

ОБ УСТРАНЕНИИ СПЕЦИФИЧЕСКОГО ДЕФЕКТА ТУРБИННОГО ЛИТЬЯ, ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ХРОМОМАГНЕЗИТОВОЙ СМЕСИ

К.т.н. Белобров Е.А., инж. Белобров Л.Е., инж. Карпенкова О.Л.
(КНПП «Формовочные материалы Украины»
инж. Гидулянов Э.И., инж. Восковец В.Г. (ОАО «Турбоатом»)

В литейном цехе ОАО «Турбоатом» изготавливаются разнообразные отливки для паровых и гидравлических турбин из легированных сталей типа 06X12НД-Л. Развес литья – от 1500 до 5300 кг при массе жидкого металла от 2700 до 8500 кг и температуре заливки 1530-1560°C.

Наиболее характерная номенклатура отливок – это цапфы, сектора, лопатки гидротурбин. Анализ вышеупомянутых отливок позволяет констатировать следующее:

- сложные и недостаточно технологичные с литейной точки зрения марки стали. Для отливок из этих сталей характерны такие дефекты, как окисные плены, волнистость поверхности, пригар, ужимины и ещё один особенный дефект, характеристика которого дана ниже;
- большие преобладающие толщины стенок (до 200 мм) и высокие столбы жидкого металла в положении форм при заливке (до 3000 мм). Как первое, так и второе обстоятельство усиливают предрасположенность отливок к образованию пригара и других дефектов;
- существенным недостатком сложившейся в ОАО «Турбоатом» технологии является применение жидкостекольных смесей, особенно безглинистых, которые характеризуются низкой огнеупорностью (800°C) своего связующего – силиката натрия. Залитый в форму металл в течение 20-30 часов находится в жидком состоянии, вследствие чего близлежащие к металлу слои смеси разогреваются до высоких температур, что вызывает образование пригара.

Основные технологические средства получения отливок со стороны формы – это обычная жидкостекольная смесь на кварцевом песке (далее ОЖС) и жидкостекольная хромомagneзитовая смесь (далее ЖХМС), отверждаемые CO_2 .

При изготовлении относительно легких по массе отливок достаточно использовать ОЖС без окрашивания или с двойным окрашиванием быстросохнущей цирконовой краской на связующем СБПП производства краматорского предприятия «Формовочные материалы Украины». При изготовлении крупных толстостенных отливок формы из ОЖС облицовываются ЖХС.

Огнеупорным наполнителем ЖХМС является хромомagneзитовый порошок, в котором содержание MgO составляет не менее 40%, Cr_2O_3 – не менее 16%, SiO_2 – не более 8%. Примерно 56% порошка составляют остатки на ситах 063, 04, 032 и 02. Такой зерновой состав выбран из соображений хорошей газопроницаемости, необходимой как для обеспечения отверждения CO_2 , так и для незатрудненного удаления газов при заливке формы металлом и затвердевании отливки, хотя с точки зрения чистоты поверхности и противостояния проникновению жидкого металла в поры формы такой зерновой состав хромомagneзита груб.

Сырьем для производства хромомagneзитового порошка является лом огнеупорных кладок по ГОСТ 5381-93, ГОСТ 21436-75, ГОСТ 10888-93.

ЖХМС типового состава показала в неотвержденном состоянии газопроницаемость 134 ед., чего вполне достаточно для хорошего вывода газов и что благоприятно для качества отливок.

Однако грубая дисперсность хромомagneзитового порошка явилась, по нашему мнению, причиной образования специфического дефекта на поверхности отливки, представляющего собой углубления (бороздки) неправильной формы глубиной 1,5-4 мм, шириной 6-12 мм, длиной 10-50 мм. Эти дефекты можно сравнить с червоточиной дерева, обнажаемой при удалении коры с его поверхности.

Примеры дефектов показаны на Рис. 1 в виде снятой с поверхности отливки сплывшей пригарной корки ЖХМС и проникших в неё окислов железа, своего рода отпечаток (реплика) того, что образовалось на поверхности отливки.

