

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

УДК 658:669.131.7

ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЧУГУННЫХ СТЕКЛОФОРМ МЕТОДАМИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ

Леушин И.О., Нищёнков А.В., Чистяков Д.Г.

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Аннотация. В статье рассматривается процесс изготовления и эксплуатации деталей чугуновых стеклоформ, применяемых для массового производства стеклянной тары. Выявлены тенденции к росту потребительского спроса на стеклянную тару, повышению эксплуатационного ресурса деталей стеклоформ и необходимости проведения исследований в этой области. Излагается необходимость сравнения действующих технологий изготовления деталей формовых комплектов и способа изготовления деталей стеклоформ с градиентной структурой литья. В качестве критериев оценки применялись методы Парето, Борда и БОФа.

Ключевые слова: деталь, стеклоформа, чугун, экономический эффект, оценка.

Введение

Современное представление о совершенствовании комплекса свойств чугуновых деталей стеклоформ (рис. 1), применяемых для массового выпуска стеклянной тары по методу «double blow» (двойного выдувания) и работающих при знакопеременных термических и ударных механических нагрузках, базируется на внедрении физических методов обработки уже готовых деталей: лазерное упрочнение, вакуумное ионно-плазменное напыление и т.п.

При этом совершенствованию технологии изготовления литых заготовок (структуризации материала чугуна в процессе литья и его термической обработки, формированию прочной зеренной структуры и фаз на этапе уже изготовления отливок и тому подобное) уделяется минимальное внимание ввиду устоявшегося мнения, что потенциал чугуна как конструкционного и функционального материала исчерпан. Благодаря такому подходу к решению проблемы повышения эксплуатационной стойкости деталей ключевые позиции в технологической цепочке их изготовления занимают операции борирования, напыления, газового порошкового наплавления и т.д., а в процессе ремонта – перешли-

фовка, заварка, химическое перетравление и т.п., то есть процедуры устранения эксплуатационных дефектов (разрывов сплошностей – трещин разгара, зон интенсивного окисления, коробления), вызванные невысокой надежностью работы материала – основы детали.



Рис. 1. Деталь стеклоформы
(«полуформа» формового комплекта)

Ввиду этого весомую часть себестоимости изготовления таких деталей (до 10 тыс. руб./ед. продукции) занимают затраты на «доведение» полученных при изготовлении свойств деталей до потребительского уровня на стадии упрочнения рабочих кромок и поверхностей стеклоформ.

Тенденция роста спроса на стеклотарную продукцию (рис. 2) обязывает стекольные заводы идти по пути максимизации эксплуатационного ресурса стеклоформирующей оснастки при наименьшей стоимости на ее изготовление. Вследствие высокой оборачиваемости средств на заводах такого типа (4 раза в год – для бутылочного производства, 2 раза в год – для баночного) повышение показателей эксплуатационной стойкости деталей стеклоформ с 0,2-0,4 млн теплосмен до 0,8-1,0 млн (для роторного стеклоавтомата со скоростным режимом 25-30 изд./мин с 1 недели непрерывной работы до 4-5) сокращает затраты на оснастку.

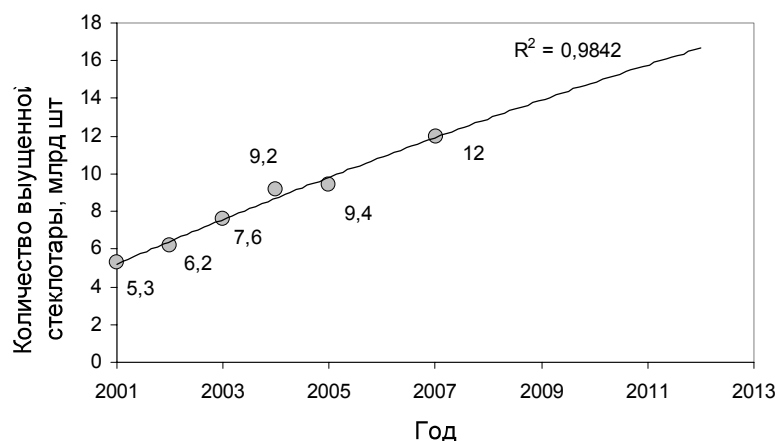


Рис. 2. Динамика изменения объема производства стеклотары до 2013 года [1]

