

Vasily Kondratets, Prof., DSc., Anatolii Matsui, Assos. Prof., PhD tech. sci.

Kirovograd national technical university, Kirovohrad, Ukraine

The research of materials mixing in a ball mill as a multidimensional managed object

The aim of work is to study the mixing of materials along the drum of the ball mill, which works in a closed circuit with mechanical single-qualifier for its improvement.

The ball mill as a multidimensional object has four output value. In this article a study performed on one of them - the parameter of the mixing materials, which is characterized, on the one hand, averaging the size of the solid, on the other hand, by mixing the solid with water. It is found that the averaging of the solid is not very depends on its shape and size, in ball mill it happens sufficiently rapidly for 34 seconds, practically continuously improving the performance for a given time interval. More problematic is the mixing of the solid and water, which under the existing conditions is carried on a length of 1/4 ... 1/3 mill drum and which in consequence, does not actively participate in the grinding of the ore. Proposed that the water in a ball mill should be fed to the required dilution of the pulp by the three streams - to the surface of the original ore, the receiver cochlear feeder to the classifier boundary liquefaction sand directly into the throat of a production unit, spraying it into a wide area load.

The proposed approach supplying water into a ball mill provides inclusion 1/4 ... 1/3 the length of the drum in efficient crushing of ore, which greatly improves the performance of his work.

ball mill, mixing solid, solid with water

Одержано 23.11.15

УДК 621.74

В.М. Ломакін, доц., канд. техн. наук, В.В. Клименко, проф., д-р. техн. наук, В.В. Пукалов, доц., канд. техн. наук, А.В. Ломакін

Кіровоградський національний технічний університет, м.Кіровоград, Україна,

E-mail: spherical@mail.ru

Дослідження впливу кінетики кристалізації на властивості кокільних виливків чавунних цильпесів

Розглядається використання методу математичного моделювання для визначення часу початку і закінчення процесу кристалізації легованих чавунів у кокілі в залежності від хімічного складу сплаву та для прогнозування співвідношення між кількістю ледебуриту, що визначає зносостійкість цильпесів (молочних циліндрів), та кількістю аустеніто-графітної евтектики

цильпес, легований чавун, хром, кокіль, затвердіння, структура, моделювання

В.Н. Ломакин, доц., канд. техн. наук, В.В. Клименко, проф., д-р. техн. наук, В.В. Пукалов, доц., канд. техн. наук, А. В. Ломакин

Кировоградский национальный технический университет, г.Кировград, Украина

Исследование влияния кинетики кристаллизации на свойства кокильных отливок чугуновых цильпесов

Рассматривается использование метода математического моделирования для определения времени начала и окончания процесса кристаллизации легированных чугунов в кокиле в зависимости от химического состава сплава и для прогнозирования соотношения между количеством ледебурита, определяющего износостойкость цильпесов (мельющих цилиндров), и количеством аустенито-графитной евтектики

цильпес, легированный чугун, хром, кокіль, затвердевание, структура, моделирование

© В.М. Ломакін, В.В. Клименко, В.В. Пукалов, А.В. Ломакін, 2016

Постановка проблеми. Розрахунок і оптимізація властивостей кокільних виливків неможливі без адекватного моделювання температурних полів в системі виливок – ливарна форма. Швидкість охолодження чавунних цильпібсів (молольних циліндрів) має такий же значний вплив на їх структуру як і хімічний склад металу, тому отримання виливків із заданою структурою можливе тільки при оптимальному поєднанні цих важливих факторів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для дослідження процесу затвердіння та охолодження виливка циліндричної форми в кокілі математична модель має враховувати ряд особливостей, як загальних, що характеризують такий процес в цілому, так і специфічних, притаманних лише технології кокільного лиття. До перших з них слід віднести вплив перехідної двохфазної зони, що утворюється в інтервалі температур кристалізації, і хімічного складу сплаву на процес затвердіння виливка. До других – термічний опір шару теплоізоляційного покриття, що наноситься на робочу поверхню кокілю, і конструкцію ливарної форми [1, 2].