В мировой литературе не встречаются упоминания о подобном дефекте отливок. Лишь в одном источнике (И.Н. Примак и др. Производство отливок для энергомашиностроения. Под редакцией И.Н. Примака и А.А. Бречко Л., «Машиностроение», 1976, с. 256) описан подобный дефект, который авторы называли бороздками.

Вышеупомянутые авторы усматривают причину образования бороздок (на этом термине остановились и мы) в выделении газов при разложении CaCO_3 и MgCO_3 , якобы содержащихся в хро-

момагнетитовой смеси, а средством его предупреждения считают прокатку хромомагнетитового материала при 800-850°C.

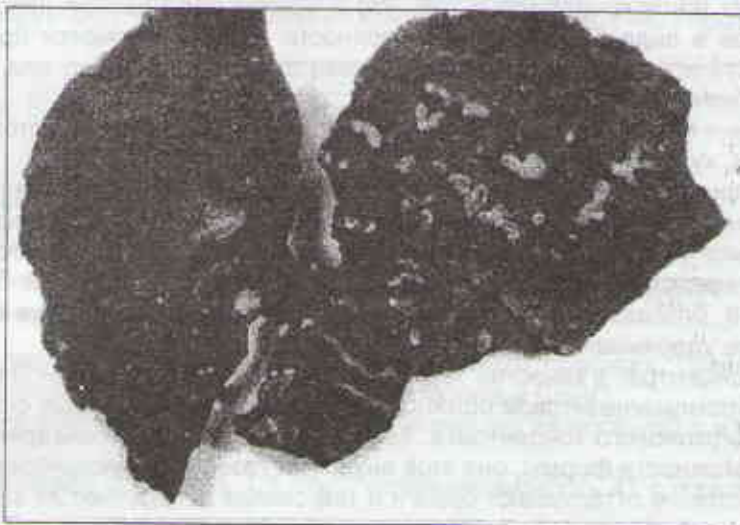


Рис. 1. Пригарные корки с выступающими над ними складками, образовавшимися при отливке лопатки направляющего аппарата турбины для Каховской ГЭС

Однако наша концепция этого дефекта, в частности его причины и механизм образования, коренным образом отличается от вышеупомянутой концепции. В нашем примере газы полностью отсутствуют, так как используется хромомагнетитовый порошок (ХМП), приготовленный из бывшего в употреблении в виде печной футеровки боя хромомагнетитового кирпича. Кроме того, в состав ЖХМС вводится лишь жидкое стекло, в котором нет никаких газотворных компонентов. Присутствующая в нем вода мгновенно испаряется с поступлением в форму первых порций жидкого металла.

Отливка, на которой чаще всего встречается этот дефект, представляет собой лопатку направляющего аппарата гидротурбины для Каховской ГЭС. Размеры лопатки (длина, ширина, толщина) составляют 3500, 1200 и 200 мм, соответственно. Лопатка формируется в положении модели плашмя. Собранный форма поворачивается на 90° с расположением более массивной части в верхнем положении. Вся литниковая система выполнена в огнеупорных шамотных трубках.

Исходя из анализа элементов технологии литейной формы (она – полностью из жидкостекляной смеси, подсушке теплом не подвергается), можем констатировать следующий механизм образования этого дефекта.

При поступлении в форму первой порции металла, происходит выброс струи жидкой стали с дроблением её на капли (шарики), которые, сталкиваясь с очень шершавой поверхностью из ЖХМС, цепляются и висят на ней и до подъема уровня металла в форме до места расположения капель интенсивно окисляются. Ускоренному окислению зависших капель стали способствуют присутствие хрома, высокая температура и окислительная воздушная среда. К моменту подхода жидкого металла на зависших каплях образуется достаточно толстый слой окислов, который препятствует монолитному соединению капель с основной массой металла. Будучи прижаты жидким металлом к поверхности формы, капли продолжают окисляться за счет кислорода, содержащегося в порах формы. Окисление капель продолжается также после затвердевания металла. Из 48 часов выдержки, в частности, лопатки гидротурбины в форме интенсивное окисление продолжается в течение не менее 30 часов.

Этого времени достаточно для полного окисления капель металла.

