

УДК 681.3.012:621.1

Г.Г. Швачич¹, С.Г. Семенов², Т.П. Карпова¹, В.В. Волнянський¹

¹ Національна металургійна академія України, Дніпропетровськ

² Національний технічний університет «ХПІ», Харків

ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

В роботі розглянуті особливості розробки і використання багатопроекторної обчислювальної системи з її математичним і програмним забезпеченням для моделювання режимів термічної обробки металевих заготовок. Запропоновано застосування сучасних багатопроекторних обчислювальних комп'ютерних технологій для збільшення швидкодії та продуктивності обчислень, що дає змогу ефективно керувати технологічними процесами. За допомогою спеціального програмного забезпечення багатопроекторна система здатна задавати й контролювати необхідні температурні режими на всій площині перерізу зразка при нагріванні й витримці металу, а при необхідності може контролювати тепловий режим обробки сталі в інтервалі температур відпалювання. Багатопроекторна обчислювальна система із спеціальним програмним забезпеченням включає математичні моделі у вигляді рівняння теплопровідності.

Ключові слова: математична модель, багатопроекторна обчислювальна система, інформаційний двоспрямований інтерфейс, контроль температурного режиму металу.

Вступ

На сьогодні у світі спостерігається стрімке зростання числа багатопроекторних обчислювальних систем (БПОС) та їх сумарної продуктивності. Це викликано тим, що такі системи стали загальнодоступними і дешевими апаратними платформами для високопродуктивних обчислень. Крім того, сьогодні практика висуває перед ученими-прикладниками різного роду проблеми, повне вирішення яких в більшості випадків можливе лише за рахунок застосування багатопроекторних обчислювальних комплексів. Так, наприклад, у металургійному виробництві відбувається безліч найрізноманітніших і взаємопов'язаних процесів. У першу чергу, це технології виплавки й розливання залізо-вуглецевих сплавів, нагрівання, прокатки й термічної обробки металопродукції та ін. Виробнича практика свідчить, що ні інтенсифікація процесів металургійного виробництва, ні конструктивне вдосконалення різноманітного металургійного устаткування неможливі без вивчення й аналізу явищ тепло- та масообміну. В той же час, розв'язування зазначених задач за допомогою відомих стандартних підходів являє собою складну проблему, подолання якої можливе тільки за рахунок застосування сучасних багатопроекторних обчислювальних комп'ютерних технологій. При цьому одна з основних особливостей застосування таких технологій полягає у збільшенні швидкодії та продуктивності обчислень. Висока продуктивність обчислень дозволяє розв'язувати багатовимірні задачі, а також задачі, які вимагають великої кількості процесорного часу. Швидкодія дає змогу

або ефективно керувати технологічними процесами, або взагалі створити передумови для розробки нових перспективних технологічних процесів.

У зв'язку з цим розробка й використання багатопроекторних обчислювальних комплексів з їх математичним та програмним забезпеченням є актуальною проблемою, що дозволяє значно скоротити кількість експериментальних досліджень і час, потрібний на їх проведення, а це дозволяє одержати необхідну інформацію для створення та впровадження різних технологічних нововведень.

Постановка проблеми досліджень. В даній роботі розглядається проблема впровадження нових технологічних процесів термічної обробки металу. Для цього необхідно створити модель термічної обробки (ТО) металу, яку використовують при виготовленні високоміцних кріпильних виробів методом холодного об'ємного штампування (ХОШ) без завершальної термічної обробки. Така модель має на меті поліпшити технологічні властивості металопрокату за рахунок забезпечення високої дисперсності й однорідності структури зразка на всій площині його перерізу. До того ж технологічний процес термічної обробки сталі повинен набувати таких переваг, як висока продуктивність, знижене енергоспоживання, поліпшення експлуатаційних характеристик. Цього можна досягти завдяки застосуванню багатопроекторної обчислювальної системи, виконаної у вигляді окремого модуля. За допомогою спеціального програмного забезпечення багатопроекторна система здатна задавати й контролювати необхідні температурні режими на всій площині перерізу зразка при нагріванні й витримці металу, а при необхідності може контролю-

вати тепловий режим обробки сталі в інтервалі температур відпалювання.