Расчет экономической эффективности

На основании вышеизложенного становится понятным, что от повышения эксплуатационной стойкости формовых комплектов (и необходимости проведения экспериментальных работ в этом направлении) в большей мере выигрывают стеклотарные заводы, являющиеся потребителями металлопродукции и соотносящие ресурс стойкости напрямую на количество полученных ими годных стеклянных изделий. Критичность сложившейся ситуации заключается в больших производственных затратах именно стеклотарных заводов, потребляющих детали стеклоформ отечественного изготовления, способные отстоять в среднем не более 0,55 млн теплосмен на

линии¹ (как правило, этот показатель редко выходит за рамки 0,3-0,4 млн циклов для формовых комплектов отечественного изготовления).

В более выгодных условиях (на данный момент) находятся стеклотарные заводы, потребляющие детали иностранного изготовления от брендовых производителей (ZITZMANN, Инхом-98 и т.д.), способные выдержать (по заверению поставщиков) ресурс в 0,7-1 млн теплосмен. В этой связи остро стоит проблема импортозамещения деталей стеклоформ и на этом основании требуется разработка эффективной технологии изготовления литых деталей с высоким показателем ресурсоспособности при производственных затратах, позволяющих повысить конкурентоспособность отечественных предприятий.

Цель анализа, проводимого авторами, – оценить эффективность реализации в рамках действующего производства разработанной авторами технологии изготовления деталей стеклоформ. Основные преимущества предлагаемой авторами

технологии изготовления деталей стеклоформ, описанные в работах [2, 3], заключаются в повышении:

- теплофизических свойств стеклоформ (за счет интенсификации процессов графито- и ферритообразования на стадии изготовления отливки);
- прочностных показателей деталей (за счет глобуляризации графитовых включений в рабочем слое² литой заготовки);
- жаростойкости формового комплекта (за счет легирования группой элементов (Si, Al, Cr), формирующих на поверхности детали плотные окисные пленки сложные нестехиометрических составов, типа шпинелей FeCr_2O_4 , FeAl_2O_4 и т.п.);

– термостойкости деталей (за счет градиентного расположения графитовых включений в массе чугуна с феррит-перлитной металлической основой: рабочий слой (до 10 мм) – шаровидный графит, промежуточный слой (10-40 мм) – вермикулярный графит, наружный слой (>40 мм) – пластинчатый графит).

Ключевыми моментами в предлагаемой авторами технологии создания готового формового комплекта являются:

¹ По данным ООО «Красное Эхо» (Владимирская обл.); ООО «Завод Символ» (Владимирская обл.); ОАО «Свет» (Республика Удмуртия); ОАО «Березичский стекольный завод» (Калужская обл.); ООО «Каменский стеклотарный завод» (Ростовская обл.); ООО «ЧСЗ-Липецк» (Липецкая обл.) и т.д.

² Слой, контактирующий с расплавленным стеклом (в черновой форме) или «пулькой» (в чистовой форме).

- сокращение производственных расходов на изготовление литой заготовки;
- сокращение продолжительности изготовления детали (за счет оптимизации процесса термической обработки отливок и устранения процедуры упрочнения рабочих кромок);
- повышение эксплуатационного ресурса готовой детали до 0,8-1,0 млн теплосмен.

С целью сравнительной оценки тех или иных проектов (технологий изготовления деталей) рационально применить анализ технологий на основе методов выбора по Парето или методов многокритериальной экспертной оценки. Выбор данных методов для оценки различных технологий изготовления металлоизделий вызван сложностью точного определения затрат по операционной деятельности представленных выше стеклотарных заводов и производственных расходов заводов-поставщиков формовых комплектов. Ввиду этого определить экономическую эффективность в стоимостных показателях не представляется возможным [4].

