

Д.А. Болдырев, С.В. Давыдов, В.М. Сканцев
(Исследовательский центр ОАО "АВТОВАЗ", г. Тольятти,
Брянский государственный технический университет)

Экономическая оценка эффективности внедрения новых модификаторов в чугунолитейном производстве

Рассмотрены общие подходы оценки экономической эффективности внедрения новых модификаторов при производстве литых чугунных заготовок, представлены зависимости определения показателей качества и работоспособности модификаторов, а также их стоимости при изменении концентрации активных химических элементов, входящих в состав модификаторов.

The article considers general approaches to estimation of economical efficiency of introduction of the new types of conditioning agents at iron castings production.

Повышение эффективности литейного производства во многом определяется выбором и внедрением наукоемких и прогрессивных в технико-экономическом отношении способов производства литых заготовок.

Выбор наиболее эффективного варианта изготовления отливок должен определяться на основе комплексного анализа технической, организационной и экономической целесообразности. Это осуществляется на основе расчета соответствующих показателей: технических, организационных, технико-экономических и экологических.

К числу *технических показателей*, используемых при выборе варианта изготовления отливок, можно, например, отнести коэффициенты выхода годного

лития от массы шихты и жидкого металла; коэффициент точности отливок по массе, показатели, характеризующие¹ приспособленность отливки к механической обработке (шероховатость, размерная точность, твердость), а также процент угара, процент брака и др.

К числу *организационных показателей* могут быть отнесены размер партии отливок; длительность производственного цикла; коэффициент ритмичности производства; коэффициент сменности и др.

Однако и технические, и организационные показатели носят частный характер, несопоставимы между собой и не выражают всех затрат общественного труда. Это вызывает необходимость расчета показателей сравнительной экономической эффективности

вариантов получения литых заготовок, которые могут быть частными и общими.

К частным (технико-экономическим) показателям относятся показатели, выражающие отдельные элементы затрат общественного труда. При этом технико-экономические показатели, как правило, измеряются не в стоимостном выражении. К ним относятся трудоемкость изготовления отливок: машиноёмкость отливки или тонны отливок; материалоемкость отливки; энергоёмкость отливки или тонны отливок, а также ряд других. Однако на основе частных (технико-экономических) показателей нельзя судить об экономической эффективности сравниваемых вариантов техники, технологии и организации производства, поскольку эти показатели не отражают всех затрат, т.е. носят частный характер, несопоставимы между собой и обычно разнонаправлены (например, уменьшение материалоемкости отливки, как правило, связано с увеличением трудоемкости ее изготовления).

Следовательно, для окончательного вывода об эффективности выбираемого варианта необходимо определение соответствующего общего экономического показателя.

К числу общих экономических показателей в соответствии с принятой методикой расчета относятся себестоимость продукции (экономия от снижения себестоимости), величина дополнительно привлеченных средств и их капиталотдача и т.д.

Наиболее перспективными методами оценки эффективности внедряемых технологических и организационных мероприятий является построение моделей взаимосвязи между основными показателями работы производства (коэффициент выхода годного литья, экономия от снижения себестоимости и др.) и характеристиками внедряемого мероприятия.

Однако такой подход требует проведения предварительных исследований (научно-исследовательских, технологических, экономических и пр.) в рамках конкретного производства, но в последующем значительно упрощает процедуру оценки эффективности предлагаемых изменений в технологической и организационной цепочках производственного процесса.

На современном этапе развития науки и техники максимальные резервы повышения качества литых сталей и чугунов заложены в возможности активного и целенаправленного формирования их структуры и свойств. Одним из способов достижения этого является введение в расплавы в предкристаллизационный период модификаторов и микролегирующих добавок. Правильно организованное модифицирование и микролегирование чугуна и стали оптимально подобранными модификаторами является наиболее простым, дешевым и высокоэффективным методом повышения технико-экономических и технологических показателей металлоизделий.

Известно достаточно большое количество модификаторов для различных чугунов, но каждый из них

имеет свои специфические свойства и различную эффективность применения в тех или иных условиях литейного производства, поэтому разработка методик оценки эффективности модификаторов в условиях конкретного производственного процесса литых заготовок является актуальной задачей.

При решении этой комплексной задачи необходимо рассмотреть два основных направления оценки эффективности применения модификаторов:

1. Определение оптимального соотношения (в количественном выражении) химических элементов в составе модификатора. Здесь критерий оптимальности определяется при сопоставлении модифицирующей эффективности работы модификатора в зависимости от содержания активного элемента и стоимости модификатора в целом.

