

УДК 621.74.046

<https://doi.org/10.34185/tpm.6.2019.07>

Фесенко М.А., Фесенко А.Н., Могилатенко В.Г.

Розширення можливостей методу внутрішньоформового модифікування для виробництва чавунних виливків із диференційованими властивостями

Fesenko M., Fesenko A., Mogylatenko V.

Expanding the capability of the in-mold modification method for the production of cast iron molds with differentiated properties

Присвячується ідеологу та керівнику наукового напрямку диференціації властивостей частин виливків модифікуванням чавуну в ливарній формі кафедри ЛВЧКМ НТУУ КПІ імені Ігоря Сікорського
к.т.н., доц. Косячкову В'ячеславу Олександровичу

В даній статті наведені результати щодо розроблення нового способу виготовлення чавунних виливків із в'язкою матричною основою та твердою зносостійкою поверхнею з заливання базового розплаву в ливарну форму та модифікуванням частини (порції) його в реакційній камері ливникової системи.

Наведена сутність процесу модифікування рідкого чавуну в ливарній формі, який покладено в основу запропонованого способу, особливості виготовлення виливків із його застосуванням, основні переваги та недоліки.

З аналізу літературних та практичних даних встановлено, що одним із головних недоліків внутрішньоформового модифікування є можливість нерівномірного або неповного розчинення модифікатора з реакційної камери в потоці рідкого чавуну, в результаті чого при кристалізації виливків може відбуватися формування в них неоднорідної структури (тобто поєднання частин з модифікованого та не модифікованого чавунів).

Проаналізовані можливі та обрані перспективні технологічні варіанти виготовлення чавунних виливків із диференційованими структурою та властивостями за запропонованим способом. Встановлені основні чинники, які впливають на формування виливків із різною структурою та властивостями в локальних їх частинах (шарах), а саме: базовий розплав чавуну, тип модифікатора, конфігурація вилівка та конструкція ливниково-модифікувальної системи. Розроблено план експерименту.

Експериментальними дослідженнями підтверджена можливість реалізації запропонованого способу диференціації структури та властивостей виливків. В результаті отримані виливки з поєднанням ударостійкого висококомічного чавуну в одній їх частині та зносостійкого білого чавуну в іншій.

Запропонований спосіб перспективний для впровадження в промислову практику на підприємствах з метою вирішення комплексу завдань щодо підвищення якості та властивостей чавунних виливків широкого призначення. Наведені приклади номенклатури виливків із поєднанням частин із білого та висококомічного чавунів.

Ключові слова: спосіб, внутрішньоформове модифікування, сірий чавун, білий чавун, висококомічний чавун, двошарові виливки, двобічні виливки, сфероїдизувальний і графітузувальний модифікатори, карбидоутворювальна добавка, структура, властивості, твердість, зносостійкість.

This article presents the results of developing a new method of making cast iron castings with a viscous matrix base and a hard wear-resistant surface by pouring the base melt into a mold and modifying part (portions) of it in the reaction chamber of the casting system.

Setting the context of the process of modification of liquid cast iron in casting, which is the basis of the proposed method, features of manufacturing castings with its application, the main advantages and disadvantages.

From the literature analysis and practical data it is established that one of the main disadvantages of in-mold modification is the possibility of uneven or incomplete dissolution of the modifier from the reaction chamber in the flow of liquid iron, resulting in the crystallization of castings may occur in them heterogeneous structure (the combination of parts of the modified and unmodified cast iron).

Possible and selected perspective technological variants of making cast iron castings with differentiated structure and properties according to the proposed method are analyzed. The main factors that influence the formation of castings with a cut structure and properties in their local parts (layers) are established, namely: base iron melt, type of modifier, configuration of casting and design of foundry-modifying system. Experiment plan developed.

The experimental results confirmed the implementation of the proposed method of differentiation of the structure and properties of castings. The result is castings with a combination of high-strength cast iron in one part and durable white cast iron in the other.

The proposed method is promising for implementation in industrial practice at enterprises in order to solve a complex of problems to improve the quality and properties of cast iron castings of wide use. Examples of casting nomenclature with the combination of white and high strength cast iron parts are given.

