

ВАЖНЫЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЧУГУННОГО ЛИТЬЯ

© 2022 Р.Д. Фарисов¹, М.А. Иоффе², В.Н. Козловский³¹ ПАО «КАМАЗ», г. Набережные Челны, Россия² ООО «Литье-Сервис», г. Санкт-Петербург, Россия³ Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 20.06.2022

На базе методологии решения проблем, представляющей собой детализированный вариант цикла улучшения Plan - Do - Check - Act (PDCA) Деминга, создано инновационное производство по переплаву мелкодисперсных металлосодержащих отходов по эффективной, ресурсосберегающей технологии. В разработанной печи электрошлакового переплава с графитовыми электродами потери металла на угар составили 2%. Технология электрошлакового переплава отличается наличием слоя высокоперегретого шлака, который защищает расплав от окисления. При этом достигнута значительная экономия сырьевых, энергетических и трудовых ресурсов. Одновременно обеспечивается существенное повышение ресурсосберегающих и природоохранных показателей качества чугуна при сохранении на заданном уровне функциональных показателей отливок.

Ключевые слова: показатели качества; ресурсосбережение; чугун; стружка; переплав; низкий угар; синергия.

DOI: 10.37313/1990-5378-2022-24-3-69-75

Литейное производство является важнейшей заготовительной базой машиностроительных отраслей отечественной промышленности. В условиях конкуренции с другими видами заготовительных производств (обработка давлением, сварка и др.) получение заготовок деталей машиностроительной продукции методом литья имеет преимущественное значение за счет более высокого уровня коэффициентов комплексного использования металла и выхода годного. Так как потребителями чугуна являются такие основные отрасли, как автомобиль- и тракторостроение, станкостроение, оборонная промышленность, энергетическое и электротехническое машиностроение и др., чугунолитейное составляет основную долю (около 70%) общего выпуска отливок.

Показатели качества чугуна отливок могут быть структурированы по видам на функциональные, ресурсосберегающие, природоохранные [1]. Функциональные показатели характеризуют сущность отливки, выражающуюся в ее способности выполнять заданные функции в соответствии с основным назначением. Примерами функциональных показателей качества чугуна отливок могут служить количественные показатели механических свойств,

надежности, износостойкости, эргономичности и т.д. Ресурсосберегающие показатели качества отражают те свойства чугуна отливок, которые определяют уровень затрачиваемых на всех стадиях жизненного цикла отливок ресурсов для формирования, обеспечения и реализации их качества и потребительских свойств в целом. К числу ресурсосберегающих показателей качества чугуна отливок следует отнести их материалоемкость, энергоемкость, трудоемкость, себестоимость. Природоохранные показатели качества чугуна отливок определяют их свойства, связанные с воздействием на человека и окружающую его среду в процессе производства и эксплуатации. Примерами природоохранных показателей качества являются экологичность производства отливок, безопасность потребления и утилизации.

В производстве чугуна отливок расходы на основные материалы, т.е. шихту (доменный чугун, ферросплавы, чугуны и стальной лом), составляют 25-45% от общей себестоимости в зависимости от марки выплавляемого литейного сплава, компонентного состава шихты, коэффициента выхода годного и др. В настоящее время в условиях резкого роста цен на материальные ресурсы, в первую очередь, на металлы, химическую продукцию и др., себестоимость литых заготовок существенно возрастает, что отражается на стоимости всей машиностроительной продукции. Поэтому ресурсосберегающие показатели качества приобретают доминирующее положение и становятся приоритетными по сравнению, например, с функциональными, для которых могут быть установлены ограничения

Фарисов Рису́н Дани́фович, кандидат технических наук, главный специалист. E-mail: risun@mail.ru

Иоффе Михаи́л Алекса́ндрович, доктор технических наук, профессор, технический директор.

E-mail: risun@mail.ru

Козловский Влади́мир Никола́евич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая и общая электротехника». E-mail: Kozlovskiy-76@mail.ru

по планируемому уровню полезного технического эффекта. Таким образом, повышение уровня ресурсосберегающих показателей качества чугунных отливок отражает тенденцию снижения ресурсопотребления, соответствует основополагающим принципам бережливого производства и позволяет использовать резервы повышения эффективности и конкурентоспособности чугунолитейного производства и, соответственно, машиностроительных отраслей.

