

Д.А. Болдырев (канд. техн. наук, Исследовательский центр ОАО «АВТОВАЗ»),
С. В. Давыдов (д-р техн. наук, Брянский государственный технический университет)

Разработка и внедрение технологии ковшового модифицирования «заливка сверху» для получения отливок из чугуна с компактным графитом низких марок

Целью работы являлась апробация и освоение новых перспективных технологий и материалов для снижения затрат и повышения качества чугуна в отливках при производстве автомобильных отливок из высокопрочного чугуна.

Учитывая достаточно широкую гамму марок высокопрочного чугуна, используемого для изготовления отливок деталей автомобиля, поэтапный подход в их освоении является наиболее оправданным и рациональным. В частности, отливки из низких марок высокопрочного чугуна (ЧВГ40, ВЧ50), имея менее строгие требования к микроструктуре и свойствам (преобладание ферритной составляющей структуры и $ССГ \geq 80\%$), могут быть получены по несколько упрощенным как по трудоемкости, так и по сложности используемого оборудования и приспособлений технологиям.

Широко распространенный и хорошо зарекомендовавший себя на практике «Сэндвич»-процесс может быть использован для модифицирования высокопрочного чугуна только в ковшах, имеющих соотношение высоты к среднему диаметру 2–2,5/1. Используемые в чугунолитейном производстве ОАО «АВТОВАЗ» заливочные ковши металлоемкостью 1,2 т имеют соотношение высоты к среднему диаметру 1,4/1. На практике была многократно подтверждена принципиальная невозможность стабильного модифицирования высокопрочного чугуна по «Сэндвич»-процессу в открытых серийных заливочных ковшах самой различной конструкции и расположением реакционного кармана для размещения модификатора. Таким образом, при существующем характеристическом соотношении в ковше 1,4/1 устойчивость технологического процесса модифицирования высокопрочного чугуна может быть обеспечена только путем его усовершенствования, дооснащения и, в итоге, трансформации в процесс «ковш с крышкой». Использование данной технологии может быть оправданным при получении отливок из средних марок высокопрочного чугуна, например Gh56–40–05, Gh65–48–05. При изготовлении отливок из более низких марок высокопрочного чугуна может быть использована, как уже было сказано выше, несколько более упрощенная по отношению к «Сэндвич»-процессу технология «заливка сверху» (рис. 1).

Объектами исследований служили отливки деталей из высокопрочного чугуна марок ВЧ40 2123–1008025 «Коллектор выпускной» и ВЧ50 2101–3103015 «Ступица переднего колеса» и 2101–2402018 «Картер редуктора заднего моста».

По технологии «заливка сверху» модификатор типа ФСМг (в данном случае Lamet@5836) размещается на днище ковша с противоположной стороны от

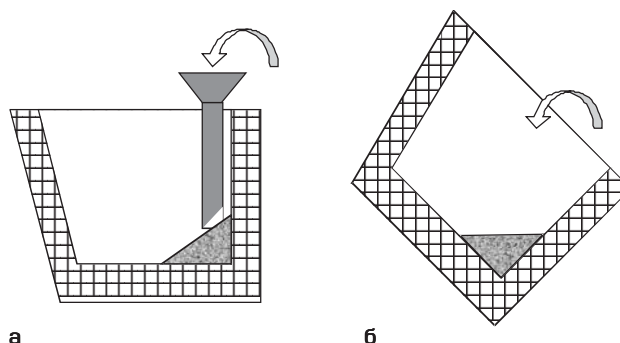


Рис. 1. Варианты засыпки «легкой» магнийсодержащей лигатуры при модифицировании ВЧ способом «заливка сверху»: а – ввод модификатора через специальную засыпочную трубу; б – ввод в полиэтиленовом пакете в предварительно повернутый на 45° ковш

его носка одним из двух способов – либо вводится через специальную засыпочную трубу (рис. 1, а), либо укладывается затаренным в полиэтиленовый пакет в предварительно повернутый на 45° ковш (рис. 1, б).

При заполнении ковша металлом струя расплава подается ближе к носку ковша во избежание размывания и преждевременной реакции модификатора с расплавом чугуна. Струя металла из печи ожидания должна подаваться непрерывно, а сила ее напора должна определяться, основываясь на следующих соображениях.

Исходя из закона Рейнольдса:

$$Re = \frac{\vartheta D_{\text{экв}}}{\nu}, \quad (1)$$

где Re – число Рейнольдса; ϑ – средняя скорость потока жидкости, м/с; $D_{\text{экв}}$ – эквивалентный диаметр трубопровода, м; ν – кинематическая вязкость жидкости при рабочей температуре, $\text{м}^2/\text{с}$.

Время заполнения ковша жидким чугуном может быть оценено из выражения:

$$t_k = \frac{V_k D_{\text{экв}}^H}{S_q \nu_c Re^H}, \quad (2)$$

где t_k – время заполнения ковша расплавом чугуна, с; V_k – объем ковша, м^3 ; $D_{\text{экв}}^H$ – эквивалентный диаметр носка печи, м; ν_c – кинематическая вязкость расплава чугуна при температуре заливки, $\text{м}^2/\text{с}$; S_q – живое сечение потока чугуна, м^2 ; Re – число Рейнольдса.

