

особливостей процесів структуроутворення за безперервного охолодження (тобто за наявності термкінетичної діаграми розпаду аустеніту-ТКД) або за ізотермічних умов охолодження (тобто за наявності ізотермічної діаграми розпаду аустеніту). Вирішення таких досить складних завдань можливе при використанні зазначеної програми, яка передбачає можливість використання будь-якої ТКД з накладенням на неї кривих охолодження, що забезпечують необхідний структурний стан та властивості. А за отриманими рішеннями можливо вибрати необхідне охолоджувальне середовище та температурно-часові умови режиму охолодження виробу, що обробляється. Можливо, за відомими критеріями інтенсивності охолодження металу для наявного охолоджуючого середовища (швидкість охолодження, коефіцієнт тепловіддачі, температурний потік) визначити температурно-часові межі прискореного охолодження, а при необхідності параметри переривання прискореного охолодження з продовженням охолодження на повітрі [2, с. 43–49]. Програма дозволяє вирішувати багато варіантів завдань і досить проста в експлуатації. При розв'язанні задач теплопровідності потрібно від 1 до 5 послідовних розрахункових циклів (ітерацій). Помилка сходження  $T_c$  експерим. і  $T_c$  розрах. становила 0,3–0,5 °С.

Вимірювання температури поверхні є технічно дуже складною задачею. Вимірювання температури всередині зонда є більш простим завданням порівняно з вимірюванням температури поверхні. Тому експериментально вимірюють температуру всередині тіла. При цьому виникає завдання відновлення температури, а також щільності теплового потоку на поверхні тіла для організації необхідних режимів термообробки. Однак, відновлення значень цих функцій є складним математичним завданням і зводиться до вирішення оберненої задачі теплопровідності. Програма дозволяє вирішувати також ОЗТ, визначати граничні умови на поверхні сталевих виробів за наявності експериментальних даних про температуру всередині виробу в одній точці [3, с. 91–96].

Практика експлуатації програми показує, що вона є дуже зручним та ефективним інструментом при обробці експериментальних даних та представлення їх для друку та аналізу. Крім описаних вище, програма IQLab має також такі можливості: редагування властивостей матеріалів (марок сталі або інших матеріалів) та додавання нових матеріалів із завданням їх властивостей (питома об'ємна теплоємність, теплопровідність, щільність, термкінетична діаграма). Теплофізичні властивості задаються таблично.



**Рис. 1. Температурне поле циліндра і щільність теплового потоку на поверхні при охолодженні у воді (Тводи=30°C). Радіус циліндра – 15 мм, висота – 120 мм, сталь – X18Н9Т. Текст. – температура у точці  $r=13,5$  мм, отримана під час експерименту.  $\square T = \text{Max}(T_{0,135} - T_{\text{експ}}) = 7,3^\circ\text{C}$  – максимальна відмінність розрахункової температури від експериментальної у точці  $r=13,5$  мм.**

Розроблена програма може бути необхідна не тільки вченим та виробничникам, а й навчальним закладам різного рівня акредитації для підготовки фахівців для лабораторних та практичних занять з використанням нагрівання та охолодження металевих деталей. Розробка також може бути корисною проектним організаціям, які займаються розробкою технологій, режимів та обладнання для теплової обробки металів.

### Література:

1. Москаленко А.А., Зотов Є.М., Лутов С.Д., Сімаченко А.В., та інші Розробка та промислові випробування системи управління та термоакустичної діагностики технології гартування сталевих виробів Тези IV Міжнародної конференції «Проблеми промислової теплотехніки», Київ, 2005, с. 354.
2. Москаленко А.А., Зотов Є.М., Проценко Л.М., Разумцева О.В., Дейнеко Л.М. Розробка технології та апаратно-програмного забезпечення ступінчастого охолодження при гартуванні великогабаритних деталей. *Промислова теплотехніка*. 2007. Т. 29. № 5. С. 43-49.
3. Зотов Є.М., Москаленко А.А., Разумцева О.В., Проценко Л.М., Добривечір В.В. Особливості застосування програми IQLab при вирішенні оберненої задачі теплопровідності для хромонікелевих циліндричних термозондів. *Журнал "Промислова теплотехніка"*. 2018. Т. 40, № 3. С. 91-96.