

## ДЕФЕКТОБРАЗОВАНИЕ В ДЕТАЛЯХ ЧУГУННЫХ СТЕКЛОФОРМ И МЕРЫ БОРЬБЫ С ПРЕЖДЕВРЕМЕННЫМ ВЫХОДОМ ИХ ИЗ СТРОЯ

И. О. Леушин<sup>1</sup>, Д. Г. Чистяков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>igoleu@mail.ru, <sup>2</sup>chistyakov.nstu@bk.ru

ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева» (НГТУ)

Поступила в редакцию 11.12.2013

**Аннотация.** Статья посвящена деталям стеклоформ, которые эксплуатируются в сложных термомеханических условиях. Основными причинами выхода их из строя являются рост материала металлического изделия, окисление контактирующих поверхностей и трещинообразование в местах интенсивного теплообмена. Изучение механизмов образования данных дефектов в теле детали и методов борьбы с их образованием позволит создать структуру материала детали с высокой термостойкостью и увеличить ресурсоспособность формовых комплектов на производственных линиях.

**Ключевые слова:** стеклоформа; чугун; расплавленное стекло; температура; термостойкость; окисление; микротрещина.

Высокий рост инновационных технологий в зарубежных странах существенно предопределил отставание отечественной промышленности, изготавливающей металлоизделия для собственного потребления. В этой связи часть российских заводов стекольной промышленности нацелилась на потребление зарубежных аналогов металлоизделий такого типа. В наибольшей степени процедура импортозамещения затронула металлические формовые комплекты, применяемые для изготовления стеклоизделий. Основным требованием к деталям данного типа является удовлетворение условию по эксплуатационной стойкости, формируемой высокими показателями детали по ростуустойчивости, трещино- и окалинностойкости (рис. 1).

Эксплуатация деталей стеклоформ осуществляется в циклическом режиме «расплавленное стекло ↔ воздух» по принципу открытия-закрытия с интервалом 0,3...2,0 с на операцию в зависимости от литража и требований по толщине стенки стеклоизделия. В течение одного цикла стеклоформа заполняется расплавленным стеклом (с температурой 950...1200 °С), осуществляется выдувание стеклоизделия, металлическая форма раскрывается для извлечения стеклянной тары и закрывается для принятия новой порции расплавленного стекла. При таком принципе эксплуатации детали, когда в условиях циклических смен температур и сред с различным химическим составом и агрегатным состоянием

протекают физико-химические процессы в граничном слое контактирующих поверхностей, происходят структурные изменения в теле изделия и, как следствие, нарушается целостность рабочей поверхности стеклоформы, приводящая к ее преждевременному снятию с производственной линии.

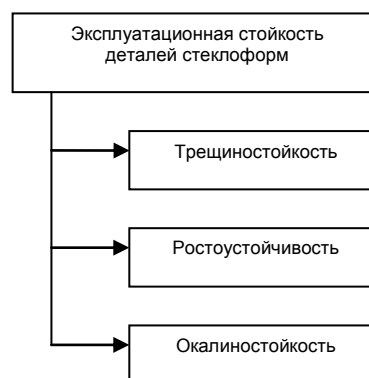


Рис. 1. Требования к деталям стеклоформ

Мониторинг стекольных промышленных заводов<sup>1</sup> Поволжья и западной России показал, что основными причинами выхода из строя деталей стеклоформ являются:

<sup>1</sup> ООО «Красное Эхо» (Владимирск. обл.); ОАО «Березичский стекольный з-д» (Калужск. обл.); ООО «Каменский стеклотарный з-д» (Ростовск. обл.); ООО «ЧСЗ-Липецк» (Липецк. обл.).