При заполнении ковша с засыпкой «легкого» сфероидизатора в соответствии с технологией «заливка сверху» необходимо, чтобы режим движения расплава чугуна из печи ожидания в ковш был неустановившимся, то есть $Re \approx 3000–6000$. В отличие от технологии «заливка сверху» технология «Сэндвич»-процесс имеет существенно меньшую чувствительность к режиму

Таблица 1. Печной и ковшовой химический состав чугуна в отливках, %

| № п/п | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Cu | Sn | Mg |
|---|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| 2123–1008025 «Коллектор выпускной» | | | | | | | | | | |
| печь | 3,63–3,80 | 1,91–1,97 | 0,43–0,50 | 0,017–0,020 | 0,007–0,010 | 0,058–0,064 | 0,22–0,31 | 0,22–0,44 | 0,016–0,023 | – |
| ковш | 3,50–3,75 | 2,12–2,27 | 0,43–0,50 | 0,016–0,019 | 0,005–0,009 | 0,057–0,065 | | 0,21–0,45 | 0,015–0,026 | 0,019–0,040 |
| 2101–3103015 «Ступица переднего колеса» | | | | | | | | | | |
| печь | 3,63–3,68 | 1,90–1,95 | 0,41–0,44 | 0,017–0,018 | 0,005–0,009 | 0,050–0,068 | 0,20–0,28 | 0,21–0,27 | 0,013–0,020 | – |
| ковш | 3,50–3,64 | 2,62–2,84 | 0,42–0,44 | 0,016–0,023 | | 0,051–0,068 | 0,20–0,29 | 0,20–0,30 | 0,014–0,021 | 0,044–0,070 |
| 2101–2402018 «Картер редуктора заднего моста» | | | | | | | | | | |
| печь | 3,67–3,74 | 1,90–2,02 | 0,36–0,48 | 0,015–0,022 | 0,006–0,009 | 0,053–0,063 | 0,18–0,31 | 0,16–0,23 | 0,014–0,026 | – |
| ковш | 3,47–3,70 | 2,60–2,81 | | 0,013–0,023 | 0,005–0,009 | 0,052–0,065 | 0,17–0,32 | 0,14–0,25 | | 0,050–0,069 |

движения расплава в ковше, в результате чего отсутствуют строгие ограничения по числу Рейнольдса, так как модификатор прикрыт покровным материалом.

При турбулентном режиме движения расплава чугуна из печи в ковш (то есть при сильной струе, $Re > 6000$) из-за быстрого наполнения ковша имеет место выплеск металла и выброс частиц непрореагировавшего модификатора. Все это ухудшает экологическую ситуацию и накладывает ограничение на работу по данной технологии в открытом ковше.

При ламинарном режиме движения расплава чугуна из печи в ковш (то есть при слабой струе, $Re < 3000$) из-за медленного наполнения ковша большая часть модификатора всплывает на зеркало и реагирует с кислородом воздуха, что ведет к ускоренному угасанию модифицирующего эффекта из-за преждевременного угара магния.

Следовательно, время заполнения ковша обратно пропорционально числу Рейнольдса и должно укладываться в рекомендуемый диапазон.Metalлоемкость ковша $0,17 \text{ м}^3$, эквивалентный диаметр носка печи $0,367 \text{ м}$, живое сечение потока принято равным $2/3$ от сечения носка печи $0,0176 \text{ м}^2$, кинематическая вязкость расплава чугуна $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ есть величины известные и постоянные, тогда при подстановке в формулу диапазона чисел Рейнольдса $3000–6000$ можно определить оптимальный диапазон времени заполнения ковша с наилучшим усвоением магния из модификатора: $t = 30–60 \text{ с}$.

Учитывая, что из-за отсутствия покровного материала модификатор начинает сразу же реагировать с расплавом чугуна, его навеска должна быть несколько увеличена по сравнению с массой навески, рекомендуемой по «Сэндвич»-процессу.

При первой заливке каждой детали на контроль представляли по одной отливке с последней формы каждого ковша как наиболее показательной. При последую-

щих заливках на контроль отбирали от одной до нескольких отливок в произвольном порядке согласно установленной процедуре. Вторичное модифицирование в заливочной чаше формы осуществляли куском ФС75л3.

В процессе отработки данной технологии было проведено пять заливок деталей 2123–1008025 «Коллектор выпускной» из чугуна марки ЧВГ40, четыре заливки деталей 2101–3103015 «Ступица переднего колеса» и шесть заливок деталей 2101–2402018 «Картер редуктора заднего моста» из чугуна марки ВЧ50.

Ковшовое модифицирование при получении деталей:

2123–1008025 «Коллектор выпускной»:

все заливки: Lamet®5836, масса модификатора 8 кг.

