

Влияние пригара на свойства отливок и меры борьбы с ним

Для отливок, получаемых в разовых песчаных формах, характерным видом брака является пригар, который увеличивает стоимость финишной обработки, влияет на эксплуатационные и технологические свойства. Рассматриваются способы предупреждения пригара путем создания композиционных отливок, систематизируются традиционные меры борьбы с этим видом брака.

Ключевые слова: пригар, классификация пригара, причины возникновения, меры борьбы, композиционные отливки

Актуальность работы. Качество поверхности отливок, которое характеризуется величиной макро- и микронеровностей, а также наличием пригара, оценивается неоднозначно. Объяснением этому является тот факт, что принято считать литейное производство основной заготовительной базой машиностроения и других отраслей, а отливку – заготовкой, нуждающейся в механической обработке. Поэтому низкое качество поверхности отливки, как правило, не является признаком брака. Лишь когда стоимость финишных операций значительно выше стоимости изготовления новой отливки, её бракуют (например, из-за большого пригара).

Большой пригар характерен для разовых песчаных форм при литье сплавов из чёрных металлов. Противоположностью этому виду брака являются многочисленные способы литья (керамические формы, кокили, литьё под давлением и др.), при которых образование пригара либо не характерно, либо вовсе не происходит. Однако основную массу отливок в настоящее время получают литьём в разовые формы из песчаных смесей, что влечёт за собой появление самого распространённого дефекта – пригара.

Наличие пригара на поверхности отливки оказывает непосредственное влияние на эксплуатационные свойства отливок такие, как, например, механические характеристики, коррозионная стойкость, теплопроводность, гидравлические характеристики. Пригар влияет также на технологические свойства отливок (обрабатываемость, последующие наплавку и эмалирование).

Влияние качества обработанных поверхностей на механические свойства при переменных нагрузках может колебаться в широких пределах [1]. Это зависит от шероховатости, наличия наклепа, обезуглероженного либо окисленного слоя, структурной и химической неоднородности и других причин. Например, установлено, что падение прочности с увеличением шероховатости обработанных деталей в условиях знакопеременной нагрузки, вызывающей циклические напряжения, достигает 40-50 %. На образцах диаметром 40 мм из стали 30X2B8Ф после грубой обработки предел выносливости (усталости), после шлифования. Влияние качества поверхности на прочность является тем сильнее, чем выше.

Срок службы деталей при контактных напряжениях существенно зависит от качества поверхности: если контактные напряжения при шероховатой поверхности возрастают на 20 %, долговечность детали сокращается в 5 раз. Полирование поверхности с 7,8 мкм до 5,7 повышает долговечность детали, находящейся под воздействием ударной нагрузки, на 60 %.

Аналогичного влияния шероховатости можно ожидать от литой поверхности отливки, не подвергающейся механической обработке. Очевидно, что влияние шероховатости поверхности на прочностные характеристики можно объяснить концентраторами напряжений, которые вызывают усталостные трещины. При этом необходимо учитывать геометрию отливки, то есть соотношение между толщиной стенки и высотой микронеровностей, что особенно важно для знакопеременных нагрузок. Таким образом, шероховатость механически обработанной поверхности отливки, а также литой поверхности из-за различной зернистости огнеупоров, пригара приводит к формированию концентраторов напряжений и снижению эксплуатационных характеристик литья.

Жаростойкость отливок, работающих при высоких температурах (например, печная арматура), также зависит от состояния поверхности отливок: наличие на поверхности включений фаялита и других легкоплавких соединений оксидов железа приводит к значительной потере массы при эксплуатации.

Коэффициент полезного действия литых деталей гидроаппаратуры – лопастных колес насосов, лопастей гребных винтов, лопастей низконапорных гидротурбин электростанций, статоров и роторов турбобуров – зависит от шероховатости рабочих поверхностей, изменяется также срок службы газо- и гидроагрегатов.

Качество литой поверхности оказывает влияние на последующую механическую обработку отливок путём назначения величины припусков, выбора режимов резания и материала режущего инструмента. Часто это приводит к изменению геометрии отливки, увеличению объёма мехобработки и переводу металла в стружку. Эти факторы снижают точность отливок и конкурентноспособность их перед другими заготовками. Большая шероховатость поверхности отливок заставляет снижать параметры резания

твердосплавным инструментом ВК, ТК, ТТК, которые не допускают ударных нагрузок.