- рост чугуна и, как следствие, выкрашивание графитовой фазы с рабочих поверхностей детали и ее выгорание под действием высоких температур, что, в конечном счете, обуславливает появление рельефности на выпускаемых стеклоизделиях;

- микротрещины в зонах максимального теплового удара, затрудняющие съем готового стеклоизделия с формокомплекта и приводящие к появлению дефектов в виде приливов на изготовленной стеклянной таре;

- окисление поверхностных слоев, провоцирующее искажение геометрии стеклоформирующего комплекта и усиливающее процесс адгезии между расплавленным стеклом и стенками металлической формы, что обуславливает увеличение силы трения на границе «расплавленное стекло – металлоформа», создающей ускоренный абразивный износ контактных поверхностей.

Описанные выше дефекты в детали представлены на рис. 2.

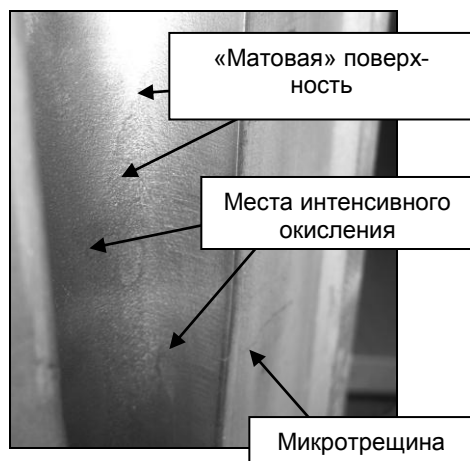
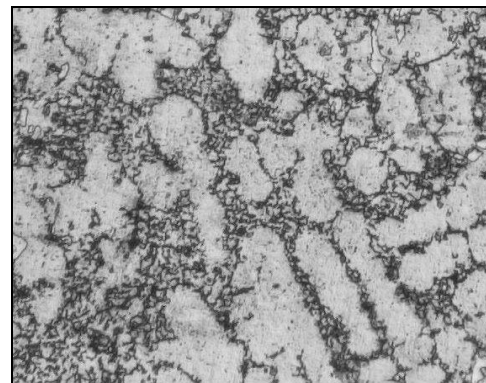


Рис. 2. Причины выхода из строя деталей стеклоформ,  $\times 12$

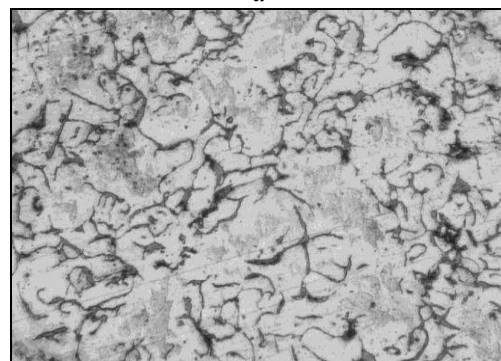
Анализ вышедших из строя деталей стеклоформ показал, что выгорание углерода в ходе роста материала изделия создает матовость на рабочих поверхностях детали (наиболее часто встречаемый вид выбраковки), что в свою очередь сказывается на качестве получаемых стеклоизделий, в результате чего детали формующего комплекта отправляются в ремонт (переполровку) или брак. Ремонтпригодность стеклоформ, снятых с производственной линии по причине «сгорания» формокомплекта, определяется степенью износа кромок детали и в большинстве случаев детали не подлежат повторному использованию.

При термоциклировании в температурном интервале выше  $\alpha \leftrightarrow \gamma$  превращения происходит

не только увеличение в объеме высокоуглеродистых включений за счет процессов графитизации, но и их коалесценция, при этом в частях детали стеклоформы с относительно крупными включениями (внутренние слои) происходит лишь незначительный прирост объема графитовых зерен и перераспределение перлита. Прирост графитовых включений после термоциклического нагружения деталей стеклоформ показан на рис. 3.



а



б

Рис. 3. Величина графитовых включений в поверхностном слое детали стеклоформы,  $\times 100$ :  
а – перед эксплуатацией;  
б – после 300 000 циклов

Второй причиной выхода из строя деталей стеклоформ является появление микротрещин на рабочих кромках изделий. Образование трещин в деталях такого типа объясняется тем, что в течение эксплуатационного периода в стеклоформе происходит накопление напряжений растяжений и сжатий, вызываемых неравномерной температурной деформацией детали из-за формирования неоднородного температурного поля по сечению стеклоформы. При скоростном циклическом воздействии в толще детали возникают остаточные напряжения (сжатий и растяжений), которые и обуславливают накопление деформаций и напряжений в металлоизделии. В этих условиях происходит разрушение детали (появление микротрещины) – достижение мате-

риалом детали предельных степеней деформации и напряжений [1].

