

УДК 621.74

В. П. ГРУША, канд. техн. наук, доц.

А. П. ГУТЕВ

К. Н. БАРАНОВ

Институт технологии металлов НАН Беларуси (Могилев, Беларусь)

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СЕРОГО ЧУГУНА В ПОЛЫХ ЗАГОТОВКАХ ПРИ ЛИТЬЕ НАМОРАЖИВАНИЕМ

Аннотация

Проведены исследования влияния степени эвтектичности на изменения структурно-фазового состава и твердости серого экономнолегированного чугуна в заготовках, полученных методом намораживания.

Ключевые слова:

серый чугун, непрерывно-циклическое литье намораживанием, микроструктура, твердость.

На сегодняшний день актуальной является проблема создания оптимальной структуры чугуна, решение которой обуславливает повышение долговечности деталей машиностроения из этих железоуглеродистых сплавов. В различных отраслях промышленности в большом количестве используются полые цилиндрические заготовки, типа втулок, для изготовления различных деталей широкой номенклатуры: гильзы цилиндров, поршневые и уплотнительные кольца, подшипники скольжения и т. п.

Исследования, направленные на совершенствование технологии литья для дальнейшего расширения ее разрешающей способности, являются целесообразными и актуальными. В основе получения требуемых свойств в сплавах лежат два основных подхода: варьирование химического состава материала или термическая обработка для формирования необходимой микроструктуры.

Целью настоящей работы является повышение эффективности процесса непрерывно-циклического литья намораживанием полых цилиндрических отливок, получаемых без стержня в металлической водоохлаждаемой форме (кристаллизаторе), из экономнолегированного чугуна перлитного класса с пластинчатой формой графита.

Особенностью литья полых цилиндрических заготовок методом намораживания, выгодно отличающей его от традиционных способов литья, является извлечение отливки из кристаллизатора при температурах, существенно превышающих температуры фазовых превращений. Это преимущество метода позволяет, за счет регулирования режима охлаждения отливки, управлять процессами структурообразования [1]. Причем операция термической обработки отливок легко интегрируется в технологический процесс литья и может проводиться с использованием только первичного тепла отливок.

Сущность метода литья намораживанием, обеспечивающего формирование бездефектной мелкодисперсной структуры и повышенных свойств, заклю-

чается в том, что затвердевание полый цилиндрической отливки происходит в кристаллизаторе при высокой интенсивности радиального теплоотвода от ее наружной поверхности, при постоянном наличии в центральной части затвердевающей отливки перегретого расплава. В момент извлечения толщина стенки отливки определяется только фронтом затвердевания, и ее внутренняя поверхность имеет температуру солидус расплава.

Плавку экономнолегированного серого чугуна проводили в индукционной печи ИСТ-025 с кислой футеровкой. Разливку осуществляли ковшем металлоемкостью 100 кг при порционном графитизирующем модифицировании FeSiBa в количестве 0,3 от массы расплава. Степень эвтектичности ($Sэ$) рассчитывали по данным работы [2] на основе анализа химического состава, проводимого с использованием оптико-эмиссионного спектрометра «Solaris» фирмы «GNR» (Италия) с программным обеспечением «Metallab32». Стабильность химического состава плавки оценивали по содержанию основных элементов в четырех различных отливках. Исследования микроструктуры (рис. 1) проводили при помощи аппаратно-программного комплекса на базе оптического микроскопа Leica.