Характер поверхности оказывает большое влияние на последующее эмалирование отливок, что важно для нефтехимического и сантехнического оборудования. Для литых деталей, основным свойством которых является сопротивление износу и высокая пластичность, применяют наплавку релитом либо сормайтотом. При этом пригар на поверхности снижает прочность связи наплавленного слоя с литой поверхностью (зубья буровых шарошек, зубья ковшей экскаваторов и др.). Поэтому изучению явлений, происходящих на границе раздела металл-форма, уделяется большое внимание.

Большое количество научных и производственных разработок в области получения чистой поверхности отливок [2, 3, 4, 5] не даёт однозначного ответа на действенные методы предотвращения пригара в конкретных случаях. Дискуссии в этой области можно объяснить сложностью, многочисленностью факторов, определяющих физико-химические процессы на границе металл-форма. Основными являются взаимодействие материала формы с оксидами жидкого металла, реакции в газовой фазе, выгорание органических связующих и т. д. Нельзя забывать также тепловое и механическое взаимодействие металла со стенками формы, тем более, что все эти процессы протекают одновременно, проходят различные стадии развития, последовательную смену состояний.

В связи с большим количеством переменных величин получила развитие классификация, которая делит все факторы на две группы, участвующие в процессе формирования пригара: факторы, связанные с материалом отливок; факторы, связанные с материалом литейных форм. Взаимодействие этих факторов приводит к разнообразию толкований формирования пригара, условно разделяемого на механический, термический и химический. Ограниченный объём статьи не позволяет провести полный анализ существующих теорий. Большинство исследователей сходятся на том, что в первой стадии процесса происходит проникновение жидкого металла в поры формы, затем процесс приостанавливается в связи с формированием поверхностной мелкокристаллической корочки. В дальнейшем под воздействием тепла жидкого металла отливки эта корочка раплавляется и происходит взаимодействие гематита, магнетита и вюстита с кремнезёмом формы и образованием фаялита, других силикатов, соответствующих эвтектикам тройных систем $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-FeO}$, $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MnO}$ или другим минералогическим комбинациям. Такое представление механизма формирования пригара является в какой-то мере некорректным, так как противоречит закону последовательного затвердевания отливки, определяемого условиями её охлаждения (закон квадратного корня), [6]:

$$x = \sqrt{\frac{2\lambda T}{\rho L + \frac{1}{2}c\rho T}} \cdot \sqrt{\tau}, \quad (1)$$

где x – толщина твёрдого слоя; λ – теплопроводность; c – теплоёмкость; ρ – плотность; τ – время, T – температура отливки, L – теплота кристаллизации.

После преобразования $K = \sqrt{\frac{2\lambda T}{\rho L + \frac{1}{2}c\rho T}}$ закон квадратного корня приобретает вид

$$x = K\sqrt{\tau}, \quad (2)$$

Таким образом, граница между твёрдой и жидкой частью отливки перемещается во времени в соответствии с линейным законом или законом квадратного корня.

Различные толкования и отсутствие единой общепринятой теории образования пригара приводят к отставанию в развитии способов его предупреждения.

Постановка задачи. Исходя из вышесказанного, для предотвращения пригара на поверхности отливки необходимо отсутствие или сведение к минимуму взаимодействия жидкого металла с огнеупорными материалами формы и стержня.

Целью работы является изучение процессов, происходящих на границе раздела жидкий металл-форма и минимизация физико-химического взаимодействия, приводящего к образованию пригара.

Сущность и методы исследований. Общеизвестным является факт, что в образовании пригара большую роль играет наличие оксидов на поверхности металла, а также окисление его при контакте с атмосферой формы и формовочным материалом.