Однако величины напряжений и деформаций зависят от структуры материала и термических условий эксплуатации детали. При этом очевидно, что детали стеклоформ работают в скоростном режиме «открытия-закрытия», при котором формирование трещин происходит в результате больших нагрузений и малой деформации конструкции формового комплекта.

Третьей причиной, приводящей к досрочному выходу из строя деталей стеклоформ, является интенсивное окисление рабочих поверхностей. С ростом температуры детали окисление поверхностей происходит с большей скоростью, что обуславливает высокий уровень износа, сопровождающийся прежде всего отслаиванием образующихся окисных плен и проникновением атомов кислорода в толщу металлоформы (по границам межфазных поверхностей). Механизм образования окисных слоев в процессе эксплуатации стеклоформ – достаточно трудноотслеживаемый процесс, сопровождающийся большим числом химических реакций на поверхности расплавленного стекла (имеющего в своем составе окислы  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_3$  и др. компоненты [4]) с металлоформой и изменением течения этих химических реакций с увеличением температуры на границе «стеклоформа – жидкое стекло».

Высокая степень износа формующих комплектов предопределила меры борьбы с их выбраковкой. В настоящее время основными мерами борьбы с имеющимися видами дефектов являются:

1. Упрочнение рабочих кромок изделия с целью повышения износостойкости и окислостойкости детали. Из ряда известных методов увеличения сопротивления абразивному износу путем поверхностной обработки деталей стеклоформ (хромирование, поверхностная закалка и т. д.) наибольшую эффективность показал метод газовой наплавки никелевого порошка (nickel deposition). Однако помимо большого преимущества этого метода по сравнению с остальными, заключающегося в большей ремонтпригодности стеклоформы (неоднократная «реставрация» детали позволяет экономить на производстве новых формовых комплектов), имеются существенные недостатки, «перекрывающие» эффективность метода [2]:

- сильное выгорание углерода и поверхностных легирующих элементов;
- наличие микротрещин в наплавляемом слое;
- присутствие газовых пор;

- незначительная производительность.

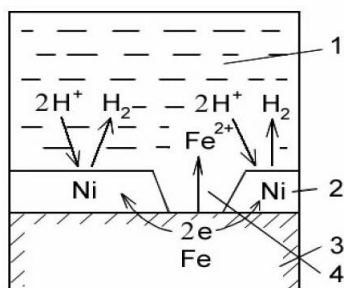
При этом данный способ повышения «жизнестойкости» формовых комплектов на производственных линиях является наиболее приемлемым с позиции снижения себестоимости производства готовой детали и литейные комбинаты, производящие стеклоформирующие комплекты, не готовы отказаться от данной процедуры.

Однако решение проблемы, связанной с повышением прочностных характеристик детали, создает дополнительные трудности относительно борьбы против коррозии чугуна. Это связано с тем, что по отношению к чугуну никелевое покрытие является катодным, при этом катодные покрытия могут служить надежной защитой от коррозии только при отсутствии в них пор, трещин и других дефектов, то есть при условии их сплошности. При повреждении покрытия или наличии пор возникает коррозионный элемент, в котором чугун служит анодом и растворяется, а материал покрытия – катодом, на котором идет процесс или восстановления водорода, или ионизации кислорода. Окисление поверхностей деталей стеклоформ при их эксплуатации происходит не равномерно: сначала окисление идет в местах наиболее интенсивного теплообмена и трения между металлоформой и стекломассой (так называемое точечное окисление). Однако помимо этого при эксплуатации детали происходит окисление при соприкосновении расплавленного стекла с формой в местах отложения частиц закристаллизовавшегося стекла [3]. Типичная схема окисления детали стеклоформы упрочненной никелевой наплавкой при возникновении дефектности в никелевом покрытии представлена на рис. 4.