Постановка завдання. Метою даної роботи є вивчення впливу швидкості затвердіння і модифікуючих присадок хрому на структуроутворення молольних тіл циліндричної форми в кокілі для підвищення їх ударно-абразивної зносостійкості.

Виклад основного матеріалу. При розробці математичної постановки задачі затвердіння циліндру в кокілі була використана універсальна різницева схема без явного виокремлення у виливку границі розділу фаз. Важливим при використанні такої схеми є принцип “згладжування” теплоємності по температурі. Як відомо, при рівноважній температурі фазового переходу $T=T_{кр}$ (кристалізації або плавлення) енергія теплової системи W , як функція температури, має стрибок величиною L . Ця величина є ентальпією (теплотою) фазового переходу [3]:

$$W = \int_0^T c(T)dT + L \times \eta(T - T_{кр}), \quad (1)$$

де $c(T)$ – теплоємність, як функція температури;
 $\eta(T - T_{кр})$ – функція температури.

Тут, очевидно, функція $\eta(T - T_{кр})$ має розрив при $T = T_{кр}$:

$$\eta(\Delta T) = \begin{cases} 1, & \Delta T \geq 0; \\ 0, & \Delta T < 0; \end{cases} \quad (2)$$

де $\Delta T = T - T_{кр}$.

Тоді, враховуючи що $\frac{\partial \eta(\Delta T)}{\partial (\Delta T)} = \delta(\Delta T)$ – дельта-функція Дірака, рівняння теплопровідності приймає вигляд [4]:

$$\rho [c(T) + L \times \delta(\Delta T)] \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \left[\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right], \quad (3)$$

де ρ – густина сплаву, кг/м^3 ;

τ – час, с;

λ – коефіцієнт теплопровідності сплаву, $\text{Вт/(м} \times \text{К)}$;

r – радіус-вектор, м.

Для переходу до різницевої схеми, що реалізується чисельним методом скінченних різниць, замінимо функцію Дірака $\delta(T - T_{кр})$ наближеною дельта-подібною, чи “розмазаною” δ - функцією: $\delta(T - T_{кр}, \Delta) > 0$, де Δ - величина половини температурного інтервалу 2Δ , на якому δ - функція відрізняється від нуля. Це “розмазування” еквівалентне заміні на інтервалі $(T_{кр} - \Delta, T_{кр} + \Delta)$ розривної функції $\eta(T - T_{кр})$ неперервною функцією $\eta(T - T_{кр}, 2\Delta)$ такою, що $\delta(\Delta T, \Delta) = \eta'(\Delta T)$. Тоді, приймаючи

$$\left. \begin{aligned} T_{кр} &= \frac{T_L + T_S}{2}; \\ 2\Delta &= T_L - T_S; \\ \Delta &= T_L - T_{кр} = T_{кр} - T_S; \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

можливо за допомогою згладженої функції $\delta(T - T_{кр}, \Delta)$ описати процес затвердіння вилівка циліндричної форми в інтервалі температур ліквідус (T_L) – солідус (T_S). Функція $\delta(\Delta T, \Delta)$ в даній роботі була підібрана наступним чином:

$$\delta(T - T_{кр}, \Delta) = \begin{cases} 0; T > [(T_{кр} + \Delta) = T_L]; \\ \frac{1}{2\Delta} = \frac{1}{T_L - T_S} \equiv const, T_S < T < T_L; \\ 0; T < [(T_{кр} - \Delta) = T_S]. \end{cases} \quad (5)$$

При цьому $\delta(T - T_{кр}, \Delta)$ аналогічно як і функція $\eta(\Delta T, 2\Delta)$ є неперервною.

