

УДК 621.74:669.13

И.О. Леушин, Д.Г. Чистяков

Нижегородский государственный технический университет

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ И ФАЗОВОГО СОСТАВА ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК СТЕКЛОФОРМ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ГОТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Аннотация. Рассмотрен процесс изготовления и эксплуатации чугуновых стеклоформ, в частности обозначены основные причины снижения ресурса работы деталей, пути решения выявленных проблем. Исследована микроструктура заготовок при послойном и традиционном затвердевании отливки. По мнению авторов, контроль фазового состава чугуна и формирования отдельных структурных составляющих в процессе затвердевания отливок позволяет обеспечить повышенную теплостойкость и теплопроводность деталям данного типа. Описано влияние каждого структурного компонента на комплекс свойств деталей, работающих в условиях циклических термических нагрузок и абразивного износа.

Ключевые слова: стеклоформа, формокомплект, чугун, теплостойкость, теплопроводность, структура, фазовый состав.

THE INFLUENCE OF FORMATION OF STRUCTURES AND PHASE COMPOSITION OF THE IRON CASTINGS GLASS-MOULDS ON OPERATIONAL PROPERTIES OF FINISHED PRODUCTS

Abstract. The given article contains consideration of process of production and operation glass-mould. Also described the main reasons for decrease in firmness of the operation glass-moulds. The microstructure of preform is investigated at layer-by-layer and traditional hardenings of castings. Control of phase composition of cast iron and formation of separate structural components in the course of hardening of castings allows to provide the increased heat resistance and heat conductivity to details of glass-moulds. In presented article described influence of each structural component on the complex of properties of details working in the conditions of cyclic thermal loadings and abrasive wear.

Keywords: glass-mould, molding-package, cast iron, heat resistance, heat conductance, structure, phase composition.

В условиях современной глобализации и расширения рынков сбыта импортной продукции отечественная промышленность находится в жесткой зависимости от иностранных «полуфабрикатов» металлических изделий, применяемых на ответственных узлах автоматических линий стеклотарных заводов. Ввиду шаткой экономической конъюнктуры на рынке российских металлопродуктов, несравнимо уступающих зарубежным аналогам по закупочной цене и эксплуатационным свойствам, отечественная литейная индустрия заинтересована в оптимизации соотношения «цена/качество» изделий из чугуна, применяемых на производственных поточных линиях для массового выпуска стеклянных бутылок. Исходя из того, что по доле выпуска чугунового литья Россия входит в тройку ведущих стран-производителей, необходимо кардинальное переосмысление технологии производства деталей данного типа с учетом конкуренции с зарубежными поставщиками подобной продукции [1].

В сложившейся ситуации особого внимания требуют изделия стеклоформ (рис. 1) – основные детали, характеризующие формовой комплект для литья стеклоизделий [2].

Основными причинами низкого эксплуатационного ресурса отечественных стеклоформ по сравнению с западными аналогами являются [2]:

– выгорание углерода с рабочих кромок изделия в процессе контакта со стекломассой и его последующее выкрашивание из металлической основы;



Рис. 1. Стеклоформа

– высокотемпературный износ металлической основы сплава детали, связанный с размягчением материала стеклоформы под действием циклических теплосмен;

– абразивный износ, вызываемый пригаром и остаточными каплями жидкого стекла, образующимися после контакта стекломассы с поверхностным слоем формокомплекта.

Вследствие вышеуказанных причин происходит образование различных повреждений рабочих кромок изделий, приводящих к преждевременному выходу из строя деталей стеклоформ или их дорогостоящему ремонту и сокращению эффективного срока работы производственной линии по выпуску стеклотары из-за временных внеплановых потерь на съем и установку новых формокомплектов.

