

Химический состав:

Марка	Массовая доля элементов, %						
	Si	Zr	Mn	Al	Ca	Ba	Fe
INOLATE 190	62–69	3,0–3,5	2,8–4,5	0,55–1,3	0,6–1,9	до 0,6	остаток

Размер фракции: 0,2–0,5 мм.

Использование. Inolate 190 – модификатор для высокопрочного и серого чугуна, вводят в струю при переливе металла в форму. За счет низкого содержания кремния модификатор быстро растворяется даже при низких температурах. При производстве серого чугуна Inolate 190 препятствует образованию отбелов, улучшает структуру и механические свойства металла.

При производстве высокопрочного чугуна Inolate 190 способствует увеличению количества и образованию сфер правильной формы, а также влияет на улучшение механических свойств. Норма расхода выбирается для конкретных условий производства, средний расход составляет 0,1–0,2 %.

INOSTRONG

Технические характеристики: эффективный модификатор для серого чугуна.

Химический состав:

Марка	Массовая доля элементов, %				
	Si	Sr	Al	Ca	Fe
INOSTRONG	73–80	0,6–1,1	до 0,5	0,1	остаток

Размер фракции: 0,4–2,0 мм.

Использование. INOSTRONG – стронций-содержащий модификатор с низким содержанием алюминия и кальция для серого чугуна, который препятствует образованию отбела и твердых карбидных структур в тонких сечениях отливок, затрудняющих механическую обработку. INOSTRONG вводят в струю при заливке металла из ковша в форму.

Использованы материалы:
<http://on-v.com.ua>



ПРИКЛАДНЫЕ НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ

УДК 006.91:004.942

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.40062

РАЗРАБОТКА МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТЛИВОК

Савельева Оксана Степановна, доктор технических наук, доцент

Кафедра нефтегазового и химического машиностроения, Одесский национальный политехнический университет, пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044

E-mail: okssave@gmail.com

Прокопович Игорь Валентинович, кандидат технических наук, доцент

Кафедра технологии и управления литейными процессами, Одесский национальный политехнический университет, пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044

E-mail: igor.prokopovich@gmail.com

Шмараев Александр Васильевич

Аспирант, кафедра металлорезальных станков, метрологии и сертификации

Одесский национальный политехнический университет, пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044

E-mail: schmaraev@gmail.com

Показано, что для эффективного управления качеством биметаллических отливок «сталь — алюминий» необходимы методы и средства измерения равномерности нагрета поверхности стальной вставки перед заливкой алюминием и полноты свариваемости этих компонент. Предложено использовать изображения, получаемые с помощью тепловизора, а также фотографии макрошлифов в зоне стыка. Экспериментально подтверждено снижение процента брака отливок в реальном производстве.

Ключевые слова: АСУ, метрологическое обеспечение, биметаллические отливки, тепловизионное изображение, фотография макрошлифа, свертка изображений.

Показано, що для ефективного управління якістю біметалічних виливків «сталь — алюміній» необхідні методи та засоби вимірювання рівномірності нагрівання поверхні сталеві вставки перед заливанням алюмінієм і повноти зварюваності цих компонентів. Запропоновано використовувати зображення, одержувані з допомоги тепловізора, а також світлини макрошліфів у зоні стику. Експериментально підтверджене зниження відсотка браку виливків у реальному виробництві.

Ключові слова: АСУ, метрологічне забезпечення, біметалічні виливки, тепловізійне зображення, світлина макрошліфу, згортка зображень.

1. Введение

Автоматизированное управление технологическим процессом, особенно наиболее распространенное — замкнутое — не может функционировать без современного метрологического обеспечения, так как решение о применении того или иного управленческого воздействия принимается исключительно на основании результатов мониторинга промежуточных и выходных параметров.

Литейное производство относится к процессам, в общепринятой схеме управления которыми на первом месте находится результат измерения. С учетом того, что все составляющие компоненты любого из технологических процессов обладают свойствами нестационарности и высокоинтенсивности, с точки зрения метрологического обеспечения производственных процессов необходимо учитывать их экстремальность и принимать во внимание труднодоступность измеряемых параметров [1, 2].

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Несмотря на кажущуюся простоту метода замкнутого управления, существует одна весьма серьезная проблема, касающаяся формы и размерности результата измерения параметров, по которым осуществляется расчет управления. В таких сложных, многомерных, быстротекущих, широкодиапазонных и труднодоступных процессах, как процессы литья, простое измерение того или иного параметра «в точке», как правило, оказывается малоинформационным с точки зрения управления, зачастую для этого требуются обобщения многомерных пространственных полей таких параметров.