Таким чином вводиться “згладжена” або спектральна ефективна теплоємність $\bar{c}(T)$:

$$\bar{c}(T) = c(T) + L \times \delta(T - T_{кр}, \Delta). \quad (6)$$

Рівняння теплопровідності при цьому приймає наступний вигляд:

$$\bar{\rho} \bar{c}(T) \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \left[\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right], \quad (7)$$

де функцію спектральної ефективної теплоємності для рідкої фази можна замінити постійною c_p , а для твердої фази – c_T , тобто :

$$\bar{c}(T) = \begin{cases} c_p, T > T_L; \\ \frac{c_p + c_T}{2} + \frac{L}{T_L - T_S}, T_S < T < T_L; \\ c_T, T < T_S \end{cases} \quad (8)$$

Згідно з формалізованою постановкою задачі затвердіння рівняння (7), доповнене відповідними початковим та граничним умовами, вирішували за допомогою персонального комп'ютера типу IBM по спеціально розробленій програмі. Для

моделювання були обрані три типи хромистого чавуну: I тип – $Cr < 1\%$, II тип – $1\% < Cr < 5\%$, III тип – $Cr > 20\%$.

На рис. 1 представлені результати чисельного та експериментального досліджень. На розрахункових кривих охолодження циліндричного виробу розміром 25*38 мм чітко видно початок і кінець кожної із стадій процесу: 1) відведення теплоти перегріву; 2) затвердіння в інтервалі температур та 3) охолодження. Високохромистий сплав твердне в досить вузькому інтервалі температур, практично при постійній температурі, тому на розрахунковій кривій його охолодження спостерігається фаза стояння ліквідусу.