Багатопроцесорна обчислювальна система із спеціальним програмним забезпеченням як єдина база повинна включати математичні моделі у вигляді рівняння теплопровідності, тобто

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

при цьому критерій Фур'є $\tau = \frac{at}{R^2}$, якщо $\tau > 0$;

W – питома потужність джерела тепла, Вт/м².

Крайові умови цієї задачі мають такий вигляд:

$$T(0, r, z) = f(r, \tau);$$

$$T(\tau, 1, z) = \text{var};$$

$$\frac{\partial T(\tau, 0, z)}{\partial r} = 0;$$

$$T(\tau, 0, z) \neq 0.$$

Рівняння (1) необхідно розв'язувати із застосуванням методів розщеплення, суть яких полягає в редукції складного оператора (1) до простих. Завдяки цьому підходу необхідно звести розв'язок даного рівняння до послідовності інтегрування одновимірних рівнянь простішої структури. Застосування числово-аналітичного методу повинно забезпечити використання економічних і стійких алгоритмів розв'язування задач даного типу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Традиційна технологія сфероїдизівного відпалювання сталі передбачає використання садчикових печей (ковпакових або шахтового типу). Недоліки традиційних способів підготовки заготовок до холодної висадки з подробицями викладені в відомій роботі Долженкова І.С. [1 – 3] і глибоко проаналізовані в роботі [4].

Альтернативою способу ТО з нагріванням виробів у печі служить електротермічний спосіб, який характеризується високою швидкістю нагрівання унаслідок впливу явищ електромагнітної індукції (індукційне нагрівання) або електроопору (електроконтактне нагрівання) [5]. Запровадження індукційного нагрівання у технологічній лінії для ТО дроту вже відоме у виробничій практиці [6, 7]. Для реалізації такої технології розроблено установку для виготовлення високоміцних кріпильних виробів без завершального термозміцнення. Але в даному випадку, під час проведення ТО заготовки не здійснюється контроль температурних режимів нагрівання, витримки й охолодження у зв'язку з відсутністю засобів виміру і контролю температури металу.

Іншим підходом до реалізації електротермічного способу обробки каліброваної сталі є установка [8], в якій передбачена термокамера і терморегульований екран. Але процес ТО характеризується значною тривалістю режиму відпалювання, тому що ізотермічна витримка й створення необхідного режиму охолодження проводиться у термокамері і потребує довгий час. За даними авторів тривалість відпалювання дорівнює від 30 до 90 хвилин, що не дозволяє синхронізувати замкнутий цикл виготовлення трипільних виробів.

Щоб вирішити окреслені вище проблеми, було розроблено установку для термічної обробки довгомірного сталевго виробу [4] з застосуванням БПОС [9]. Використання БПОС з її програмним забезпеченням дозволяє на основі математичної моделі процесу нагрівання зразка вже у виробничих умовах контролювати нагрівання дроту до переходу в аустенітну область до температури фазової перекристалізації на всій площині перерізу довгомірного сталевго виробу, а потім, розв'язавши обернену задачу теплопровідності (ОЗТ), здійснювати контроль необхідного режиму ізотермічної витримки в інтервалі температур відпалювання на всій площині перерізу зразка.

Виклад основного матеріалу

Щоб вирішити окреслені вище проблеми, було розроблено установку для термічної обробки довгомірного сталевго виробу [4] з застосуванням БПОС [9]. Використання БПОС з її програмним забезпеченням дозволяє на основі математичної моделі процесу нагрівання зразка вже у виробничих умовах контролювати нагрівання дроту до переходу в аустенітну область до температури фазової перекристалізації на всій площині перерізу довгомірного сталевго виробу, а потім, розв'язавши обернену задачу теплопровідності (ОЗТ), здійснювати контроль необхідного режиму ізотермічної витримки в інтервалі температур відпалювання на всій площині перерізу зразка.