Повышение количественных значений ресурсосберегающих показателей качества, в первую очередь, снижение материалоемкости и себестоимости, чугунных литых заготовок должно реализовываться, прежде всего, за счет использования дешевых шихтовых материалов, полученных из отходов машиностроительных и механообрабатывающих производств.

Повышение эффективности производства и ресурсосберегающих показателей качества чугунных отливок имеет особую актуальность для развития промышленного комплекса страны в целом.

На механообрабатывающих предприятиях образуется большое количество стружки, так как при изготовлении деталей из заготовок отход металла в стружку составляет 25–30%. Переплав стружки по известным технологиям требует больших затрат (необходимы операции подготовки, очистки, брикетирования стружки) и приводит к значительным потерям металла вследствие угара, который достигает 30% [2]. Металлургические агрегаты предназначены для выплавки первичных металлов в условиях металлургических комбинатов и не приемлемы для машиностроительных предприятий. Нерациональное использование ценных сырьевых ресурсов наносит огромный экономический ущерб. Кроме экономического ущерба, такое отношение к этим сырьевым ресурсам, наносит вред самой природе и экологии. Отмеченное стимулирует спрос на высокоэкономичное плавильно-литейное оборудование для производства чушек и отливок. Радикальным путем снижения издержек у предприятий является переход на современные, эффективные печи для переплава стружечных отходов [3].

Цель работы – повышение ресурсосберегающих показателей качества чугунного литья за счет эффективного использования вторичного сырья.

МЕТОДЫ

В основу решения поставленной задачи была положена методология решения проблем, представляющая собой детализированный вариант цикла улучшения Plan – Do – Check – Act (PDCA) Деминга [4]. Каждый цикл улучшения состоял из

четырёх основных этапов, предусматривающих следующие действия:

1-й этап (Plan). Планирование, постановка цели. Задачей этого этапа является выявление проблем качества и проработка вариантов ее решения.

2-й этап (Do). Реализация запланированного действия.

3-й этап (Check). Тестирование, проверка достигнутого результата. Анализ полученных показателей, оценка результатов.

4-й этап (Act). Внедрение результатов. Корректировка.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На первом этапе (Plan) цикла Деминга проведены следующие работы:

- сбор необходимой информации из литературного анализа;

- постановка цели, выбор наиболее приспособленных плавильных печей, в наибольшей степени пригодных для достижения поставленной цели.

Чтобы выбрать оптимальный плавильный агрегат для переплава чугунной стружки, были сформулированы основные параметры процесса и проведено ранжирование существующих печей по значению приоритетных чисел эффективности переплава чугунной стружки.

Для определения приоритетных чисел эффективности печей для переплава стружечных отходов при выполнении поставленной цели вводили показатель весомости параметра – коэффициент K_i . Результаты исследования оценивались по балльной системе и записывались в таблицу выбора вида плавильного агрегата для переплава стружечных отходов (таблица 1).

Расчеты по определению приоритетных чисел эффективности производили по формуле:

$$C_n = \sum_{i=1}^n K_i B_i, \quad (1)$$

где C_n – сумма значений параметров, оцененных по балльной системе с учетом показателей весомости.

B_i – значение i – того параметра, оцененного по балльной системе.

K_i – коэффициент весомости i – того параметра.

i – порядковый номер параметра.

n – число учитываемых параметров.

На втором этапе (Do) цикла Деминга проводились сравнительные работы по переплаву стружечных отходов в разных плавильных печах [5,6,7,8]. По выбранным критериям исследованы различные варианты плавильных агрегатов [9]. В качестве плавильных агрегатов были выбраны:

- индукционная печь ИСТ-0,16;

- электродуговая печь постоянного тока (ДППТ) с емкостью ванны 100 кг;

Таблица 1. Таблица определения приоритетных чисел эффективности печей для переплава стружечных отходов

N п / п	Параметры процесса	Диапазон изменения параметров		Коэф-ты весомости параметров K_i	Значение параметра для данного вида печи B_i
		Низший уровень	Высший уровень		
1	Потери металла на угар	1	10	0,230	B_1
2	Производительность процесса переплава	1	10	0,205	B_2
3	Загрязнение окружающей среды	1	10	0,205	B_3
4	Качество металла	1	10	0,180	B_4
5	Организация производства	1	10	0,180	B_5
ИТОГО				1,000	

-электродуговая печь переменного тока (ДСП) с емкостью ванны 100 кг;

После проведенных работ по поиску оптимального варианта переплава чугунной стружки получены следующие результаты:

- переплав стружки в индукционной печи (ИСТ) оказался сложным из-за ее ошлакования и большого количества выделяющегося дыма;

- переплав стружки в дуговой печи переменного тока (ДСП) возможен, но сопровождался значительным угаром металла;

- переплав стружки в дуговой печи постоянного тока наиболее предпочтителен, но под открытой дугой, где очень высокая температура, чугунная стружка горит.

