

## Управление формированием структуры чугуна с вермикулярным графитом в отливках сталеразливочных изложниц

*Проведен анализ факторов, влияющих на эксплуатационную стойкость сталеразливочных изложниц, и рассмотрены технологии получения оптимального материала для изложниц – чугуна с вермикулярным графитом (ЧВГ), а также технологические факторы управления формированием необходимой металлической структуры ЧВГ. Определены оптимальные составы модификаторов и их расходные характеристики для получения ЧВГ.*

**Ключевые слова:** изложница, чугун с вермикулярным графитом (ЧВГ), модификатор, присадка графитизирующая, феррит, перлит, отбел

В качестве материала сталеразливочных изложниц традиционно используется чугун с пластинчатым графитом. Чугунные изложницы, применяемые в металлургии, насчитывают свыше 300 типоразмеров массой от 0,1 до 27,0 тонн [1]. Изложницы делятся по развесу, назначению, конструкции, форме внутреннего сечения и наружной поверхности, характеру усиления бандажими, способу выплавки чугуна и его составу, типу заливаемой стали, способу утепления верха слитка, обработке торцевой поверхности.

Технические регламенты, как правило, оговаривают чистоту и наличие дефектов на внутренней, наружной, торцевой поверхности и на дне изложниц, размеры дефектов, надлежащих заварке, а также допускаемые отклонения от нормативных размеров по чертежу.

На исполнение вышеперечисленных требований влияют технические и человеческие факторы: технология формообразования наружной и внутренней поверхностей изложниц, подготовка расплава (химический состав), модифицирование, температура заливки чугуна в формы, а также квалификация персонала.

Качество и стойкость изложниц определяется их расходом при эксплуатации, то есть количеством наливов стали до выхода из строя (образование дефектов, не позволяющих эксплуатацию изложницы)

Условия эксплуатации сталеразливочных изложниц чрезвычайно жесткие, так как при заполнении расплавом внутренняя (рабочая) поверхность нагревается до 1000 °С, в то время, как наружная поверхность достигает температуры 400...500 °С. Резкий перепад температур в стенке изложницы вызывает колоссальные термические напряжения между наружной и внутренней поверхностями. Причем, как правило, внутренние поверхности изложницы испытывают сжатия, а наружные – растяжения. После извлечения слитка знак напряжений меняется на обратный. Цикличность эксплуатации изложниц (в режиме нагрев-охлаждение) вызывает образование дефектов (трещин, выгара, вырывов, размывов стенки, сеток разгара, механических повреждений и т. д.), что приводит к разрушению.

Одним из наиболее эффективных способов повышения эксплуатационной стойкости является правильный выбор материала сталеразливочных изложниц. Научно-исследовательские работы и практические результаты показали, что оптимальным материалом сталеразливочных изложниц является чугун с вермикулярным графитом. Опыт Чусовского и Выксунского металлургических заводов показал увеличение эксплуатационной стойкости в 1,2-1,5 раза, в сравнении с изложницами из серого чугуна, и в 1,1-1,3 раза – из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом. Объясняется это особенностями формирования структуры чугуна с вермикулярным графитом в отливках сталеразливочных изложниц, главным из которых является объемный графитный каркас, окруженный преимущественно ферритной металлической матрицей. Особенности сочетания объемно-графитного каркаса (в сечениях – вермикулярной формы) и феррита в совокупности определяют комплексную устойчивость к термическим напряжениям, механическим и гидродинамическим воздействиям расплава, повышая эксплуатационную стойкость изложниц.

В современном литейном производстве разработано множество технологических процессов получения отливок из чугуна. Технологии осуществляются путем использования различных методов обработки исходного расплава чугуна, то есть модифицирования (графитизирующего, вермикуляризирующего, сфероидизирующего).

Кристаллизация высокоуглеродистых сплавов железа (чугунов) может происходить как по стабильной диаграмме состояния железо-углерод с выделением свободного углерода (графита), так и по метастабильной диаграмме с выделением углерода в связанном состоянии в виде цементита  $Fe_3C$ . На практике в условиях реального литейного производства в зависимости от «жесткости» химического состава чугуна кристаллизация сплава может идти параллельно с выделением свободного углерода (графита) и одновременно с образованием в отдельных участках отливки цементита. Кристаллизация цементитной

фазы наблюдается в тонкостенных сечениях отливок, а также в углах конструкционных переходов и на кромках тела отливки.

