



## ПРИКЛАДНЫЕ НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ

УДК 546.26-162

### ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ СЛОИСТЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГРАФИТА

**Довгаль Анна Николаевна**

Донбасская государственная машиностроительная академия,  
ул. Шкадинова, 72, г. Краматорск, Донецкая обл., 84313

**Костиков Александр Анатольевич**, кандидат физико-математических наук, доцент  
Кафедра прикладной математики, Донбасская государственная машиностроительная академия,  
ул. Шкадинова, 72, г. Краматорск, Донецкая обл., 84313  
E-mail: al\_kost\_63@mail.ru

**Кузнецов Андрей Андреевич**, кандидат химических наук, доцент  
Донбасская государственная машиностроительная академия, ул. Шкадинова, 72, г. Краматорск,  
Донецкая обл., 84313

**Черномаз Владимир Николаевич**, кандидат физико-математических наук, доцент  
Заведующий кафедрой прикладной математики, Донбасская государственная машиностроительная академия, ул. Шкадинова, 72, г. Краматорск, Донецкая обл., 84313  
E-mail: pm@dgma.donetsk.ua

*Были проведены промышленные испытания по использованию слоистых соединений графита для утепления зеркала металла прибылей крупных отливок на одном из заводов Донецкой области.*

*Проведенные испытания показали эффективность использования слоистых соединений графита для утепления зеркала металла крупных стальных отливок.*

*Предложенный метод утепления позволяет сэкономить расход металла на 5–8 % от массы отливки.*

*Ключевые слова: литейная прибыль, слоистые соединения графита, промышленные испытания, утепление литейных прибылей.*

*Були проведені промислові випробування по використанню шаруватих сполук графіту для утеплення дзеркала металу додатків великих виливок на одному із заводів Донецької області.*

*Проведені випробування показали ефективність використання шаруватих сполук графіту для утеплення дзеркала металу великих сталевих виливок.*

*Запропонований метод утеплення дозволяє зменшити витрати металу на 5–8 % від маси виливки.*

*Ключові слова: ливарний додаток, шаруваті сполуки графіту, промислові випробування, утеплення ливарних додатків.*

#### 1. Введение

При литье крупных отливок с целью получения качественного изделия объем прибылей довольно значителен, что приводит к нерациональному расходу металла вследствие образования усадочных раковин. С целью уменьшения объема прибылей был разработан способ изоляции зеркала металла прибылей, основанный на применении слоистых соединений графита [1]. Для проверки эффективности пред-

ложенного метода утепления открытых прибылей были проведены промышленные испытания данного метода на одном из заводов Донецкой области.

#### 2. Анализ литературных данных

Проблема уменьшения объема прибылей в основном решается двумя путями, а именно:

1) созданием термоизолирующих смесей, которые обладают низким коэффициентом теплопере-

дачи и тем самым частично препятствуют образованию усадочных раковин при кристаллизации отливки [2–5].

2) созданием экзотермических смесей, которые задерживают образование поверхностной корочки на зеркале металла за счет тепловой энергии, выделяющейся при экзотермической реакции компонентов смеси [6–8].

В наших исследованиях мы пошли по первому пути, т. е. по пути разработки теплоизолирующих составов на основе слоистых соединений графита [2].

Наиболее эффективными являются слоистые соединения графита акцепторного типа [9]. Результаты подобных исследований опубликованы в работе [10]. Однако следует отметить, что при переходе от лабораторных исследований к промышленным испытаниям могут возникнуть некоторые затруднения, связанные с технологией использования слоистых соединений графита. Проведенные промышленные испытания позволили отработать технологию использования этих соединений для утепления прибылей крупных стальных отливок.

### 3. Результаты промышленных испытаний

Для промышленного испытания материала и технологии его применения была взята штатная отливка «Цапфа», массой 43,8 т из стали 30Л.