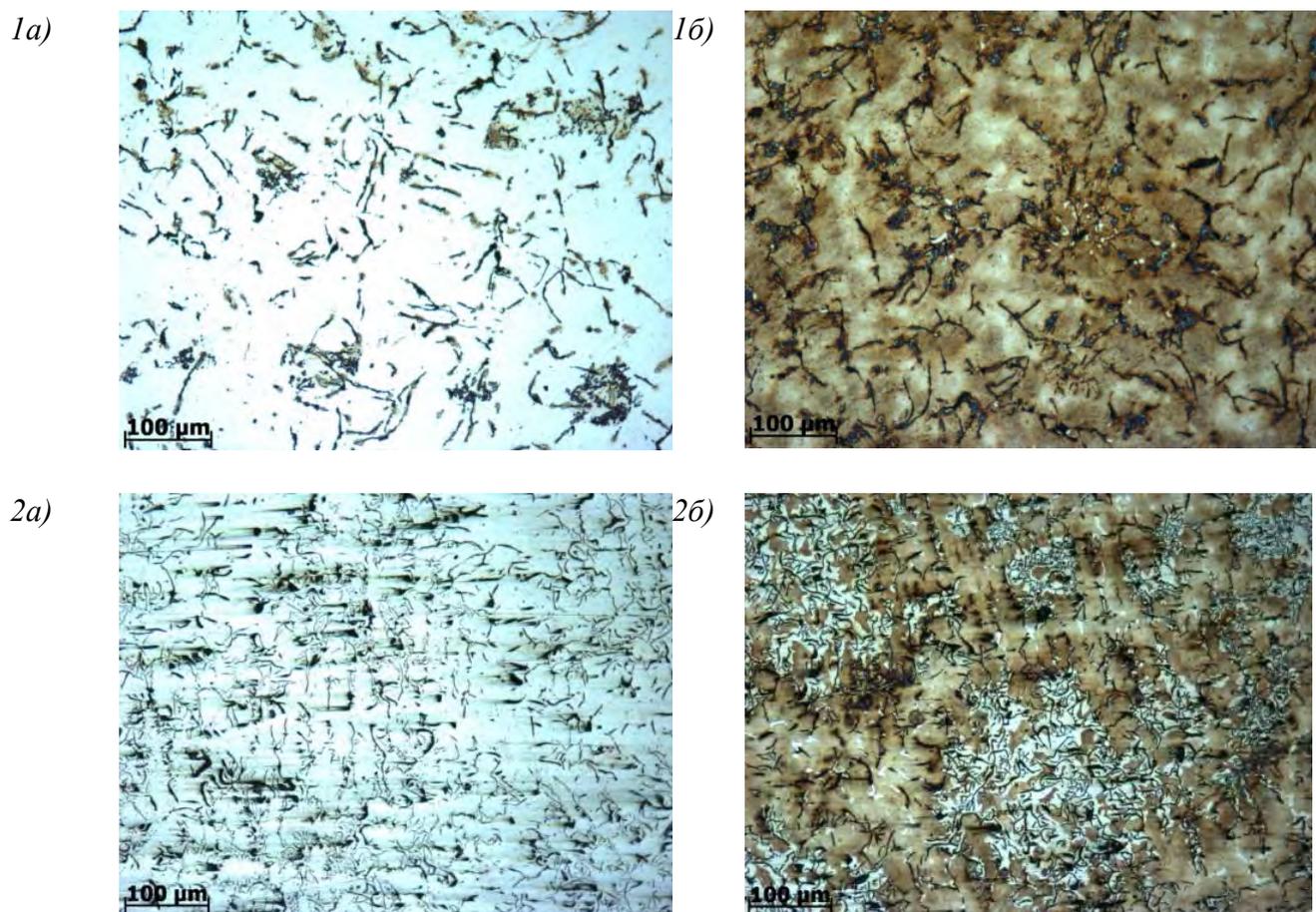


Рис. 1. Распределение и форма графитовых включений (*а*) и металлическая матрица (*б*) на внутренней поверхности чугунной заготовки при $Sэ=0,80$ (1), $Sэ=0,89$ (2) ($\times 100$)

Структура отливок из чугуна перлитного класса в максимальной степени соответствует требованиям, предъявляемым к деталям ответственного назначе-

ния. Материал отливок имеет высокую дисперсность металлической основы и благоприятное строение графитовой фазы, при этом их прочностные характеристики на 25 %...30 % выше по сравнению с аналогами, получаемыми традиционными способами литья [3].

Твердость по периметру отливок, полученных в ходе одной разливки, и ее равномерность определяли на торцевых поверхностях колец, вырезанных из различных зон по высоте. Измерения проводили в шести точках по методу Бринелля в соответствии с ГОСТ 9012–59. Установлено, что в заготовках из экономнолегированного серого чугуна, полученного методом намораживания, твердость в пределах 275...280 НВ наблюдалась у образцов со степенью эвтектичности 0,8. С увеличением этого показателя твердость снижается до 240 НВ.

При литье полых цилиндрических отливок методом намораживания, в результате комплексного анализа химического состава свойств и структуры, установлена зависимость изменения твердости, размеров графитовых включений ($ПГ\delta$) и количества феррита (Φ) серого экономно-легированного чугуна от степени эвтектичности (рис. 2).