В качестве альтернативных вариантов рассматривались наиболее перспективные технологии изготовления деталей стеклоформ в Запад-

ной части России и Поволжье:

1) способ изготовления детали из чугуна с пластинчатой формой графита (с процедурой последующего упрочнения рабочих кромок) (способ №1) [5];

2) способ изготовления детали из чугуна с вермикулярным графитом [6] или дифференцированной структурой типа ВЧ→ЧВГ (способ №2) [7, 8].

Оценка технологий изготовления деталей стеклоформ по Парето и Борду определила два варианта предпочитаемых технологий: метод изготовления деталей с дифференцированной структурой и метод получения деталей с градиентной структурой литья. При этом выбрать наиболее оптимальный вариант этим методом не удалось, так как балльная система оценки технологий определила одинаковое количество баллов у обоих вариантов. Однако метод экспертной технической оценки выявил явное преимущество технологии получения деталей стеклоформ с градиентной структурой литья (способ №3) (табл. 1), то есть способы изготовления деталей стеклоформ №1 и 2 являются технически сложно реализуемыми.

Таблица 1

Метод экспертной технической оценки

Критерий оценки	Обозначение критерия	Метод изготовления детали из чугуна с пластинчатым графитом (способ №1)	Метод изготовления детали с дифференцированной структурой литья (способ №2)	Метод изготовления детали с градиентной структурой литья (способ №3)	Идеальный вариант
Инвестиционные затраты	W_1	4	3	3	4
Потребность в обслуживающем персонале	W_2	3	3	4	4
Безопасность процесса	W_3	3	2	2	4
Занимаемая площадь	W_4	3	2	2	4
Дополнительное упрочнение рабочих кромок	W_5	1	3	4	4
Качество шихтовых материалов (сырья)	W_6	3	2	2	4
Время изготовления литой детали	W_7	2	3	4	4
Применение дополнительного оборудования	W_8	4	3	3	4
Стоимость шихтовых материалов (сырья)	W_9	2	1	4	4
Дефектность получаемых деталей	W_{10}	2	3	4	4
Эксплуатационный ресурс получаемых литых деталей	W_{11}	1	3	4	4
Сумма баллов		28	28	36	44
Эффективность сравниваемых вариантов		0,64	0,64	0,82	1

Сущность применяемого метода заключалась в выполнении следующего алгоритма:

– составлялся список возможных критериев оценки;

– качество варианта технологии по каждому критерию оценивалось балльной шкалой (очень хорошее – 4 балла, хорошее – 3, достаточное – 2, приемлемое – 1, неудовлетворительное – 0);

– идеальный вариант технологии имел четырехбалльную оценку по всем возможным показателям;

– для оценки эффективности сравниваемых вариантов технологий сумма баллов вариантов делилась на такую же сумму идеального варианта;

– за окончательный вариант выбиралась технология с возможно более высокой технической эффективностью при допустимой рентабельности (при этом техническая эффективность выше 0,8 рассматривалась как очень хорошая, 0,7-0,8 – хорошая, ниже 0,6 – неудовлетворительная).

Однако недостатком метода экспертных оценок является невозможность учета значимости показателей (например, для способа №3 стоимость шихтовых материалов (балл 4) имеет явно большую значимость, чем скорость изготовления деталей (балл тоже 4)), кроме того, рекомендуемое для данного метода число расчетных показателей – не менее 15, иначе снижается точность расчета, также метод не позволяет учесть информацию о количественных соотношениях между значениями тех или иных критериев для различных вариантов технологий, что может привести к потере значимых данных и неточности решения.

В этой связи неоспоримым преимуществом обладает метод БОФа (метод принятия решения на множестве альтернатив по множеству сравниваемых показателей), ранжирующий все критерии по важности (табл. 2) [9].

Сущность метода БОФа заключалась в следующем:

– отбор оптимального количества критериев ($W_1:W_{11}$);

– ранжирование критериев по степени их значимости (в порядке уменьшения значимости) (п.1, см. табл. 2);

– определение весовых коэффициентов каждого значения критерия и нормирование полученных результатов (п. 2-3, см. табл. 2);

– ранжирование вариантов технологии в соответствии с экспертной оценкой по каждому

критерию (табл. 3);

– определение весовых коэффициентов сравниваемых технологий по каждому критерию и нормирование полученных результатов (см. табл. 3);

– обобщение результатов и принятие решения о выборе технологии по критерию максимального результата.