2. Оценка модифицирующей способности модификаторов постоянного состава (типовые модификаторы) в различных технологических условиях литейного производства, когда марки чугуна могут значительно отличаться по своему химическому составу друг от друга. В этом случае обобщенным критерием эффективности модификатора служит соотношение его стоимости и степень проявления модифицирующего эффекта на данной марке модифицируемого чугуна.

Первый подход оценки эффективности применения модификаторов основан на том, что работоспособность (эффективность) модификатора (A) в зависимости от содержания активного элемента (или элементов) растет только до его определенной предельной концентрации (C_0). Величину C_0 можно считать своеобразной точкой "бифуркации" (рис. 1, а, точка f), так как свыше концентрации C_0 эффективность модификатора либо постепенно снижается (см. рис. 1, а, кривая 1), либо модификатор полностью перестает работать (см. рис. 1, а, кривая 2). Таким образом, концентрация C_0 активного элемента (элементов) в модификаторе, позволяющая максимально повысить его работоспособность до уровня A_{max} (см. рис. 1, а), является одновременно и оптимальной, и предельной.

Рассмотрим это положение в применении к оценке степени усвоения модификатора и его стоимости (см. рис. 1, б, в). Усвояемость (Y) активного элемента (элементов) в модификаторе в первом приближении обратно пропорциональна его концентрации ($Y \sim 1/C$). Ниже определенной минимальной концентрации (C_{min}) активного элемента усвоение протекает полностью (Y_{max}).

При повышении концентрации активного элемента до некоторой величины (C_{max}) в определенный момент наступает порог насыщения, свыше которого

2. Под работоспособностью модификатора в данной статье понимаются следующие компоненты эффективности модифицирования: длительность модифицирующего эффекта; снижение глубины (степени) отбела; стабилизация механических свойств; подавление выделения первичного феррита и графитной эвтектики; измельчение графитной фазы и т.п.

Н
до феррита

2
авт

С.В.
Ис

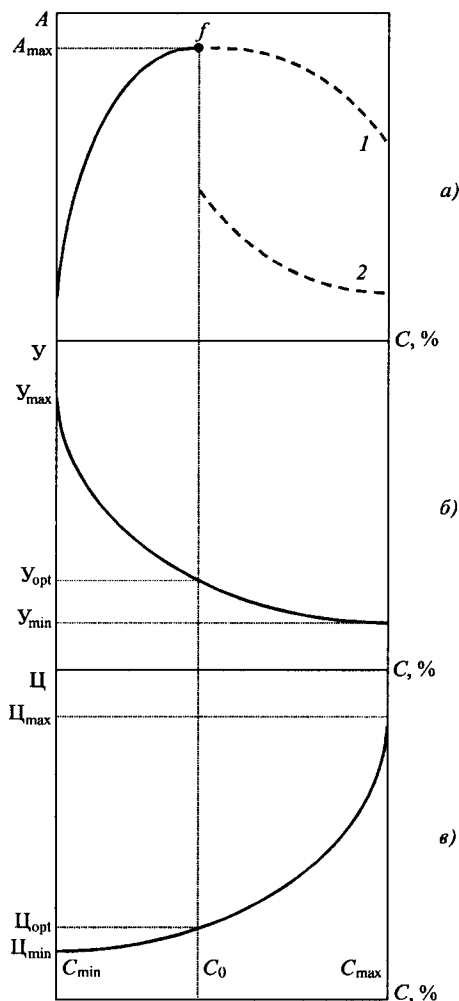


Рис. 1. Взаимосвязь активности (а), усвояемости (б) и стоимости модификатора (в):

C – содержание активного элемента в модификаторе, %; A – работоспособность модификатора с активным элементом; Y – усвояемость активного элемента в модификаторе; Π – стоимость модификатора с активным элементом

усвояемость уже не увеличивается (Y_{\min}). При этом в интервале от Y_{\min} до Y_{\max} существует какая-то оптимальная усвояемость (Y_{opt}) активного элемента, которая соответствует оптимальной (предельной) эффективности модификатора A_{\max} при определенной предельной концентрации C_0 (см. рис. 1, б).

