

Особливості визначення коефіцієнта теплопровідності металевої пластини

Ю.Й. Стрілецький

кафедра методів та приладів контролю якості і
сертифікації продукції
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
Івано-Франківськ, Україна
momental@ukr.net

В.А. Ровінський

кафедра інформатики
ДВНЗ «Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника»
Івано-Франківськ, Україна
x.audio.info@gmail.com

Specifics of determining thermal conductivity in metal plate

Y. Striletsky

Department of methods and devices of quality control and
certification of production
Ivano-Frankivsk National Technical University
of Oil and Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
momental@ukr.net

V. Rovinsky

Department of Informatics
Vasyl Stefanyk Precarpatian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
x.audio.info@gmail.com

Анотація—Запропоновано спосіб визначення коефіцієнта теплопровідності сталі за допомогою аналізу температури під час нестационарного теплового процесу утвореного точковим нагріванням.

Abstract—A method for determining the thermal conductivity of steel by analyzing temperature during the unsteady thermal process formed by heating point was proposed.

Ключові слова—коефіцієнт теплопровідності, рівняння теплопровідності, перуїлівний контроль, вимірювання температури, згладжування апроксимацією

Keywords—thermal conductivity, heat equation, non-destructive control, temperature measurement, smoothing by approximation

I. ВСТУП

Розвиток сучасного суспільства отримав найбільшого прискорення із початком промислової революції, яка була неможлива без масового виготовлення металу. Метал як конструкційний матеріал дозволив побудувати верстати і механізми, що суттєво підвищило продуктивність праці і докорінно змінило людське життя.

Сталь – відносно легкий і міцний метал, з якого виготовляють більшість сучасних промислових виробів. Цей метал може багаторазово перероблятися, тому

використання сталі здешевлює виробництво. Однак внаслідок експлуатації вона змінює свої властивості. Окрім явних ознак руйнування, які викликають корозійні процеси і надмірні навантаження, сталь може змінювати свою структуру. Одним із чинників зміни структури сталі є механічне навантаження, яке не руйнує деталь, а тільки безповоротно деформує її. При цьому проходить холодна пластична деформація внутрішньої структури сталі та змінюються її фізичні властивості. Після пластичної деформації експлуатувати деталь не можна.

Сталь є застиглою сумішшю матеріалів, які змішуються при плавленні. Оскільки змішувані матеріали різноманітні за своєю природою, то і застигають вони при різній температурі. Це призводить до появи матеріалу, що складається із частинок, які умовно називають зернами. Відомо, що при пластичній деформації сталі змінюється розмір і кількість зерен, із яких вона складається. При зміні параметрів зерен змінюється коефіцієнт теплопровідності сталі. Тому, вимірюючи теплопровідність сталі, можна виявити ділянки із зміненою структурою, що може свідчити про наявність пластичної деформації.

II. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Коефіцієнт теплопровідності характеризує здатність речовини проводити тепло. Його числове значення

визначається як відношення питомого теплового потоку до одиниці температурного градієнта, або як кількість тепла, що протікає через одиницю поверхні за одиницю часу при спаді температури по нормалі до цієї поверхні на 1°C на одиницю довжини. Також коефіцієнт теплопровідності входить до складу коефіцієнта температуропровідності. Коефіцієнт температуропровідності характеризує швидкість вирівнювання температури при нестационарній теплопровідності.

За умови незмінності фізичних параметрів металу при нагріві рівняння теплопровідності можна записати наступним чином[1]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \cdot \nabla^2 T - \beta \cdot T$$

де T – температура в точці матеріалу, t – час, ∇ – оператор Лапласа, a – коефіцієнт температуропровідності, β – коефіцієнт тепловіддачі поверхні.

Коефіцієнт теплопровідності λ визначається наступним чином:

$$\lambda = a \cdot c \cdot \rho,$$

де a – коефіцієнт температуропровідності, c – питома теплоємність матеріалу, ρ – питома густина матеріалу.