2. Легирование расплава чугуна карбидообразующими и окислостойкими элементами, способными как повысить прочность изделия и снизить рост чугуна (за счет внедрения в металлическую матрицу мелких включений сложнолегированных карбидов), так и создать сложную оксидную пленку из двойных окислов шпинельной структуры с малым параметром решетки (например,  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ,  $\text{FeAl}_2\text{O}_4$ ,  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{NiCr}_2\text{O}_4$ ) [4]. Наибольшую популярность среди заводов-изготовителей стеклоформ получили добавки Cr, Ti и Mo в качестве карбидообразующих элементов, и Si, Al, Ni, Cr, Cu – для замедления процессов окисления, используемые, как правило, в комплексе.

3. Структурирование детали посредством изготовления литой заготовки с заданной микроструктурой чугуна, обуславливаемой необходимой металлической матрицей (феррит или аустенит) и состоянием графитовой фазы (ша-

ровидная, вермикулярная или пластинчатая форма).



**Рис. 4.** Схема коррозии чугуна в расплавленном стекле при нарушении сплошности никелевого покрытия [3]: 1 – система цикла «расплавленное стекло – воздух», 2 – никелевое покрытие, 3 – деталь стеклоформы, 4 – дефект в покрытии

На основании этого в последнее время среди исследователей произошло разделение по направлениям решения задач, связанных с повышением эксплуатационной стойкости таких деталей:

- тепловой подход, в котором исследуются: способность отдельных структурных компонентов стеклоформы отводить излишки тепла от внутренних кромок, проблема излишней аккумуляции тепла на границе стеклоформы с расплавленным стеклом и др. [5];

- физико-химический подход, в котором исследуются: механизм образования защитных окислов на поверхности детали; химическая стойкость металлической основы чугуна; молекулярное взаимодействие внутри системы «стеклоформа – жидкое стекло» и др. [6];

- подход, служащий источником исследования прочностных и механических характеристик стеклоформ, в котором изучаются: кинетика нагрузок стеклоформы при выдуве жидкого стекла, трение расплавленного стекла о поверхность внутренней полости стеклоформы, механизм выкрашивания структурных элементов при ударных нагрузках, упрочнение внутренних кромок изделия физическими методами воздействия и др. [7].

Таким образом, сложившаяся тенденция в повышении эксплуатационного ресурса деталей стеклоформ сводится к совершенствованию химического и фазового состава материала изделия и упрочнения поверхностей, контактирующих с расплавленным стеклом. Однако универсальной схемы, способной совершить значительный прорыв в области повышения ресурсоспособности деталей стеклоформ и кардинально изменить ситуацию на внутреннем рынке стра-

ны по повышению конкурентоспособности отечественной металлопродукции, не существует. Такое положение вещей генерирует все новые подходы и методы совершенствования структуры материала литых деталей стеклоформ и порождает эффективные способы удешевления производства и ремонта деталей при наращивании ресурса эксплуатации металлоизделий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковалевич Е. В., Баранов Б. С., Урин С.Л., Пантелеева А. В., Дубов А. А., Собранин А. А. Исследование напряжений в изложницах методом магнитной памяти металла // Литейщик России. 2011. № 10. С. 21–24. [ E. V. Kovalevich, B. S. Baranov, S. L. Urin, A. V. Panteleeva, A. A. Dubov, and A. A. Sobranin, "Research of a tension of molds by method of magnetic memory of metal," *Liteishik Rossii*, vol. 11, pp. 21-24. 2010. ]

2. Библиотека технической литературы. Наплавка деталей твердыми сплавами: сайт-справочник [Электронный ресурс]. URL: <http://www.delta-grup.ru/bibliot/3/190.htm> (дата обращения: 25.03.2013). [ *Library of technical literature* [Online], (in Russian). Available: <http://www.delta-grup.ru/bibliot/3/190.htm> ]