Стоимость (Π) модификатора с активным элементом (элементами) в обобщенном виде можно представить как экспоненциальную функцию от концентрации: $\Pi \sim \exp(C)$ (более точную зависимость определяют экспериментальным путем для каждого типа модификаторов в конкретных производственных условиях) и в то же время как величину, обратную его усвояемости Y .

Минимальная цена модификатора Π_{\min} соответствует минимальному содержанию активного элемента C_{\min} при их максимальном усвоении. Цена модификатора возрастает с увеличением содержания актив-

ных элементов в модификаторе при постепенном снижении их усвояемости в нем. Исходя из этого, предельная концентрация активного элемента C_0 , обеспечивающая модификатору предельную (оптимальную) работоспособность A_{\max} , характеризуется оптимальными усвояемостью Y_{opt} и стоимостью модификатора Π_{opt} (см. рис. 1, в).

Предлагаемый подход к оценке эффективности модификатора также обязательно должен включать в себя выбор базовой компоненты работоспособности модификатора. Под этим выбором понимается целенаправленная оценка конкретного проявления эффекта модифицирования, обеспечивающего решение существующей технологической, производственной или экономической проблемы изготовления отливки.

Например: при наличии длительного цикла транспортировки разливочного ковша от плавильной печи до литейной формы – максимальная длительность эффекта модифицирования; для стабилизации твердости и оптимизации механической обработки – способность модификатора подавлять выделение первичного феррита и эвтектического графита; для улучшения комплекса механических и эксплуатационных свойств – способность модификатора к регулированию и управлению структурными характеристиками отливки и т.д.

При этом следует учитывать, что предельная концентрация активного элемента C_0 , обеспечивающая в полном объеме реализацию или проявление выбранной компоненты эффективности модифицирования, может значительно отличаться при проявлении максимальной эффективности модифицирования для других компонент.

Следует отметить, что функционально существующие типы модификаторов могут быть специальными (для реализации конкретной компоненты эффекта модифицирования) и универсальными, когда эффект модифицирования проявляется в полном объеме [1].

Кроме указанных мероприятий необходимо провести и технологическую оптимизацию процесса модифицирования, состоящую из анализа следующих задач:

1. Оценка степени усвоения модификатора. Необходимо учитывать, что эта степень определяется как минимум двумя важнейшими параметрами процесса модифицирования: температурой модифицирования и гранулометрическим составом модификатора, которые подлежат оптимизации для конкретных условий производства (тип плавки, объем разливочного ковша, температура выпуска расплава и т.д.).

2. Оптимизация количества вводимого модификатора от массы металла или процент ввода. В зависимости от содержания активного компонента в модификаторе (например, кремния), вводимого количества и степени усвоения модификатора зависит его остаточное содержание в расплаве, которое будет накладываться на содержание данного элемента в объеме печного расплава. В противном случае произойдет

неконтролируемое колебание содержания активного элемента в отливке, что может привести к нестабильности свойств.

3. Выбор способа ввода модификатора в расплав.

Таким образом, основные задачи работ по повышению эффективности, совершенствованию существующих методов графитизирующей обработки чугуна модификаторами, а также внедрение новых методов модифицирования и типов модификаторов должны заключаться в следующем:

1. Определение компоненты эффективности модифицирования и комплекса технологических задач, решаемых данной компонентой.

2. Определение необходимого содержания активного элемента (элементов) в модификаторе, обеспечивающего максимальную эффективность модификатора и, соответственно, минимизацию его расхода.

3. Технологическая оптимизация выбранного типа модификатора.

4. Корректировка содержания активного элемента (элементов) в печном расплаве с содержанием активного элемента (элементов) в модификаторе, обеспечивающего минимальный расход модификатора, при максимальном проявлении выбранной компоненты эффекта модифицирования.

Справедливость рассмотренного подхода подтверждается анализом конкретных технологий модифицирования.

В качестве примера можно привести модификатор Sibar@22 (NPP Company, г. Челябинск) с содержанием бария 20...25 % и кремния 45...60 %. Согласно проведенным исследованиям [2] установлено, что увеличение концентрации бария в модификаторе повышает эффективность компоненты модифицирования (снижение отбела чугуна на ступенчатой пробе) и при 25 % бария является достаточным введение в чугун 0,5 % такого модификатора. Дальнейший рост концентрации бария в модификаторе (до 35 %) не вызвал дополнительного снятия отбела и является нецелесообразным.