На рис. 1 зображено проектна схема установки для ТО довгомірного сталевго виробу, де:

- 1 – розмотувальний пристрій;
- 2 – правильно-тяговий пристрій, обладнаний виконавчим механізмом
- 3; 4 – індуктор нагрівального пристрою;
- 5 – генератор з виконавчим механізмом;
- 6 – пірометр;
- 7 – камера ізотермічної витримки з виконавчим механізмом 8;
- 9 – пірометр;
- 10 – камера регламентованого підстуджування дроту з виконавчим механізмом 11 для регулювання подачі водоповітряної суміші;
- 12 – пірометр;
- 13 – камера ізотермічної витримки з виконавчим механізмом 14;
- 15 – пірометр;
- 16 – пристрій для інтенсивної сфероїдизації з виконавчим механізмом 17;
- 18 – пірометр;
- 19 – пристрій подачі дроту на подальший технологічний цикл;
- 20 – інформаційний двоспрямований інтерфейс збору даних з пристроїв 3, 7, 9, 12, 15, 18, приєднаний до блока керування 21 і до виконавчих механізмів (3, 5, 8, 11, 14, 17) відповідних пристроїв;
- 22 – інформаційний двоспрямований інтерфейс зв'язку блока керування БПОС 23.

Установка для ТО довгомірного сталевго виробу працює в описаній нижче послідовності. З розмотувального пристрою 1 через правильно-

тяговий пристрій 2 дріт подається в індуктор нагрівального пристрою 4, де нагрівається до переходу в аустенітну стадію, набуваючи температури фазової перекристалізації. Температура нагрівання контролюється пірометром 7. Підтримання температурного режиму здійснюється за допомогою блока керування 21 і БПОС 23. Сигнал з пірометра 6 через інформаційний двоспрямований інтерфейс 20

надходить у блок керування 21, а потім через інформаційний двоспрямований інтерфейс 22 – у БПОС 23, де згідно з результатом розв’язку математичної моделі прямої задачі теплопровідності, відбувається регулювання потужності генератора 5. Потім розігрітий дріт потрапляє в камеру ізотермічної витримки 7, температура в якій регулюється виконавчим механізмом 8.

