

Дослідження проблеми узгодження можливостей процесорів і мережевого інтерфейсу в багатопроцесорних обчислювальних системах

Башков С.О.¹, Іващенко В.П.², Швачич Г.Г.², Ткач М.О.²

¹Донецький національний технічний університет,

²Національна металургійна академія України

bashkov@pmi.dgtu.donetsk.ua

Abstract

Bashkov E.A., Ivashchenko V.P., Shvachych G.G., Tkach M.A. "Investigation of the problem of concordance of the possibilities of processors and network interface in the multiprocessor computer systems" The article is devoted to investigation of problem of concordance of the possibilities of processors and the network interface in the multiprocessor computer systems. The main attention is concentrated on investigating the efficiency and acceleration of calculations for solving the problem of heat treatment of metal products due to application of the multiprocessor computer systems. Analytical correlations for getting the optimum number of knots in the multiprocessor system through through parameters of the latter had been introduced.

Keywords: multiprocessor computer system, acceleration, efficiency, load of computer network factor, computing nodes.

Вступ

Нині термічна обробка (ТО) металу є найбільш перспективним способом докорінного покращення споживчих якостей металовиробів. При цьому сталь для холодної висадки повинна мати у початковому стані структуру зернистого перліту оціненим певним балом, тобто такого, що має глобулярну форму карбідної фази певного розміру. Для отримання структури з частково або повністю сфероїдизованою карбідною фазою металовироби піддаються сфероїдизувальному відпалюванню. Щоб вирішити окреслені вище проблеми, було розроблено установку для термічної обробки довгомірного сталевого виробу [1]. При цьому дослідження, спрямовані на вивчення особливостей термічної обробки металу за допомогою такої установки, набули свого розвитку в роботах [2 – 6]. Розроблена установка призначена для термічної обробки металів і сплавів. Застосування установки має на меті поліпшення технологічних властивостей металопрокату за рахунок забезпечення високої дисперсності й однорідності структури зразка на всій площині його перерізу. При цьому технологічний процес термічної обробки сталі повинен набувати таких переваг, як висока продуктивність, знижене енергоспоживання, поліпшення експлуатаційних характеристик. Зазначених властивостей технологічного процесу ТО металопрокату досягають за рахунок застосування багатопроцесорної обчислювальної системи [7 – 11]. Багатопроцесорна обчислювальна система монтується у вигляді окремого модуля і дозволяє на основі математичної моделі процесу

нагрівання зразка вже у виробничних умовах контролювати нагрівання дроту до переходу в аустенітну область до температури фазової перекристалізації на всій площині перерізу довгомірного сталевого виробу, а потім, розв'язавши обернену задачу теплопровідності (ОЗТ), здійснювати контроль необхідного режиму ізотермічної витримки в інтервалі температур відпалювання на всій площині перерізу зразка. Застосування установки для реалізації режиму сфероїдизувального відпалювання зумовлює рівномірний розподіл глобул цементиту у феритній матриці, що забезпечує необхідні механічні властивості металу, потрібні для подальшого виконання холодної деформації.

Мета та постановка проблеми досліджень

Для випробування функцій установки було проведено кілька експериментів, коли дріт діаметром 20 мм із сталі 20Г2Р піддавався термічній обробці. За початкову було взято ферито-бейнітну (мартенситну) структуру заготовки. Зауважимо, що термічна обробка металовиробу відбувається відповідно до заданих перехідних процесів. На першому етапі процес термічної обробки матеріалу здійснювався шляхом нагрівання заготовки в межах міжкритичної зони. Для заданого матеріалу встановлено такі значення критичних точок: $A_{c1} = 725 \text{ }^\circ\text{C}$; $A_{c3} = 795 \text{ }^\circ\text{C}$. Нагрівання відбувалось до такого значення: $A_{c1} + (10 \div 30 \text{ }^\circ\text{C})$. На наступному етапі обробки матеріалу було реалізовано процес ізотермічної витримки

протягом 45 с. Далі тривав процес охолодження зі швидкістю $20 \div 30$ °C/с до температури 720 °C з подальшою ізотермічною витримкою протягом 45 с. Нарешті, на останньому етапі обробки матеріалу зразок нагрівали зі швидкістю $15 \div 25$ °C/с до підкритичних температур. У зазначеному технологічному процесі критичним є режим нагрівання зразка, який триває 12 с. Отже, виникає проблема узгодження можливостей процесорів і мережевого інтерфейсу, яка полягає в забезпеченні контролю температурних режимів для заданого часового проміжку.

Яким чином можна узгодити можливості процесорів і мережевого інтерфейсу багатопроесорної системи в даній роботі показано на прикладі застосування в багатопроесорній системі процесорів двох типів *Intel Pentium 4 3 GHz* і *Intel E8400 3 GHz*. Для визначеності передбачимо, що довжина лінії термічної обробки металовиробу становить 7,65 м і на ній обробляється дріт діаметром 20 мм із сталі 20Г2Р. До того ж встановлено розмір різницевої сітки 100 x 76500. Уводимо також такі величини:

$$E_i = 76500, \quad E_y = 100, \quad (1)$$

де E_i – довжина масиву граничної області, одночасно ця величина визначає довжину різницевої сітки по осі абсцис, E_y – довжина різницевої сітки по осі ординат.