В частном случае функция ценообразования для барийсодержащего модификатора согласно предлагаемому подходу (см. рис. 1) в зависимости от содержания активного элемента в его химическом составе можно представить в виде следующей линейной зависимости (рис. 2):

$$C_m = 2715M + 33800, \quad (1)$$

где C_m – стоимость 1 т барийсодержащего модификатора, руб.; 2715 – коэффициент, характеризующий стоимость бария, энергетические и материальные затраты при производстве модификатора; 33800 – стоимость 1 т типового ферросилиция ФС75, руб.; M – содержание бария в модификаторе, %.

Представленная зависимость (см. рис. 2) отлично работает в интервале предельной C_0 концентрации Ва (до 25 %) и позволяет в полной мере оценить стои-

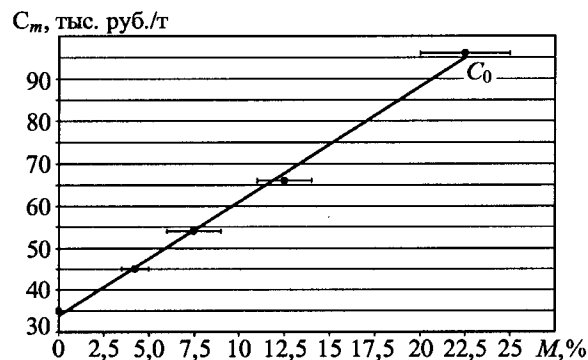


Рис. 2. Зависимость стоимости барийсодержащего модификатора от содержания бария

мость модификатора при изменении оптимальной концентрации активного элемента.

Второй подход определения эффективности применения модификаторов основан на аксиоме, согласно которой качество продукта K_p определяется через степень соответствия между свойствами продукта и удовлетворяемыми с его помощью потребностями (УП). Обобщенным показателем качества продукта служит соотношение стоимости (C_p) и ценности продукта ($Ц_p$) [3]:

$$K = УП = \frac{Ц_p}{C} \rightarrow \max. \quad (2)$$

В настоящее время в работе практически всех чугунолитейных производств прослеживается тенденция к постепенному снижению использования и выводу из производства в качестве графитизирующих модификаторов для внепечной обработки чугуна типовых ферросплавов (например, ФС75, ФС65) с переходом на более сложные сплавы [1] ферросилиция с различными стимулирующими процесс графитообразования добавками бария, кальция, стронция, циркония, РЗМ и др.

Обобщенно показатель работоспособности модификатора сложного состава можно оценить по формуле

$$A_{\text{мод}} = K_{\text{в.ф}} K_{\text{ф.д}} M_{\text{Si}} \sum_{i=1}^n K_i^a \frac{C_i}{C_0}, \quad (3)$$

где $A_{\text{мод}}$ – показатель эффективности работы модификатора; $K_{\text{в.ф}}$ – коэффициент, зависящий от величины фракции модификатора; $K_{\text{ф.д}}$ – коэффициент, зависящий от фракционного диапазона модификатора; M_{Si} – доля содержания кремния в модификаторе; K_i^a – коэффициент активности i -го элемента в модификаторе; C_i – концентрация i -го элемента в модификаторе; C_0 – предельная концентрация i -го элемента, обеспечивающая максимальную эффективность модификатора.

Таким образом, применительно к модифицирующим материалам показателем качества продукта

$$K_n = \text{УП} = \frac{A_{\text{мод}}}{C_m} \rightarrow \max, \quad (4)$$

где C_m – стоимость модификатора.

Из соотношения (4) следует, что для достижения максимального значения показателя качества необходимо следующее:

- увеличение показателя эффективности работы модификатора при сохранении его стоимости;
- снижение стоимости модификатора при неизменном показателе эффективности его работы;
- увеличение показателя эффективности работы модификатора при одновременном снижении его стоимости.

Разработанная методика оценки работоспособности модификатора с показателем его качества была апробирована при испытании графитизирующего модификатора ФС65Ба4 (2...4 % Ва) фракции 1...5 мм на всей номенклатуре отливок из высокопрочного чугуна, получаемых ковшевым модифицированием в чугунолитейном производстве ОАО "АВТОВАЗ".

Цель испытаний – снижение расхода модификатора ФС65Ба4 фракции 1...5 мм по сравнению с модификатором ФС75лб фракции 3,2...10 мм для первичной ковшевой обработки расплава чугуна. Объектами исследования являлись отливки деталей из высокопрочного чугуна марок ВЧ 50, Gh56-40-05, Gh65-48-05 и Gh75-50-03.