Основанием для снятия стеклоформ с производственной линии является наличие видимых дефектов на стеклянной посуде, связанных с неправильной конфигурацией стеклоизделия, изменением его формы, подтеками закристаллизовавшегося жидкого стекла, вызываемых комплексным теплоабразивным воздействием стекломассы на внутреннюю поверхность формокомплекта. Источником описанной дефектности стеклянной тары является изменение размеров и сплошности внутренней поверхности чугунной стеклоформы, которые в свою очередь вызываются приращением объема детали под воздействием циклических тепловых нагрузок. За счет этого металлическая матрица чугуна достигает критической величины – предельной пластичности, и на внутренней поверхности стеклоформы образуются «надрывы» – трещины разгара. Механизм образования трещин, вызванных совместным действием высоких температур и абразивного износа рабочей поверхности, различен в зависимости от структуры чугуна, его фазового и химического состава. Разрывы сплошности эксплуатируемого изделия из чугуна при этом наблюдаются преимущественно в двух видах [3]:

– вдоль границы зерна металлической основы;

– с участка выгорания графитовой фазы, главным образом с мест крупных ее включений.

Только совместное исследование причин образования трещин разгара и искажения формы и размеров стеклоформ позволяет выявить механизмы влияния на структуру детали и повысить эксплуатационный ресурс стеклоформ.

В связи с этим решение проблем, связанных с низкой стойкостью стеклоформ, предусматривает рассмотрение всей технологической цепочки изготовления изделия, начиная от выбора химического состава сплава и заканчивая термической обработкой детали. При этом в центре внимания исследователей находится изучение технологического цикла изготовления литой заготовки, от качества которой будет напрямую зависеть общее число выпускаемых стеклянных тар с единицы формообразующего комплекта.

На данном этапе ценным производственным показателем выступает минимизация затрат на литую деталь при стабильности производственного процесса выпуска стеклоизделий, постоянство которого во многом определяется фазовым составом и распределением структурных составляющих в заготовках металлических стеклоформ.

В настоящее время основными подходами к решению задач обеспечения высоких показателей эксплуатационных свойств стеклоформ считаются:

– получение сложной послойной структуры отливки, обладающей повышенным запасом прочности и термостойкостью рабочего слоя изделия и гарантирующей высокую теплопроводность зонам ее разогрева [4, 5];

– формирование стабильного фазового состава отливки, обладающего одновременно высокой теплопроводностью и прочностью при обеспечении пластичности заготовки, достаточной для сопротивления появлению трещин разгара в процессе разогрева стеклоформы [6].

Авторами данной работы экспериментально оценивалась действенность обоих представленных подходов.

В производственных условиях исследовался легированный чугун следующего химического состава, % (по массе): 3,5 C; 3,5 Si; 0,6 Mn; 0,2 Cr; 0,4 Ni; 0,02 Al; 0,05 Mo; 0,04 Ti; 0,03 P; 0,02 S, обладающий повышенной ростоустойчивостью, жаро- и окислительной стойкостью, которые обеспечиваются высоким содержанием кремния и добавок никеля, хрома и алюминия. Перечень вводимых в состав чугуна компонентов выбран с учетом уже проведенных экспериментов другими авторами [6] и на основании теорий жаростойкого и износостойкого легирования отечественной научной школы.

Для достижения необходимых показателей прочности детали и ее сопротивления ударным нагрузкам со стороны жидкого стекла расплав чугуна подвергался модифицированию с целью получения шаровидной формы графита, как наиболее защищенной против выкрашивания и концентрации термических напряжений. Модифицирование проводилось в ковше по Sandwich-процессу модификатором ФСМг7. Покрывающим составом для ферросиликомагния служили стальная и чугунная стружки. Вторичное модифицирование осуществлялось ферросилицием ФС75 в количестве не менее 0,4 % от массы жидкого чугуна.

Одной из особенностей плавки являлось соблюдение температурного режима выдержки в индукционной печи ИСТ-0,4 и разливки жидкого чугуна: сплав нагревался до температуры 1500 °С и в течение 10 – 12 мин перемешивался токами индуктора, температура выпуска расплава в ковш составляла 1460 – 1480 °С, температура металла после двустадийного модифицирования 1420 – 1440 °С, заливка форм проводилась при 1390 – 1400 °С. Общая продолжительность времени от разлива в ковш до заливки форм не превышала 5 мин.