В связи с высокой пористостью облицовочного слоя формы жидкий металл проникает также в поры, обеспечивая ещё более прочное сцепление капель с поверхностью формы. Длительное пребывание формы в разогретом состоянии способствует выравниванию процессов окисления капель и проникшего в поры металла. На отливке образуется монолитный слой окислов.

Вышеупомянутые дефекты отливки возникают в результате образования грубых складок на поверхности хромомагнетитовой облицовки формы и представляют собой зеркальный отпечаток указанных складок.

При рассмотрении снятой с отливки хромомагнетитовой корки можно констатировать следующее: со стороны отливки на корке образовался прочный спекшийся слой окислов основной тол-

циной 2 мм с местными утолщениями, образованными складками. Как основной слой, так и утолщения в изломе, сходны с изломом стали. Корка в целом и её спекшаяся часть притягиваются магнитом. Это подтверждает нашу концепцию о том, что в основе образования наростов на форме и их зеркальных отпечатков в виде бороздок на поверхности отливки являются брызги металла, зависающие на поверхности хромомагнетитовой облицовки формы и частично или полностью окисляющиеся ко времени выбивки отливки.

Нашу концепцию подтверждает также тот факт, что бороздки образуются по преимуществу в верхней части отливки, куда металл поступает в последнюю очередь.

Из вышеизложенного описания дефекта в виде бороздок и нашей концепции его образования логично вытекает вывод, что предупреждение этого дефекта станет неизбежным, если воспрепятствовать зависанию брызг металла на шероховатой поверхности хромомагнетитовой облицовки формы. Технологическим средством достижения этой цели является окрашивание быстросохнущей противопопригарной краской, благодаря чему поверхность формы становится более гладкой и капли жидкого металла на ней не удерживаются. Они соскальзывают в металл.

Цирконовый концентрат в качестве такой основы для противопопригарной краски был отвергнут ввиду присутствия в хромомагнетитовой облицовке окислов железа, которые снижают противопопригарную эффективность цирконового концентрата. Кроме того, что противопопригарная краска заглаживает шероховатости на поверхности формы, она ещё выделяет газы, образующиеся при термодеструкции компонентов СБПП, которые отталкивают брызги и тем самым затрудняют их зависание на окрашенной поверхности формы.

Главные характеристики быстросохнущей противопопригарной краски таковы:

1. Самовысыхание без использования тепла (подогрева). Для этого вполне приемлемо используемое «Турбоатомом» связующее СБПП.

2. Нижеследующие огнеупорные наполнители (порошки):

- корунд с содержанием Al_2O_3 не менее 88% очень тонкого помола (проход через сито 02 – 100%, остаток на сите 0063 – 7,1%, тазик – 89,3%);
- глинозем тонкого помола с содержанием Al_2O_3 не менее 80%;
- хромомагнетитовый порошок (ХМП) тонкого помола (проход через сито 0063 – не менее 95%, химсостав тот же, что и для зернистого ХМП);
- магнетитовый порошок (МП) тонкого помола с содержанием $MgO \geq 90\%$.

Опытные партии ХМП и МП тонкого помола изготовлены Украинским научно-исследовательским институтом огнеупоров (УкрНИИО) в г. Харькове.

Используя вышеописанные материалы, в лабораторных условиях провели ряд экспериментов с окрашиванием образцов из жидкостеклопных смесей самовысыхающими красками. Результаты экспериментов приводятся ниже.

Быстросохнущая краска на корунде. С использованием СБПП приготовили корундовую краску плотностью $1,6 \text{ г/см}^3$ и вязкостью 50с. Через 3 ч сушки на воздухе прочность к истиранию красочного слоя составила более 10 кг/мм.

Быстросохнущая краска на комбинированном порошке, состоящем из корунда и глинозема. Глинозем тем привлекателен, что улучшает реологические характеристики противопопригарной краски, в частности, повышает её седиментационную устойчивость и улучшает кроющую способность.