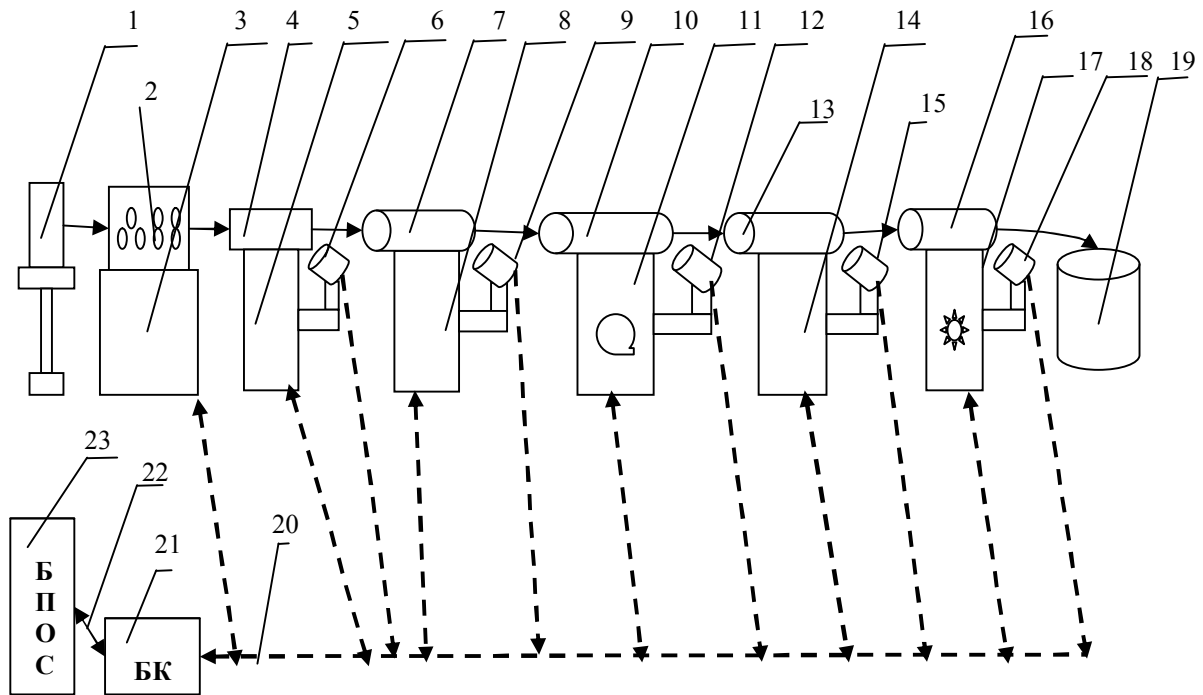


Рис. 1. Схема установки термічної обробки сталевго виробу

При цьому сигнал з пірометра 9 через інформаційний двоспрямований інтерфейс 20 надходить у блок керування 21, а далі через інформаційний двоспрямований інтерфейс 22 у БПОС 23, де відповідно до результатів розв’язку математичної моделі ізотермічної витримки, здійснюється регулювання температурного режиму за допомогою виконавчого механізму 8. Далі дріт переходить у камеру регламентованого підстуджування 10. Залежно від режиму ТО, марки сталі й діаметра дроту задається необхідна швидкість підстуджування в інтервалі температур від 750 до 700 °С.

На рис. 2 подано блок-схему контурів системи керування установкою термічної обробки довгомірного сталевго виробу. Така система керування має у своєму розпорядженні блоки, які дозволяють отримати інформацію про поточні параметри керування процесів. Особливість її полягає в тому, що на кожному з п’яти етапів технологічної обробки зразка розв’язується двовимірна задача теплопровідності. При цьому програмні засоби БПОС дозволяють контролювати температурні режими, як на всій площині перерізу зразка, так і по його довжині. Контроль таких температурних режимів здійснюється в центрі площини перерізу зразка.

БПОС із спеціальним програмним забезпеченням як єдина база включає математичні моделі у вигляді рівняння теплопровідності (1). При цьому за координатою z граничні умови, залежно від особливостей розв’язуваної задачі, можуть бути першого, другого або третього роду. Розв’язують задачу (1) із застосуванням методів розщеплювання, суть яких полягає в редукції складного оператора (1) до простих. Цей підхід дозволяє проінтегрувати дане рівняння як послідовність інтегрування одновимірних рівнянь простішої структури. З огляду на суттєву складність математичної моделі (1), великого значення набуває розробка економічних алгоритмів для розрахунку ефектів керування функціями запропонованої установки. Процес створення зазначених алгоритмів висвітлюється в роботах [10, 11].

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'язок 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 $a \leq \vartheta \leq b$, а $f(\vartheta) = 0$, то можна обчислити число w таким, що задовольняє умови: $a \leq \vartheta \leq b$ та $|\vartheta - w| < \varepsilon$, тобто меншим від будь-якого наперед заданого малого числа ε .

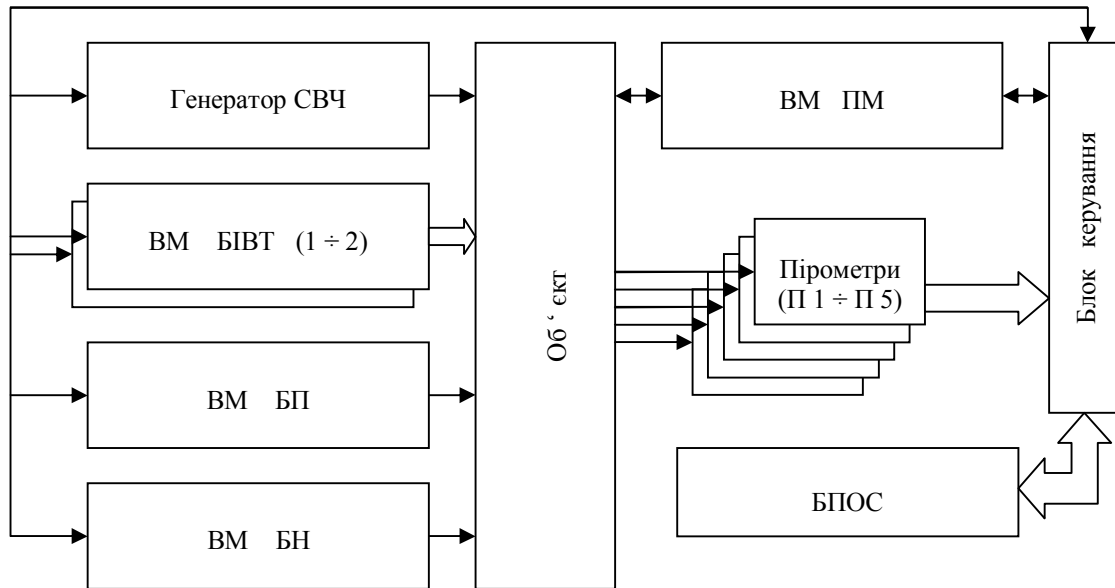


Рис. 2. Блок-схема контурів системи керування установкою термічної обробки довгомірного сталевго виробу