Металлографический анализ микроструктуры отливок выполнен на металлографическом микроскопе UNIMET 8585 фирмы Бюллер (США). Твердость по Бринеллю измеряли по ГОСТ 9013–59 на твердомере ТБ 5006.

Модифицирование проводили согласно действующему технологическому процессу путем размещения навесок модификатора ФС65Ба4 и Ni-Mg-Се-лигатуры на днище ковша перед его заполнением расплавом чугуна из печи ожидания.

Первичное графитизирующее модифицирование оказывает влияние, главным образом, только на структуру и механические свойства металлической матрицы чугуна и лишь в незначительной степени на степень сфероидизации графита, поэтому действие модификатора на опытно-промышленном этапе оценивали путем анализа твердости по Бринеллю опытных отливок, как компоненты эффективности модифицирования. Отливки для исследований отбирались из первых форм и из форм, залитых через 8 мин с момента замера температуры в процессе разливки ковша.

Нормы расхода серийного (ФС75лб) и опытного (ФС65Ба4) модификаторов, уровень твердости и программа производства всей номенклатуры отливок деталей из высокопрочного чугуна, получаемых ковшевым модифицированием, приведены в табл. 1 и 2.

Принимая во внимание данные табл. 1, вопрос о целесообразности применения модификатора ФС65Ба4 взамен ФС75лб (частный случай) решается исходя из следующего неравенства:

$$C_m(\text{ФС65Ба4}) < k C_m(\text{ФС75лб}),$$

где $C_m(\text{ФС65Ба4})$, $C_m(\text{ФС75лб})$ – стоимость опытного (ФС65Ба4) и серийно применяемого (ФС75лб) модификаторов, руб./т; k – коэффициент разницы расхода серийного и опытного модификаторов. На основании данных суммарного расхода модификаторов (см. табл. 1) определяем коэффициент k :

$$k = \frac{P_{\Sigma}(\text{ФС75лб})}{P_{\Sigma}(\text{ФС65Ба4})} = \frac{649,1246}{429,2851} = 1,51.$$

В общем виде данное неравенство можно записать следующим образом:

$$C_m(B) < C_m(A) \frac{\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{K_i} P(A)_i^k}{\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{K_i} P(B)_i^k}, \quad (5)$$

где $C_m(B)$, $C_m(A)$ – стоимость опытного (B) и серийно применяемого (A) модификаторов, руб./т; K_i – коэффициент вместимости ковша, используемого для заливки i -й отливки; P_i – годовая программа производства i -й отливки, т; $P(A)_i^k$ – норма расхода на ковш серийного модификатора A для заливки i -й отливки, т; $P(B)_i^k$ – норма расхода на ковш опытного модификатора B для заливки i -й отливки, т.

Стоимость модификатора и в целом всего процесса модифицирования, если исходить из анализа выражений (3) и (5) есть величина переменная. С позиций экономической целесообразности оптимизация процесса модифицирования не связана однозначно с оптимальным уровнем затрат и может быть даже убыточна при высокой технологической эффективности.

Следовательно, необходимо оценить оптимальный диапазон цены отливки с учетом стоимости процесса модифицирования.

В работе [4] выполнен подробный анализ формирования цены на новую продукцию. В качестве критериев определена цена безубыточности ($\Pi_{\text{бу}}$) и уровень максимальной прибыли (Π_{max}) нового изделия. Рассмотрим эти критерии.

Цена безубыточности определяется выражением:

$$\Pi_{\text{бу}} = C_{\text{пер}} + \frac{I_{\text{пост}}}{D}, \quad (6)$$

где $C_{\text{пер}}$ – переменные издержки на единицу изделия; $I_{\text{пост}}$ – постоянные издержки на единицу изделия; D – объем выпуска продукции.