Таблица 2

Ранжирование и нормирование показателей

№ п.п.	Критерий	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	W ₆	W ₇	W ₈	W ₉	W ₁₀	W ₁₁
1	Ранг	8	4	7	11	10	5	6	9	2	3	1
2	Весовые коэффициенты значения критериев	0,36	0,73	0,45	0,09	0,18	0,64	0,55	0,27	0,91	0,82	1,00
3	Нормированные значения весовых коэффициентов	0,06	0,12	0,08	0,02	0,03	0,11	0,09	0,05	0,15	0,14	0,17

Важным преимуществом метода БОФа является то, что он не только позволяет учесть значимость всех критериев, в том числе критериев выраженных в любых формах, но и позволяет учесть информацию о количественных соотношениях тех или иных критериев для различных вариантов технологий.

Таким образом, порядок вычислений следующий:

$$C_j = 1 - \frac{R_j - 1}{M} \rightarrow \tilde{C}_j = \frac{C_j}{\sum_{m=1}^M C_m} \rightarrow C_{ji}$$

$$= 1 - \frac{R_{ji} - 1}{K} \rightarrow \dot{C}_{ji} = \frac{C_{ji}}{\sum_{k=1}^K C_{j,k}} \rightarrow \bar{W}_i = \sum_{j=1}^M \hat{C}_{ji} \rightarrow$$

$$\rightarrow \hat{C}_{ji} = \tilde{C}_j \times \dot{C}_{ji}, \quad (1)$$

где j – номер критерия в перечне; $\bar{M}$ – число критериев; C_j – весовой коэффициент каждого j -го критерия; R_j – ранг критерия; K – число сравниваемых вариантов.

При использовании количественных, а не порядковых значений, критериев использовали следующие формулы:

$$\dot{C}_{ji} = \frac{1/W_{ji}}{\sum_{k=1}^K 1/W_{ji}} \quad (2)$$

$$и \quad \dot{C}_{ji} = \frac{W_{ji}}{\sum_{k=1}^K W_{ji}}, \quad (3)$$

где W_{ji} – значение критерия с номером j для i -го варианта технологии.

При этом формула (2) применяется, когда большие значения критериев предпочтительнее меньших, а формула (3) – когда меньшие значения критерия предпочтительнее больших. Таким образом, для критерия W_7 (время изготовления литой детали в табл. 3 указано в часах: для технологии №1 – 45, №2 – 40, №3 – 31) вычисления проводятся по формуле (3), а для критерия W_{11} (эксплуатационный ресурс получаемых литых деталей в тыс. теплосъемов для технологии №1 – 300, №2 – 700, №3 – 1000 ч) – по формуле (2).

Таблица 3

Ранжирование вариантов технологий и расчет результатов

Критерий	Ранжирование вариантов технологий			Весовые коэффициенты			Нормированные результаты		
	№1	№2	№3	№1	№2	№3	№1	№2	№3
W_1	1	2,5	2,5	1	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25
W_2	2,5	2,5	1	0,5	0,5	1	0,25	0,25	0,5
W_3	1	2,5	2,5	1	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25
W_4	1	2,5	2,5	1	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25
W_5	3	2	1	0,33	0,67	1	0,17	0,33	0,5
W_6	1	2,5	2,5	1	0,50	0,5	0,5	0,25	0,25
W_7	45	40	31	0,28	0,31	0,41	0,17	0,33	0,5
W_8	1	2,5	2,5	1	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25
W_9	2	3	1	0,67	0,33	1	0,33	0,17	0,5
W_{10}	3	2	1	0,33	0,67	1	0,17	0,33	0,5
W_{11}	300	700	1000	0,15	0,35	0,50	0,15	0,35	0,50

Результаты исследований

В результате расчета показателей методом БОФа были получены данные (результаты построчного суммирования): технология №1 – 0,311, технология №2 – 0,274, технология №3 – 0,416 (рис. 3). Наибольший результат при расчете достигнут для способа №3, что предполагает, что технология получения деталей стеклоформ с градиентной структурой литья является наиболее экономически эффективной.