Состав и характеристики шести самовысыхающих противопопригарных красок с комбинированным огнеупорным наполнителем (от чистого корунда до чистого глинозема) приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1. Составы быстросохнущих противопопригарных красок на корундо-глиноземистой основе и на чистых корунде и глиноземе

Наименование компонентов	Содержание компонентов в различных противопопригарных красках, масс. ч					
	1	2	3	4	5	6
Корунд	100	90	80	70	50	-
Глинозем	0	10	20	30	50	100
СБПП (вязкостью по ВЗ-4 14 с)	67	63	65	62	62	64

Таблица 2. Физико-механические характеристики быстросохнущих противопопригарных красок на корундо-глиноземистой основе и на чистых корунде и глиноземе

Наименование компонентов	Содержание компонентов в различных противопопригарных красках, масс. ч					
	1	2	3	4	5	6
Условная вязкость по ВЗ-4, с	50	40	49	48	40	40
Седиментационная устойчивость, %	96	95	96	95	96	99
Прочность к истиранию через 3 ч сушки на воздухе, кг/мм	>10	>10	>10	>10	>10	>10

Присутствие глинозема в корундовой краске благоприятно сказывается на ее кроющей способности. Красочный слой получается ровным и плотным.

Быстросохнущая краска на основе магнезитового порошка. Приготовлено две противопопригарные краски с использованием магнезитового порошка и СБПП.

Первая краска имела плотность $1,95 \text{ г/см}^3$, условную вязкость 60 с и седиментационную устойчивость 95,2%.

Вторая краска имела плотность $1,7 \text{ г/см}^3$, условную вязкость 47 с и седиментационную устойчивость 96%.

Обе краски высохли на воздухе за 40 мин. Вторая краска была очень прочной (более 10 кг/мм), на предметном стекле и образце из жидкостекольной смеси держалась прочно. В целом по положительным свойствам вторая краска предпочтительнее.

Общим недостатком обеих красок на основе магнезитового порошка является интенсивное стекание при окрашивании образцов окутанием.

Впоследствии, при более тщательной постановке экспериментов, отмеченные недостатки противопопригарных красок на основе магнезитового порошка были устранены за счет повышения вязкости СБПП до 16 с.

Для окрашивания хромомагнезитовой облицовки весьма привлекательным является быстросохнущая противопопригарная краска с огнеупорным наполнителем того же химического состава, что и зернистый хромомагнезит.

Слой противопопригарной краски, однородной по своей огнеупорной основе с зернистым хромомагнезитом, исключает возможность осложнения ситуации на границе раздела «металл-форма» путем образования какого-то промежуточного продукта, могущего возникнуть в случае разнородных облицовочного и красочного слоев.

Вышеописанные быстросохнущие краски использовались для окрашивания ими форм из ОЖС с их облицовкой ЖХМС и без облицовки.

Все формы отверждались углекислым газом через наколы в смеси. Ниже описаны эксперименты по окрашиванию форм и полученные результаты.

Суть экспериментов заключалась в окрашивании форм корундовой самовысыхающей краской в различных сечениях с облицовкой форм хромомагнезитовой смесью и без облицовки, т.е. с использованием жидкостекольной смеси.

Для экспериментов использовался корунд тонкого помола (фракция 20-70 микрон) и СБПП. Практическим путем подобрана плотность краски в пределах $1,55-1,60 \text{ г/см}^3$. Седиментационная устойчивость этой краски составила 90%.

Была окрашена форма лопатки направляющего аппарата турбины для Каховской ГЭС. Эта отливка тем хороша для экспериментов, что обе её поверхности симметричны по отношению к литниковой системе. Если одну из её поверхностей условно разделить на две половины (примерно по линии расположения стояка), то обе эти половины будут находиться в равных условиях с точки зрения воздействия металла на форму и формы на металл. Во всех экспериментах производилось двойное окрашивание форм. Формы нумеровались цифрами 21, 22 и 23.

Форма 21. Корундовой краской окрашен низ, облицованный хромомагнезитовой смесью. Верх также облицован хромомагнезитовой смесью, но окрашиванию не подвергался. Форма собрана через 2 часа после окрашивания и залита металлом (сталь 20ГСФ-Л). При осмотре отливки констатирована чистая и относительно гладкая поверхность низа и шершавая, испещренная дефектами в виде бороздок поверхность, образованная верхней полуформой.