Мета досліджень полягає у виконанні процедури узгодження обчислювальних можливостей процесорів багатопроесорної системи з мережевим інтерфейсом цієї системи, крім того, необхідно встановити оптимальне число вузлів кластерної системи, що керує процесом термічної обробки металовиробу.

Математична модель досліджень, проблема моделювання режимів термічної обробки металу

Багатопроесорна обчислювальна система зі спеціальним програмним забезпеченням як єдина база включає математичні моделі у вигляді рівняння теплопровідності, тобто

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + W, \quad (2)$$

при цьому критерій Фур'є $\tau = \alpha t / R^2$, ($\tau > 0$), W – питома потужність у вигляді джерел тепла, Вт/м².

Крайові умови цього рівняння мають такий вигляд:

$$\begin{aligned} T(0, r, z) &= f(r, \tau); \\ T(\tau, l, z) &= \text{var}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial T(\tau, 0, z)}{\partial r} &= 0; \\ T(\tau, 0, z) &\neq 0. \end{aligned}$$

Два останні в крайових умовах співвідношення свідчать, що значення температури на ділянці осі циліндра протягом усього процесу теплообміну має бути скінченим. За координатою z граничні умови, залежно від особливостей розв'язуваної задачі, можуть бути першого, другого або третього роду. Розв'язують задачу (2) із застосуванням методів розщеплювання, суть яких полягає в редукації складного оператора (2) до простих. Цей підхід дозволяє проінтегрувати дане рівняння як послідовність інтегрування одновимірних рівнянь простішої структури.

Зауважимо, що тут саме задача керування (як і задача синтезу) в її точній постановці відноситься до класу обернених, оскільки вона передбачає визначення керуючих функціональних параметрів на основі заздалегідь заданого, необхідного результату (обернена задача керування). Алгоритмом розв'язування обернених задач слугує метод "вилки" з попереднім визначенням деякого початкового відрізка. Розв'язування задачі реалізується в два етапи. На першому реалізується відокремлення мінімуму нев'язки, на другому визначається мінімум шуканої функції керування з відокремленого інтервалу. Зазначена процедура реалізується стандартно. Інакше кажучи, якщо ϑ являє собою деяке дійсне значення шуканого кореня, тобто, коли $\alpha \leq \vartheta \leq b$, а $f(\vartheta) = 0$, тоді можна визначити число w таким, що задовольняє умови: $\alpha \leq \vartheta \leq b$ та $|\vartheta - w| < \varepsilon$, тобто меншим від будь-якого наперед заданого малого числа ε . Подібна схема включена до складу математичного апарату керування багатопроесорною обчислювальною системою.

Проблема моделювання полягає в тому, що для забезпечення необхідної точності й стійкості обчислень доводиться брати розрахункову сітку з чималою кількістю вузлів і виконувати безліч ітерацій. Унаслідок цього число арифметичних операцій, що необхідні для розрахунку температурних полів, перебуває в межах $10^7 \div 10^8$ вузлів, а коли крок за часовою ознакою становить 10^{-2} с, тоді загальна кількість вузлів для обчислень може досягти 10^{20} і більше. Однопроесорні обчислювальні системи не можуть впоратись з таким навантаженням під час моделювання в реальному масштабі часу, тому найбільш виправданим буде застосування багатопроесорних систем, що й було здійснено з метою удосконалення технології термічної обробки довгомірного сталевих виробу.

Особливості застосування процесора Intel Pentium 4 3 GHz

Встановлення оптимального числа вузлів кластерної системи

Зазначимо, що обчислювальними методами розв'язування задачі теплопровідності слугували числово-аналітичні схеми підвищеного порядку точності, висвітлені в роботах [12–14]. На одному тестовому комп'ютері, оснащеному процесором Intel Pentium 4 3 GHz, швидкість розрахунку задачі теплопровідності при використанні компілятора Intel Fortran Compiler становила 0,15 с на одну ітерацію для різницевої сітки (1) елементів типу Real*8. Таким чином, швидкість обчислень при розв'язуванні задач даного класу з використанням процесора Intel Pentium 4 3 GHz дорівнюватиме $3,1 \cdot 10^9$ біт/с. Якщо таку швидкість позначити символом V_c , тоді аналітичне співвідношення для визначення часу рахунку однієї ітерації можна записати в такому вигляді:

$$T_{calc} = \frac{E_i \cdot E_y \cdot K_R}{V_c}, \quad (3)$$

де K_R – обсяг однієї різницевої комірки елемента типу Real-8 (64 біт). Проведемо аналіз співвідношення (3). Тут параметр W_c залежить як від потужності центрального процесора, так і від застосованих обчислювальних методів. При виконанні завдань різного типу його значення, безумовно, зазнає змін. Крім того, у такий параметр закладено інформацію про “потужність обчислень”, тобто кількість математичних операцій, що можуть бути виконані в межах однієї комірки різницевої сітки.