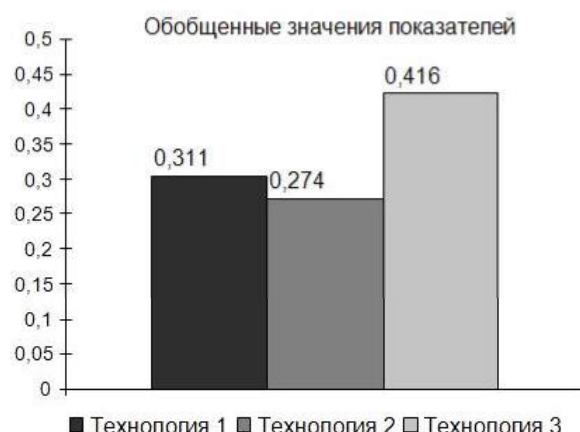


Рис. 3. Результаты расчета

Таким образом, метод БОФа дает более точные результаты при проведении оценки различных вариантов технических решений.

Заключение

В настоящее время рынок стеклотарной промышленности достаточно развит и его экономическая ниша постоянно расширяется. Это связано как с неуклонным приростом доли себестоимости в отпускной заводской стоимости выпускаемой стеклотары, так и с увеличением натурального объемов производства, за счет перехода на экологически безопасные и безвредно утилизируемые упаковочные и транспортировочные потребительские изделия, весомую долю в которых занимает стеклянная тара [10]. Своевременное повышение показателей эксплуатационной стойкости формовых комплектов на стеклоавтомате вследствие применения деталей стеклоформ с градиентной структурой литья позволяет существенно повысить выручку предприятия как за счет снижения затрат на ремонт, переналадку и установку новых комплектов на производственной линии, так и за счет натурального прироста объемов производства.

Список литературы

1. Волков А.А. Маркетинговое управление системой сбыта стеклотарной продукции: автореф. дис. ... канд. экон. наук / А.А. Волков; ГОУ ВПО ВГТУ. Волгоград, 2007. 23 с.
2. Чистяков Д.Г., Леушин И.О. Формирование градиентной структуры в деталях стеклоформ из чугунов с различной степенью глобуляризации графита // Труды 10-й Международной научно-технической конференции «Современные металлические материалы и технологии» (СММТ-13), 2013. С. 253-254.
3. Леушин И.О., Чистяков Д.Г. Некоторые направления модернизации технологии изготовления отливок чугунных стеклоформ для массового производства стеклянной тары // Труды одиннадцатого Съезда литейщиков России (16-20 сентября 2013 года, г. Екатеринбург). Нижний Тагил: Изд-во УВЗ, 2013. С. 46-51.

4. Инновационные инженерные решения и их экономические оценки / О.В. Федоров, Б.В. Алгулин, Д.Н. Башкатов и др. М.: ИНФРА-М, 2005. 234 с.
5. Попов, В.М., Коган Б.Л. Термостойкость чугунов с различной формой графита // Литейное производство. 1991. №2. С. 15-17.
6. Александров М.В. Изготовление деталей стеклоформ из чугуна с вермикулярным графитом // Литейщик России. 2012. №7. С. 22-25.
7. Pan E.N., Ogi K., Loper Jr. C.R. Analysis of the Solidification Process of Compacted/Vermicular Graphite Cast Iron. // AFS. 1982. Vol. 90. P. 509-527.
8. Holmgren D., Kallbom R., Svensson I.L. Influences of the graphite growths direction on the thermal conductivity of cast iron. The Minerals, metals & Materials society and ASM International. 2007. Vol. 38A. P. 268-271.
9. Управление инвестиционной деятельностью в регионах Российской Федерации / О.Ф. Быстров, В.Я. Поздняков, В.М. Прудников, В.В. Перцев, С.В. Казаков. М.: ИНФРА-М, 2008. 358 с.
10. Doremus R.H. Glass Science, 2nd Edition. John Wiley & Sons, New York, 1994, 339 p.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

EXPEDIENCY ASSESSMENT OF IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY OF MANUFACTURING THE CAST-IRON GLASS MOLD DETAILS BY MULTICRITERIAL EXPERT EVALUATION METHODS

Leoushin Igor Olegovich – D.Sc. (Eng), Professor, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.Y. Alexeev, Russia. Phone: +7 (831) 436-43-95. E-mail: igoleu@mail.ru.