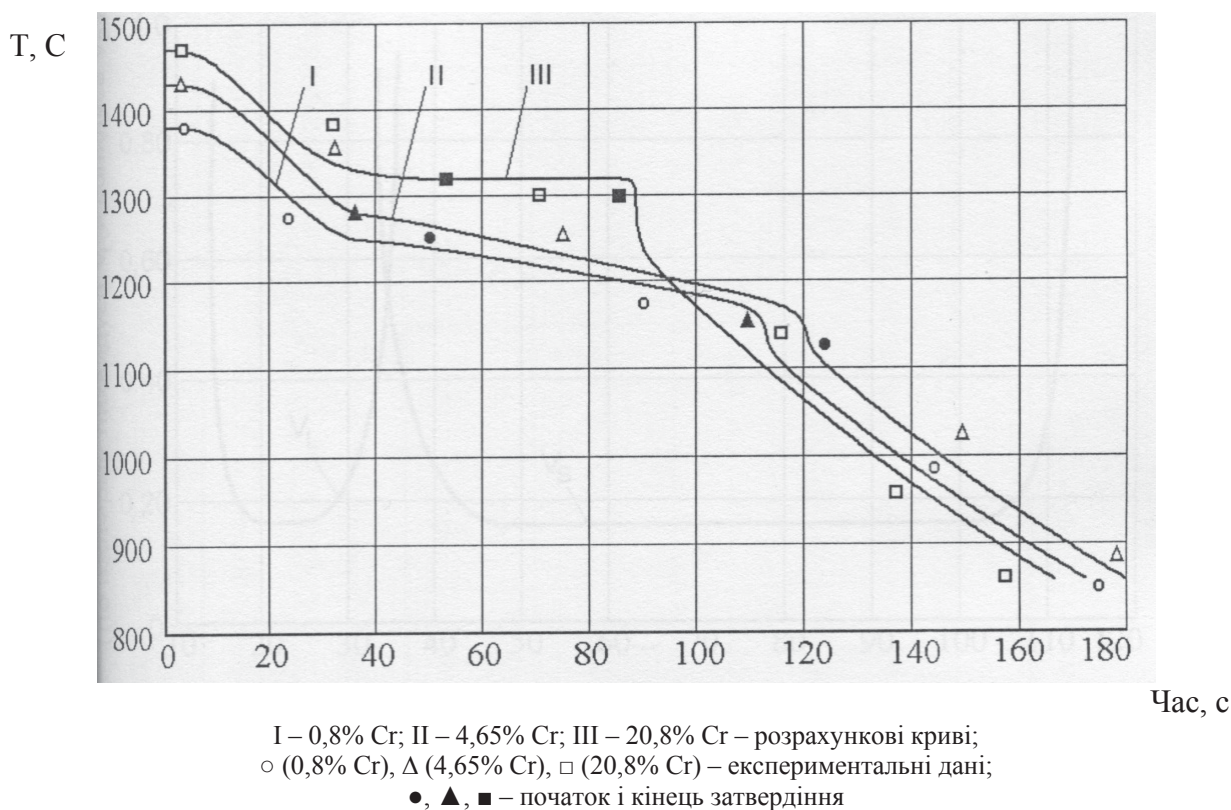


Рисунок 1 – Зміна температури в центрі виливка Ø25 мм

Для визначення характеру затвердіння циліндру із хромистого чавуну, що містить зазначений вище вміст хрому, розрахована кінетика затвердіння. Як видно із рис. 1 і рис. 2, в порожнині діаметром 25 мм, у процесі затвердіння низькохромистого (або середньохромистого) чавуну спочатку утворюється двохфазна зона, яка з часом збільшується. За перші ~60 с границя ліквідусу досягає центру виливка. При цьому метал, що кристалізується, знаходиться в перехідному твердо-рідкому стані по всьому перерізу порожнини кокілю. Потім температура поверхні циліндру знижується до температури солідусу і починається затвердіння металу у напрямку центра виливка. В даному випадку має місце змішаний характер процесу затвердіння, що складається з послідовної та об'ємної кристалізації.

Циліндр із високохромистого чавуну (ВХБЧ) твердне послідовно у вузькому температурному інтервалі. В процесі кристалізації вздовж радіуса (R) у виливку одночасно присутні три фази: рідка, перехідна твердо-рідка та тверда. При цьому, якщо тверда кірка з часом збільшується, то перехідна двохфазна зона практично не змінюється в розмірах і переміщується перед наростаючою твердою фазою (рис. 2).