В эксперименте № 1 (первый подход) исследовался чугу́н вышеописанного химического состава при литье в форму из песчано-глинистой смеси (ПГС) на металлический стержень, гарантирующий получение отбеленного слоя на внутренней поверхности отливки (рис. 2, 3), переходной области «отбел – масса чугуна» (рис. 2, 2) и внешнего слоя заготовки (рис. 2, 1).

Отбеленный слой – это рабочий слой изделия, уходящий в глубину на 5 – 10 мм, подвергающийся как механическому, так и тепловому износу, и испытывающий предельную циклическую нагрузку со стороны жидкого стекла.

Переходный пласт «отбел – масса чугуна» располагается на глубине 10 – 30 мм от внутренней кромки отливки, служит каркасной основой рабочему слою стеклоформы, выполняет функцию быстрого отвода тепла от зоны разогрева и в наибольшей степени испытывает искажение границ зерен фазовых составляющих.

Внешний слой исполняет роль «радиатора» (участка ускоренного теплоотвода) и занимает, как правило, наибольшую «атмосфероконтактную» поверхность стеклоформы. Его функциональность обеспечивается выполнением отверстий воздушного и/или водяного охлаждения посредством механической обработки заготовки.

Важным этапом изготовления деталей при реализации данного подхода является термическая обработка заготовок. Поскольку в результате литья чугу́н имеет перлит-ферритную металлическую основу с вкраплениями цементита и сложнокомпонентных карбидов на внутренней поверхности, то в дальнейшем отливки необходимо подвергать высокотемпературному отжигу (930 °С), в ходе которого большая часть карбидов измельчается, а перлит-ферритная основа меняется на феррит-перлитную.

Основными недостатками первого подхода к обеспечению высоких показателей эксплуатационных свойств стеклоформ являются:

– затратность термической обработки литых заготовок;

– присутствие большого количества раздробленных карбидов, являющихся концентраторами напряжений, как в рабочем слое, так и переходном.

В эксперименте № 2 (второй подход) исследовался чугу́н химического состава, идентичного эксперименту № 1, но с получением структуры, отвечающей требованиям ко всем ранее указанным слоям изделия стеклоформы. Технология производства отливок такого типа ограничивалась присутствием песчаного стержня (рис. 2, 4 – 6), а в ходе ее реализации решались следующие задачи:

- получить термостойкую металлическую основу чугуна – феррит;
- создать структуру литья, стабилизирующую тепловой баланс в процессе эксплуатации изделия;
- минимизировать количество карбидов-концентраторов напряжений в толще отливки;
- обеспечить графиту компактную форму, особенно в зоне рабочего слоя стеклоформы.

Изучение структуры отдельных слоев литой детали, сравнение результатов экспериментов № 1 и № 2 и последующий мониторинг работы деталей стеклоформ на производственных линиях выявили, что фазовый состав отливки и степень коагуляции различных структурных фаз оказывают существенное влияние на термостойкость готовых стеклоформ, а дислокация основных структурных составляющих – на степень отвода избытка тепла от рабочей зоны изделия.

Как можно увидеть на рис. 2, литье расплава чугуна на металлический стержень заметно уменьшает размеры графитовых включений и увеличивает их кучность, использование же песчаного стержня создает правильные сфероидальные формы графита, но увеличенные в размерах и дислоцированные далеко друг от друга.

Использование металлического стержня меняет структуру отливки не только в области графитовой фазы, но и создает дополнительные компоненты в виде карбидов и излишнего перлита. На этом основании следует особое внимание уделить характеру влияния каждого структурного компонента полученных чугунов – металлической основы, графита, карбидов, фосфидной эвтектики на термостойкость стеклоформ. Согласно полученным экспериментальным данным и проведенным исследованиям [7, 8], ранжированную степень влияния структурных элементов на стойкость стеклоформ можно проиллюстрировать рис. 3. По нему видно, что первостепенное значение для изделий стеклоформ имеют компоненты графита, ключевыми характеристиками которых являются их конфигурация и дисперсность. Рабочий слой стеклоформы должен обладать компактной формой графита, отличающейся:

– высоким сопротивлением против «выкрашивания» графитовых элементов из металлической матрицы чугуна в процессе воздействия высоких температур и искажения границ «графит – основа» на внутренней поверхности стеклоформы;

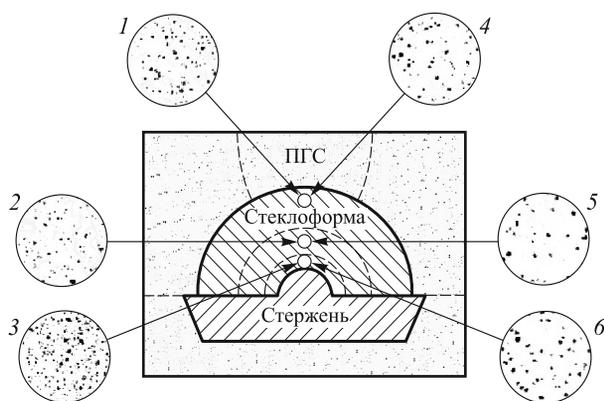


Рис. 2. Схема разреза литой заготовки, показывающая расположение и графитовую фазу в наиболее ответственных зонах стеклоформы при литье на металлический (1 – 3) и песчаный стержни (4 – 6), $\times 100$

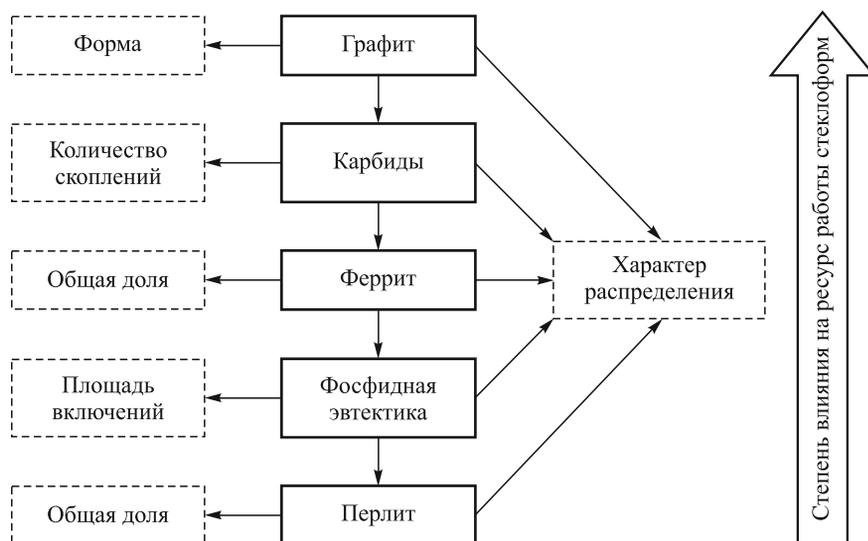


Рис. 3. Приоритетность структурных составляющих по степени влияния на эксплуатационные свойства стеклоформ

– минимальным размером графитовых зерен, обладающих в большей степени, чем крупные, стойкостью к выгоранию при высоких температурах.

Глобуляризация графита эффективно защищает стеклоформу от воздействия высоких температур, но практически не оберегает рабочую поверхность детали от абразивного износа кристаллизующейся стекломассой, что приводит к механическому истиранию в первую очередь тонких графических изображений, выполненных гравировальными станками, в результате чего стеклоформа становится не пригодной для дальнейшего использования. Стойкость поверхности контакта «стекломасса – формокомплект» против абразивного износа во многом зависит от доли включений сложнокомпонентных карбидов, содержащих элементы легирования чугуна.

Следующим звеном, влияющим на стабильную работу изделий стеклоформ, является металлическая основа чугуна, зависящая прежде всего от химического состава и технологии получения отливки. В наибольшей степени в этом случае для достижения поставленных целей подходит ферритная матрица чугуна, значительно превосходящая перлитную как по тепловым, так и по механическим показателям.