В этих условиях проблема измерения распадается на две подпроблемы: первая — получить необходимое пространственно-временное отображение (ПВО) от объекта измерения (фотография, видеопоток, термограмма, томограмма и тому подобное) и вторая — свернуть многомерную информацию, содержащуюся в таких ПВО в единое число [1, 3].

В самом общем смысле управление и отображение — это всегда взаимная вложенность понятий, выражающих эти процессы, и самих объективных процессов, протекающих в объективной реальности.

Выбор конкретных методов получения ПВО, получаемых от «точки измерения» в объекте, определяется, прежде всего, физическим содержанием измеряемых параметров [4–7]. В качестве таких параметров могут выступать:

- геометрические величины (длина, диаметр, угол, отклонения поверхности, шероховатость и т. п.),

- механические и кинематические величины (масса, сила, напряжение, деформация, твердость, моменты, скорости, параметры зубчатых и других передач),

- параметры жидкости и газа (расход, уровень, объем, давление, параметры пограничного слоя),

- физико-химические параметры (вязкость, плотность, концентрация, влажность, электрохимические параметры),

- теплофизические и термодинамические параметры (температура, давление, тепловые величины и коэффициенты, параметры термодинамических циклов),

- время и частота (время, интервалы времени, частота периодических процессов),

- электрические и магнитные параметры (напряжение, сила тока, емкость, индуктивность, параметры магнитных полей, электромагнитные характеристики материалов),

- радиотехнические параметры (интенсивность сигналов, параметры формы и спектра сигналов, свойства материалов, полученные радиотехническими методами),

- акустические параметры (аудтометрия, уровень шума, акустические величины в газовой, жидкой и твердой средах),

- оптические параметры (оптические параметры материалов, энергетические параметры излучения, спектральные частотные характеристики, параметры поляризации, характеристики фотоматериалов),

- параметры ядерных констант и ионизирующих излучений (дозиметрические характеристики,

спектральные характеристики, активности радионуклидов, радиометрические характеристики).

3. Цель и задачи работы

Целью работы является создание метрологического обеспечения современного АСУ производством биметаллических отливок, внедрение которого позволит существенно повысить эффективность систем управления последним и, как следствие, — качество продукции литейного производства, за счет выбора и имплементации методов измерения температуры поверхности стальной вставки и эффекта свариваемости элементов композиции.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

→ создание метрологического обеспечения для АСУ технологическим процессом литья под давлением биметаллических отливок;

→ разработать метрологическое обеспечение для оценки макроструктуры биметаллической отливки в месте соединения стали и алюминия.

4. Создание метрологического обеспечения современного АСУ производством биметаллических отливок

4.1. Формирование схемы технологического процесса и определение точек измерения. В соответствии с разработанной схемой автоматизированной системы создания и имплементации эффективного МО АСУ литейного производства создание метрологического обеспечения АСУ технологическим процессом литья под давлением биметаллических отливок начинается с построения технологической и структурной схем этой АСУ (рис. 1, 2) [8–10].

Требования к метрологическому обеспечению такого измерения, в свою очередь, определяются условиями последнего, с одной стороны, и потребностями соответствующей АСУ — с другой.



Рис. 1. Схема технологического процесса литья под давлением биметаллических отливок

Как видно из технологической схемы, на входе системы автоматизированного замкнутого управления — температура заливки алюминия и температура стальной вкладки перед установкой в пресс-форму, а на выходе — фотография макрошлифа из зоны стыка компонент биметалла.

На схеме (рис. 2) выделены «точки измерений» — т. е. те точки, которые переставляют собой реальные места на оборудовании, осуществляющем техпроцесс. В данном случае, это стальная вставка и биметаллическая отливка целиком.

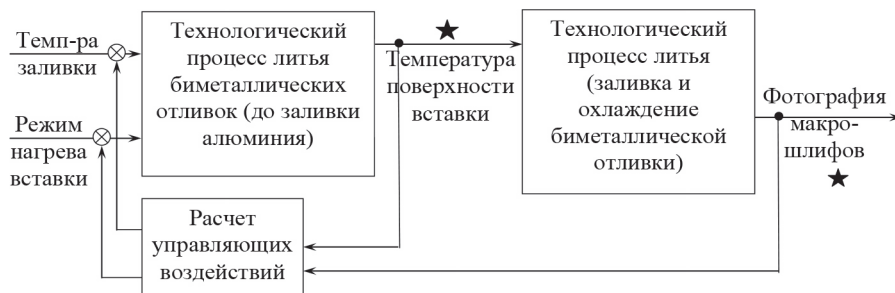


Рис. 2. Структурная схема АСУ технологическим процессом литья под давлением биметаллических отливок

Кроме того, важным является еще и промежуточный результат: равномерность нагрева поверхности стальной вставки перед заливкой алюминия.