Актуально решение проблемы кромочного отбела в отливках не только для серого чугуна и высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, но и в литье из чугуна с вермикулярным графитом (ЧВГ).

Свойства ЧВГ, такие как предел прочности при растяжении, твердость, ударная вязкость, электропроводность, обрабатываемость, ростоустойчивость, износостойкость, усадка и другие занимают промежуточное положение между серыми чугунами с пластинчатым графитом (СЧ) и чугунами с шаровидной формой графита (ЧШГ).

Благодаря незначительной склонности к образованию усадочных раковин, ЧВГ в отличие от ЧШГ может заливаться, в отдельных случаях, без питающей прибыли, так как литейная усадка СЧ и ЧВГ существенно не отличается. Поэтому, при переводе производства отливок с серого чугуна на чугун с вермикулярным графитом, как правило, отпадает необходимость в дорогостоящем изменении модельной оснастки.

Физико-механические свойства и области применения ЧВГ оговариваются ГОСТом 28394. Форма графита в ЧВГ классифицируется по соотношению длины и толщины графитных включений и согласно ГОСТу 3443 имеем: ВГф 1, ВГф 2, ВГф 3.

Ферритный чугун с вермикулярным графитом обладает целым рядом эксплуатационных и технологических преимуществ перед СЧ и ферритным чугуном с шаровидным графитом.

Преимущества ЧВГ по сравнению с серым чугуном выражаются в: меньшей чувствительности к литейным дефектам типа, метафизического и химического пригара; более высокой прочности при растяжении и текучести (без применения дорогих легирующих добавок); большей пластичности и вязкости; меньшей склонности к окислению и большей ростоустойчивости при температуре до 950 °С; меньшей зависимости физико-механических свойств от толщины стенки отливки, а, следовательно, возможности снижения массы за счет уменьшения толщины стенки или повышения нагрузки без конструктивных изменений детали.

Преимущества ЧВГ перед высокопрочным ЧШГ можно выразить в следующем: более низком модуле упругости (при температуре 20 °С, МПа: ЧВГ – 15,19 · 10<sup>4</sup>; ВЧ – 17,74 · 10<sup>4</sup>); более низких коэффициентах теплового расширения; более высокой теплопроводности (ЧВГ –  $\lambda = 35-55$  Вт/(м °С); ВЧ –  $\lambda = 25-40$  Вт/(м °С); лучшей термической стойкости; меньшей склонности к короблению при повышенных рабочих температурах, то есть жаростойкости и жаропрочности; лучших демпфирующих свойствах и механической обрабатываемости; лучших литейных свойствах и, следовательно, большем выходе годного и возможности получения более сложных отливок при сопоставимых физико-механических характеристиках.

Морфологическая сложность строения вермикулярной формы графита в чугуне до последнего

С	S	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	P
4,0	0,017	1,93	0,38	0,082	0,06	0,08	0,019	0,045

времени затрудняла разработку надежных промышленных технологий, способных обеспечить воспроизводимость результатов в условиях массового производства. Приемлемое сочетание технологических и эксплуатационных свойств достигается, как правило, при содержании количества ВГ в структуре чугуна не менее 80 % (остальное – шаровидный графит; пластинчатый графит не допускается) от общего числа графитных включений.

По результатам проведенных испытаний по оценке усталостной прочности отливки «Изложница», изготовленные из ЧВГ-35 с использованием титаносодержащей лигатуры Vermiloy 3 и Vermiloy 5 (производства НПП, г. Челябинск), в %:

Vermiloy – 3	Vermiloy – 5
Mg – 4,5	Mg – 5,0
Ca – 5,1	Ca – 0,8
ΣРЗМ – 0,6	ΣРЗМ – 6,0
Al – 1,1	Al – 2,7
Si – 51,0	Si – 47,2
Fe – остальное	Fe – остальное
Ti – 9,5	Ti – 3,2

максимальная динамическая нагрузка разрушения изложницы составила  $P_{\text{макс}} = 35...43$  т, что на 16...43 % выше усталостной прочности ( $P_{\text{макс}} = 30$  т) изложницы, изготовленной из СЧ25.

Из анализа прочностных испытаний и металлографических исследований был сделан вывод, что разброс усталостной прочности по высоте изложницы связан с неоднородной структурой материала детали в различных зонах, обусловленной использованием титаносодержащего модификатора.