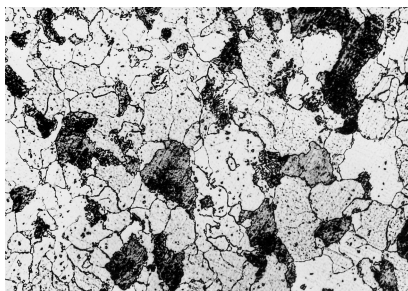
Подібна схема включена до складу математичного апарату керування БПОС. На всіх циклах ТО металу використовується математична модель (1), тому результати моделювання будуть стосуватись циклу первинного нагрівання металу.

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, то загальна кількість вузлів для обчислень може досягти 10^{20} і більше. Однопроцесорні обчислювальні сис-

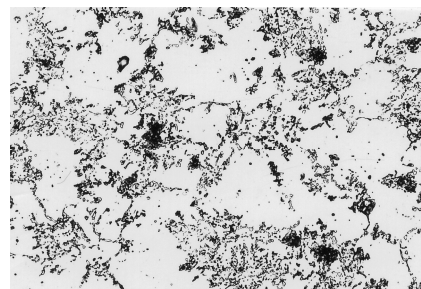
теми не можуть впоратись з таким навантаженням під час моделювання в реальному масштабі часу, тому найбільш виправданим буде застосування багатопроцесорних систем, що й було здійснено з метою удосконалення технології ТО довгомірного сталевго виробу.

Експерименти

Для випробування функцій запропонованої установки було проведено кілька експериментів, коли дріт діаметром 20 мм із сталі 20Г2Р піддавався ТО. Розглянемо один з характерних дослідів. На рис. 3, а, б зображено мікроструктуру зразків до і після сфероїдизації, при цьому твердість зразків після ТО набула значень 150 – 169 НВ.



а



б

Рис. 3. Мікроструктура сталі 20Г2Р:
а – початкова феритно-перлітна структура, $\times 500$;
б – структура після відпалювання – перліт зернистий (бал 5), $\times 500$

Виконана сфероїдизація карбідної фази металу в умовах відповідних режимів ТО заготовок забезпечує надання матеріалу структури зернистого перліту. Причому швидкісна сфероїдизація зумовлює більш рівномірний розподіл глобул цементиту у феритній матриці (рис. 3, б). Зразки із сталі майже однакової твердості після ТО набули дрібнодисперсної структури, що забезпечує більш високий рівень пластичності металу. Унаслідок швидкого нагрівання зразка й неповної аустенітизації сталі відбуваються певні зміни в морфології карбідної фази від пластинчастої до дрібнодисперсної глобулярної.

Технічний результат, що досягається при запровадженні запропонованої системи, полягає в тому, що забезпечується висока дисперсність й однорідність структури зразка на всій площині його перерізу, при цьому технологічний процес ТО сталі характеризується високою продуктивністю, малим енергоспоживанням, поліпшеними експлуатаційними характеристиками.

Застосування установки для реалізації режиму сфероїдизівного відпалювання зумовлює рівномірний розподіл глобул цементиту у феритній матриці, а значить забезпечує необхідні механічні властивості металу для його подальшої холодної деформації.

Відзначимо, що розв'язування задач, визначених в даній роботі, зазвичай, відбувається на основі застосування апарату різницевих рівнянь, який передбачає обов'язкову заміну похідних різницевиими співвідношеннями. Виконані в даній роботі дослідження показують, що методи розв'язування задач даного класу мають бути не тільки різноманітними, але й поєднувати оцінювання кількісних показників із можливостями якісного аналізу. На сьогодні намітилися певні тенденції в розробці числово-аналітичних методів із складною логічною структурою, але вони мають порівняно з кусково-різницевиими методами вищий порядок точності й можливість побудови алгоритмів, адаптованих за порядками апроксимації.