Keywords: method, in-mold modification, gray cast iron, white cast iron, high-strength cast iron, two-layer castings, double-castings, spheroidizing and graphitizing modifiers, carbide-stabilizing additive, structure, properties, hardness, wear resistance

Фесенко Максим Анатолійович - к.т.н., доц. КПІ
Фесенко Анатолій Миколайович – к.т.н., доц. ДДМА,
Могилатенко Володимир Геннадійович – д.т.н., проф. КПІ

Fesenko M. - Ph.D., Assoc. KPI
Fesenko A. - Ph.D., Assoc. DNMA
Mogylatenko V. - Doctor of Technical Sciences, prof. KPI

Вступ.

До окремих частин (поверхонь) багатьох деталей, які працюють в умовах абразивного, а також ударно-абразивного зношування, часто пред'являють діаметрально протилежні вимоги за механічними та експлуатаційними властивостями. Такі деталі повинні мати тверду зносостійку робочу поверхню та м'яку ударостійку серцевину, основу або елементи монтажного кріплення.

Зносостійкість робочих частин (поверхонь) в достатній мірі може забезпечити білий чавун з карбідними вкрапленнями заліза, хрому та інших легувальних елементів, підвищену пластичність і в'язкість – магнієвий високоміцний чавун із кулястим графітом феритного класу.

Широко відомі способи диференціації структури та властивостей металу в локальних частинах виливків базуються на виплавлянні чавуну, схильного до кристалізації з вибіленням (білого чавуну) і схильного до кристалізації з виділенням графіту (сірого чавуну) в двох окремих плавильних агрегатах з подальшим одночасним або послідовним їх заливанням в загальну ливарну форму [1,2]. При цьому, сфероїдизувальне модифікування магнієм і його сплавами для перетворення крихкого сірого чавуну в високоміцний застосовується в окремих випадках.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми.

Технологічний процес виробництва виливків із високоміцного чавуну (ВЧ) модифікуванням розплаву в реакційній камері ливникової системи безпосередньо при заливанні ливарної форми ("Inpould-process") розроблений на початку 70-х років минулого століття [3-6]. У попередні роки для отримання ВЧ рідкий чавун, кристалізація якого відбувається з виділенням графіту (сірий чавун) модифікували металевим магнієм, нікель-магнієвою або феросиліцій-магнієвою лігатурами виключно в розливному ковші [3-6]. Нетрадиційний спосіб внутрішньоформового модифікування внаслідок недоліків, а саме, необхідності виплавляння базового рідкого чавуну з низьким вмістом сірки, зменшення виходу придатного лиття за рахунок додаткових елементів ливникової системи, потенційної можливості нерівномірного або неповного розчинення модифікатора з реакційної камери в потоці металу, підвищеної ймовірності поразки виливків продуктами реакції модифікування (газовими раковинами та неметалевими шлаковими вкрапленнями) спочатку був зустрінутий фахівцями скептично [5,6].

Після більш детального ознайомлення з особливостями технологічного процесу внутрішньоформового модифікування, який дозволяє поліпшити та стабілізувати структуру чавунних виливків (особливо тонкостінних виливків) без додаткового термічного оброблення, скоротити витрату модифікаторів, значно зменшити втрату активних елементів на окислення, виключити інтен-

сивне димовиділення, піроефект, збільшити продуктивність та покращити умови праці, забезпечити можливість автоматизації процесів модифікування та заливання [7-13], в подальшому він досить швидко був впроваджений у виробництво на ряді підприємств у чавуноливарних цехах автомобілебудівних заводів [7-15].

При обробленні рідкого чавуну в ливарній формі модифікувальний сплав перед складанням форм завантажують у спеціальну реакційну камеру, ливникової системи. В процесі заливання рідкий чавун в реакційній камері взаємодіє з модифікувальним сплавом, розчиняє його та надходить в порожнину ливарної форми, в якій формується вилівок із заданою структурою та властивостями [7-15]. Однак при високій швидкості заливання форм наприклад, базовий сірий чавун, як правило, встигає заповнити нижню частину порожнини форми за інкубаційний період прогріву верхнього шару модифікатора, який розміщено в реакційній камері до температури його плавлення та тільки після початку реакції модифікування верхня частина форми заповнюється високоміцним чавуном. В результаті зазначеного недоліку невідомо можливо отримати виливки з двох різних видів чавуну (тобто модифікованого і немодифікованого чавунів) [15].