Данная отливка представляет собой цилиндр с верхним и нижним (по расположению в форме) фланцами. Отливка «Цапфа» отличается от аналогичных деталей ярко выраженной нетехнологичностью конструкции. Наличие нижнего массивного фланца (теплового узла) создает значительную трудность в его питании через относительно тонкую протяженную вертикальную стенку. Для питания и создания гидравлического напора жидкого металла в форме предусмотрены четыре прибыли диаметров 800 мм и высотой 900 мм. Однако из-за отсутствия достаточного утепления верхней поверхности и образования прочной корки металла (верхнего моста), препятствующей действию атмосферного давления, работа прибылей оказывается недостаточно эффективной. В результате создается дефицит питания, что отрицательно сказывается на плотности металла отливки. Из-за этого у заказчика обнаруживаются внутренние дефекты в виде трещин.

Такие же дефекты, в некоторой степени, присущи и отливка «четверть стенки». Эти отливки имеют небольшой объем механической обработки и поэтому дефекты у заказчика обнаруживаются часто.

На первом этапе на отливке «Цапфа» была утеплена предложенным материалом на основе слоистых соединений графита (в дальнейшем ССГ) только одна прибыль. Остальные три утеплялись по традиционной технологии с использованием коксика.

Материал в количестве 1,5 кг (неполная лопата) наносился на поверхность прибыли при достижении уровнем металла высоты 500 мм от ее основания. Затем по окончании заливки прибылей на всю высоту на зеркало металла добавили еще около 1,0 кг материала.

В результате вспенивания ССГ высота слоя достигла 120 мм, Металл в данной прибыли находился в жидком состоянии в течение 3 час. За это время уровень металла понизился примерно на 750 мм.

В процессе нанесения ССГ на зеркало металла в прибылях никаких газовых выделений и пироэффектов не происходило.

В остальных прибылях корочка металла на их поверхности образовалась вскоре после нанесения коксика (примерно через 20 мин.) Образование корочки объясняется относительно высокой теплоаккумулирующей способностью коксика. Для того чтобы коксик загорелся, он должен отобрать определенное количество тепла у жидкого металла. Последующее горение коксика значительного эффекта не дает, так как корочка металла на поверхности прибыли уже образовалась, и расплавить ее наносимым количеством коксика невозможно.

Из прибылей, утепленных коксиком, наблюдалось выделение газообразных продуктов горения с резким запахом серы.

После отрезки прибылей на плоскостях резов под прибылями, утепленными коксиком, наблюдались незначительные (до 50 мм) усадочные раковины. Под прибылью, утепленной слоистыми соединениями графита, никаких дефектов усадочного происхождения обнаружено не было. Для исследования характера усадочных раковин были разрезаны на темплеты две прибыли: одна утепленная коксиком, другая слоистыми соединениями графита. На **рис. 1** представлен эскиз темплетта прибыли утепленной коксиком, а на **рис. 2** — утепленной слоистыми соединениями графита. С целью выяснения способности науглероживания жидкого металла слоистыми соединениями графита и коксиком в аналогично расположенных точках были исследованы их химические составы. И в том и в другом случаях содержание графита показало обычную углеродную ликвиацию, науглероживание не отмечено. Насыщение металла серой из коксика отмечено незначительное. В **табл. 1** представлены содержание углерода и серы по сечению прибылей. Как видно из **табл. 1** содержание углерода плавно нарастает от прибыли (0,16 %) к ее центру (0,46 %). В зоне контакта жидкого металла с ССГ содержание углерода нарастало от 0,16 % до 0,32 % или всего на 0,04 % выше плавочного содержания. Содержание элементов в плавочной пробе следующее: С — 0,28 %, Mn — 0,57 %, P — 0,023 %, S — 0,018 %, Cr — 0,22 %. Таким образом, анализируя форму усадочных раковин в прибылях