В связи с этим проведены работы с использованием «беститанового» модификатора Compactmag» фирмы «Elkem» для получения отливок «изложница» из материала, соответствующего марке чугуна ЧВГ-35 (ГОСТ 28394).

Модифицирование исходного чугуна следующего химического состава (табл.1) производилось вводом на дно ковша следующих модификаторов: Compactmag – 0,6 % от жидкого металла в ковше; FeSi75 Л-6 – 0,6 % от массы жидкого; позднее графитизирующее модифицирование «Присадкой графитизирующей» (производство ОДО «Эвтектика», г. Минск) – 0,05 % в стояк формы.

Результаты анализа микроструктуры и механических свойств клиновидных проб, залитых модифицированным металлом (табл. 2), и исследования однородности структуры по стенкам отливки «изложница» (табл. 3) показали, что полученные отливки из ЧВГ-35 по ГОСТу 28394 имеют необходимую однородность как по металлической основе (соотношение феррита и перлита), так и по количеству графита вермикулярной формы.

Таблица 1

Таблица 2

Твердость HB 5/750	Микроструктура, %		Механические свойства	
	графит	металлическая основа	$\sigma_B$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %
169-169	Bг 85	П-10-20	37,0	4,0
177-177	Bг 70	П-10-20	37,0	4,0
182-180	Bг 60	П-10-30	41,0	4,0

Таблица 3

Твердость HB 5/750	Микроструктура	
	графит, %	металлическая основа
153-156	Bг 70	П20Ф80
153-156	Bг 70	П8Ф92
156-156	Bг 70	- // -
156-156	Bг 70	- // -
154-156	Bг 75	П20Ф80
153-153	Bг 70	П15Ф85
145-150	Bг 75	П8Ф92
153-153	Bг 70	П15Ф85
154-154	Bг 70	П8Ф92

Одним из факторов, определяющих стабильность технологического процесса, является время эффективной «живучести» вермикуляризирующего модифицирования, а также эффективное позднее графитизирующее модифицирование

Полученные результаты позволяют судить о том, что оптимальные свойства ЧВГ-35 по ГОСТу 28394-89 достигаются при наличии в структуре чугуна 60-90 % вермикулярного графита от общего количества графитных включений, причем наличие пластинчатых включений не допускается.

Проведенные исследования показывают возможность сохранения эффекта вермикуляризирующего модифицирования до 25 мин. при проведении позднего графитизирующего модифицирования, что является важным аспектом при освоении производства отливок из чугуна с вермикулярным графитом для отливок «изложница».

Устойчивость технологического процесса производства отливок требует обязательного контроля целого ряда параметров (исходное содержание серы в чугуне, температура, количество вводимого модификатора, остаточное содержание магния и др.), но также и позднее графитизирующее модифицирование, которое напрямую влияет на вермикуляризирующую «живучесть» модифицирования, а значит на стабильность технологии получения ЧВГ.

Состав присадки графитизирующей представляет собой конгломерат углеродсодержащих высокомолекулярных соединений и мелкодисперсного модификатора на железокремниевой основе с актив-

ными элементами (барий, магний, РЗМ и др.), подверженный объемному прессованию, обеспечивающему требуемый баланс прочности и растворимости в чугуне.

Для исследования эффективности позднего графитизирующего модифицирования отливали плиты размером: 150×75×5 мм в сырые разовые формы при различных температурах: 1340, 1380 и 1420 °С. Позднее графитизирующее модифицирование проводили традиционным мелким модификатором ФС65Ва4 (0,3...0,8 мм) и «присадкой графитизирующей», которые вводили в стояк формы. После кристаллизации металла и остывании в форме, отливки «плиты» разламывались и измерялась величина отбела в тонком пятимиллиметровом сечении.

Химический состав исходного чугуна был следующий, %: С – 3,1...3,2; Si – 1,6...1,8; Mn – 0,8...0,9; Cr – 0,2...0,3; P – до 0,1; Ti – до 0,05; S – до 0,06.

На рис. 1 приведены сравнительные результаты снижения отбела в отливке «плита» под действием позднего графитизирующего модифицирования. Эффективность использования «присадки графитизирующей», по сравнению с традиционными мелкодробленными модификаторами, проявляется в широком диапазоне температур (от 1300 до 1420 °С), что дает возможность применения «присадок графитизирующих» как при ваграночной плавке, так и при электрическом индукционном или дуговом расплавлении чугуна.