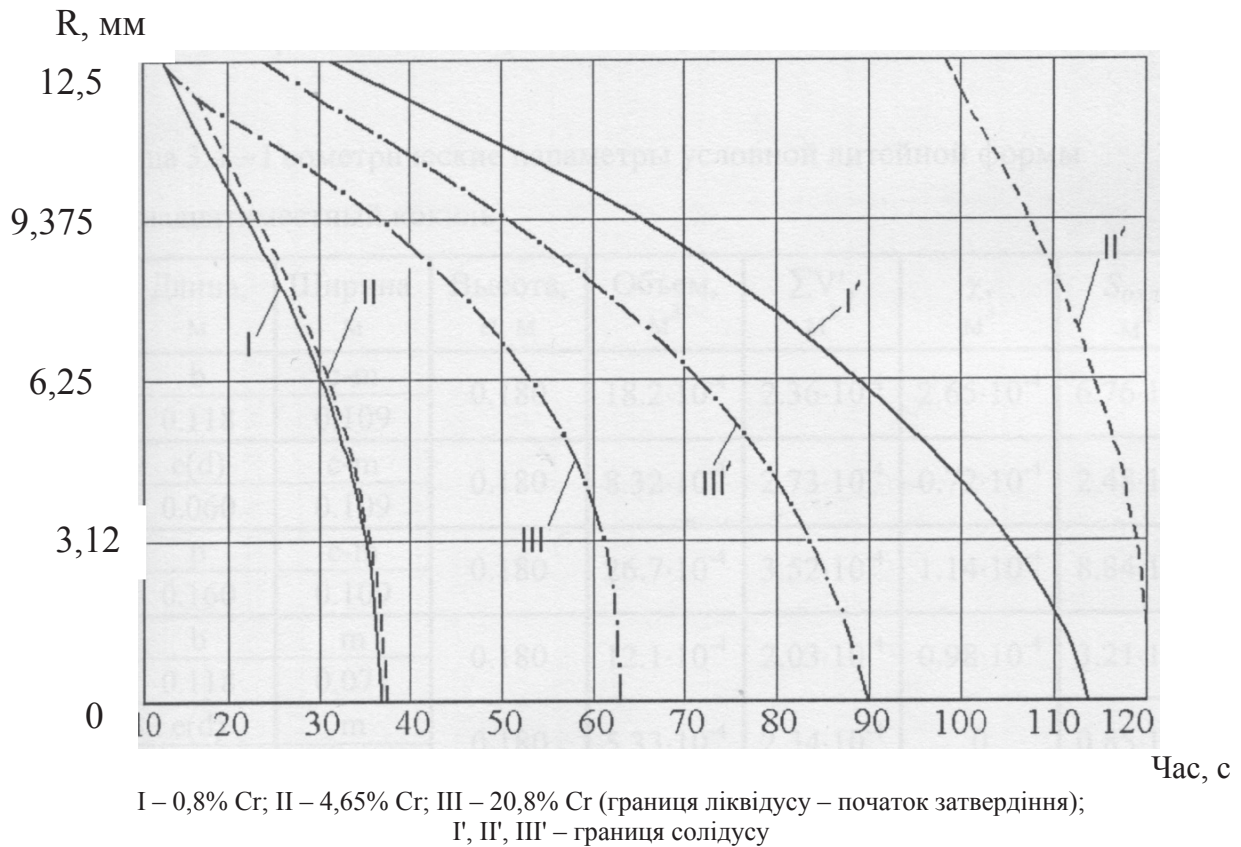


Рисунок 2 – Кінетика кристалізації виливка Ø25 мм

З метою прогнозування структури металу в цильпібсі діаметром 25 мм із легованого чавуну розраховували розподіл лінійної швидкості затвердіння по перерізу виливка при різних значеннях коефіцієнта теплопровідності кокільної вогнетривкої фарби.

Отримані дані вказують на неоднорідність розподілу лінійної швидкості затвердіння по перерізу цильпібса. На початку процесу фронт солідусу на поверхні циліндру має відносно високу швидкість, яка стрімко зменшується при збільшенні товщини кірки. Далі, з плином часу, товщина двохфазної зони поступово зменшується і термічний опір затверділого шару вже не має значного впливу на відведення теплоти. Більш важливим фактором при зменшенні розмірів рідкого ядра в центрі виливка є збільшення питомої поверхні тепловідведення в тверду кірку.

В результаті проведених розрахунків виявили, що найбільш ефективний режим охолодження чавунного цильпібса діаметром 25 мм має досягатись при використанні кокільних фарб із коефіцієнтом теплопровідності ($\lambda_{\text{покр}}$) 0,24 – 0,38 Вт/(м \times °C). В цьому випадку швидкість затвердіння забезпечує товщину вибіленого шару ~8...10 мм, тобто 0,8 радіусу виливка. Згідно з структурними діаграмами Г.Ф.Баландіна – А.І.Вейніка [1, 2] прогнозована твердість вибіленої поверхневої частини у виливках із низьколегованого чавуну знаходиться на рівні від 400 до 520 НВ (~42-50 HRC), а перліто-графітної серцевини – від 210 до 286 НВ в межах міцності 250 – 320 МПа.

Мікроструктуру таких чавунів вивчали на шліфах, виготовлених із тіла молольних циліндрів. Дослідження структури цильпібсів проводили на мікротвердомірі РМ-6 OLYMPUS Shimadzu. Тип хромистих карбідів і металевої матриці визначали тепловим травленням і рентгеноспектральним аналізом.