1. Программа производства отливок деталей из высокопрочного чугуна, получаемого с помощью ковшового модифицирования, нормы расхода модификаторов ФС75лб и ФС65Ба4

№ отливки	Деталь	Марка чугуна	Программа на 2006 г.		Расход модификатора			
			в тоннах	в ковшах (1,2 т)	ФС75лб		ФС65Ба4*	
					на ковш, кг	на программу, т	на ковш, кг	на программу, т
1	Вал коленчатый 2101-, 2103-, 21083-, 11183-, 2110-1005020	Gh75-50-03	32495,65	27080	3	81,24	2	54,16
2	Вал коленчатый 1111-, 21213-1005020		1140,14	951	6	5,7	5	4,755
3	Валик привода масляного насоса 2101-1011237	Gh65-48-05	1620,1	1350	8	10,8	5	6,75
4	Кронштейн задней опоры 2121-1001042		133,89	112	15	1,68	10	1,12
5	Звездочка коленчатого вала 2101-1005030		527,48	1759**	1,3	2,2876	0,9	1,5831
6	Маховик 2108-, 2110-1005120	Gh56-40-05	13561,66	11302	7	79,114	6→5***	56,51
7	Суппорт переднего тормоза 2101-3511017		7708,45	6424	13	83,512	9→10	64,24
8	Суппорт переднего тормоза 2108-3511017		2535,58	2113	8	16,904	5	10,565
9	Суппорт переднего тормоза 2110-3511017		3744,58	3121	8	24,968	5	15,605
10	Суппорт переднего тормоза 2121-3511017		2317,55	1932	12	23,184	8	15,456
11	Коробка дифференциала 2108-2303018		6355,11	5296	12	63,552	6→5	26,48
12	Коллектор выпускной 2108-1008025		4765,72	3972	11	43,692	7	27,804
13	Кронштейн переднего моста 2121-2301063		40,91	35	15	0,525	9	0,315
14	Направляющая колодок переднего тормоза 21213-3501155		1191,92	994	15	14,91	11→12	11,928
15	Ступица заднего колеса 2110-3104015		6117,65	5099	12	61,188	8→7	35,693
16	Гайка подшипника коробки дифференциала 2121-2303064	721,87	2407**	5	12,035	4	9,628	
17	Картер редуктора заднего моста 2101-2402018	ВЧ50	5191,86	4327	12	51,924	9→10	43,27
18	Ступица переднего колеса 2101-3103015		3916,87	3265	11	35,915	7	22,855
19	Коллектор выпускной 2123-1008025	ЧВГ40	6169,98	5142	7	35,994	5→4	20,568
	Всего		100256,97	86681	—	649,1246	—	429,2851

* Фактическое содержание бария в модификаторе – 2,2 %.

** На ковш емкостью 0,3 т.

*** Значком "→" показана корректировка расхода модификатора Sibar®22 в зависимости от твердости чугуна.

Н

Ми. 20 мм

л

2. Твердость по Бринеллю отливок из чугуна при модифицировании ФС75л6 и ФС65Ba4

№ отливки	Деталь	Марка чугуна	Твердость по Бринеллю, НВ				
			Нормируемый диапазон	Диапазон при модифицировании			
				ФС75л6	ФС65Ba4		
1	Вал коленчатый 2101-, 2103-, 21083-, 11183-, 2110-1005020	Gh75-50-03	250...302	252...298	255...298		
2	Вал коленчатый 1111-, 21213-1005020			257...298	269...278		
3	Валик привода масляного насоса 2101-1011237	Gh65-48-05	190...280	191...278	224...278		
4	Кронштейн задней опоры 2121-1001042			184...239	255		
5	Звездочка коленчатого вала 2101-1005030			180...285	215...226		
6	Маховик 2108-, 2110-1005120			170...269	182...234		
7	Суппорт переднего тормоза 2101-3511017			182...278	207...255		
8	Суппорт переднего тормоза 2108-3511017	Gh56-40-05	180...250	187...266	215...249		
9	Суппорт переднего тормоза 2110-3511017			180...266	207...249		
10	Суппорт переднего тормоза 2121-3511017			187...249	209...224		
11	Коробка дифференциала 2108-2303018			172...278	187...234		
12	Коллектор выпускной 2108-1008025			187...249	202...249		
13	Кронштейн переднего моста 2121-2301063			189...215	207		
14	Направляющая колодок переднего тормоза 21213-3501155			191...275	255...269		
15	Ступица заднего колеса 2110-3104015			170...255	177...236		
16	Гайка подшипника коробки дифференциала 2121-2303064			187...282	202...222		
17	Картер редуктора заднего моста 2101-2402018			ВЧ50	170...220	170...257	187...249
18	Ступица переднего колеса 2101-3103015				170...210	170...298	172...207
19	Коллектор выпускной 2123-1008025	ЧВГ40	180...250	172...241	184...217		

Уровень максимальной прибыли нового изделия определяется выражением:

$$\Pi_{\max} = C_{\text{пер}} + \frac{I_{\text{пост}} + \Pi_{\max}}{D}, \quad (7)$$

где Π_{\max} – абсолютное значение прибыли.