Nischenkov Alexander Vladimirovich – Ph.D. (Eng), Associate Professor, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.Y. Alexeev, Russia. Phone: +7 (831) 436-24-96. E-mail: goz@nntu.nnov.ru.

Chistyakov Dmitry Gennadievich – Postgraduate Student, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.Y. Alexeev, Russia. Phone: +7 (952) 460-21-97. E-mail: chistyakov.nstu@bk.ru.

Abstract. This article presents the process of manufacturing and operation of cast-iron glass mold details, used for the mass production of glass containers. We revealed the rising trends of a consumer demand for glass packaging, increase in the service life of parts and glass molds, need for research in this area. We also outlined the need to improve existing technologies of details' production, as well as to compare the existing technologies of manufacturing the glass mold details and method of manufacture of glass molds with a gradient structure of casting. As for criteria for the evaluation of these technologies, we applied selection methods of Pareto, Bord and BOF method.

Keywords: detail, glass mold, cast-iron, economic effect, estimation.

References

1. Volkov A.A. *Marketingovoe upravlenie sistemoi sbyta steklotarnoi produktsii* [Marketing management the sales system of glass container products]. Extended abstract of PhD. diss. Volgograd, 2007. 23 p.
2. Chistyakov D.G., Leushin I.O. The gradient structure formation in glass molds details of cast irons with various degrees of graphite globularization. *Trudy 10-i Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Sovremennye metallicheskie materialy i tehnologii" (SMMT 13)* [Proceedings of the 10th International Scientific Conference "Modern metallic materials and technologies" (SMMT 13)]. 2013, pp. 253-254.
3. Leushin I.O., Chistyakov D.G. Some directions for modernization the manufacturing technology of castings iron glass molds for mass production of glass containers. *Trudy odinnadtsatogo S'ezda liteishikov Rossii (16-20 sentyabrya 2013 goda, g. Ekaterinburg)* [Proceedings of the Eleventh Congress of the Russian Foundrymen (16-20 September 2013, Ekaterinburg)]. Nizhnii Tagil: Izd-vo UVZ, 2013, pp. 46-51.
4. Fedorov O.V., Algulin B.V., Bashkatov D.N. and other. *Innovatsionnye inzhenernye resheniya i ih ekonomicheskie otsenki* [Innovative engineering solutions and their economic estimates]. Moscow: INFRA-M, 2005, 234 p.
5. Popov V.M., Kogan B.L. Heat resistance of cast irons with different forms of graphite. *Liteinoe proizvodstvo* [Foundry]. 1991, no. 2, pp. 15-17.
6. Aleksandrov, M.V. Manufacturing of glass molds details made of cast iron with vermicular graphite. *Liteishik Rossii* [Caster of Russia]. 2012, no. 7, pp. 22-25.
7. Pan, E.N., Ogi K., Loper Jr C.R. Analysis of the Solidification Process of Compacted/Vermicular Graphite Cast Iron. AFS, 1982, vol. 90, pp. 509-527.
8. Holmgren D., Kallbom R., Svensson I.L. Influences of the graphite growths direction on the thermal conductivity of cast iron. The Minerals, metals & Materials society and ASM International. 2007, vol. 38A, pp. 268-271.
9. Bystrov O.F., Pozdnyakov V.Ya., Prudnikov V.M., Percev V.V., Kazakov S.V. *Upravlenie investitsionnoi deyatel'nost'yu v regionakh Rossiiskoi Federatsii* [Management of investment activity in the regions of the Russian Federation]. Moscow: INFRA-M, 2008. 358 p.
10. Doremus R.H. Glass Science, 2nd Edition. John Wiley & Sons, New York, 1994, 339 p.