Встановлено, що мікроструктура низькохромистого чавуну (~1% Cr) перліто-ледебуритна. Карбідна фаза представлена легованим цементитом $(Fe, Cr)_3C$ (рис. 3).

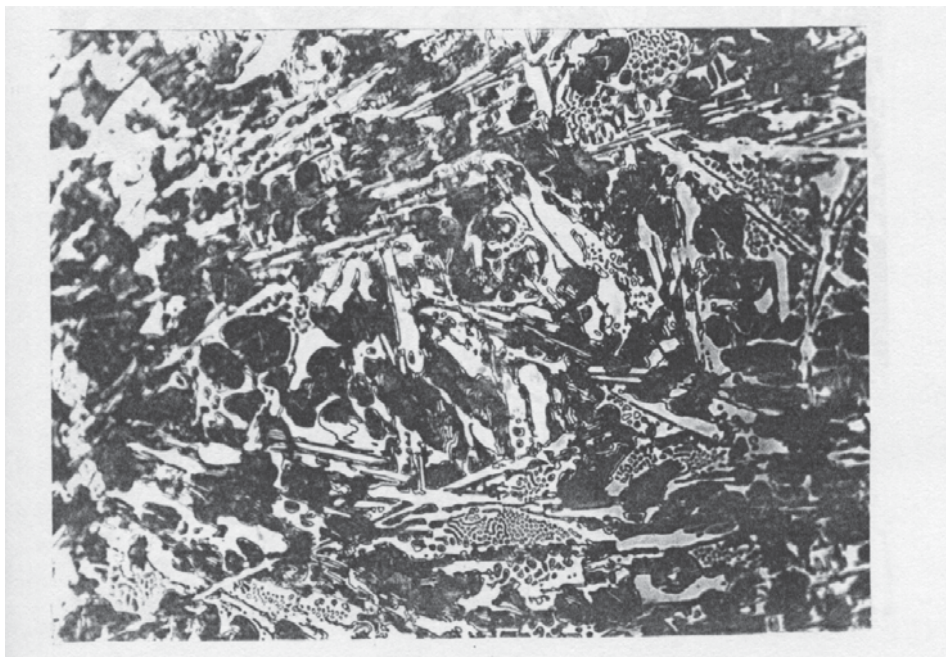


Рисунок 3 – Мікроструктура білого чавуну (0,8% Cr) $\times 500$

Всі дослідні зразки з вмістом ~5% Cr в металі мають структуру білого чавуну, що складається із ледебуриту і пластинчастого перліту (рис. 4). Середня мікротвердість евтектики становить 763 Н μ , перліту – 450-763 Н μ , карбідів – 1135 Н μ .