4.2. Характеристики компонентов процесса.

В основе технологического процесса следующие свойства компонентов, составляющих биметалл.

Материал отливки:

→ сталь (стальная сварная вставка — трубы 3/4' и 1/2', ГОСТ 3262-75);

→ алюминий АК12, ГОСТ 1583-93.

Габаритные размеры отливки: 550 × 80 × 80.

Масса алюминия в отливке: 1,465 кг.

Масса стальных вкладок: 1,01 кг.

Плавка шихты (АК12 в чушках и возврат собственного производства) осуществляется в печи сопротивления САТ-0,16.

Стадии процесса литья биметаллических отливок приведены на рис. 3, а–з.

4.3. Описание технологического процесса литья. При загрузке шихты в пустой (холодный) тигель температура поднимается до 100–150–200 °С

с выдержкой 30 мин. При достижении 550 °С технологическая выдержка 2,5 ч до начала работы. При добавлении в расплав чушек и возврата собственного производства шихта прогревается для удаления влаги.

При температуре 640 °С проводится первичная обработка расплава препаратом ARSAL-2125 (0,15 % от массы

сплава в печи). Наведенный шлак удаляется. При температуре 680–700 °С производится вторичная обработка расплава препаратом PROBAT FLUS DEGASER T 200 при помощи колокола (0,1 % от массы расплава в печи). Наведенный шлак удаляется.

Температура заливки расплава в машину ЛПД 711а08 (рис. 3, в) составляет 680–700 °С. Заливка осуществляется из печи мерной ложкой. Масса металла на пресс-форму — 6,2 кг. В пресс-форме одновременно формируются две биметаллические отливки (масса алюминия отливки — 1,465 кг; масса литников — 1,85 кг; масса промывников — 0,8 кг; масса прессового остатка — 0,62 кг). Время заливки составляет 6 с. Время выдержки — 50 с. Полный цикл — 160 с. Усилие прессования — 80 т. с. Давление на металл — 70 МПа. Усилие запирания 1000 т. с.

После окончания цикла биметаллические отливки (рис. 3, г) извлекаются из неподвижной части пресс-формы и подаются на обрубку.

4.4. Формулирование комплекса требований к технологическому процессу. В результате анализа технологического процесса литья под давлением биметаллических отливок сформулирован «Комплекс требований к метрологическому обеспечению АСУ» (табл. 1).



Рис. 3. Стадии процесса литья биметаллических отливок: а — общий вид печи сопротивления САТ-0,16; б — стальные вкладыши; в — машина ЛПД; г — секции радиатора

Таблица 1

Комплекс требований к метрологическому обеспечению АСУ технологическим процессом литья под давлением биметаллических отливок

Измеряемый параметр	«Точка» измерения	Скорость изменения параметра	Доступность места измерения	Размерность параметра	Запаздывание в использовании параметра	Наличие желания скрыть значение параметра
Температура поверхности стальной вставки	Поверхность вставки перед заливкой алюминием	Средняя	Средняя	Изображение	Среднее	Нет
Макроструктура отливки	Поперечный разрез отливки	Малая	Плохая	Изображение	Большое	Нет

Пресс-форма перед заливкой каждый цикл смазывается смазкой Тренекс W7000 воздушным распылением. Температура половинок пресс-формы должна составлять: подвижной части — 200 °С; неподвижной части — 220 °С (температура поддерживается термостатом).

В неподвижную часть пресс-формы устанавливаются стальные вкладыши (рис. 3, б). Перед установкой вкладыши нагреваются в камерной печи до температуры 220 °С.

Обработка этого «Комплекса» позволила поставить задачу создания метрологического обеспечения для АСУ технологическим процессом литья под давлением биметаллических отливок, т. е. разработать метрологическое обеспечение для оценки макроструктуры биметаллической отливки в месте соединения стали и алюминия.

4.5. Выбор и характеристика средств измерения. Температура поверхности многих объектов литейного производства относительно невелика

и полностью лежит в инфракрасной зоне спектра. Поэтому, для первичной обработки инфракрасного излучения не подходят обычные видеокамеры, в данном случае необходим прибор «ночного видения» или тепловизор (инфракрасная камера, преобразующая невидимые инфракрасные лучи в лучи видимого спектра) [11, 12].