Механизм действия присадки графитизирующей, основанный на теории гетерогенного затвердевания [2], позволяет достичь значительного «стимулирования» образования твердых подложек для роста графитной фазы, то есть инокулирующая способность

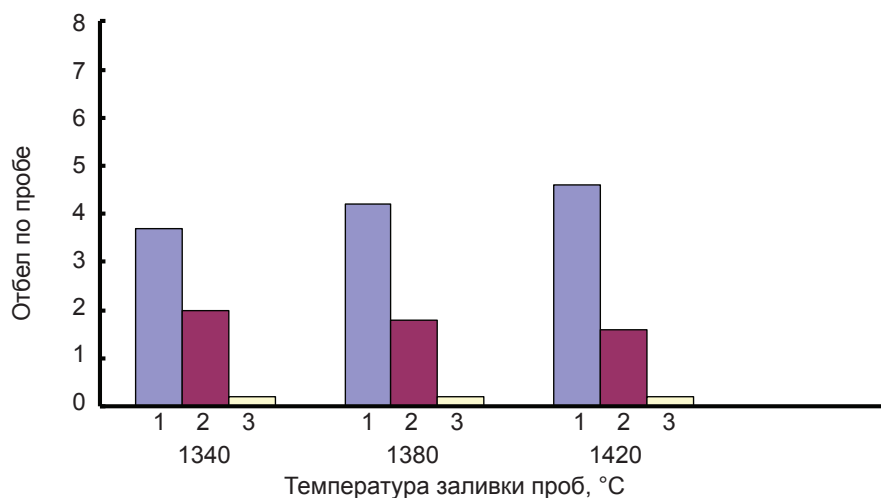


Рис. 1. Сравнительное влияние позднего графитизирующего модифицирования на величину отбела при различной температуре: 1 – исходный чугун без графитизирующего модифицирования, 2 – обработанный ФС65Ва4 в количестве 0,05 % от массы металла, 3 – обработанный «присадкой графитизирующей» в количестве 0,05 % от массы металла

максимально повышается благодаря образованию центров кристаллизации углеродсодержащих фаз непосредственно в форме перед кристаллизацией металла. Поэтому позднее модифицирование значительно повышает эффективность графитизирующей обработки по сравнению с традиционным ковшовым модифицированием (рис. 2) и позволяет получать отливки сложной конфигурации и большой массы, такие как изложница и другие, без кромочного отбела в литом состоянии, при полном соответствии требованиям технической документации по маркам чугуна и твердости отливок.

Присадка графитизирующая для снятия отбела в чугуне (ТУ 100196035.008-2006) производится ОДО «Эвтектика», г. Минск (E-mail: evtectik@nsys.by, тел./факс (1037517) 3694501; 3639294) в виде пресованных таблеток массой 25 г или кристаллы фракцией 0,2...0,8 мм. Комплексное модифицирование расплава чугуна вермикуляризирующим модификатором и присадкой графитизирующей позволяет управлять формированием структуры ЧВГ в отливках сталеразливочных изложниц с повышением эксплуатационной стойкости, что выражается в увеличении числа наливов, в среднем на 20...25 %.

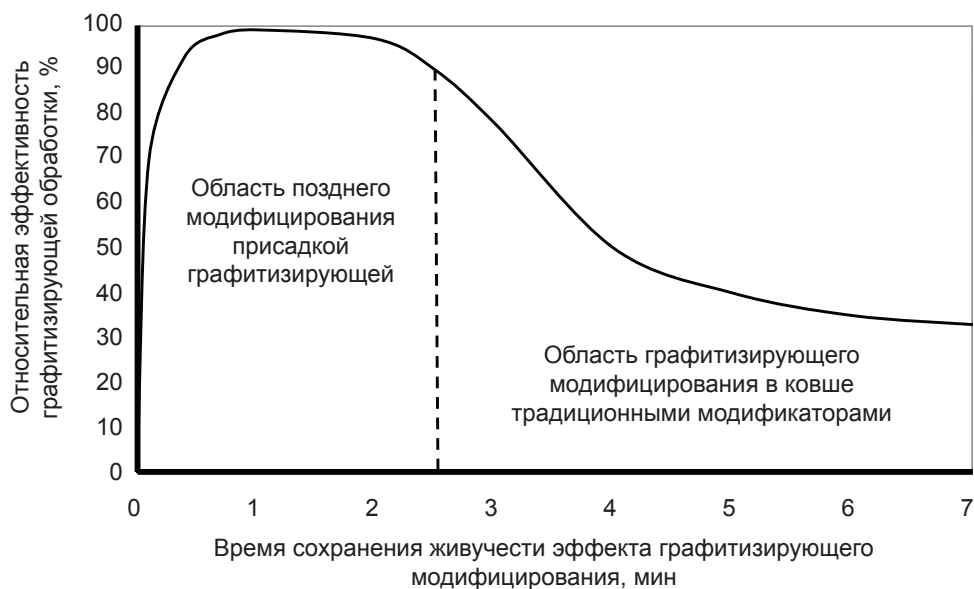
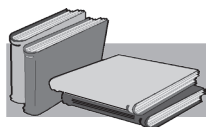