Очевидно, що співвідношення (3) потребує свого уточнення з огляду на специфіку режимів роботи установки термічної обробки довгомірного виробу. Так, зауважимо, що швидкість протягання довгомірного виробу $V_{pr} = 60$ мм/с. Це означає, що за одну секунду дріт буде переміщуватися на 60 мм, а це не дає можливості контролювати температурні режими протягання за всією довжиною технологічної лінії. У цьому випадку співвідношення (3) можна подати в такому вигляді:

$$T_{calc} = \frac{E_1 \cdot E_y \cdot K_R}{V_c} \cdot K_{pr}. \quad (4)$$

Тут величина K_{pr} враховує швидкість протягання заготовки крізь пристрій термічної обробки довгомірного виробу, матеріальний баланс розподілу тепла при нагріванні (охолодженні) дроту і відповідає такому співвідношенню:

$$K_{pr} = V_{pr} \cdot \frac{t}{h}, \quad (5)$$

де t – час обчислень на одиницю переміщення установки, с; h – величина кроку обчислювальної сітки, мм.

Проведені обчислення показали час розрахунку однієї ітерації $T_{calc} = 83,6$ с. Разом з тим, увесь процес термічної обробки дроту займає 114 с. Зрозуміло, що один процесор не в змозі реалізувати режим визначення температурних полів протягом кожного циклу термічної обробки дроту. За таких обставин необхідно застосовувати кластерні технології визначення температурних полів заготовки. Таким чином, подальші дослідження будуть спрямовані на визначення оптимального числа лез багатопроцесорної системи, яка керує термічною обробкою довгомірного виробу, з огляду на обчислювальні можливості обраного процесора.

Відповідно до методики дослідження впливу мережевого інтерфейсу на ефективність багатопроцесорної кластерної системи, яка розкрита в [15], визначимо час граничного обміну даними, коли згадана система працює в режимі дефіциту й профіциту мережевого інтерфейсу [15].

Вихідні дані для вивчення такого режиму роботи багатопроцесорної системи надані в таблиці 1.

В таблиці 1 прийняти наступні позначення: V_p – пропускна здатність мережі системи, Гбіт/с; k – кількість каналів зв'язку обчислювальної мережі, які працюють одночасно (кількість обчислювальних мереж); значення величини m може дорівнювати одиниці в умовах одностороннього режиму граничного обміну даними, або двом – двостороннього; d – напівдуплексний ($d = 1$) або дуплексний ($d = 2$) режим роботи обчислювальної мережі багатопроцесорної системи.

Таблиця 1. – Вихідні дані для розрахунку характеристик багатопроцесорної системи при застосуванні процесора Intel Pentium 4 3 GHz

V_p	1 Гбіт/с
E_i	100
V_c	$3,1 \cdot 10^9$ біт/с
K_R	8 біт
m	2
d	2
k	2

За основу для визначення часу граничного обміну даними в кластерній системі при роботі в режимі дефіциту її мережевого інтерфейсу скористаємося співвідношенням такого вигляду:

$$T_{ex1} = \frac{m \cdot (N-1) \cdot E_i \cdot K_R \cdot K_{pr}}{k \cdot d \cdot V_p}. \quad (6)$$

Щоб обчислити час граничного обміну даними при роботі кластерної системи в режимі профіциту її мережевого інтерфейсу, застосуємо співвідношення такого вигляду:

$$T_{ex2} = \frac{m \cdot (N-1) \cdot E_i \cdot K_R \cdot K_{pr}}{k_m \cdot d \cdot V_b}. \quad (7)$$

Далі, розглядаючи багатопроцесорну систему в умовах виконаного експерименту, встановимо в ній кількість вузлів, яка може забезпечити якнайефективніше розв'язування задачі. При цьому зауважимо, що час розрахунку однієї ітерації обчислювального процесу складається із двох доданків: часу безпосереднього обчислення на процесорах і часу обміну даними між обчислювальними вузлами кластера, тобто

$$T_{it} = T_{calc} + T_{ex}. \quad (8)$$

При цьому в роботах [15, 16] показано, що швидкість обчислень зростатиме приблизно до моменту, коли

$$T_{calc} \approx T_{ex}. \quad (9)$$

Таким чином, на підставі співвідношення (9) можна розрахувати кількість вузлів у кластерній обчислювальній системі, потрібну для ефективного розв'язування задачі. Відзначимо, що даний етап досліджень має на меті зменшення загального часу розрахунку шляхом розпаралелювання програми. Очевидно, що при цьому загальний розмір різницевої сітки не залежить від числа обчислювальних вузлів кластерної системи. Враховуючи співвідношення (9), отримуємо аналітичні вирази для визначення оптимального числа вузлів кластерної системи при її роботі в режимі дефіциту мережевого інтерфейсу, тобто

$$\frac{T_{calc}}{N} \approx \frac{m \cdot (N-1) \cdot E_i \cdot K_R \cdot K_{pr}}{k \cdot d \cdot V_p}. \quad (10)$$