З обчислювальної точки зору такий підхід відрізняється певною громіздкістю, але він дає своєрідний еталон для порівняння з іншими практичними методами. Але, зважаючи на переваги проведення обчислювального експерименту засобами багатопроцесорної системи, можна стверджувати, що обставина, яка стримувала розвиток числово-аналітичного підходу, на сьогодні втрачає свою актуальність.

У зв'язку з цим, для розв'язування моделі (1), у даній роботі набула подальшого розвитку ідея розробки схем підвищеного порядку точності на основі числово-аналітичного підходу до розв'язування багатьох досліджуваних задач.

Висновки

У статті розв'язана актуальна задача контролю температурних режимів процесу рекристалізації та сфероїдизівного відпалювання каліброваної сталі шляхом застосування багатопроцесорної системи, що дозволяє узгоджувати часові інтервали технологічного процесу відпалювання.

Наукова новизна проведених досліджень полягає в тому, що уперше на основі багатопроцесорної обчислювальної системи створено модель швидкісної термічної обробки довгомірного сталевого виробу в реальному часі з метою рекристалізації та сфероїдизівного відпалювання каліброваної сталі й виготовлення високоміцних кріпильних виробів методом ХОШ без завершальної термічної обробки. Запропонований підхід дає можливість контролювати технологічні параметри в режимах ТО металу, зокрема температуру в центрі перерізу металевого виробу, що забезпечує надання матеріалу необхідних властивостей, причому на всій площині перерізу і по довжині зразка. Цього вдалося досягти за рахунок застосування багатопроцесорної обчислювальної системи, що має вигляд окремого модуля, а за допомогою спеціального програмного забезпечення вона здатна задавати й контролювати необхідні температурні режими на всій площині перерізу зразка при нагріванні й витримці металу.

Порівняно з традиційними підходами, було реалізовано можливість поліпшити технологічні властивості металопрокату за рахунок забезпечення високої дисперсності й однорідності структури зразка на всій площині його перерізу.

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що вдалося удосконалити технологічний процес ТО металу за рахунок використання відповідних математичних моделей та комплексу програм. Застосування математичних моделей, які обробляються на багатопроцесорній обчислювальній системі дозволяє контролювати температурне поле металу в процесі його нагрівання, витримки та охолодження і забезпечує, тим самим, швидко адаптацію виробництва металопродукції до вимог споживача.

Втілення розробленого підходу для термічної обробки металу на основі запровадження багатопроцесорної обчислювальної системи створює проблему узгодження можливостей процесорів і мережевого інтерфейсу багатопроцесорної системи. Отже, перспективними подальшими дослідженнями є шляхи вирішення зазначеної проблеми на прикладі застосування багатопроцесорних систем, що складаються із різних типів процесорів.

За таких умов необхідно вивести аналітичні співвідношення для встановлення оптимального

числа вузлів багатопроцесорної системи з урахуванням обчислювальних можливостей певних процесорів.