Для чугунного литья создание восстановительной атмосферы в литейной форме может быть достигнуто введением в формовочную смесь углеродсодержащих добавок, уменьшающих пригар. Недостатком этого способа является ухудшение экологии чугунолитейного цеха. Для стального литья этот способ непригоден. Поэтому приходится обращать самое пристальное внимание на раскисление плавки в печи и при выпуске в ковш. Основными оксидами в углеродистых сталях 25Л, 35Л являются гематит Fe_2O_3 с содержанием кислорода 30,06 %, оксид-закись магнетит Fe_3O_4 (27,6 % O_2) и вюстит FeO (закись 22,28 % O_2). На поверхности отливки вюстит разрушается в максимальных количествах; именно FeO увеличивает смачиваемость SiO_2 формы: для стали 35Л при температуре 1560 °С (кислая плавка) краевой угол смачивания при наличии вюстита равен 57°, у полностью раскисленной стали – 117°. Осадочное раскисление в печи проводили электротермическим ферросилицием, содержащим 40-47 % Si, вводимым порциями не более 2 кг на тонну металлозавалки. Контроль степени раскисленности проверяли после каждого введения порции. Раскисленный металл во избежание чрезмерного восстановления кремния должен находиться в печи не более 10 минут. Окончательное раскисление проводили при выпуске плавки присадкой доменного ферромарганца. Количество ферромарганца рассчитывали по формуле

$$M = \frac{m \cdot 100}{b(100 - a)} \cdot P, \quad (3)$$

где M – присадка ферромарганца, кг; m – количество марганца, которое нужно ввести, %; b – содержание марганца в ферромарганце, %; a – угар марганца, % (при вводе в ковш – 10-15 %); P – вес металлозавалки, кг.

Окончательное раскисление стали проводили алюминием в количестве 1-2 кг на тонну жидкого металла. Показателем полноты раскисления служит остаточное содержание алюминия в отливках, которое должно быть не менее 0,008 %. Одновременно с этим окончательное раскисление стали оказывает влияние не только на содержание оксидов, но и на свойства стали, определяемые природой неметаллических включений.

Алюминий вводили в виде литых колец, закреплённых на стопоре ковша (рис. 1).

Эффект раскисления стали алюминием изменяется во времени. Эксперименты показали (таблица) изменение содержания кислорода в отливках из стали 35Л в зависимости от времени разливки металла на литейном конвейере. Добавка алюминия составляла 0,2 %.

Изменение содержания кислорода в стали

Время после добавки алюминия, мин	Содержание O_2 , %
0,5	0,020
1,0	0,010
3,0	0,005
4,0	0,003
6,0	0,007
8,0	0,010
10,0	0,015

Из таблицы следует, что сразу после добавки алюминия образующийся Al_2O_3 будет стремиться всплыть в шлак, а остаточный алюминий будет связывать кислород, поступающий из атмосферы формы, препятствуя его растворению. В результате общее содержание кислорода, а, следовательно и FeO, в стали будет снижаться. В дальнейшем, когда остаточный алюминий в большей степени израсходован, кислород из атмосферы формы будет растворяться в металле с увеличением содержания FeO и ростом корки пригара. Поэтому разливка стали должна проводиться с учётом этого фактора.

Удовлетворительные результаты были получены остеклованием поверхности формы в термических узлах с целью создания нулевой пористости поверхности. Оплавление производили обработкой поверхности плазменными и газовыми горелками на глубину 1-1,5 мм. Структура остеклованной поверхности состоит из трёх зон различной плотности: поверхностный слой состоит из оплавленного кварцевого стекла, промежуточный слой имеет плотную структуру и образуется в результате спекания и частичного оплавления, происходящего по мере прогрева. Затем следует структура исходного строения объёмной песчаной формы. В зоне оплавления пригар практически отсутствует.

Применение пористых металлокерамических оболочек (ПМКО) [7] полностью решает проблему обра-

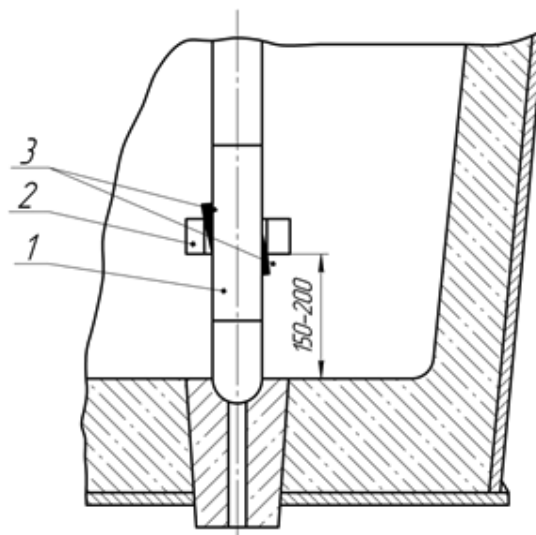


Рис. 1. Установка алюминиевого кольца для раскисления стали в ковше: 1 – стопор; 2 – алюминиевое кольцо; 3 – клинья

