

Литература

1. Бобарикин, Ю. Л. Тонкое волочение и свивка в металлокорд стальной латунированной проволоки / Ю. Л. Бобарикин, М. Н. Верещагин, Ю. В. Мартыанов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – 304 с.
2. Бобарикин, Ю. Л. Исследование влияния скорости грубого волочения стальной высокоуглеродистой проволоки на распределение напряжений и деформаций по сечению проволоки [Research of the influence of highcarbon steel wire drawing speed on stresses and deformations on wire cross section] / Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартыанов // Литье и металлургия. – 2019. – № 1. – С. 73–77.

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОТЛИВОК ИЗ ХРОМИСТОГО ЧУГУНА В КОМБИНИРОВАННЫЕ ФОРМЫ

Ю. Д. Черняков

*Учреждение образования «Гомельской государственной технической
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель И. Б. Одарченко

Толстостенные отливки, изготовленные из высокохромистого чугуна (ВХЧ), обладают низкой эксплуатационной стойкостью, так как при твердости наружной поверхности отливки 54–55 HRC на глубине 15 мм твердость не превышает 45 HRC. Это связано с неравномерной по толщине структурой отливки и размером карбидов более 20 мкм [1].

Цель исследования – изучение возможностей повышения эксплуатационной стойкости.

Затвердевание отливки является важнейшим параметром, определяющим формирование ее кристаллического строения и свойств. Более высокие скорости охлаждения расплава создают благоприятные условия для увеличения числа центров кристаллизации в расплаве, формирования структуры отливки с более мелкими зернами металлической матрицы и карбидной фазы, что повышает плотность литого металла.

Скорость затвердевания может изменяться в широком диапазоне от 0,5 до 200 °С/мин.

Для решения вопроса увеличения скорости охлаждения отливки рассматривается возможность использовать комбинированные формы. Нами рассмотрено три типа комбинированных форм: полностью состоящая из холодно-твердеющей смеси (ХТС) (рис. 1, а), форма из ХТС со стальной пластиной, покрытой термостойкой тканью (рисунок 1, б), форма из ХТС со стальной пластиной, покрытой слоем антипригарной краски (рис. 1, в). Преимущество комбинированных форм заключается в том, что охлаждение перегретого расплава происходит со скоростью, среднее значение – от 2 до 4 К/с. Непосредственно у металлических стенок комбинированных форм интенсивность охлаждения расплава в 1,3–1,5 раза выше, чем ее среднее значение для отливки.

Также характерной особенностью затвердевания отливки в комбинированных формах является то, что образование твердой фазы в отливке начинается значительно раньше, чем расплав во всем рабочем пространстве формы охладится ниже температуры ликвидуса $T_{л}$, т. е. при наличии в форме перегретого расплава. Так, на момент полного охлаждения перегретого расплава в комбинированных формах типа а, б и в (рис. 1) величина ψ составляет 36, 25,4 и 17,8 % соответственно. В песчаной форме полностью затвердевшая корка появляется практически только после полного снятия перегрева.

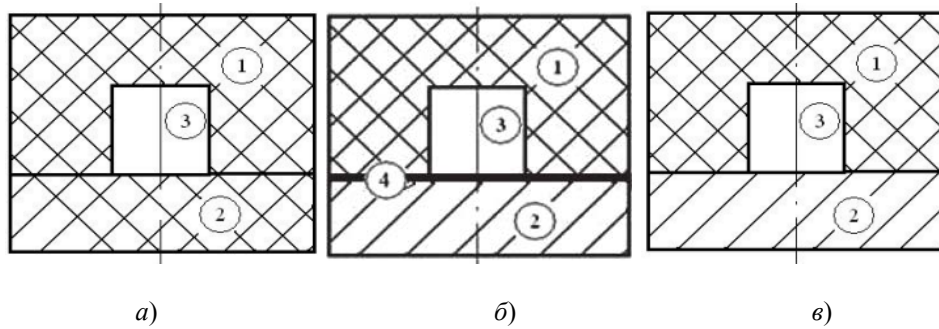


Рис. 1. Виды возможных литейных форм:
 а – форма из ХТС; б – форма из ХТС со стальной пластиной, покрытой термостойкой тканью; в – форма из ХТС со стальной пластиной, покрытой слоем антипригарной краски; 1 – верхняя часть формы (из ХТС); 2 – нижняя часть (а – из ХТС, б, в – сталь 20); 3 – отливка; 4 – термостойкая ткань