Якщо для досліджень вибрати пластину, яку можна ізолювати від випромінювання теплової енергії, а для створення нестационарного теплового поля використати точковий нагрівник, то рівняння теплопровідності спрощується до наступного виду:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial r^2},$$

де r – відстань до точки прикладання джерела нагрівання.

Таким чином коефіцієнт температуропровідності є узгоджуваним коефіцієнтом між швидкістю зміни температури і прискоренням віддалення від точки нагрівання.

Дане рівняння розв'язується із врахуванням конкретних краєвих умов. Для випадку миттєвого точкового джерела нагрівання із потужністю Q в середовищі із нульовою температурою у всіх точках розподіл температури буде описуватися такою залежністю:

$$T(r,t) = \frac{Q}{c \cdot \rho \cdot (4\pi \cdot a \cdot t)^{3/2}} \cdot e^{-\frac{r^2}{4 \cdot a \cdot t}}$$

Для випадку тонкого безмежного диска, який нагрівається в точці протягом певного часу, розподіл температур буде визначатися наступною залежністю[2]:

$$T_{min}(r,t) = -\frac{\gamma}{2} \cdot Ei\left(-\frac{r^2}{4 \cdot a \cdot t}\right)$$

де h – товщина пластини, Ei – інтегральна показникова функція.

Коефіцієнт γ визначається за формулою:

$$\gamma = \frac{Q}{2\pi \cdot \lambda \cdot h}$$

Наведені рішення показують, що температура на поверхні пластини складним чином залежить від коефіцієнта температуропровідності a , до складу якого входить шуканий коефіцієнт теплопровідності.

III. ПРАКТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для визначення коефіцієнта теплопровідності сталі, з якої виготовлено пластину без її руйнування, було розроблено пристрій, що вимірює температуру в множині точок, які знаходяться на радіальній лінії і фіксованій віддалі від точки нагрівання. Нагрівання пластини проводилося за допомогою модуля Пельтьє.

Результати виміряної температури, отриманої в цих точках протягом певного проміжку часу, наведено на рис.1.

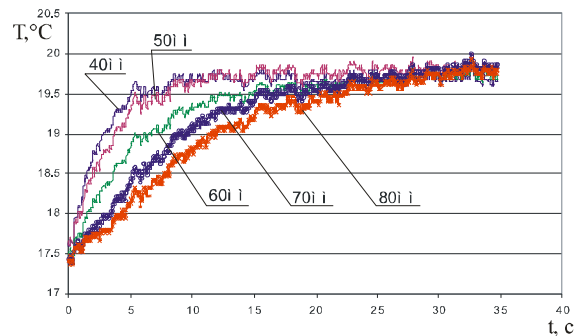


Рис. 1. Залежність температури, виміряної в п'яти точках від часу

Чим далі від точки нагрівання знаходиться точка вимірювання температури, тим менша швидкість зростання температури.

Залежність температури в різних точках для декількох моментів часу наведено на рис.2.

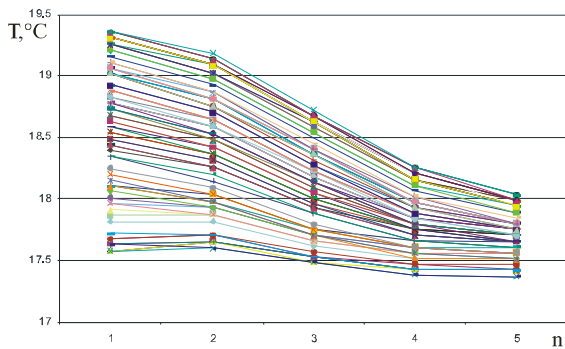


Рис. 2. Температура в п'яти точках, виміряних в різний момент часу під час нагрівання

В даному випадку – чим більше часу пройшло з початку нагріву, тим вища температура. Чим ближче точка вимірювання температури до точки нагрівання, тим більша динаміка наростання температури. Через деякий час всі точки нагріються до одної усталеної температури.