Результаты исследования оценивали по балльной системе и записывали в таблицу 2. Принято решение для переплава чугунной стружки использовать:

- метод переработки стружки в плавильных печах с жидким шлаком;

- принцип работы электродуговой печи;

- конструкцию печи постоянного тока.

Для переплава чугунной стружки разработана, сконструирована и изготовлена печь электрошлакового переплава с графитовыми электродами. Новизна подтверждается патентом №72227 [10]. В отличие от электрошлаковой гарнисажной печи в данной печи оба электрода графитовые, а тигель и свод печи набиваются огнеупорной массой. Технология электрошлакового переплава отличается наличием слоя высокоперегретого шлака, который представляет собой самостоятельную металлургическую фазу и может активно взаимодействовать с металлом. Состав флюса необходимо было выбрать так, чтобы физические свойства шлака удовлетворяли условиям электрошлаковой обработки в

Таблица 2. Таблица приоритетных чисел эффективности печей для переплава чугунной струж-

Основные параметры процесса:	ИСТ	ДПП	ДП	ЭП*
	Б	Б	Б	Б
- потери металла на угар	5	7	6	9
- производительность переплава	5	9	7	9
- загрязнение окружающей среды	6	7	7	7
- качество металла	9	8	7	8
- организация производства	7	8	7	7
$C_{печи} = B_1 K_1 + B_2 K_2 + B_3 K_3 + B_4 K_4 + B_5 K_5$ (1)	6,3	7,8	6,8	8,1

* Результаты получены после разработки ЭШП

течение всей плавки, обеспечивая достаточную электропроводность шлака [11].

Разработку математической модели осуществляли путем построения функции зависимости угара от параметров печи и определения значений параметров функции с помощью активных экспериментов на установке ЭШП. Цель моделирования – определение возможности минимизации потерь металла при переплаве стружечных отходов машиностроения в электрошлаковых печах за счет оптимизации параметров плавильного агрегата. В связи с установленной целью выходным параметром математической модели выбрали величину угара металла, определяемую как отношение разницы между массой загруженных в печь дисперсных отходов и массой металла, полученного в результате переплава стружки, к массе загруженных в печь дисперсных отходов. С целью исследования влияния геометрических параметров печи на угар металла изменяли соотношение диаметра ванны печи к высоте, меняя диаметр ванны и оставляя неизменной ее высоту, определяемую расчетным и фиксируемым объемом загружаемой в печь стружки ($V, \text{м}^3$). Для исследования энергетических параметров изменяли силу тока ($I, \text{А}$), проходящего по расплаву. Методом случайного поиска выявляли характер связи между входными и выходным параметрами. Экстремальный характер зависимости позволяет выбрать оптимальные параметры конструкции печи для обеспечения минимального угара, то есть получить модель ресурсосберегающей технологии переплава дисперсных отходов (рисунок 1). Математическая модель, полученная в результате многоуровневого факторного анализа, имеет вид:

$$y = 19,3491 - 0,0330x_1 - 39,645x_2 + 0,00001656x_1^2 + 555,3x_2^2 - 0,0028x_1x_2, \quad (2)$$

Согласно математической модели:

$$x_{1\text{опт}} = 1000 \text{ А};$$

$$x_{2\text{опт}} = 0,0357 \text{ м}^3$$

$$y_{\text{min}} = 2,20\%.$$

Полученная зависимость угара от значения тока и объема рабочего пространства печи согласуется с экспериментальными данными с точностью, достаточной для инженерных расчетов.

Печь электрошлакового переплава с графитовыми электродами и набивной футеровкой (рисунок 2) по принципу работы представляет собой электродуговую печь, по конструкции близкую к дуговым печам постоянного тока. Расплавленный шлак заданного химического состава защищает жидкий металл от взаимодействия с атмосферой воздуха.