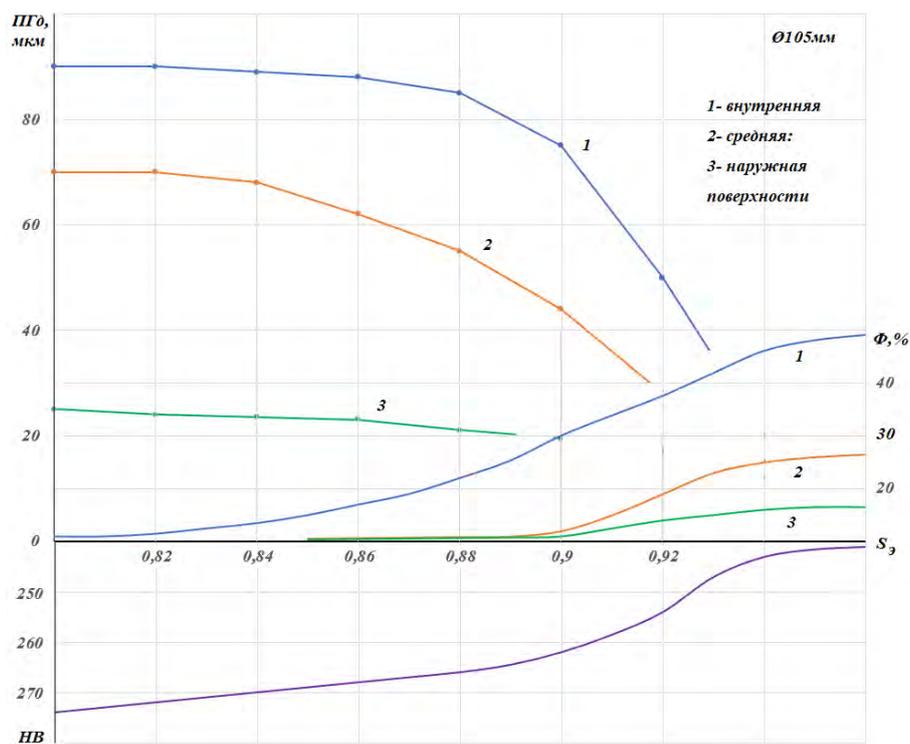


Рис. 2. Зависимость размеров графитовых включений ($ПГ\delta$), количества феррита (Φ) и твердости ($НВ$) от степени эвтектичности чугуна

Различная структура по толщине стенки отливки при литье намораживанием обусловлена неодинаковой скоростью затвердевания. Это связано с увеличением термического сопротивления от расплава к охладителю вследствие образования газового зазора между отливкой и кристаллизатором.

В наружных слоях заготовки образуется цементит, который впоследствии распадается и имеет место включения графита отжига. Внутренняя зона затвердевает с образованием аустенито-графитной эвтектики и графит имеет пла-

стинчатое строение. Установлено, что с увеличением степени эвтектичности чугуна уменьшается величина графитовых включений и увеличивается содержание феррита в структуре, а твердость при этом снижается. Это связано с формированием грубой структуры чугуна, уменьшением количества центров графитизации и снижением скорости растворения эвтектических карбидов.

Для экономно-легированного серого чугуна разработан режим отжига на зернистый перлит, который заключается в нагреве отливки (после извлечения из кристаллизатора) до 900 °С и последующим медленном охлаждении на 30 °С...50 °С ниже температуры эвтектоидного превращения с охлаждением на воздухе. При таком режиме в аустените остается большое число не растворившихся мелкодисперсных включений цементита, которые служат центрами зарождения перлита при охлаждении. Мелкие частицы цементита образуются в результате деления цементитных пластин. Пластины при делении растворяются на наиболее тонких участках, а также в местах выхода на межфазную поверхность субграниц в цементите или аустените. В результате в чугуне образуется структура зернистого перлита.

Конечная структура металлической матрицы чугуна зависит от скорости охлаждения и температуры отжига. Чем меньше скорость охлаждения, тем более крупными вырастают глобулы карбида при распаде аустенита. Регулируя скорость охлаждения, можно получать структуры глобулярного перлита от точечной до крупнозернистой. Более мелкозернистый перлит обладает повышенной твердостью. Чугун со структурой зернистого перлита обладает меньшей твердостью, чем аналогичный с пластинчатой формой, и легче обрабатывается резанием.

Проведенные исследования показали принципиальную возможность повышения эффективности процесса литья намораживанием заготовок из экономнолегированного чугуна перлитного класса с пластинчатой формой графита.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. A. Baron, V. F. Bevza, V. P. Grusha, D. N. Gurulev, L. V. Palatkina Structure and Properties of the Hollow Cast Iron Castings Formed by Continuous Cyclic Freeze Casting // Russian metallurgy (Metally). – 2021. – Т. 2021. – № 3. – С. 297–301.
2. Чугун: справочник / Под ред. А. Д. Шермана, А. А. Жукова. – Москва: Metallurgiya, 1991. – 576 с.
3. **Груша, В. П.** Повышение свойств серого чугуна при литье намораживанием / Труды 6-ой Междунар. науч.-техн. конф. «ЖивКоМ-2022» / Под ред. А. Н. Романова. – Москва: ИМАШ РАН. – 2022. – 434 с.

Контакты:

grusha@itm.by (Груша Владимир Петрович);

lms@itm.by (Гутев Алексей Петрович);

lms@itm.by (Баранов Константин Николаевич).