Скорость образования твердой фазы $d\psi/dt$ во всех случаях уменьшается по мере роста продолжительности охлаждения отливки. Скорость образования твердой фазы в комбинированных формах зависит от соотношения количества металлических и песчаных стенок формы. Так, для форм, у которых все стенки металлические, кроме одной стенки из ХТС, интенсивность затвердевания почти в 3 раза выше, чем в форме, где металлической является только одна стенка.

Кроме выбора способа охлаждения необходимо проанализировать основные карбидообразующие элементы и их влияние на структуру высокохромистого чугуна.

Согласно исследованиям Института технологии металла НАН Беларуси [1], размеры карбидов увеличиваются по мере увеличения количества углерода в сплаве. Необходимый заэвтектический сплав с содержанием углерода 4,74 % характеризуется большим количеством довольно крупных карбидов размерами до 100 мкм. При уменьшении содержания углерода до 3,98 % большая часть карбидов имеет размеры до 30 мкм и небольшое количество – размеры 30–50 мкм.

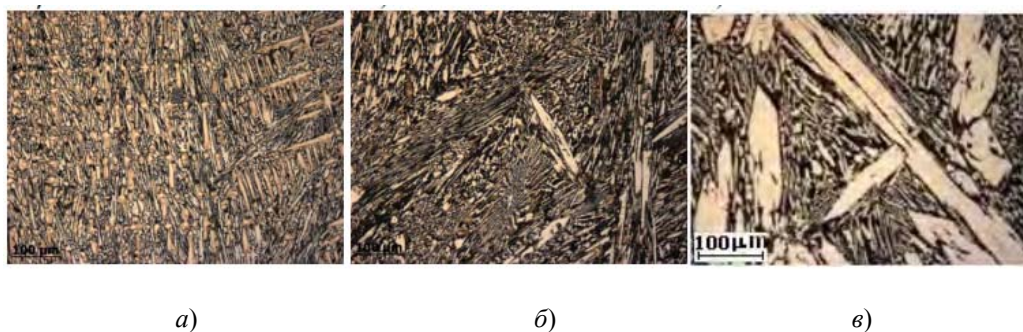


Рис. 2. Микроструктура образцов из высокохромистого чугуна с различным содержанием углерода:
 а – содержание углерода 3,25 %; б – 3,98 %; в – 4,74 % [1]

Также отмечалось, что изменение содержания углерода в ВХЧ может оказывать значительное влияние на процесс затвердевания отливок. В наибольшей степени изменение содержания углерода влияет на динамику затвердевания отливки и продолжительность снятия перегрева расплава. Следует подчеркнуть, что влияние количе-

ства углерода в высокохромистом чугуна на динамику затвердевания отливки, при использовании формы типа В (рис. 1), меньше.

Согласно этому исследованию было принято решение использовать комбинированную форму из ХТС со стальной пластиной, покрытой слоем антипригарной краски.

Кроме охлаждения на кристаллизационные параметры ВХЧ влияют легирующие элементы:

– с ростом концентрации в расплаве чугуна меди расширяется температурный интервал кристаллизации эвтектики и эвтектоида;

– добавка никеля снижает температуры t_{A1}^H и t_{A1}^K и одновременно увеличивает интервал кристаллизации эвтектоида;

– олово повышает температуру $t_{\text{л}}$ (до 1,0 мас. %) и эвтектического превращения, одновременно расширяя интервал кристаллизации эвтектики;

– добавка алюминия, равная 1,0 мас. %, максимально уменьшает t_3^H и t_3^K и расширяет температурный интервал кристаллизации аустенита и эвтектики [2].

Согласно представленным данным стоит рассмотреть возможность модифицирования чугуна для эффективного управления структурой отливки.

В работе [3] предлагается модифицировать чугун комплексным модификатором ФСМг6 для обеспечения формирования тригонального карбида при более низком содержании хрома в чугуне.