В работе использовали тепловизор ТН-9100 – современную профессиональную тепловизионную систему на основе неохлаждаемого матричного детектора (UFPA) 6-го поколения, ее спектральный диапазон 8–14 мкм.

Диапазон измеряемых температур составляет от –40 до +2000 °С, чувствительность – менее 0,06 °С. Прибор портативен и компактен (1,6 кг с аккумулятором и LCD дисплеем), позволяет осуществлять запись термоизображений на Compact Flash карты памяти, а также обладает возможностью записи текстовых и голосовых комментариев; со встроенной цветной видеокамерой 0,41 МРiх, включает многообразие функций анализа и настройки термоизображений в реальном масштабе времени, цифровые интерфейсы IEEE1394, RS-232.

Важной функцией данного тепловизора является возможность получения композитных видео- и ИК-изображений в различных сочетаниях, что облегчает анализ термограмм в случае сложных поверхностей объектов контроля [11, 13].

5. Результаты анализа температур процесса литья под давлением биметаллических отливок при помощи тепловизора

Особенностью программного обеспечения тепловизора ТН-9100, в плане его применения в управлении технологией литейного производства, является возможность проведения динамических измерений и наличие дополнительного программного пакета, позволяющего проводить тепловые расчеты конвективного и радиационного теплообмена, а также возможность проведения дифференциального температурного анализа. Последнее делает прибор весьма эффективным средством для контроля изменений теплового состояния объекта в процессе эксплуатации.

Измерение температуры поверхности при помощи тепловизора ТН-9100 позволило осуществить визуализацию степени нагретости элементов в процессе изготовления сталь-алюминиевых отливок «Секция радиатора» под давлением в металлические формы. Такие отливки в готовом виде представлены на **рис. 4**.

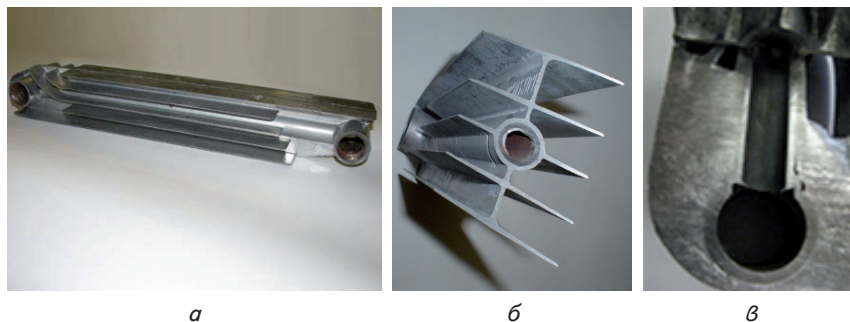


Рис. 4. Изображения биметаллической отливки, изготовленной в Одесском ГП: а — секция радиатора; б — готовая деталь в разрезе; в — вид бракованной детали

Пример реального тепловизионного изображения нагретой стальной вставки приведен на **рис. 5**. Результаты обработки данных, полученных в результате измерений с помощью тепловизора, приведены в **табл. 2, 3**.

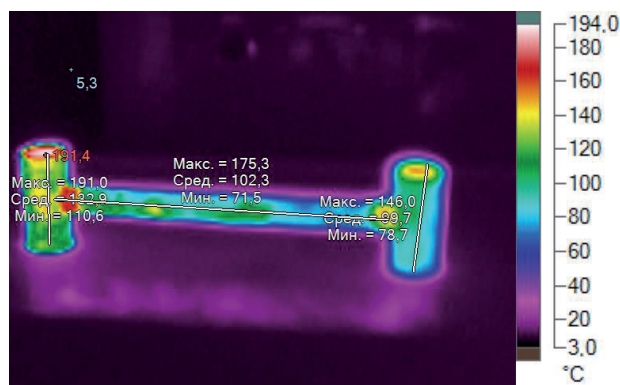


Рис. 5. Тепловизионное изображение нагретой стальной вставки

Таблица 2

Информация о текущем изображении

№	Характеристика показателя	Значение
1	Коэффициент излучения	0,95
2	Средняя температура	20,2 °С
3	Границы изображения	5,3 °С до 191,4 °С
4	Модель камеры	Ti9
5	Производитель камеры	Fluke
6	Описание объектива	20 mm
7	Время изображения	05.03.2015 11:14:39
8	Диапазон калибровки	–25,0 °С до 260,0 °С

Таблица 3

Маркеры основного изображения

Поз.	Сред.	Мин.	Макс.	Коэффициент излучения	Станд. откл.
L0	132,9 °С	110,6 °С	191,0 °С	0,95	17,23
L1	99,7 °С	78,7 °С	146,0 °С	0,95	16,36
L2	102,3 °С	71,5 °С	175,3 °С	0,95	23,68

Тепловизор ТН 9100 позволяет также накладывать на изображение, полученное в видимых лучах, изображение того же объекта, полученное в результате преобразования инфракрасных лучей.