Керуючись принципом "перетворити шкоду на користь" в даній статті відпрацьовується новий спосіб отримання виливків із диференційованими властивостями, який полягає в попередньому завантаженні модифікатора в реакційну камеру ливникової системи ливарної форми з наступним заливанням форми чавуном через реакційну камеру та розчиненням модифікатора в струмені чавуну. При цьому розрахункова кількість модифікатора та тривалість його розчинення навмисне зменшується таким чином, щоб на другому етапі заливання частина чавуну надходила у форму без модифікування або через спустошену реакційну камеру, або через незалежну ливникову систему [16].

Мета роботи

Метою роботи є розроблення способу та дослідження процесів виробництва виливків із диференційованою структурою та властивостями з різних видів чавунів модифікуванням частини (порції) базового розплаву в реакційній камері ливникової системи.

Методика досліджень.

Об'єктами дослідження вибрали плиту розміром 240×240×25 мм і брусок розміром 240×120×50 мм масою 10,0±0,2 кг з різними по конструкції ливниковими системами з однієї або парними реакційними камерами. Плита (рис. 1, а) з однієї локальною частиною з м'якого (М), а інший – з твердого (Т) чавуну з горизонтальним або вертикальним розташуванням в формі за умовами експлуатації моделює фрагменти виливків типу зуб ковша екскаватора, ніж розпушувача, молоток дробарки, зубчасте колесо тощо.

Брусок (рис. 1, б) з м'якою основою (М) і твердою робочою поверхнею (Т) моделює фрагменти виливків типу броньфутеровальна плита дробарки, склиз бункера, прокатний валок і т.п.

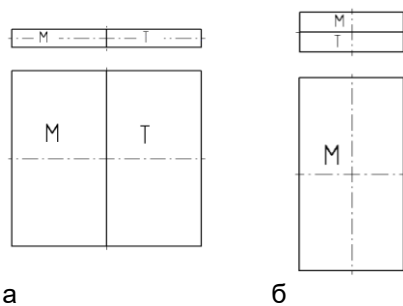


Рисунок 1 – Фізичні моделі виливків типу плита (а) і брусок (б) з м'яким (М) і твердим (Т) металом в локальних частинах

Варіант ливникової системи для модифікування порції рідкого чавуну від загальної маси, що заливається в форму з однієї реакційної камерою (рис. 2, поз. 1) прийнятий для отримання виливків типу брусок.

Реакційна камера завантажується модифікатором або лігатурою з розрахунку, наприклад, 20% від кількості, необхідної для оброблення всієї маси металу виливка. Через реакційну камеру, наприклад, з ферохрому пропускається рідкий високоміцний чавун, модифікований магнієм в розливному ковші. В результаті за певних умов нижня по відношенню до горизонту частина металу виливка кристалізується з білого зносостійкого твердого чавуну, а верхня – з базового м'якого чавуну з кулястим графітом. Аналогічний результат виходить при виготовленні плити з ярусною або щілинною ливниковою системою, розташованою вертикально по відношенню до горизонту.

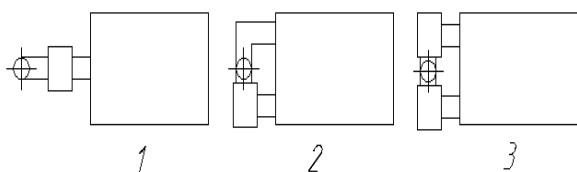


Рисунок 2 – Варіанти конструкцій ливникової системи для модифікування чавуну в ливарній формі з однієї реакційної камерою та одним живильником (1), з однією камерою та двома живильниками (2), з двома камерами та двома живильниками (3)

Більш складний варіант з однією камерою реалізується шляхом перекриття частини модифікатора реакційної камери сталеву пластину. В цьому випадку базовий сплав заливає нижню частину порожнини форми й одночасно розчиняє сталеву пластину. У другій фазі заливання сплав модифікується та заповнює верхню частину по-

рожнини форми. При цьому наприклад, нижня частина виливка кристалізується з білого, а верхня – з високоміцного чавуну.

Одну реакційну камеру можна завантажити двома різнорідними шарами, наприклад, знизу ферохрому, а зверху феросиліцій-магнієвим модифікатором. При заливанні форми сірим чавуном при цьому принципово можливо отримати виливок із диференційованими властивостями окремих частин, з білого та високоміцного чавунів.