На основе вышеизложенного предложен способ изготовления отливок, обеспечивающий эффективное управление кристаллизацией матрицы сплава и избыточных карбидных фаз. Перегрев расплава до 1600–1400 °С и выдержке в течение 1–15 мин обеспечивает растворение крупных карбидных включений и гомогенизацию расплава. Ввод окиси хрома совместно с модификатором ФСМг7. Использование порошкообразных реагентов и выбранные режимы обработки расплава обеспечивают измельчение и равномерное распределение карбидных включений при улучшении их формы. Причем ввод окиси хрома в количестве 0,05–0,3 % от массы шихты и в дисперсной форме обеспечивает перераспределение элементов в структуре отливок. За счет перераспределения углерода между матрицей сплава и карбидами и образования карбидов, обедненных углеродом, происходит увеличение доли карбидов в структуре отливок, что позволяет улучшить механические и эксплуатационные свойства отливок.

Из представленных данных для решения поставленных задач важным является скорость затвердевания и охлаждения отливок. Это можно решить путем применения комбинированных форм, которые увеличивают скорость затвердевания примерно в 3 раза по сравнению с песчаными формами. Также важным является выбор первоначального химического состава расплава, так как медь, никель, олово, алюминий могут существенно повлиять на кристаллизационные параметры. Нами предложен оптимальный способ улучшения формирования отливки из ВХЧ, в результате которого ожидается повышение эксплуатационной стойкости изделий из ВХЧ.

Литература

1. Исследование влияния углерода в хромистых чугунах на формирование отливок в песчаной и комбинированной формах / Е. И. Марукович [и др.] // Литье и металлургия. – 2018. – № 1. – С. 41–46.

2. Орехова, А. И. Исследование и разработка способа управления первичной структурой хромистых чугунов с помощью модифицирования с целью повышения качества отливок : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2010. – 22 с.
3. Управление первичной структурой хромистого чугуна / Е. В. Рожкова [и др.] // Черные металлы. – М. : Руда и металлы. – 2010. – № 1. – С. 10–12.

**«ИНДУСТРИЯ 4.0» КАК ИНТЕГРАЦИЯ ЗВЕНЬЕВ
ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЦЕПИ
С ПРИМЕНЕНИЕМ НОВЕЙШИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ
И КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Н. В. Грудина, Д. К. Даниленко

*Учреждение образования «Гомельской государственной технической
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

И. А. Кольцова

*Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь*

Научный руководитель В. И. Козлов

Государственная программа «Цифровое развитие Беларуси на 2021–2025 годы» предусматривает внедрение передовых информационных технологий во всей национальной экономике, которые базируются на стыке технологий четвертой промышленной революции («Индустрия 4.0»). Четвертая промышленная революция («Индустрия 4.0») предполагает новый подход к производству, основанный на массовом внедрении информационных технологий в промышленность, масштабной автоматизации бизнес-процессов и распространении искусственного интеллекта.

В «Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 года» указаны стратегические цели, предусматривающие развитие конкурентоспособного промышленного комплекса и его цифровизацию. «Индустрия 4.0» предполагает всеобщую цифровизацию, новый подход к производству, использование новых прорывных технологий, использование цифровых нитей, цифровых двойников, массовое внедрение информационных технологий в промышленность, масштабную автоматизацию бизнес-процессов и распространении искусственного интеллекта. «Индустрия 4» должна иметь человекоориентированный подход. В центре человек и данная технология должна служить благополучию людей: «Технологии – это очень круто, но есть кое-что круче – это люди». Для развития «Индустрии 4» на предприятиях в стране необходима стратегия (концепция развития) «Индустрии», так называемая «дорожная карта» по развитию сквозной цифровизации (цифровых технологий, новых производственных технологий).

Центральным элементом в функционировании производственных систем становятся Интернет-технологии, обеспечивающие коммуникации между людьми, машинами и продуктами. Приоритетную роль играют интернет-технологии, обеспечивающие коммуникации между персоналом и машинами. Велика роль Интернета в «Индустрии 4». «Индустрия 4» требует объединить и перевести в цифровой вид на новые технологии всю цепочку создания изделия – жизненный цикл изделия (рис. 1).