3. Мальцева Г. Н. Коррозия и защита оборудования от коррозии: учеб. пособие / под ред. С. Н. Виноградова. Пенза: Пенз. гос. ун-т, 2000. 55 с. [ G. N. Maltseva, *Corrosion and protection of the equipment against corrosion*, (in Russian). Penza: Publishing Penza State University, 2000. ]

4. Бобро Ю. Г. Легированные чугуны. М.: Металлургия, 1976. 288 с. [ U. G. Bobro, *Alloyed cast irons*, (in Russian). Moscow: Metallurgiya, 1976. ]

5. Александров М. В. Изготовление деталей стеклоформ из чугуна с вермикулярным графитом // Литейщик России. 2012. № 7. С. 22–25. [ M. V. Alexandrov, "Manufacture of details glass-molds with compacted graphite iron," (in Russian), *Liteishik Rossii*, vol. 7, pp. 22-25, 2012. ]

6. Волчок И. П., Колотилкин О. Б. Чугуны для стеклоформирующего инструмента // Литейное производство. 1988. № 11. С. 14–15. [ I. P. Volchok and O.B. Kolotilkin, "Cast irons for glass forming tool," (in Russian), *Liteynoe Proizvodstvo*, vol. 11, pp. 14-15, 1988. ]

7. Шлегель А. Н. Повышение стойкости рабочих кромок чугунных стеклоформ на основе лазерного непрерывного упрочнения: автореф. дис. ... канд. техн. наук / ГОУ ВПО «ВГУ». М., 2011. 20 с. [ A. N. Schlegel, *Increase of working edges of cast-iron glass-molds on the basis of continuous laser hardening: Avtoreferat dissertation cand. tech. sciences*, (in Russian). Moscow: GOU VPO VSU, 2011. ]

#### ОБ АВТОРАХ

**ЛЕУШИН Игорь Олегович**, проф. каф. металлург. технологий и оборуд. Дипл. инж. по машинам и технол. литейн. пр-ва (ГПИ, 1985). Чл.-кор. Рос. акад. инж. наук. Д-р техн. наук (НГТУ, 1996). Иссл. в обл. автоматиз. технол. подг. загот. производств машиностроения.

**ЧИСТЯКОВ Дмитрий Геннадьевич**, асп. каф. металлург. технологий и оборуд. М-р техн. и технол. по металлургии (НГТУ, 2011).

## METADATA

**Title:** Defect formation in the details of the cast-iron glass-molds and ways of against their premature exit out of operation.

**Authors:** I. O. Leushin and D. G. Chistyakov.

**Affiliation:** Nizhny Novgorod State Technical University (NSTU), Russia.

**Email:** chistyakov.nstu@bk.ru.

**Language:** Russian.

**Source:** Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 18, no. 1 (62), pp. 27-31, 2014. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

**Abstract:** The given article is devoted details of glass-molds, which are operates in difficult thermo-mechanical conditions. The main reasons for their exit out of operation are growth of the material of the metal product, oxidation of contacting surfaces and a crack-formation in the areas of intensive heat exchange. Studying of way of formation of these defects in a body of the detail and methods of fight against their formation will allow to create structure of a material of the detail with the high thermal stability and to increase a resource of work of shaped sets on production lines.

**Key words:** glass-mold; cast-iron; melted glass; temperature; thermal stability; oxidation; microcrack.

## About authors:

**LEUSHIN, Igor Olegovich**, Prof. Dept. "Metallurgical technologies and equipment" (NSTU). Dipl. - ing. spec. "Machines and technology of foundry production" (GPI, 1985). Member - Correspondent of the Russian Academy of Engineering Sci., Dr. of Tech. Sci. (NSTU, 1996).

**CHISTYAKOV, Dmitry Gennad`evich**, Postgrad. (PhD) Student, Dept. "Metallurgical technologies and equipment" (NSTU), Master of Technics & Technology (NSTU, 2011).