При виготовленні виливка типу плита частина рідкого металу можна пропускати через реакційну камеру з феросплавів, а іншу частину – безпосередньо з стояка в порожнину форми (рис. 2, поз.2). Якщо при цьому камеру завантажити ферохромом, а форму заливати високоміцним чавуном, принципово можливо отримати виливок із такими ж диференційованими властивостями окремих бічних частин, як і в попередньому випадку.

В одній формі можна розмістити дві реакційні камери (рис.2, поз. 3). Дві камери завантажуються різними за хімічним складом і функціональним призначенням феросплавів. Наприклад, в одну реакційну камеру завантажується феросиліцій-магнієвий модифікатор, а в іншу – ферохром. Якщо таку форму заливати сірим чавуном, принципово можливо отримати виливок, одна частина якої буде з високоміцного чавуну з кулястим графітом, а інша – з твердого білого зносостійкого чавуну.

Із вище сказаного випливає, що в якості базового сплаву для виробництва виливків із диференційованими властивостями з застосуванням внутрішньоформового модифікування може служити (рис. 3) модифікований поза формою магнієвий чавун феритного класу (Ф), перемодифікований магнієм або звичайний білий чавун з перліто-цементитною структурою (Ц), звичайний сірий чавун (С).

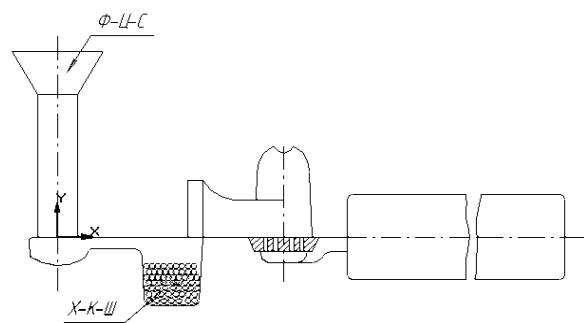


Рисунок 3 – Варіанти заливання форми високоміцним феритним (Ф), білим із перліто-цементитною структурою (Ц), сірим (С) чавуном і завантаження реакційної камери карбидоутворювальним ферохромом (Х), графітизувальним ферросиліцієм (К), сфероїдизувальним феросиліцій-магнієвим модифікатором (Ш)

Реакційну камеру можна завантажувати (див. рис. 3) подрібненим ферохромом (Х), феросиліцієм (К), феросиліцій-магнієвим модифікатором (Ш), пошарово комбінувати ці феросплави в одній загальній реакційній камері (ХК), (ХШ), (КШ) або ж окремо завантажувати дві реакційні камери різнорідними феросплавами (Х-К), (Х-Ш), (К-Ш). В

процесі відпрацювання методики та коригування експерименту (таблиця 1) дослідні плавки виконували з варіюванням чотирьох чинників: "базовий розплав чавуну" (Ф-Ц-С по рис. 3), "тип модифікатора" (Х-К-Ш по рис. 3), "конфігурація вилівка" (а-б по рис. 1) і "конструкція ливниково-модифікувальної системи" (1-2-3 по рис. 2).

Таблиця 1 – План проведення експериментів

| № опыта | Чинники | | | | Примітка |
|---------|-----------------|------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
| | базовий расплав | тип модифікатора | конфігурація вилівка | ливникова система | |
| 1 | С | ХШ | а | 1 | двухслойный заряд |
| 2 | С | Х-Ш | б | 3 | в двух камерах |
| 3 | Ц | К | а | 1 | 0,5 заряда |
| 4 | Ц | К | б | 2 | 0,5 заряда |
| 5 | Ф | Х | а | 1 | 0,5 заряда |
| 6 | Ф | Х | б | 2 | 0,5 заряда |

Результати досліджень та їх обговорення.

Попередні результати показали, що в вилівках типу вертикальної плити з однієї реакційної камерою диференціація структури та властивостей чавуну по висоті перерізу досягається при використанні поверхової або вертикально-щільної ливникової системи.