зования пригара, так как жидкий металл контактирует с ПМКО, а не с материалом формы. Геометрические параметры, химический состав оболочки позволяют получать с помощью диффузионного соединения композиционную отливку с заданными в месте установки ПМКО свойствами.

Помимо предложенных способов борьбы с пригаром следует не забывать старые испытанные приёмы:

- покрытие разовых литейных форм, применяя пассивные, листовые, водные краски, неводные, проникающие, химически твердеющие краски, натирочные пасты, диффундирующие краски и т. д.;
- повышение степени уплотнения поверхности формы;
- уменьшение пористости поверхности формы с использованием разнозернистых песков;
- использование в качестве связующего силиката натрия (жидкого стекла), приводящего к «завариванию» промежутков между зёрнами смеси;
- уменьшение химического сродства между оксидами жидкого металла и оксидами поверхности формы (например, смеси на магнезите или хромистом железняке);
- создание условий для образования промежуточной фазы, имеющей кристаллическую решётку, подобную материалу формы (принцип ориентационного и размерного соответствия);
- увеличение вязкости промежуточной фазы, чем в некоторой степени объясняется уменьшение пригара со снижением температуры заливки. Здесь следует напомнить крылатую фразу, сказанную профессором В. Е. Грум-Гржимайло в 1914 году: «Плавь горячее, лей холоднее».

Перечисленные способы ни в коей мере не претендуют на полноту методов борьбы с одним из самых распространённых видов брака отливок, которые развиваются и пополняются вместе с развитием теории и практики литейного производства.

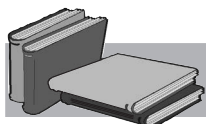
Выводы

Необходимость увеличения производительности и улучшения условий труда, а также возрастающие требования к повышению геометрической точности и эксплуатационной надёжности отливок приводят к большому количеству теоретических, экспериментальных и практических разработок по уменьшению пригара. Несмотря на различие в мнениях многих исследователей, можно предложить следующий механизм образования пригара: на поверхности жидкого металла формируется слой оксидов, реагирующих с оксидами формы, образующими промежуточную фа-

зу, которая определяет вид пригара, его геометрические параметры, степень сцепления с поверхностью отливки.

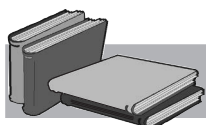
Рассматриваются следующие мероприятия по уменьшению пригара:

- приёмы раскисления металла, минимизирующие количество оксидов на поверхности;
- остекловывание поверхности литейной формы в термических узлах с целью создания нулевой пористости;
- использование пористых металлокерамических оболочек (ПМКО);
- традиционные мероприятия по борьбе с пригаром.



ЛИТЕРАТУРА

1. Оболенцев Ф. Д. Качество литых поверхностей. – М.-Л.: Машгиз, 1961. – 182 с.
2. Дорошенко С. П., Дробязко В. Н., Ващенко К. И. Получение отливок без пригара в песчаных формах. – М.: Машиностроение, 1978. – 208 с.
3. Лысенко Т. В., Малахов В. П., Становский А. Л. Управление процессами в литейной форме. – Одесса: ВМВ, 2009. – 475 с.
4. Теоретические основы литейной технологии: Пособие для вузов / Руководитель авт. коллектива А. Ветишка. Пер. с чешск. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1981. – 320 с.
5. Сварика А. А. Покрытия литейных форм. – М.: Машиностроение, 1977. – 216 с.
6. Гуляев Б. Б. Теория литейных процессов. Учебное пособие для вузов. – Л.: Машиностроение (Ленинградское отделение), 1976. – 216 с.
7. Ясюков В. В., Солоненко Л. И., Цыбенко О. В. Композиционные вставки пресс-форм литья под давлением // Металл и литьё Украины. – 2015. – № 9. – С. 26-29.