Цена безубыточности $\Pi_{\text{бу}}$ является нижней границей области возможной цены отливки (новой технологии модифицирования), а цена максимальной прибыли Π_{\max} – верхней границей области возможной цены отливки (новой технологии модифицирования). Таким образом, эти два значения цены $\Pi_{\text{бу}}$ и Π_{\max} являются крайними границами диапазона реальной цены отливки (новой технологии модифицирования).

В применении к процессу модифицирования переменные издержки $C_{\text{пер}}$ на единицу изделия, т.е. отливки, определяются стоимостью модификатора C_m в выражении (5).

Следовательно, реальная цена Π отливки (новой технологии модифицирования) определяется выражением:

$$\left(C_{\text{пер}} + \frac{I_{\text{пост}}}{D} \right) \leq \Pi \leq \left(C_{\text{пер}} + \frac{I_{\text{пост}} + \Pi_{\max}}{D} \right). \quad (8)$$

В соответствии с выражением (8) цена отливки (новой технологии модифицирования) должна находиться внутри данного диапазона. Если цена окажется меньше цены безубыточности по выражению (6), то решение о постановке данной отливки (новой технологии модифицирования) на серийное производство при имеющихся переменных издержках $C_{\text{пер}}$ на одну отливку (способ модифицирования), постоянных издержках $I_{\text{пост}}$ и достигнутых объемах производства D должно быть отрицательным, или должен быть поставлен вопрос о доработке проекта технологии модифицирования.

Экономический анализ необходимо корректировать с учетом оптимизации расхода модификатора,

обеспечивающего работоспособности модифицирования (см. рис. 1), оцениваемого через компоненту эффективности модифицирования, в данном случае твердость по Бринеллю (см. табл. 2). При замене модификатора ФС75лб на ФС65Ба4 в разы сузился допустимый диапазон колебания твердости, а также произошло повышение минимально допустимого предела и понижение максимально допустимого предела по уровню твердости (см. табл. 2).

Для анализа выберем некоторые отливки (см. табл. 2), для которых характерно значительное колебание твердости, являющееся следствием отсутствия стабильности процесса модифицирования типовым модификатором ФС75лб.

Например, для детали № 5 диапазон твердости при модифицировании ФС75лб превышает нормируемый диапазон, но диапазон твердости после модифицирования ФС65Ба4 снижен в 9,6 раза при снижении верхнего предела твердости.

Для детали № 13 модифицирование ФС65Ба4 дает полную стабилизацию твердости по всем сечениям отливки, для детали № 18 верхний предел твердости снижен на 1 НВ, что соответствует однородности и стабилизации литой структуры по всем сечениям отливки.

Таким образом, эффективность модифицирования проявляется в уменьшении интервала нормативного диапазона твердости и снижения верхнего нормативного предела по твердости, что в значительной степени улучшит показатели механической обработки.

Вывод

Использование представленных в статье подходов к оценке эффективности применяемых модификаторов, а также зависимостей определения показателей их качества, работоспособности и стоимости позволяет ускорить и упростить процедуру принятия решения о целесообразности применения новых марок модификаторов взамен типовых, а также дает возможность целенаправленно решать вопросы модернизации действующих технологий модифицирования чугуна.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Давыдов С.В., Панов А.Е.** Тенденции развития модификаторов для чугуна и стали // Заготовительные производства в машиностроении. 2007. № 1. С. 3–11.
2. **Усманов Р.Г., Рябчиков И.В., Андреев В.В., Капустина Л.С.** Сравнительные исследования эффективности графитизирующих модификаторов с различным содержанием бария // Литейное производство. 2006. № 4. С. 21–22.
3. **Герасимов Б.И., Злобина Н.В., Спиридонов С.П.** Управление качеством. М.: Кнорус, 2005. 272 с.
4. **Калапуц П.А.** Формирование цен на новую продукцию // Новые технологии. 2006. № 1. С. 21–23.

*Денис Алексеевич Болдырев, канд. техн. наук;
Сергей Васильевич Давыдов, д-р техн. наук;
Виталий Михайлович Сканцев, инженер*