Із наведених графіків видно, що результати вимірювання температури мають випадкові складові, особливо ті, які залежать від часу. Тому використати виміряні дані для визначення коефіцієнта теплопровідності є некоректно.

Виміряні значення згладжені поліномом третього порядку. Згладжену залежність представлено на рис.3.

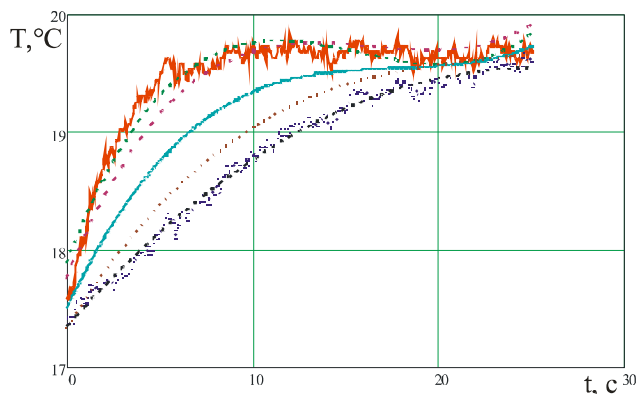


Рис. 3. Результат згладжування виміряної температури. Перехідні процеси при запуску генератора.

Числове диференціювання по часу, ігноруючи складові менших порядків, проводилося за допомогою залежності[3]:

$$T'(r, i) = \frac{3 \cdot y_{i,r} - 4 \cdot y_{i-1,r} + y_{i-2,r}}{2}$$

Числове диференціювання по відстані з ігноруванням складових менших порядків проводилося наступним чином:

$$T''(r, i) = y_{i,r+1} - 2 \cdot y_{i,r} + y_{i,r-1}$$

Знайшовши значення похідних, було визначено залежність для коефіцієнта теплопровідності в різний час експерименту(рис.4).

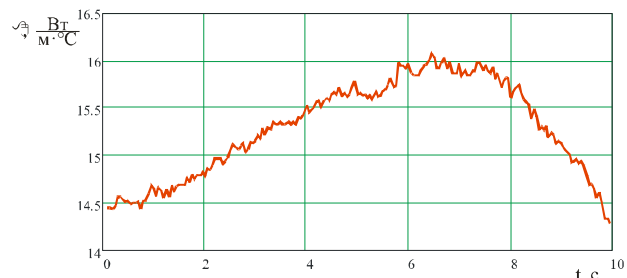


Рис. 4. Залежність коефіцієнта теплопровідності визначеної за різними даними під час експерименту

Із наведеної залежності видно, що отримане неточне значення коефіцієнту теплопровідності. Це зумовлено похибками у вимірюванні температури і похибками привнесеними обробкою набору дискретних значень. Проте отриманий результат дає можливість оцінити зміни в структурі металу.

Висновки

За допомогою нестационарного теплового процесу, який утворюється при нагріванні тонкої пластини зі сталі можна визначити її коефіцієнт теплопровідності. Для визначення коефіцієнта теплопровідності розроблено і виготовлено пристрій для нагрівання пластини в точці до фіксованої температури і вимірювання розподілу температури на її поверхні впродовж нагріву. При проведенні експериментального дослідження результати вимірювання температури згладжувалися поліномом третього порядку. Подальше числове диференціювання по часу і відстані дало можливість визначити коефіцієнт теплопровідності матеріалу, із якого було виготовлено досліджувану пластину.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Г. Паркус Неустановившиеся температурные напряжения. М. Физматгиз. 1963. 252с.
- [2] Н. Н. Рыкалин Расчеты тепловых процессов при сварке. М. Гос. Н.т. изд. Машиностроительной литературы. 1951. 290с.
- [3] И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов.//М. Наука. 1981.720с.