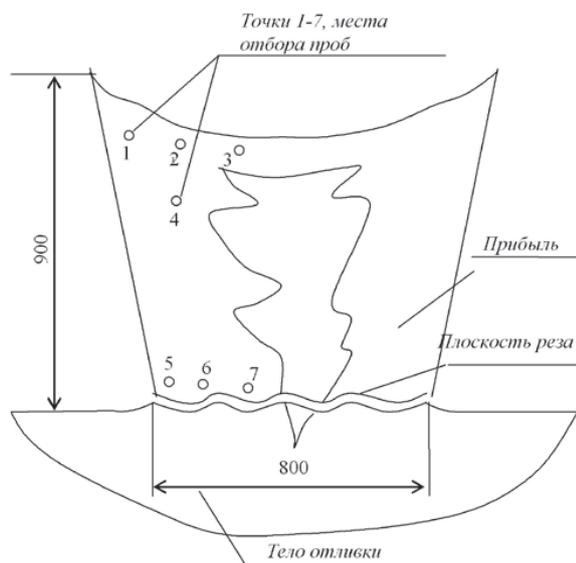


Рис. 1. Эскиз темплетта прибыли, утепленной коксиком

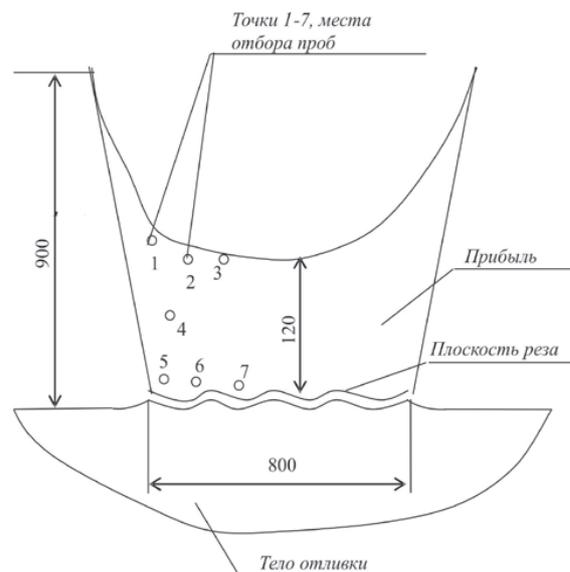


Рис. 2. Эскиз темплетта прибыли, утепленной слоистыми соединениями графита

и распределение содержания углерода по сечению прибылей, следует заключить, что слоистые соединения графита являются высокоэффективными теплоизолирующими материалами, которые не науглероживают жидкий металл.

Таблица 1

Содержание углерода и серы в металле прибылей

№ пробы	Прибыль, утепленная коксиком		Прибыль, утепленная ССГ	
	Содержание углерода	Содержание серы	Содержание углерода	Содержание серы
1	0,16	0,018	0,15	0,019
2	0,31	0,21	0,29	0,018
3	0,32	0,19	0,30	0,021
4	0,32	0,021	0,35	0,024
5	0,34	0,023	0,38	0,023
6	0,29	0,017	0,034	0,020
7	0,33	0,020	0,36	0,04
8	0,46	0,030	0,49	0,031
9	0,42	0,023	0,51	0,04
10	0,38	0,022	0,44	0,035
11	0,19	0,02	0,17	0,017

Учитывая предыдущий опыт засыпки одной прибыли, было проведено утепление слоистыми соединениями графита всех четырех прибылей на следующей штатной отливке «Цаффа» этой же детали. Порядок засыпки был аналогичен пре-

дыдущему. После выхода металла в прибыли на высоту примерно 200–250 мм было нанесено на зеркало металла в прибыли примерно по 1,5 кг утепляющего материала. Затем по окончании заливки прибылей на всю высоту было добавлено примерно по 0,5 кг материала в каждую прибыль. Толщина вспененной засыпки, как и ранее, достигала 120 мм, пиро- и газовых выделений не отмечено. Металл в жидком состоянии находился 3,5 часа. Визуальный осмотр усадочных раковин в прибылях показал аналогичный с первым случаем их характер: концентрированные усадочные раковины без верхних мостов и пережимов. Плоскости резов прибылей усадочных дефектов не имели. Толщина слоя плотного металла в отрезанных прибылях равнялась 100–150 мм. Отливка принята ОТК и отправлена заказнику. Наличие слоя толщиной 100–150 м плотного металла в прибылях выявило возможность их уменьшения.