Рис. 2. Зависимость эффективности графитизирующей обработки от времени сохранения эффекта модифицирования



## ЛИТЕРАТУРА

1. Гиршович Н. Г. Справочник по чугунному литью. – Л.: Машиностроение, 1978. – 758 с.
2. Лекаш С. Н., Бестужев Н. И. Внепечная обработка высококачественных чугунов в машиностроении. – Минск: Наука і тэхніка. – 1992. – 269 с.

### Анотація

Корольов С. П., Михайловський В. М., Шешко А. Г.

Керування формуванням структури чавуну з вермикулярним графітом у виливках сталеразливочних виливниць

Проведено аналіз чинників, що впливають на експлуатаційну стійкість сталеразливочних виливниць, і розглянуто технології отримання оптимального матеріалу для виливниць – чавуну з вермикулярним графітом (ЧВГ), а також технологічні чинники управління формуванням необхідної металевої структури ЧВГ. Визначено оптимальний склад модифікаторів і їх витратні характеристики для отримання ЧВГ.

### Ключові слова

виливниця, чавун з вермикулярним графітом (ЧВГ), модифікатор, присадка, що графітизує, ферит, перліт, вибілювання



## Summary

Korolyov S. P., Mikhailousky V. M., Sheshko A. G.

The management of formation the structure of vermicular graphite cast iron in steel casting molds

The article is dedicated to the analysis factors, which influence to operational stability the steel casting molds, and to development the technology of obtaining the optimal material for the molds – vermicular graphite cast iron. in the article we were considered technological factors to control the formation required metallic structure of steel casting molds. optimal composition of the modifiers and their consumable characteristics for obtaining steel casting molds were be determined.

## Keywords

steel casting mold, vermicular graphite cast iron, modifier, graphitizing additive, ferrite, pearlite, bleach

Поступила 26.03.14



НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КІЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра ливарного виробництва



Кафедра «Ливарне виробництво чорних і кольорових металів» (ЛВЧКМ) Національного технічного університету України «КПІ» є провідною протягом 90 років серед навчальних закладів СНД та України з підготовки висококваліфікованих фахівців ливарного виробництва.

В даний час кафедра ЛВЧКМ здійснює підготовку за денною та заочною формами навчання бакалаврів, спеціалістів і магістрів за спеціальністю «Ливарне виробництво чорних і кольорових металів і сплавів» за кошти державного бюджету України.

В рамках вказаної спеціальності студенти кафедри отримують знання за спеціалізаціями (з видачею відповідних сертифікатів):

- Технології художнього та ювелірного литва;
- Комп'ютеризація технологічних процесів;
- Виготовлення литих стоматологічних та ортопедичних протезів.

Кращі студенти мають можливість завершити навчання в Німеччині і захистити два дипломи про вищу освіту. Це значно підвищує привабливість молодого фахівця на ринку праці.

Всі іногородні студенти забезпечуються місцями в гуртожитках. У всіх гуртожитках проведена мережа Інтернет.

**Запрошуємо випускників на навчання у КПІ на нашій кафедрі!**

**Наша адреса:** 03056, м. Київ-56, вул. Політехнічна 35, корпус 9, поверх 4.

Детальну інформацію про умови прийому можна отримати на сайті кафедри <http://foundry.kpi.ua> та за електронною поштою [foundry@iff.kpi.ua](mailto:foundry@iff.kpi.ua), або зателефонувати завідувачу кафедрою ЛВЧКМ **Кочешкову Анатолію Сергійовичу** тел. **(044)406-82-19, (044)454-97-72.**