В результате метрологическую оценку тепловизионного изображения композиционной отливки осуществляли с помощью размерности Хаусдорфа-Безиковича, позволяющего свести все многообразие информации, содержащейся в исходном изображении, к одному числу, отображающему характерные особенности структуры и позволяющему встраивать его в замкнутый цикл АСУ [14].

6. Выводы

В задачах обеспечения эффективности литейного производства и качества готовой продукции одной из важнейших составляющих является выбор метрологического обеспечения для АСУ технологическим процессом. Для литья под давлением биметаллических отливок предложена схема автоматизированного замкнутого управления и на основании анализа технологического процесса определены точки измерений, которые переставляют

собой реальные места на оборудовании, осуществляющем техпроцесс — зона стальной вкладки и зона получения готовой детали.

Для измерения равномерности нагрева поверхности стальной вставки перед заливкой алюминием и полноты свариваемости этих компонент предложено использовать изображения, получаемые с помощью тепловизора. Контроль зоны стыка предложено осуществлять при помощи фотографии макрошлифов в зоне стыка.

В литейном цехе ГП «Инженерный производственно-научный центр литья под давлением» (Украина, г. Одесса) были проведены испытания подсистемы метрологического обеспечения в области оценки качества биметаллических отливок «METALMEAS», основанной на измерении температуры поверхности стальной вставки перед заливкой алюминия с помощью тепловизора и компьютерных свертках фотографий макрошлифов зоны стыка различных металлов. В результате испытаний установлено, что применение подсистемы метрологического обеспечения «METALMEAS» в реальном производстве дало возможность снизить дефекты отливок на 34 % от общего процента брака литья.

Литература

1. Оборский, Г. А. Выбор метрологического обеспечения управления сложными объектами литейного производства с трудноизмеримыми параметрами [Текст] / Г. А. Оборский, А. Л. Становский, И. В. Прокопович, М. А. Духанина // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Информационные технологии. — 2014. — Т. 6, № 3(72). — С. 41–47. doi: 10.15587/1729-4061.2014.32420
2. Gurevich, V. Electronic Devices on Discrete Components for Industrial and Power Engineering [Text] / V. Gurevich. — CRC Press, New York, 2008. — 418 p. doi: 10.1201/9781420069839
3. Прокопович, И. В. Информационный метод измерения тепловых параметров по инфракрасным потокам от поверхности детали [Текст]: матер. міжн. наук.-прак. конф. / И. В. Прокопович, Ю. В. Шихирева, М. А. Духанина, А. В. Шмараев // Інформаційні технології та інформаційна безпека в науці, техніці та навчанні «Інфотех-2013», 2013. — С. 53–54.
4. Боголюбов, Н. В. Лекции по метрологии [Текст] / Н. В. Боголюбов. — М.: Логос, 2005. — 272 с.
5. Гугнін, В. П. Метрологічне забезпечення та перевірка засобів вимірювальної техніки фізичних величин [Текст] / В. П. Гугнін, Г. О. Оборський. — К.: Наука і техніка, 2011. — 220 с.
6. Гугнін, В. П. Основи метрології та вимірювальної техніки [Текст] / В. П. Гугнін, Г. О. Оборський. — Одеса: Астропринт, 2003. — 200 с.
7. Теория и практика процессов получения биметаллических и многослойных отливок [Текст] / К.: Наукова думка, 1987. — 115 с.
8. Coddard, D. M. Investment cast composites [Text] / D. M. Coddard // Foundry Trade Journal. — 1986. — Vol. 9, Issue 29.
9. Nagata, S. Development and application of metal matrix composites from pressure casting [Text] / S. Nagata, M. Sakamoto // Material and Design. — 1989. — Vol. 10, Issue 3. — P. 153–158. doi: 10.1016/s0261-3069(89)80031-7
10. Ginilio, A. D. Aluminium coating of steel [Text] / A. D. Ginilio // Modern Casting. — 1988. — Vol. 92, Issue 5.
11. Axelsson, S. R. J. Thermal modeling for the estimation of energy losses from municipal heating networks using infrared thermography [Text] / S. R. J. Axelsson // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. — 1988. — Vol. 26, Issue 5. — P. 686–692. doi: 10.1109/36.7695
12. Advanced infrared technology and applications: Proc. of the workshop [Text] / Chairman L. Ronchi Albozzo Firenze: s. n. 1994. — Capri (Italy), 358 p.
13. Госсорг, Ж. Инфракрасная термография. Основы. Техника. Применение [Текст] / Ж. Госсорг. — М.: Мир, 1988. — 416 с.
14. Кроновер, Р. М. Фракталы и хаос в динамических системах [Текст] / Р. М. Кроновер. — М.: Техносфера, 2006. — 488 с.