Зокрема, при завантаженні в камеру 0,8...1,0% від маси вилівки сфероїдизувального модифікатора ФСМг7 і спокійним повільним (приблизно 18 сек.) заливанням форми доєвтектичний чавуном, схильним до кристалізації з вибіленням (білим чавуном) нижня частина плити кристалізується з високоміцного чавуну з кулястим графітом твердістю 260...280 НВ, а верхня – з білого чавуну твердістю 380...400 НВ. Між верхньою та нижньою частиною перерізу вилівка спостерігається досить широка перехідна зона з вибіленого чавуну зі змішаними формами графіту.

Після низькотемпературного відпалу на ферит твердість нижній частині плити знижується до 190...200 НВ, а верхній – фактично зберігається на попередньому рівні – 370...390 НВ.

При виготовленні вилівок типу горизонтальних брусків взаємне гідродинамічне перемішування

рідкого металу та дифузійний перерозподіл модифікувальних елементів у період від початку заповнення форми до початку твердіння поверхової скоринки сплаву перешкоджає диференціації властивостей чавуну по висоті перерізу вилівка. В залежності від комбінації технологічних факторів вилівки кристалізуються по всьому перерізу або з базового білого, або з модифікованого високоміцного чавуну.

Для уникнення подібного вирівнювання структури в масивних вилівках типу горизонтального бруска, форми спочатку частково заливали білим чавуном через реакційну камеру з феросиліцій-магнієвим модифікатором. Потім заливання переривали, витримували модифікований чавун в формі до початку його твердіння (приблизно до 90 сек.) і доливали форму білим чавуном через другу незалежну від першої ливникову систему. У зламі перерізу стінки таких вилівок спостерігається досить чітка межа розділу між верхнім розміщенням в формі шаром білого зносостійкого чавуну та нижнім шаром ударостійкого високоміцного чавуну (рис. 4).

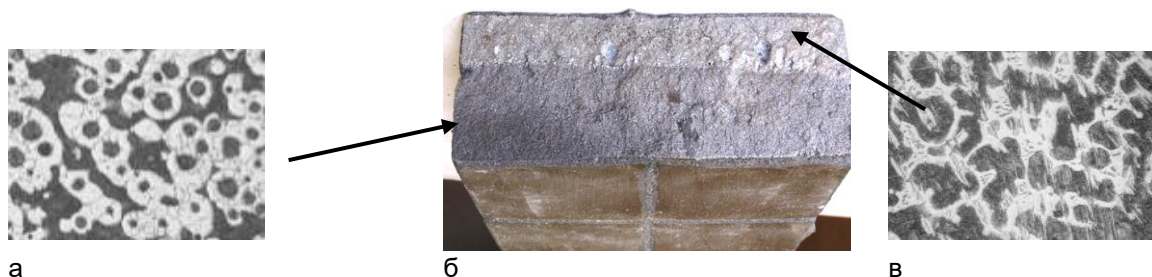


Рисунок 4 – Загальний вигляд макроструктури зламу (б, ×0,5) та мікроструктура (а, в, ×100) вилівка бруска висотою 50 мм з модифікованого у формі м'якого ударостійкого високоміцного чавуну з кулястим графітом (знизу) і зносостійкого білого чавуну з перліто-цементитною структурою (зверху)

Висновки.

Спосіб виготовлення вилівок із диференційованими властивостями з модифікуванням порції

(частини) рідкого базового чавуну в ливарній формі перспективний до впровадження для виробництва композиційних броньфутеровальних плит, робочих елементів шоккових, молоткових і валкових дробарок, склізів бункерів силпких матеріалів і інших литих деталей, що піддаються ударно-абразивного або безударно-абразивного зношуванню.

Він дозволяє підвищити ефективність процесів виготовлення високоякісних чавунних виливків із

заданим комплексом структури та властивостей, спростити і здешевити їх технологічний процес виготовлення, поліпшити умови праці в цехах за рахунок зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферу. Впровадження технології не вимагає переоснащення і зміни процесів виготовлення виливків, які застосовуються в цехах підприємства та дозволить розширити номенклатуру лиття.