Список літератури

1. Пат. України № 36892, МПК С 21D 1/26 С21D 1/78. Спосіб термічної обробки прокату з низько- і середньовуглецевих сталей для холодного висадження / Ковпак В.П., Леценко А.М., Соболенко М.О., Кокашинська Г.В.; власник: Національна металургійна академія України. – № 200807153; заявл. 23.05.2008; опул. 10.11.2008, Бюл. № 21.
2. Долженков И.Е. Термическая и деформационно-термическая обработка металлопроката / И.Е. Долженков // Теория и практика металлургии. – 2002. – №3. – С. 30-36.
3. Долженков И.Е. Влияние пластической деформации и других преобразований на сфероидизацию карбидов в сталях / И.Е. Долженков // Теория и практика металлургии. – 2007. – №1. – С. 66-68.
4. Пат. 61944 Україна, МПК С21D 1/26 (2006.01), G06F 15/16 (2006.01). Установа для термічної обробки довгомірного сталевого виробу / Іващенко В.П., Башков Є.О., Швачич Г.Г., Ткач М.О., Соболенко М.О.; власники: Національна металургійна академія України, Донецький національний технічний університет. – № 201014225; заявл. 29.11.2010; опубл. 10.08.2011, Бюл. № 15.
5. Хасин Г.А. Электротермическая обработка и теплое волочение стали / Г.А. Хасин, А.И. Дианов, Т.Н. Попова, Л.П. Кукарцева. – М.: Металлургия, 1984. – 152 с.
6. Бобылев М.В. Подготовка структуры при электротермообработке сталей, применяемых для высадки высокопрочных крепежных изделий / М.В. Бобылев, В.Е. Гринберг, Д.М. Закиров, Ю.А. Лавриненко // Сталь. – 1996. – № 11. – С. 54-60.
7. Бобылев М.В. Оптимизация режимов отжига с индукционным нагревом сталей 20Г2Р и 38ХГМ / М.В. Бобылев, Д.М. Закиров, Ю.А. Лавриненко // Сталь. – 1999. – № 4. – С. 67-70.
8. Патент РФ 2137847, кл. С 21 D 1/32, С 21 D 9/60, С 21 D 11/00. Установка для термообработки калиброванной стали / Закиров Д.М., Бобылев М.В., Лавриненко Ю.А., Лебедев Л.П., Сьюльдин В.И.; Патентообладатель: Открытое акционерное общество "Автономаль". – № 98117255/02; заявл. 16.09.1998; опубл. 20.09.1999.
9. Пат. 57663 Україна, МПК G06F 15/16 (2011.01). Модуль високоефективної багатопроцесорної системи підвищеної готовності / Іващенко В.П., Башков Є.О., Швачич Г.Г., Ткач М.О.; власники: Національна металургійна академія України, Донецький національний технічний університет. – № 2010 09341; заявл. 26.07.2010; опубл. 10.03.2011, Бюл. № 5.
10. Швачич Г.Г. Об алгебраическом подходе в концепции распределенного моделирования многомерных систем / Г.Г. Швачич // Теория и практика металлургии. – 2007. – № 6(61). – С. 73-78.
11. Швачич Г.Г. Математическое моделирование одного класса задач металлургической теплофизики на основе многопроцессорных параллельных вычислительных систем / Г.Г. Швачич // Математичне моделювання. – 2008. – № 1 (18). – С. 60-65.

Надійшла до редколегії 24.02.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.О. Можаяев, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Г.Г. Швачич, С.Г. Семенов, Т.П. Карпова, В.В. Волнянский

В работе рассмотрены особенности разработки и использования многопроцессорной вычислительной системы с её математическим и программным обеспечением для моделирования режимов термической обработки стальных заготовок. Предложено использование современных многопроцессорных вычислительных компьютерных технологий для увеличения скорости и продуктивности вычислений, что обеспечивает эффективное управление технологическим процессом. При помощи специального программного обеспечения многопроцессорная система способна задавать и контролировать необходимые температурные режимы на всей плоскости поперечного сечения образца при нагреве и выдержке металла, а при необходимости может контролировать тепловой режим обработки стали в интервале температур отжига. Многопроцессорная вычислительная система со специальным программным обеспечением включает математические модели в виде уравнения теплопроводности.

Ключевые слова: математическая модель, многопроцессорная вычислительная система, информационный двунаправленный интерфейс, контроль температурного режима металла.

THE USE OF MULTIPROCESSOR SYSTEMS TO IMPROVE TECHNOLOGICAL PROCESSES

G.G. Shvachyich, S.G. Semenov, T.P. Karpova, V.V. Volnianskiy

The paper deals the features of the development and use of the multiprocessor computing system with mathematical and software of the latter for simulation of heat treatment of the steel billets. The use of the up-to-date multiprocessor computing technologies had been proposed for increasing speed and productivity of computations, what maintains the effective control of the technological process. Through the special software the multiprocessor system is able to set and control necessary temperature conditions on all plane of cross-sectional of standard at heating and self-control of metal, and if necessary maybe began to control the thermal mode of treatment in the interval of temperatures of annealing. The multiprocessor computing system with the special software includes mathematical models as equation of heat conductivity.

Keywords: mathematical model, multiprocessor computing system, information bidirectional interface, control of the temperature schedule of metal.