Також маємо такий вираз для профіциту мережевого інтерфейсу:

$$\frac{T_{calc}}{N} \approx \frac{m \cdot (N-1) \cdot E_i \cdot K_R \cdot N \cdot K_{pr}}{k_m \cdot d \cdot V_b}. \quad (11)$$

Користуючись виразами (10) і (11), можна отримати два рівняння відносно N для визначення оптимального числа вузлів кластерної системи, при якому загальний час обчислень, потрібний для розв'язування задачі, буде мінімальним. У зв'язку з цим рівняння (10) зводиться до квадратичного вигляду, тобто

$$N^2 - N - \frac{E_y \cdot k \cdot d \cdot V_p}{m \cdot V_c} = 0. \quad (12)$$

Для зручності аналізу рівняння (11) запишемо таким чином:

$$N^2 - N - \lambda = 0. \quad (13)$$

У рівнянні (13) $\lambda = f(E_y, V_b, 1/V_c)$, і цю

величину можна трактувати як коефіцієнт узгодженості можливостей обраних процесорів, мережевого інтерфейсу і величини області обчислень, коли система працює в режимі дефіциту мережевого інтерфейсу. Крім того, необхідно підкреслити, що відповідність можливостей кластерної системи характеру розв'язуваних задач вимагає узгодження всіх складових, які входять у значення величини λ . Проведемо аналіз цього коефіцієнта. На перший погляд, результат виявився дещо парадоксальним. Він свідчить про те, що коефіцієнт узгодженості λ , як і оптимальне число лез у кластерній системі, не залежить від розміру області обміну даними. Таке твердження можна пояснити тим, що розподіл області обчислень між вузлами кластерної системи виконувався при незмінному її розмірі. Це означає, що співвідношення часу, який витрачається на обробку даних цієї області, і часу пересилання їх теж залишався незмінним і таким, що не залежить від її розміру. Другий дуже важливий висновок полягає в тому, що оптимальне число лез у кластерній системі, яке забезпечує найбільшу її швидкодію, зменшується із збільшенням обчислювальної потужності процесорів, що входять до неї. Таке твердження стає цілком зрозумілим, коли врахувати, що мережевий обмін даними між вузлами кластерної системи буде тим помітніше гальмувати загальний процес обчислень (8), чим менше часу буде витрачатися безпосередньо на розв'язування певної задачі.

Таким чином, розв'язком рівняння (2) будуть два корені, один з них від'ємний, а інший – додатний. Виходячи з поставлених фізичних умов завдання, приймається додатний корінь, значення якого дорівнює восьми, отже $N = 8$. Зауважимо, що такий результат задовольняє нерівності, яка встановлює умови функціонування кластерної системи в режимі дефіциту мережевого інтерфейсу [15].

Рівняння (11) зводиться до кубічного вигляду, тобто

$$N^3 - N^2 - \frac{E_y \cdot k_m \cdot d \cdot V_b}{m \cdot V_c} = 0. \quad (14)$$

Для зручності аналізу запишемо його таким чином

$$N^3 - N^2 - \mu = 0. \quad (15)$$

У рівнянні (15) $\mu = f(E_y, V_b, 1/V_c)$, і дану величину можна вважати коефіцієнтом

узгодженості можливостей обраних процесорів, мережевого інтерфейсу і величини області обчислень, коли система працює в режимі профіциту мережевого інтерфейсу. Проаналізуємо значення цього коефіцієнта. Можна зробити висновок, що оптимальне число лез у кластерній системі, здатне забезпечити найбільшу її швидкодію, буде залежати від величини області обчислень, можливостей комутатора й обчислювальної потужності процесорів, з яких складається кластерна система. Варіація зазначених параметрів і дозволяє обрати відповідну кількість лез при роботі системи в режимі профіциту мережевого інтерфейсу.

Унаслідок розв'язування рівняння (14) буде отримано три корені, зокрема, два уявні, а один дійсний. Дійсний корінь відповідає такій кількості вузлів: $N = 33$. Проте, аналіз цього результату свідчить, що він не задовольняє умову функціонування кластерної системи в режимі профіциту мережевого інтерфейсу [15]. Проаналізувавши отримані результати моделювання, можна зробити висновок, що в умовах задачі, яка досліджується, оптимальне число лез кластерної системи буде відповідати $N = 8$.

Дослідження ефективності кластерної системи при застосуванні процесора Intel Pentium 4 3 GHz

Подальші дослідження мали на меті оцінити ефективність розпаралелювання. Вихідні дані для вивчення такого режиму роботи багатопроесорної системи наведено в таблиці 1. На цьому етапі досліджень були використані аналітичні співвідношення, виведені в [15].

Отримані результати моделювання подано у вигляді графічних залежностей (рис. 1, 2). На рисунку 1 лінією 1 показано час розв'язку задачі на N процесорах, лінія 2 відображає час граничного обміну даними, а лінія 3 показує загальний час розв'язку задачі.