Бібліографічний опис

1. Гидродинамические особенности процессов получения биметаллических отливок / Г. Д. Костенко, О. А. Пеликан, Ю. Н. Романенко, Д. Г. Костенко // Процессы литья. 2006. №1. С. 69-73.
2. Технологические особенности производства биметаллических (многослойных) отливок повышенной износостойкости / В. В. Ширяев, О. А. Пеликан, И. О. Шинский, Д. В. Глушков, Ю. Н. Романенко // Металл и литье Украины. 2009. №7-8. С. 52-56.
3. McCaulay J. L. Production of Nodular-graphite Iron Castings by the Inmold-Process // Foundry Trade Journal. 1971. №4. P. 327-332.
4. Косячков В. А., Ващенко К. И. Особенности технологии получения высокопрочного чугуна модифицированием в форме // Литейное производство. 1975. №12. С. 11-12.
5. Косячков В. А. Чугун с шаровидным графитом. Появление и развитие // Литейное производство. 1996. №2. С. 4-5.
6. Бубликов В. Б. Высокопрочному чугуна – 60 // Литейное производство. 2008. №11. С. 2-8.
7. Болдырев Д. А. Внутриформенное модифицирование чугуна магниевым модификатором с лантаном // Литейное производство. 2006. №5. С. 10-13.
8. Lerner Y. S., Riabov M. V. Iron Inoculation: An Overview of Methods // Modern casting. 1999. № 6. P. 37-41.
9. Ductile Iron Trends: reducing costs. Improving Quality / Csonka J. M. [and other]. // Modern casting. 2002. № 5. P. 27-29.
10. Knustad O. Проблемы, возникающие при производстве высокопрочных чугунов. Обзор существующих способов получения ВЧ и используемых модификаторов // Литейщик России. 2011. №4. С. 15-17.
11. Taku O. Production of iron castings with altered graphite morphology by a modified Inmold process // International Journal of Cast Metals Research. 1997. №9. P. 279-284.
12. Ковалевич Е. В. Современные способы модифицирования для получения в чугуна шаровидного. Литейное производство. 2014. №2. С. 2-5.
13. Способы внутриформенного модифицирования чугуна / М. А. Фесенко., А. Н. Фесенко, В. А. Косячков, В. Г. Могилатенко // Процессы литья. 2013. №1. С. 44–49.
14. Gumienny G., Kurowska B. Analysis of the Graphite Shape in Cast Iron Obtaining by Inmold Process // Archives of Foundry Engineering. 2015. Volume 15. Special Issue 3/2015. S. 15-20.
15. Olawale J. O., Ibitoye S. A., Oluwasegun K. M. Processing Techniques and Productions of Ductile Iron // International Journal of Scientific & Engineering Research. September-2016. Volume 7. Issue 9. S. 397-423.
16. Фесенко М. А., Фесенко А. Н. Перспективные направления использования метода внутриформенного модифицирования расплава для изготовления отливок с заданными эксплуатационными свойствами // Литье и металлургия. 2013. Т. 4(73). С. 35-41.

References

1. Hidrodinamicheskie osobennosti proccessov polucheniya bimetallicheskich otlivok / G. D. Kostenko, O. A. Pelikan, Yu. N. Romanenko, D. G. Kostenko // Proccessy` litty. 2006. №1. S. 69-73.
2. Tekhnologicheskie osobennosti proizvodstva bimetallicheskich (mnogoslojny`kh) otlivok pov`shennoj iznosostojkosti / V. V. Shiryayev, O. A. Pelikan, I. O. Shinskij, D. V. Glushkov, Yu. N. Romanenko // Metall i lit`e Ukrainy`. 2009. №7-8. S. 52-56.
3. McCaulay J. L. Production of Nodular-graphite Iron Castings by the Inmold-Process // Foundry Trade Journal. 1971. №4. P. 327-332.
4. Kosyachkov V. A., Vaschenko K. I. Osobennosti tehnologii polucheniya vyisokoprochnogo chuguna modifits`rovaniem v forme // Liteynoe proizvodstvo. 1975. №12. S. 11-12.
5. Kosyachkov V. A. Chugun s sharovidny`m grafitom. Poyavlenie i razvitie // Litejnoe proizvodstvo. 1996. №2. S. 4-5.
6. Bublikov V. B. Vysokoprochnomu chugunu – 60. Litejnoe proizvodstvo // 2008. №11. S. 2-8.
7. Boldyrev D. A. Vnutriformennoe modifitsirovanie chuguna magnievyim modifikatorom s lantanom // Litejnoe proizvodstvo. 2006. №5. S. 10-13.
8. Lerner Y. S., Riabov M. V. Iron Inoculation: An Overview of Methods // Modern casting. 1999. № 6. P. 37-41.