Форма 22. Как низ, так и верх формы окрашены дважды корундовой краской. Одна половина поверхности была облицована ОЖС, другая – ЖХМС. При осмотре отливок констатирована примерная идентичность качества поверхностей отливки. Ни одного дефекта поверхности в виде бороздки не обнаружено.

Форма 23. Низ облицован ОЖС, а верх – ЖХМС. Низ был дважды окрашен корундовой краской, верх не окрашивался. При осмотре отливки констатировали очень гладкую и чистую поверхность отливки, образованную нижней полуформой, и полностью покрытую бороздками поверхность отливки, образованную неокрашенной верхней полуформой. Из всех экспериментов этот наиболее показателен с точки зрения эффективности применения корундовой быстросохнущей краски для предупреждения бороздок и существенного улучшения качества поверхностей турбинных отливок.

В экспериментальном порядке отлито ещё несколько крупных отливок из стали 06Х12НЗД-Л. В основном это были лопатки гидротурбин для Киевской, Камской и Баундари (США) ГЭС. Условия экспериментов были такими же, как и вышеописанные. Результаты по чистоте поверхностей отливок были аналогичными.

Кроме корунда, в производственных условиях в качестве огнеупорного наполнителя быстросохнущей краски был использован также хромомagneзитовый порошок тонкого помола, который по химическому составу идентичен с зернистым хромомagneзитовым материалом, используемым ОАО «Турбоатом» для приготовления жидкостекольной хромомagneзитовой облицовочной смеси. Краска на основе хромомagneзитового порошка имела такие же показатели, как и корундовая (плотность – 1,56 г/см³, седиментационная устойчивость – 92%). Этой краской дважды окрасили форму лопатки турбины для Камской ГЭС, облицованную ЖХМС. Качество поверхности отливки было таким же, как и при применении корундовой краски.

Этим экспериментом подтверждена правильность концепции, заложенной в настоящую работу. Возможность применения хромомagneзитового порошка составила основу технологического резерва, который можно будет использовать в какой-то непредвиденной ситуации.

Концепцией настоящей работы предусмотрено использование в качестве огнеупорного наполнителя противопопригарных красок еще одного материала – магнезита, характеризующегося очень высокой огнеупорностью (2800-2940°). Этот материал отлично зарекомендовал себя как огнеупорная основа противопопригарных красок для марганцовистого литья.

Во время выполнения экспериментальной части этой работы в литейном цехе ОАО «Турбоатом» отливки из марганцовистых сталей не изготавливались. Поэтому испытания магнезитовой противопопригарной краски были проведены в фасонолитейном цехе №1 ЗАО «Новокраматорский машиностроительный завод» при изготовлении брони конусной дробилки массой 6 т, толщиной стенок – 150 мм. В этом эксперименте использовали вариант водной противопопригарной краски в сочетании с тепловой сушкой собственно формы и стержня из песчано-глинистой смеси. Первый слой краски наносили кистью на сырую форму и стержень, проявляли в течение 1-2 часов, наносили второй слой краски, а после их подвергали сушке теплом. При осмотре отливки установлено, что все её поверхности, образованные окрашенными формой и стержнем, были абсолютно чистыми. Характерной особенностью литой поверхности был её металлический блеск, обусловленный отсутствием пленок окислов.

Таким образом:

- Двухкратное окрашивание корундовой быстросохнущей краской форм, облицованных хромомagneзитовой жидкостекольной смесью и отвержденных углекислым газом, полностью устраняет образование дефекта отливок типа бороздок. При этом значительно улучшается гладкость поверхностей отливок из легированных сталей.
- Двухкратное окрашивание корундовой быстросохнущей краской форм из обычной жидкостекольной смеси при изготовлении стальных отливок с преобладающими толщинами стенок 100-150 мм позволяет получать такой же противопопригарный эффект, как и в случае облицовки форм хромомagneзитовой смесью для более толстостенных отливок.
- В качестве технологического резерва для турбинного литья разработаны варианты применения хромомagneзитовой и магнезитовой быстросохнущих противопопригарных красок, которые по своим важнейшим параметрам и противопопригарной эффективности идентичны с корундовой краской.