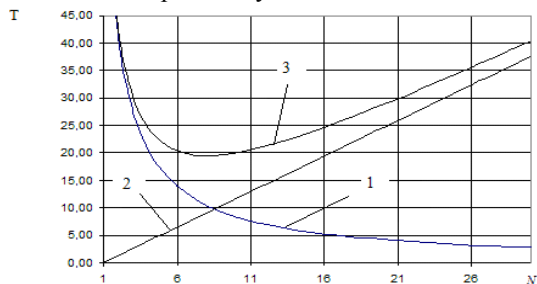


Рисунок 1. — Криві залежності часу розрахунку однієї ітерації від кількості вузлів багатопроесорної системи при застосуванні процесора Intel Pentium 4 3 GHz

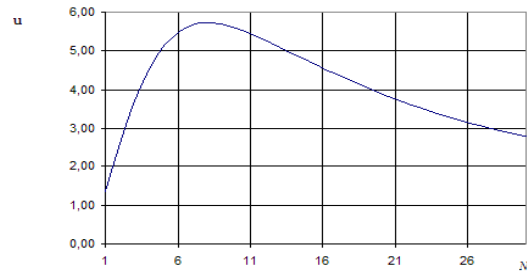


Рисунок 2. — Крива залежності прискорення обчислень від кількості вузлів багатопроесорної системи при застосуванні процесора Intel Pentium 4 3 GHz

Таким чином, маємо передумови для кількісного оцінювання ефективності багатопроесорної системи. У рамках цього завдання оптимальне число вузлів у кластерній системі, при якому досягається максимальна ефективність розпаралелювання, $N = 8$. Такий розмір кластера забезпечить у 4,28 рази швидше, розв'язування задачі, ніж на одному комп'ютері. Як показують розрахункові дані, запропонований режим роботи кластера дозволив не тільки підвищити ефективність системи, але й суттєво скоротити час обчислень, з 83,11 до 19,52 с. Разом з тим, зауважимо, що така величина прискорення обчислень не в змозі забезпечити контроль температурних полів при термічній обробці металовиробу протягом усіх її циклів. В такому випадку необхідно застосовувати більш потужні процесори, тому наступний розділ статті і спрямовано саме на висвітлення таких досліджень.

Особливості застосування процесора Intel E8400 3 GHz

За рівних інших умов розглянемо, яким чином відбувається процедура узгодження можливостей процесора Intel E8400 3 GHz з мережевим інтерфейсом кластерної системи. Принагідно зауважимо, що аналіз співвідношень (12, 13) дозволяє зробити висновок, згідно з яким при збільшенні потужності процесорів кластера можна очікувати суттєвого зростання ефективності розпаралелювання. Очевидно, що ця процедура повинна виконуватися на фоні зменшення кількості вузлів кластерної системи. Для перевірки таких припущень було взято процесор Intel E8400 3 GHz, який для заявлених чисельних методів дає швидкість $1,47 \cdot 10^{10}$ біт/с. В той же час мережеве устаткування кластерної системи залишається незмінним. Вихідні дані для вивчення такого режиму роботи багатопроесорної системи надані в таблиці 2.

Таблиця 2. – Вихідні дані для розрахунку характеристик багатопроцесорної системи при застосуванні процесора Intel E8400 3 GHz

V_p	1 Гбіт/с
E_i	100
V_c	$1,46 \cdot 10^{10}$ біт/с
K_R	8 біт
m	2
d	2
k	2

Визначення оптимального числа вузлів кластерної системи при застосуванні процесора Intel E8400 3 GHz

Завдання досліджень полягає, з одного боку, у визначенні оптимального числа вузлів кластерної системи при термічній обробці металовиробу, а, з іншого боку, необхідно виконати процедуру узгодження обчислювальних можливостей процесора Intel E8400 3 GHz з мережевим інтерфейсом кластерної системи. За основу проведених досліджень були взяті аналітичні співвідношення (13) – (15).

Проведений аналіз отриманих результатів моделювання показав наступне. В умовах задачі, яка досліджується, оптимальне число вузлів кластерної системи буде відповідати $N = 4$. Такий результат і підтвердив раніше висунуті припущення. Подальші дослідження спрямовані на вивчення оцінок ефективності розпаралелювання.

Дослідження ефективності кластерної системи при застосуванні процесора Intel E8400 3 GHz

Даний етап досліджень реалізовано відповідно до аналітичних співвідношень, виведених у роботі [15]. Отримані результати моделювання представлені також у вигляді графічних залежностей (рис. 3, 4).