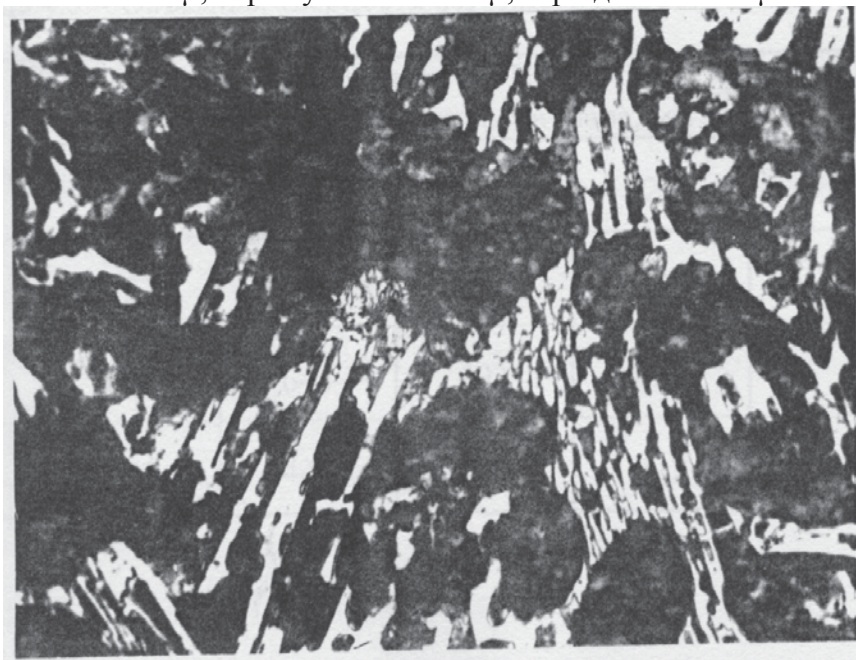


Рисунок 4 – Мікроструктура легованого чавуну (4,65% Cr) $\times 500$

Мікроструктура високохромистого чавуну (рис. 5) складається із аустеніто-карбідної евтектики зі спеціальними карбідами хрому $(Cr, Fe)_7C_3$, окремих ділянок троосто-мартенсита з мікротвердістю 644-750 Н μ і мілких вторинних карбідів. Середня мікротвердість евтектики становить 790 Н μ , карбідів $(Cr, Fe)_7C_3$ – 1620-1854 Н μ .

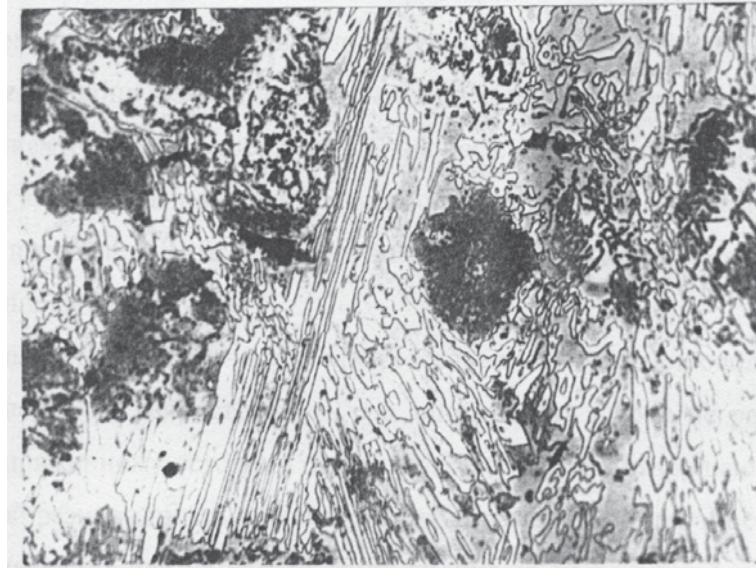


Рисунок 5 – Мікроструктура високохромистого чавуну (20,8% Cr) $\times 500$

Експлуатаційні властивості литих чавунних цильпесів (ударно-абразивну зносостійкість і ударостійкість) було перевірено на зразках, вирізаних із цильпесів в радіальному напрямку. Випробування здійснювали в лабораторному млину. Підтверджено багаточисельні літературні дані стосовно підвищення ударно-абразивної зносостійкості при збільшенні вмісту хрому в чавуні. При введенні хрому у розплав більше 7% в мікроструктурі поряд з карбідами цементитного типу з'являються карбіди типу $(Cr, Fe)_7C_3$.

Висновки. Порівняльний аналіз експлуатаційних властивостей і вартості їх досягнення показав, що в умовах сьогодення компромісним є виготовлення молоткових тіл з низьколегованого хромом чавуну (0,8-1%). Дані, отримані розрахунковим способом, добре узгоджуються із результатами виробничих випробувань литих молоткових тіл, що дозволило оптимізувати технологію виготовлення таких виробів.