Дальнейшее испытание эффективности утепления прибылей было проведено при изготовлении двух отливок «четверть стенки». Данные две отливки формируются и заливаются одновременно в одной форме. Каждая отливка представляет собой 1/4 часть «тарельчатовидного» диска. Каждая из них питается двумя овальными прибылями. С целью отработки технологии нанесения теплоизолирующего покрытия на зеркало металла две прибыли на одной отливке были утеплены как в предыдущем случае для отливки цапфы, а две другие нанесением слоистых соединений графита после полного заполнения прибылей. Эти прибыли после окончания заливки уже имели плотную корочку затвердевшего металла. После нанесения засыпки эта корочка не расплавилась, ее не смогли пробить металлическим прутом, что говорит о неэффективности такого способа утепления.

В дальнейшем этот способ утепления прибылей не применялся.

Таким образом, утепление прибылей ССГ при полном их заполнении менее эффективно, так как поверхность металла успевает остыть и образовать тонкую корочку металла на поверхности, расплавить которую ССГ не представляется возможным. Поэтому эффективным способом применения ССГ для утепления прибылей является нанесение их при частичном заполнении прибыли металлом, что не дает возможности металлу на поверхности прибыли остыть до температуры кристаллизации.

На следующей штатной отливке «Цапфа» были утеплены по предлагаемому способу все 4 прибыли. Разрезка прибылей на темплеты показала концентрированный характер усадочных раковин. Толщина слоя металла от основания прибыли до начала усадочной раковины составляла 60–180 мм, что выявило возможность уменьшения высоты прибылей на 100–120 мм, а соответственно и их массы.

Общая масса отлитых с использованием новой технологии утепления прибылей равняется примерно 220 т.

#### 4. Выводы

Проведенные испытания по применению теплоизолирующих смесей на основе ССГ акцепторного типа показали, что для утепления прибылей особо крупных отливок введение ССГ на зеркало металла при полном заполнении прибыли малоэффективно. Это связано с тем, что температура зеркала металла при полном заполнении прибыли близка к температуре кристаллизации, что не препятствует образованию усадочной раковины. Для устранения данного дефекта было предложено вводить теплоизолирующую смесь при заполнении 1/3 высоты прибыли отливки.

Таким образом, в результате промышленных испытаний была разработана технология применения перспективной теплоизолирующей смеси на основе слоистых соединений графита.

Применение предлагаемого способа утепления прибылей позволяет на 5–8 % уменьшить их массу, что составляет примерно 25–30 кг на 1 т годных отливок. Использование слоистых соединений графита для утепления поверхности зеркала металла не способствует науглероживанию металла отливки.