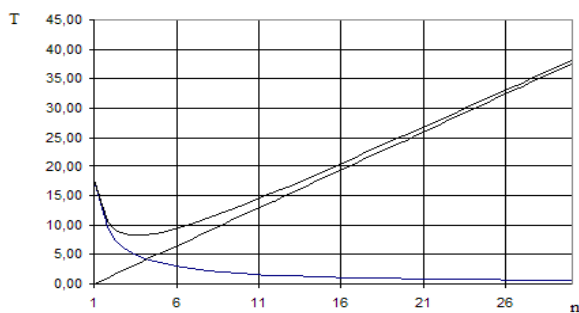


Рисунок 3. – Криві залежності часу розрахунку однієї ітерації від кількості вузлів багатопроцесорної системи при застосуванні процесора Intel E8400 3 GHz

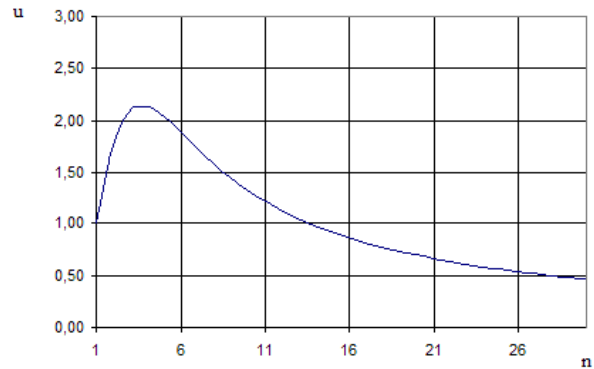


Рисунок 4. – Крива залежності прискорення обчислень від кількості вузлів багатопроцесорної системи при застосуванні процесора Intel E8400 3 GHz

Отже, маємо передумови для кількісної оцінки ефективності багатопроцесорної системи. В рамках даної задачі оптимальне число вузлів кластерної системи, при якому досягається максимальна ефективність розпаралелювання, відповідатиме $N = 4$. При вибраному розмірі кластера задача розв'язуватиметься в 2,13 раз швидше, ніж на одному комп'ютері. Як показують розрахункові дані, такий режим роботи кластера дозволив суттєво скоротити час обчислень. Так, час обчислень зменшився з 17,75 с до 8,33 с. Зауважимо, що таке значення прискорень обчислень зможе дозволити контролювати температурні поля при термічній обробці металовиробу за всіма її циклами.

Експериментальні дослідження

За початкову було взято ферито-бейнітну (мартенситну) структуру заготовки. На рис. 5 зображено криві розподілу температури зразка на площині його перерізу, де T_n – температура нагрівання поверхні зразка, T_k – контрольована засобами багатопроцесорної обчислювальної системи температура фазового перетворення металу (A_{c1}) на площині перерізу зразка. Особливість контролю температури зразка полягає в забезпеченні прогрівання усїєї його маси до температур, заданих відповідним режимом. Криві розподілу температури в зразку характеризують особливість прогрівання металу на всій площині його перерізу. Моделювання таких температурних полів здійснюється з урахуванням зміни теплофізичних властивостей матеріалу під час його нагрівання.

На рисунку 6 подано криві розподілу температури зразка по довжині в процесі його нагрівання, де цифрою 1 позначено температуру поверхні (T_n), а 2 – температуру в центрі площини перерізу.

Зона I відображає процес нагрівання зразка до заданої температури на його поверхні, а область II демонструє вихід на заданий температурний режим у центрі площини перерізу зразка.

У ході експерименту було проаналізовано структуроутворення в матеріалі зразків. На рисунку 7, а зображено початкову феритобейнітну (мартенситну) структуру металу. Остаточний вигляд структури матеріалу після сфероїдизації подано на рис. 7, б. Структура являє собою перліт зернистий за стандартною оцінкою в 2 бали, його твердість становить 148 – 179 НВ.

Отже, виконана сфероїдизація карбідної

фази в умовах відповідних режимів термічної обробки заготовок забезпечує надання матеріалу структури зернистого перліту. Причому швидкісна сфероїдизація зумовлює більш рівномірний розподіл глобул цементиту у феритній матриці (рис. 7, б). Зразки зі сталі майже однакової твердості після термічної обробки набули дрібнодисперсної структури, що забезпечує більш високий рівень пластичності металу. Унаслідок швидкого нагрівання зразка і неповної аустенізації сталі відбуваються певні зміни в морфології карбідної фази від пластинчастої до дрібнодисперсної глобулярної.