REFERENCES

1. Obolencev F. D. (1961). Kachestvo litykh poverkhnostei. [The quality of the cast surfaces]. M.-L.: Mashgiz. [in Russian].
2. Doroshenko S. P., Drobyazko V. N., Vashchenko K. I. (1978). Polucheniie otlivok bez prigara v peschanykh formakh. [Obtaining castings without burn-in sand molds]. M.: Mashinostroeniie. [in Russian].
3. Lysenko T. V., Malakhov V. P., Stanovskii A. L. (2009). Upravlenie processami v liteinoi forme. [Process control in the mold]. Odessa: VMV. [in Ukrainian].
4. Teoreticheskie osnovy liteinoi tehnologii: [Theoretical foundations of foundry technology]. Posobie dlia vuzov. (1981). Rukovoditel avt. kolektiva A. Vetishka. (Trans. From Czech). Kiev: Vishcha shkola. Golovnoe izd-vo, 320 p. [in Ukrainian].
5. Svarika A. A. (1977). Pokritiia liteinykh form. [Coatings molds]. M.: Mashinostroeniie, 216 p. [in Russian].
6. Guliyev B. B. (1976). Teorii liteinykh protsessov. [Theory of casting processes]. Uchebnoie posobie dlia vuzov. L.: Mashinostroeniie (Leningradskoe otdeleniie), 216 p. [in Russian].
7. Iysukov V. V., Solonenko L. I., Chibenko O. V. (2015). Kompozitsionnye vstavki press-form lit'ia pod davleniim. [The composite insert mold injection molding]. Metall I litie Ukrainy. № 9, pp. 26-29. [in Ukrainian].

Анотація

Ясюков В. В., Воронова О. І., Рудницький Я. М.

Вплив пригару на властивості виливків і засоби боротьби з ним

Для виливків, що отримують в разових піщаних формах, характерним видом браку є пригар, який збільшує вартість фінішної обробки, впливає на експлуатаційні та технологічні властивості. Розглядаються способи попередження пригару шляхом створення композиційних виливків, систематизовано традиційні засоби боротьби з цим видом браку.

Ключові слова

пригар, класифікація пригару, причини виникнення, методи боротьби, композиційні виливки

For castings made in disposable sand molds the burn-on is a typical view of reject, so its increase the cost of finishing processing, and affect on working and technological properties. The prevention methods of burn-on with creation of composite castings are considered, conventional measures to control this kind of rejects were systematized.

Оформление рукописи для опубликования в журнале "Металл и литьё Украины":

Материалы для публикации необходимо подавать в формате, поддерживаемом Microsoft Word, размер страницы А4, книжная ориентация, шрифт – Arial, 10, междустрочный интервал – 1,5. Объём статьи – не более 10 стр., рисунков – не более 5.

Рукопись должна содержать:

- УДК;
- фамилии и инициалы всех авторов (на русском, украинском и английском языках);
- название статьи (на русском, украинском и английском языках);
- название учреждения(й), в котором(ых) работает(ют) автор(ы);
- аннотации (на русском, украинском и английском языках);
- ключевые слова (не менее шести) – на русском, украинском и английском языках;
- предлагаемая структура текста (Arial 10, прямой) научной статьи: «Введение», «Материалы и методы», «Результаты и обсуждение», «Выводы».
- таблицы должны иметь порядковый номер (Arial 10, курсив) и заголовок (Arial 10, п/ж), текст в таблице (Arial 9, прямой), примечания к таблицам размещаются непосредственно под таблицей (Arial 8, курсивом).
- формулы (Arial 11, русские символы – прямым, английские – курсивом, греческие – Symbol 12, прямым) должны иметь порядковый номер (Arial 10, прямой);
- рисунки, схемы, диаграммы и другие графические материалы должны быть чёрно-белыми, чёткими, контрастными, обязательно иметь номер и подрисуночную подпись (Arial 9, прямой); все громоздкие надписи на рисунке следует заменять цифровыми или буквенными обозначениями, объяснение которых необходимо выносить в подрисуночную подпись;
- список литературы на 2 языках: оригинала и английском (Arial 9);
- ссылки нумеруются в порядке их упоминания в тексте, где они обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках (например – [1]).