Организация плавки в печи электрошлакового переплава с графитовыми электродами и набивной футеровкой отвечает следующим требованиям:

- высокий выход годного металла;
- сохранение легирующих компонентов при переплаве легированной шихты;
- химическая и температурная однородность расплава;
- высокая активность шлаков во все периоды плавки;
- возможность переплава всех видов шихты, включая металлизированные окатыши, стружку;
- минимальные пылегазовыбросы из печного пространства, позволяющие удовлетворять экологическим требованиям, т.е., повысить природоохранные показатели;
- возможность включения и отключения печей в любой период времени;
- безопасность печей при внезапных отключениях электроэнергии;
- отсутствие специальных требований к огнеупорам, их высокая стойкость, быстрая замена;
- возможность плавить, при необходимости, от 20 до 120% номинальной емкости печи;
- высокая надежность оборудования.

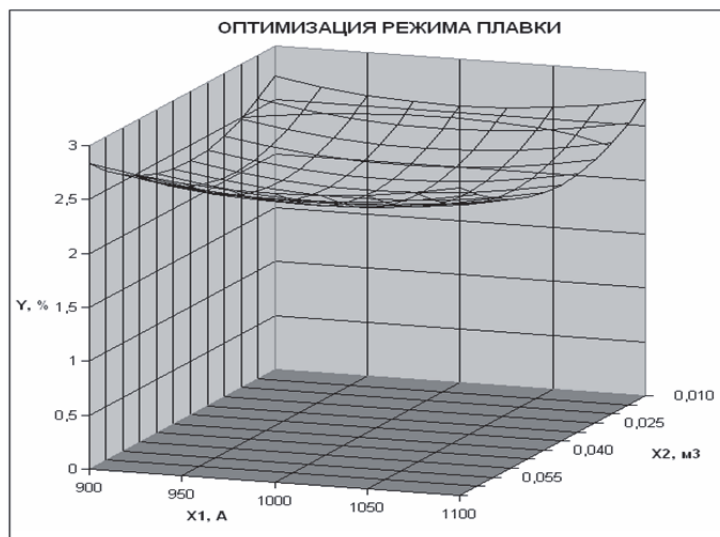


Рис. 1. Диаграмма зависимости угара от значения тока и объема рабочего пространства печи

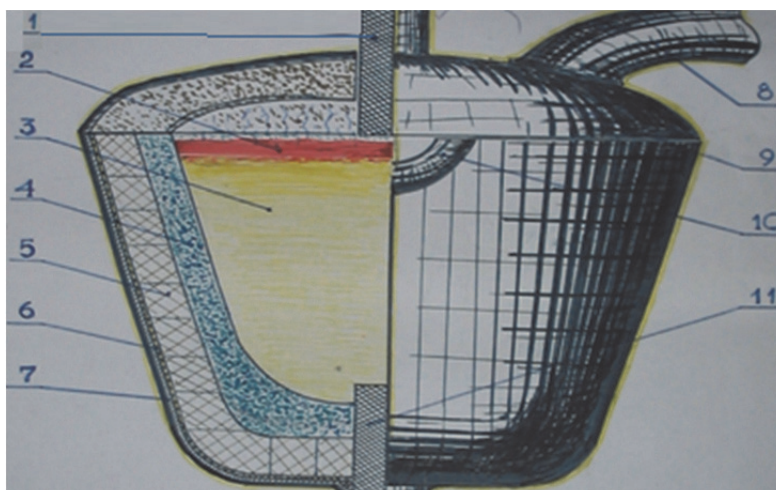


Рис. 2. Эскиз печи электрошлакового переплава:

1 – верхний графитовый электрод; 2 – жидкий флюс; 3 – расплав; 4 – набивная футеровка; 5 – шамотная кладка; 6 – асболист; 7 – стальной каркас; 8 – газоотвод; 9 – набивной свод; 10 – сливной носик; 11 – нижний графитовый электрод

Проводили экспериментальные работы по переплаву чугунной стружки в печи электрошлакового переплава с графитовыми электродами и набивной футеровкой. Получены положительные результаты, потери металла на угар составили 2%. На основе проведённых теоретических, исследовательских и экспериментальных работ для получения чугунных отливок из стружечных отходов разработана комплексная поэтапная технология. Проведенные исследования микроструктуры, химического состава и механических свойств образца показали, что предложенная технологическая схема комплексных, поэтапных работ оказалась достаточной для получения отливок из дешёвого низкосортного сырья – из стружки.