Работа изделий стеклоформ напрямую зависит от скорости отведения излишков тепла с рабочих поверхностей. Детали стеклоформ должны обладать высокой теплопроводностью, которая обеспечивается плотной упаковкой графита в матричной основе, исключающей присутствие фосфидной эвтектики и микропористости на границе зерен «графит – основа».

Завершающим звеном в процессе изготовления детали стеклоформы является ее механическая обработка, придающая окончательный вид и необходимые изменения заготовки (выполнение отверстий воздуховода, крепления т.п.). Трудоемкость реализации этого этапа производства во многом определяется количест-

вом перлита, присутствующего в конечной структуре изделия, наличие которого увеличивает потребность производителей в дорогих режущих инструментах и средствах ремонта стеклоформ.

Выводы. Термостойкость рабочего наиболее ответственного слоя стеклоформы во многом определяется размерами структурных составляющих чугуна, поэтому как оптимальный вариант получения литой заготовки наиболее перспективен процесс затвердевания отливки с максимальным тепловым градиентом [9]. В этом случае, благодаря более интенсивному охлаждению внутреннего слоя литой заготовки, существенно повышается дисперсность структурных составляющих на кромках рабочих поверхностей, что положительно сказывается как на теплостойкости, так и на износостойкости изделия.

Теплопроводность материала детали в большей степени будет зависеть от распределения графита, его размеров и формы, и в меньшей степени – от количества перлита в структуре чугуна [10]. Соответственно получение компактного графита наименьшего размера позволяет добиться требуемого уровня теплопроводности при обеспечении высокой прочности детали.

Обзор структур стеклоформ отечественных производителей и принципов их изготовления позволяет заключить, что в настоящее время не существует универсальной технологии для получения деталей такого типа. Химический состав сплавов, термовременные режимы выплавки и разлива сплава, технологии модифицирования, охлаждения и термической обработки значительно отличаются друг от друга на различных отечественных заводах. Использование сложноступенчатых и дорогостоящих, а порой и нерациональных алгоритмов изготовления литых заготовок стеклоформ порождает низкую конкуренцию российских промышленников с импортными аналогами данной продукции. Импульсом для коренного изме-

нения ситуации в пользу отечественной промышленности выступает проявляющийся в последнее время интерес современных производителей к оптимизации соотношения «цена/качество» металлопродуктов собственного производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Информационное агентство «МинПром». В мире растет производство чугуна / «МинПром». Электрон. текстовые дан. – Киев, 2010. <http://minprom.ua/page8/news43993.html>.
2. Шлегель А.Н. Повышение стойкости рабочих кромок чугуновых стеклоформ на основе лазерного непрерывного упрочнения: Автореф. дис... канд. техн. наук. – М, ГОУ ВПО ВГУ. 2011. – 20 с.
3. Бондаренко С.И., Гладкий И.П. // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2006. № 33. С. 5 – 8.
4. Тополянский П.А. // Стеклопакет. 2008. № 12. С. 16 – 20.
5. Тополянский П.А. // Стеклопакет. 2009. № 3. С. 14 – 18.
6. Королев С.П., Королев В.М., Худокормов Д.Н. // Литейное производство. 1996. № 1. С. 6 – 8.
7. Информационно-маркетинговый центр молодежной науки в Беларуси. Комплексное влияние состава и структуры на жаростойкость чугунов с различной формой графита / Министерство образования Республики Беларусь. Электрон. текстовые дан. – Минск. http://www.imc.metolit.by/txt1_39.php (дата обращения: 29.12.2012).
8. Александров Н.Н., Клочнев Н.И. Технология получения и свойства жаростойких чугунов. – М.: Машиностроение, 1964. – 171 с.
9. Дубровская А.С., Донгаузер К.А. // Вестник пермского национального исследовательского политехнического университета. 2011. № 9. С. 81 – 102.
10. Димнич А.Х., Троянский О.А. Теплопроводность: начальное пособие – Д.: Донецк, 2003. – 370 с.

© 2013 г. *И.О. Леушин, Д.Г. Чистяков*
Поступила 18 января 2013 г.