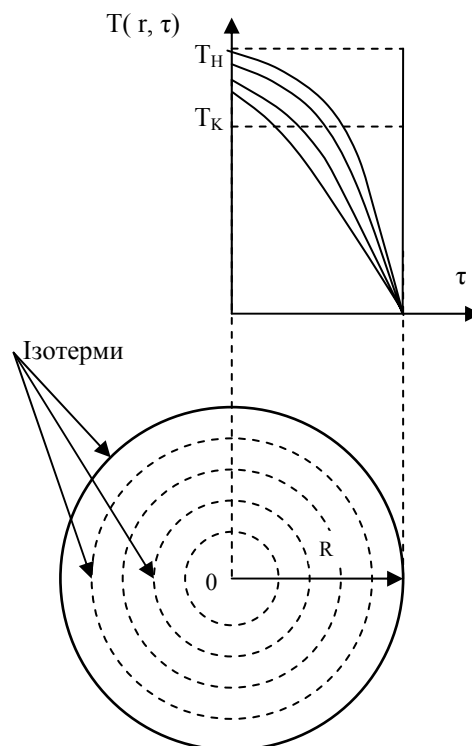


Рисунок 5. – Графіки розподілу температури зразка на площині його перерізу

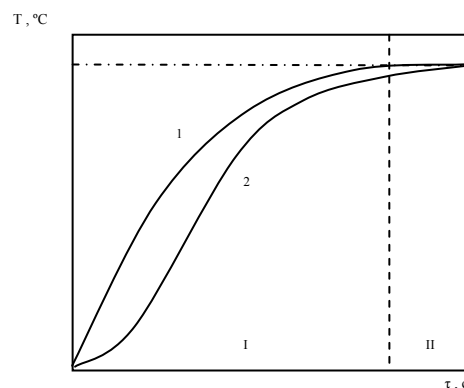
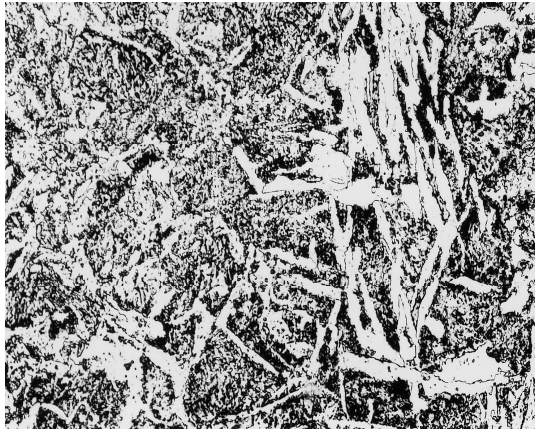
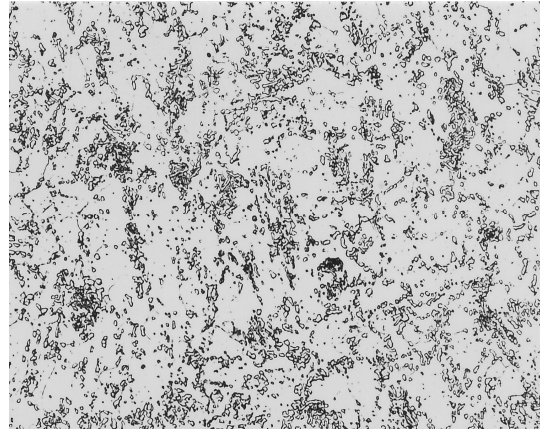


Рисунок 6. – Графіки розподілу температури зразка за його довжиною в процесі нагрівання



а)



б)

Рисунок 7. — Зміни в ферито-бейнітній (мартенситній) мікроструктурі зразка під впливом експерименту 1: а) початкова ферито-бейнітна (мартенситна) структура металу; б) остаточна структура матеріалу після сфероїдизації

У ході експерименту було проаналізовано структуроутворення в матеріалі зразків. На рисунку 7, а зображено початкову ферито-бейнітну (мартенситну) структуру металу. Остаточний вигляд структури матеріалу після сфероїдизації подано на рис. 7, б. Структура являє собою перліт зернистий за стандартною оцінкою в 2 бали, його твердість становить 148 – 179 НВ.

Висновки

Удосконалення і створення нових технологічних процесів, пов'язаних з термічною обробкою металу, вимагають значних витрат для проведення великої кількості натурних експериментів на лабораторному, дослідно-промисловому устаткуванні, а також в промислових умовах. Скорочення обсягу експериментальних досліджень та часу на їхнє проведення з одержанням необхідної інформації для побудови та впровадження технологічних розробок можна здійснити шляхом застосування багатопроекторних обчислювальних систем.

Клас задач, який розглядається в даній статті, розв'язується за допомогою багатопроекторної обчислювальної системи. У зв'язку з відзначеним виникає проблема узгодження можливостей процесорів і мережевого інтерфейсу кластерної системи. В даній статті розв'язування зазначеної проблеми ілюструється на прикладі застосування в багатопроекторній кластерній системі двох процесорів *Intel Pentium 4 3 GHz* і *Intel E8400 3 GHz*. На прикладі розв'язування задачі термічної обробки металовиробу виведено аналітичні співвідношення для визначення оптимального числа вузлів кластерної системи у відповідності з обраними процесорами. Виведено значення коефіцієнта узгодженості

($\lambda = f(E_y, V_p, 1/V_c)$) можливостей обраних процесорів, мережевого інтерфейсу і величини області обчислень. Проведено аналіз такого коефіцієнта. Так, показано, що оптимальне число лез кластерної системи, що дає найбільшу його швидкодію, зменшується зі збільшенням обчислювальної потужності процесорів, з яких складається кластерна система. Адаптивний мережевий обмін даних між вузлами кластерної системи буде тим помітніше гальмувати загальний процес обчислень, чим менше часу буде витрачатися безпосередньо на обчислення відповідної задачі.