2101–3103015 «Ступица переднего колеса»:

1–3 заливка: Lamet®5836 – 15 кг, ФС75л6 – 4 кг.

4 заливка: Lamet®5836 – 16 кг, ФС75л6 – 5 кг.

2101–2402018 «Картер редуктора заднего моста»:

1 и 2 заливка: Lamet®5836 – 16,5 кг, ФС75л6 – 2 кг.

3–6 заливки: Lamet®5836 – 17 кг, ФС75л6 – 3 кг (марганец в печи 0,36%).

Печной и ковшовой химический анализ чугуна в отливках представлен в табл. 1. Микроструктура и твердость по Бринеллю исследованных образцов отливок приведена в табл. 2.

Таким образом, структура и свойства опытных отливок соответствуют всем требованиям НД. В процессе отработки технологии наиболее стабильные результаты были получены при следующих ковшовых расходах модифицирующих материалов:

2123–1008025 «Коллектор выпускной»:

Lamet®5836 – 8 кг;

2101–3103015 «Ступица переднего колеса»:

Lamet®5836 – 16 кг, ФС75л6 – 5 кг;

2101–2402018 «Картер редуктора заднего моста»:

Lamet®5836 – 17 кг, ФС75л6 – 3 кг.

Таблица 2. Микроструктура и твердость по Бринеллю чугуна в отливках

| Отливка | Микроструктура | HB5/750/10 |
|---|--|------------------------|
| 2123-1008025 «Коллектор выпускной» | Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 – 20–60%; шаровидный ШГф4, ШГф5 – 40–80%. Металлическая основа – П 30–60% | 187–239 |
| По Инструкции 12011.37.101.066 | Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3; шаровидный ШГф4, ШГф5 без оговорки доли шаровидных включений. Металлическая основа ферритно-перлитная, цементит не более 5% | 180–250 |
| 2101-3103015 «Ступица переднего колеса» | ССГ 80–90%; металлическая основа – Ф 50–90% | 170–229 |
| По Инструкции 12011.37.101.066 | Графит шаровидный, ССГ не менее 80%; металлическая основа – ферритно-перлитная, цементит до 5% | 170–210 (после отжига) |
| 2101-2402018 «Картер редуктора заднего моста» | ССГ 80–90%; металлическая основа – Ф 50–80% | 179–217 |
| По Инструкции 12011.37.101.066 | Графит шаровидный, ССГ не менее 80%; металлическая основа – ферритно-перлитная, цементит до 5% | 170–220 |

Данные по ковшовому расходу модифицирующих материалов были введены в технологическую инструкцию 12011.37.101.066–99 «На производство высокопрочного чугуна с шаровидным графитом».

Во избежание высокой твердости отливок 2101-3103015 «Ступица переднего колеса» и 2101-2402018 «Картер редуктора заднего моста» было снижено содержание марганца в чугуне с 0,4–0,5 до 0,3–0,4%.

Результаты проведенной работы по апробации и внедрению технологии «заливка сверху» в открытом ковше при соотношении высоты к среднему диаметру 1,4/1 подтвердили возможность использования «легкой» лигатуры типа ФСМг при производстве отливок деталей из низких марок высокопрочного чугуна до ВЧ50 включительно. Разработаны научно обоснованные рекомендации к режиму движения расплава чугуна из печи в ковш при работе по технологии «заливка сверху» и, исходя из этого, установлено оптимальное,

с точки зрения эффективности работы модификатора, время наполнения ковша расплавом чугуна $t = 30-60$ с.

Выводы:

Разработана и внедрена технология получения отливок из ВЧШГ низких марок (ВЧ40, ВЧ50) «заливка сверху». Установлено, что данная технология позволяет обеспечить стабильное качество чугуна в отливках при степени сфероидизации графита не менее 80%. Разработаны научно обоснованные рекомендации к режиму движения расплава чугуна из печи в ковш и установлено оптимальное, с точки зрения эффективности работы модификатора, время наполнения серийного заливочного ковша расплавом чугуна $t = 30-60$ с. Подобран расход «легкой» лигатуры типа ФСМг, обеспечивающий необходимое качество модифицирования: для марки ВЧ40 – 0,67% (8 кг на металлоемкость ковша 1200 кг), для марки ВЧ50 – 1,33–1,42% (15–16 кг на ковш металлоемкостью 1200 кг).

Е.В.Ковалевич (д-р техн. наук, ОАО «ЦНИИТМАШ»), Москва)

Теоретические основы выбора модификатора для получения чугуна с шаровидным графитом без пироэффекта

Одной из основных причин возникновения пироэффекта и значительного дымовыделения в процессе модифицирования чугуна комплексными лигатурами является быстрое всплывание этих лигатур в среде расплава, так как их плотность значительно меньше плотности чугуна. При этом магний, содержащийся в

лигатуре, не успевает прореагировать с компонентами жидкого чугуна.

Как показала практика, полезное использование магния при обработке чугуна комплексными модификаторами в большинстве случаев составляет от 25 до 60% в зависимости от способа их ввода, остальной