#### Литература

1. Вейнова, О. А. Способ теплоизоляции зеркала металла прибылей крупных стальных отливок [Текст] / О. А. Вейнова, А. А. Костиков, А. А. Кузнецов // Литейное производство. — 2011. — № 9 — С. 9–11.
2. Пат. 41382 Украина, МПК В22D 7/10. Спосіб теплоізоляції дзеркала металу [Текст] / Кузнецов А. А. — заявитель и патентообладатель Донбаська державна машинобудівна академія. — № u200811905 ; заявл. 07.10.08 ; опубл. 25.05.09, Бюл. № 10 (2009). — 2 с.
3. Пат. 2455108 Российская Федерация, МПК В22D 27/06. Теплоизоляционная смесь для утепления прибылей отливок [Текст] / Стрельников И. А., Илларионов И. Е., Журавлев А. Ф. — заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова». — № 2011117816/02 ; заявл. 03.05.11 ; опубл. 10.07.12, Бюл. № 19 (2012). — 3 с.
4. Пат. 2356688 Российская Федерация, МПК В22D 27/06. Теплоизоляционная смесь для утепления прибылей отливок [Текст] / Илларионов И. Е., Стрельников И. А., Петрова Н. В., Журавлев А. Ф. — заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова». — № 2007144151/02 ; заявл. 27.11.07 ; опубл. 27.05.09, Бюл. № 15 (2009). — 4 с.
5. Пат. 2393048 Российская Федерация, МПК В22D 7/10. Теплоизоляционная смесь и литейная форма [Текст] / Назаратин В. В., Дуб В. С., Кригер Ю. Н. и др.; заявитель и патентообладатель ОАО НПО «ЦНИИТМАШ». — № 2008132022/02 ; заявл. 06.08.08 ; опубл. 20.02.10, Бюл. № 18 (2010). — 9 с.
6. Пат. 2369462 Российская Федерация, МПК В22D 27/06. Экзотермическая смесь для обогрева прибылей стальных и чугунных отливок [Текст] / Беляков А. И., Беляков А. А., Борсук П. А. и др. — заявитель и патентообладатель ООО «МЕТАЛЛИТМАШ», Государственный научный центр РФ ОАО НПО «ЦНИИТМАШ» — № 2008134283/02 ; заявл. 20.08.08 ; опубл. 10.10.09, Бюл. № 28 (2009). — 8 с.
7. Пат. 2429940 Российская Федерация, МПК В22D 27/06. Экзотермическая шлакообразующая смесь [Текст] / Миннеханов Г. Н., Миннеханов Р. Г., Митраков Г. Н.; заявитель и патентообладатель Миннеханов Р. Г., Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Омский государственный технический университет» — № 2010104339/02 ; заявл. 08.02.10 ; опубл. 27.09.11, Бюл. № 27 (2011). — 8 с.
8. Пат. US 2012/0061454 (A1), МПК В22D 27/06. Exothermic mixture [Текст] / Rudd W., Rudd A., Hopper D., Yi Y. C. — заявитель и патентообладатель TUBE FUSE APPLICATION B. V., Zuid — Holland (NL). — № 13/125 632 ; заявл. 23.10.09 ; опубл. 15.03.12. — 15 с.

9. Gelzard, A. Modelling of exfoliated graphite [Text] / A. Gelzard, J. F. Mareche., G. Furdin // Progress in Materials Science. — 2005. — Vol. 50. — P. 93–179.
10. Довгаль, А. Н. Слоистые соединения графита [Текст] / А. Н. Довгаль, А. А. Костиков, А. А. Кузнецов, В. Н. Черномаз / Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2012. — Т. 6, № 5(60). — С. 32–39.

*Abstract. The results of industrial tests on using graphite intercalation compounds for heat insulation of large steel casting risers were considered in the paper. The basic material for casting products was steel 30L.*

*Two methods of using graphite intercalation compounds for riser heat insulation were proposed. The first method was to apply graphite intercalation compounds (GICs) to completely filled risers, and the second one was to apply GICs to risers, partially filled with molten metal. The studies have shown that the temperature of the metal mirror surface of the completely filled riser is close to the metal crystallization temperature, and in this case using GICs does not prevent the formation of skin on the metal surface, leading to the formation of shrink hole.*

*Using GICs in partial filling of risers with molten metal leads to the fact that applying GICs to the metal mirror prevents the skin formation on metal surfaces, as metal has a temperature higher than the crystallization temperature. The conducted industrial tests have shown that the proper use of GICs for large casting resins allows reducing the metal consumption by 5–8 % of the casting weight.*

*Keywords: riser, graphite intercalation compounds, industrial tests, riser insulation.*