Визначено оцінки ефективності кластерної системи при розв'язуванні задачі термічної обробки металовиробу для різного класу процесорів.

Література

1. Пат. 61944 Україна, МПК С21D 1/26 (2006.01), G06F 15/16 (2006.01). Установка для термічної обробки довгомірного сталевого виробу / Іващенко В.П., Башков Є.О., Швачич Г.Г., Ткач М.О.; власники: Національна металургійна академія України, Донецький національний технічний університет. – № 11.2010; заявл. 29.11.2010; опубл. 10.08.2011, Бюл. № 15.
2. Ivaschenko V. Information system of intelligent support of decision-making for rolling process // V. Ivaschenko, G. Shvachych, A. Sobolenko, D. Protopopov // Eastern-european journal of enterprise technologies. – 2003. – № 3. – P. 4 – 9.
3. Швачич Г.Г. Математическое моделирование скоростных режимов термической обработки длинномерных изделий / Г.Г. Швачич, В.П. Колпак, М.А. Соболенко // Теория и практика металлургии. Общегосударственный научно-технический журнал. – 2007. – № 4 – 5 (59 – 60). – С. 61 – 67.

4. Швачич Г.Г. Про проблему математичного моделювання термічної обробки довгомірного сталевого виробу / Г.Г. Швачич, М.О. Ткач // VII International Conference "Strategy of Quality in Industry and Education", June, 3 – 10. – 2011, Varna; Bulgaria. – Proceedings. – V. 2. – P. 261 – 268.
5. Швачич Г.Г. О проблеме математического моделирования задач скоростного режима термообработки некоторого класса изделий / Г.Г. Швачич, М.А. Соболенко // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2007» [Технические науки]. – Одесса: Черноморье, 2007. – Т. 3. – С. 22 – 26.
6. Shvachych G.G. Mathematical design of much sequencing mode of heat treatment of long good / G.G. Shvachych, M.A. Sobolenko // Materiály IV mezinárodní vědecko – praktická konference «Vědecký průmysl evropského kontinentu' 2008». [Technické vědy. Matematika. Fyzika. Moderní informační technologie]; Praha. – Publishing House «Education and Science» s.r.o. – Díl 15. – 2008. – S. 62 – 65.
7. Швачич Г.Г. Багатопроецорний обчислювальний комплекс як основна ланка створення нових перспективних технологій / Г.Г. Швачич, Т.С. Хохлова, М.О. Соболенко // VI International Conference "Strategy of Quality in Industry and Education"; June, 2 – 9. – 2010, Varna; Bulgaria. – Proceedings. – V. 2. – P. 615 – 625.
8. Швачич Г.Г. Суперкомпьютеры и высокопроизводительные вычисления / Г.Г. Швачич, М.А. Ткач, П.А. Щербина // Материали за 4-а международна практична конференция, «Бъдещето проблемите на световната наука». – Т. 21. Съвременни технологии на информации. София, 2008. – С. 22 – 27.
9. Иващенко В.П. Персональный вычислительный кластер для моделирования многомерных нестационарных задач / В.П. Иващенко, Г.Г. Швачич // Материали XVI Международной научно-технической конференции [Прикладные задачи математики и механики]. – Севастополь, 2008. – С. 235 – 239.
10. Швачич Г.Г. Персональный вычислительный кластер как эффективное средство в технологии проведения сложных расчетов / Г.Г. Швачич, А.А. Шмукин, П.А. Щербина // Міждержавна науково-методична конференція «Проблеми математичного моделювання». [Тези доповідей]. – Дніпродзержинськ, 2008. – С. 201 – 203.
11. Информационные системы и технологии: монография / В.П. Иващенко, Е.А. Башков, Г.Г. Швачич [и др.]. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2011. – 302 с.
12. Швачич Г.Г. Особенности конструирования параллельных вычислительных алгоритмов для ПЭВМ в задачах тепло- и массообмена / Г.Г. Швачич, А.А. Шмукин // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2004. – № 3. – С. 42 – 47.
13. Иващенко В.П. Некоторые аспекты проблемы математического моделирования задач металлургической теплофизики на основе применения параллельных вычислительных систем кластерного типа / В.П. Иващенко, Г.Г. Швачич, А.А. Шмукин // Сучасні проблеми металургії. Наук. пр. – Т. 7. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2005. – С. 23 – 30.
14. Швачич Г.Г. Модели параллельных вычислений на численно-аналитических схемах повышенного порядка точности / Г.Г. Швачич, Холод Е.Г. // IX Міжнародна науково-практична конференція «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем» (MPZIS02011). – Дніпропетровськ, 2011. – С. 285 – 288.
15. Современные коммуникационные технологии в модульных многопроцессорных системах: опыт использования, исследование оценок эффективности, перспективы применения: монография / В.П. Иващенко, Е.А. Башков, Г.Г. Швачич, М.А. Ткач. – Днепропетровск, 2012. – 140 с.
16. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cluster.linux-ekb.info>