Список літератури

1. Основы теории формирования отливки / [Баландин Г.Ф.] ; – М: Машиностроение, 1976. – 328 с.
2. Теория затвердевания отливки / [Вейник А.И.] ; – М: Машиностроение, 1960. – 435 с.
3. Физическая химия / [Жуховицкий А.А., Шварцман Л.А.] ; под ред. С.И. Попеля. – М.: Металлургия, 1987. – 688 с.
4. Дубоделов В.И. Численное исследование кинетики затвердевания мелющих тел в металлических формах с естественным воздушным охлаждением / В.И. Дубоделов, В.К. Погорский, В.Н. Кропивный, В.Н. Ломакин // Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету. – 1999. – №4. – С.5-10.

Viktor Lomakin, Assos. Prof., PhD tech. sci., Vasil Klimenko, Prof., DSc., Viktor Pukalov, Assos. Prof., PhD tech. sci., Lomakin Andriy

Kirovograd national technical university, Kirovohrad, Ukraine

Investigation of the kinetics crystallization effect on the properties of the castings of the cast-iron grinding bodies

The aim of this work is studying how speed of hardening and chromium's modified additives affect to structure of cast iron's cylinder in metallic form for rising of the shock and abrasive durability.

Here is examined use of mathematical modeling to identify the start time and end time of hardening alloying metal, depending on the chemical composition of the alloy, and to predict the ratio between amount of ledeburite, which determines the durability of the cylinder, and number of austenite-graphite eutectic.

Comparative analysis of performance properties and value of its achievements showed that today the best compromise is to manufacture grinding bodies from cast iron. The cast iron has to be low alloyed by the chromium (0.8-1%).

cylinder for crushing, alloyed cast iron, chromium, metallic form, solidification, structure, modeling

Одержано 29.01.16

УДК 621.865.8

І.І. Павленко, проф., д-р техн. наук, П.В. Попруга, асп.

Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна,

E-mail: poprugapavel@gmail.com

Алгоритм та програмний модуль побудови кінематичних схем промислових роботів

В статті представлено розроблений алгоритм для побудови кінематичних схем промислового робота за допомогою створеного програмного модуля. Особливістю модуля є формування кінематичної схеми в автоматичному режимі з можливістю задання розмірів для кожної кінематичної пари схеми та переміщення цих пар по заданим параметрам руху, що дає змогу більш якісно вирішувати питання обґрунтованої розробки конструкції промислового робота.

промисловий робот, кінематична пара, кінематична схема, алгоритм побудови кінематичних схем промислових роботів, програмний модуль побудови кінематичних схем промислових роботів, процедура

И.И. Павленко, проф., д-р техн. наук, П.В. Попруга, асп.

Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград, Украина

Алгоритм и программный модуль построения кинематических схем промышленных роботов

В статье представлен разработанный алгоритм для построения кинематических схем промышленного робота с помощью созданного программного модуля. Особенностью модуля является формирование кинематической схемы в автоматическом режиме с возможностью задания размеров для каждой кинематической пары схемы, а также одной из особенностей является перемещение каждой ланок кинематической пары по заданным параметрам движения, что позволяет более качественно решать вопросы обоснованной разработки конструкции промышленного робота.

промышленный робот, кинематическая пара, кинематическая схема, алгоритм построения кинематических схем промышленного робота, программный модуль построения кинематических схем промышленного робота

Постановка проблеми. Промислові роботи мають високу кінематичну рухомість виконуючих органів, що дозволяє їм здійснювати складні просторові переміщення та орієнтування деталей, які підлягають транспортуванню. Створення якісних конструкцій промислових роботів є важливою проблемою, від її вирішення суттєво залежить ефективність впровадження їх у виробництво.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботах [1] проводились початкові структурні, кількісні та кінематичні аналізи роботів з двома та трьома ступенями рухомості. В якості продовження аналізу було проведено автоматизований структурний та кількісний аналізи роботів з різними ступенями рухомості [2]. Результатами цих аналізів є структурні формули доцільних варіантів кінематичних схем промислових роботів. В якості продовження пропонується впровадити автоматизовану побудову кінематичних схем та загального виду промислового робота.

© І.І. Павленко, П.В. Попруга, 2016