Abstract. The paper describes the process flow diagram of the injection molding of bimetallic castings. It is shown that effective quality control of bimetallic castings «steel — aluminum» requires appropriate metrological support. The structural scheme of the automated process control system of injection molding of bimetallic castings was proposed. To measure the heating uniformity of the steel insert surface before aluminum casting and weldability completeness of these components, using images obtained with the thermal imager was proposed. Junction zone control was proposed to carry out using macrosection pictures in the junction zone.

As a result, metrological evaluation of the thermal image of composite casting was performed using the Hausdorff-Besicovitch dimension. This has allowed to reduce the diversity of the information contained in the source image to a single number. This number reflects the characteristic features of the structure and allows the use for process management decision-making. Decrease in the rejection rate of castings in the actual production was experimentally confirmed.

Keywords: ACS, metrological support, bimetallic castings, thermal image, macrosection picture, image convolution.

УДК 669.162

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.40534

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ КІВШОВОЇ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ ЧАВУНУ

Сігарьов Євген Миколайович, доктор технічних наук, доцент

Кафедра металургії чорних металів, Дніпродзержинський державний технічний університет,
пр. Пеліна, 16, м. Дніпродзержинськ, Україна, 51918

E-mail: en_sigarev@ua.fm

У роботі виконано аналіз та оцінка ресурсо- та енергоефективності технологічного маршруту «доменна піч — кисневий конвертер» із впровадженням комплексу нових способів інтенсивної десульфурзації передільного чавуну у заливальному ковші, технології конвертерної плавки із використанням десульфурованого чавуну та нанесення гарнісажу на футерівку конвертера. Очікуване скорочення енергетичних витрат у порівнянні зі штатними технологіями складає 0,973 ГДж/т сталі.

Ключові слова: чавун, ківшова десульфурация, обертова фурма, конвертер.

В работе выполнен анализ и оценка ресурсо- и энергоэффективности технологического маршрута «доменная печь — кислородный конвертер» с задействованием комплекса новых способов интенсивной десульфурации передельного чугуна в заливочном ковше, технологии конвертерной плавки с использованием десульфурованного чугуна и нанесения гарнисажа на футеровку конвертера. Ожидаемое сокращение энергетических затрат в сравнении со штатными технологиями составляет 0,973 ГДж/т стали.

Ключевые слова: чугун, ковшовая десульфурация, вращающаяся фурма, конвертер.

1. Вступ

У країнах ЄС та в Україні зберігається пріоритетна роль киснево-конвертерного способу виробництва металопродукції як впливової ланки технологічного маршруту «доменна піч — конвертер — МБЛЗ». Ресурсо- і енерговитрати на виплавку та попереднє ковшове рафінування передільного чавуну перед заливкою у конвертер визначають підсумкові показники ефективності виробництва металопродукції.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Технологічний маршрут конвертерного виробництва сталі, що на сьогодні використовується

в умовах ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» складається з наступних етапів. У доменних печах виплавляється передільний чавун із витратами коксу, у середньому на рівні 492,8 кг/т чавуну та виходом шлаку 445 кг/т із основністю 1,24. Передільний чавун із температурою не нижче 1320 °С та вмістом, %: 0,70–1,10 Si, 0,20–0,60 Mn, до 0,040 S та 0,15 P, зливається у міксер.

За потребою зниження вмісту сірки в чавуні менш ніж 0,020 % перед міксером використовують установку десульфурзації чавуну мартенівського цеху. У якості реагенту використовують зливки пасивованого магнію із вмістом активного магнію на рівні 86 % та ступенем використання 20–40 % при масі чавуну, що обробляється 60–110 т.