ОБСУЖДЕНИЕ

Третий этап (Check) цикла Деминга – оценка результатов. Проведены исследования микроструктуры, химического состава и механических свойств образца чугунных отливок, полученных из чугунной стружки. Исследовали чугун марки СЧ18 ГОСТ 1412-85. Графит имеет форму пластин, равномерно распределен по металлической матрице чугуна.

Химический состав отливки СЧ18 приведён в таблице 3.

Механические свойства: предел прочности на растяжение 210 МПа, твердость по Бринеллю 240 НВ.

Проведенные исследования микроструктуры, химического состава и механических

свойств образца показали, что предложенная технология позволяет получать отливки с заданными структурой, химическим составом и механическими свойствами из дешевого низкосортного сырья – из стружки.

Процесс переплава стружечных отходов в печи ЭШП принципиально отличается от традиционных электроплавов однородностью нагрева во всем объеме твердой шихты. В нем каждая частичка чугунной стружки разогревается и плавится за счет проходящего по ней электрического тока, так как при плавке отсутствует дуга с высокой излучательной энергией, как в случае дуговой плавки. Слой высокоперегретого покровного флюса, представляющего самостоятельную металлургическую фазу, защищает расплав от взаимодействия с атмосферой, тем самым уменьшая потери металла на угар.

Во время плавки чугуна по разработанному способу в расплаве не существует объемов металла, значительно отличающихся по температуре.

Таким образом, для эффективного переплава чугунной стружки были использованы:

- метод переработки отходов в плавильных печах с жидким шлаком;
- принцип работы электродуговой печи переменного тока;
- конструкция электродуговой печи постоянного тока;
- геометрические и энергетические параметры плавильного агрегата.

Сочетание комплексированных совместно вышеперечисленных свойств современных электрических плавильных печей в печи ЭШП с

Таблица 3. Химический состав отливки СЧ18

Марка	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S
СЧ18	3,4	2,5	0,3	0,19	0,16	0,34	0,015

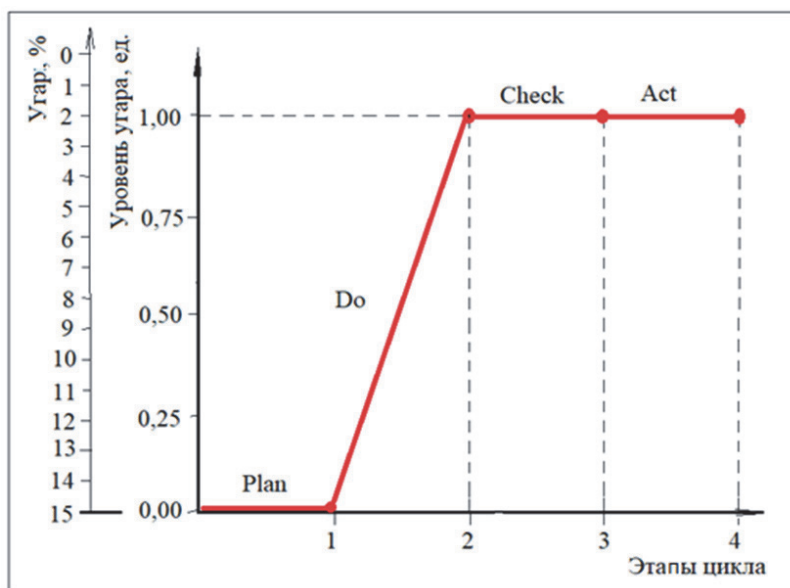


Рис. 3. Изменение уровня угара чугунолитейной стружки по циклу улучшения Деминга

графитовыми электродами дали эффект синергии [12, с.141], который выражается в низком угаре металла. Совмещение преимущественных свойств, присущих каждой отдельной печи, создало благоприятные условия для проявления принципа эмерджентности. Созданная печь обладает уникальным качеством, присущим только самой печи – плавить чугунолитейную стружку с минимальными потерями на угар.

Четвёртый этап (Act) – внедрение результатов. На базе ООО «Энерготехсервис», г. Набережные Челны, был создан опытный литейный участок, на котором переплав чугунолитейной стружки осуществлялся в печи электрошлакового переплава с графитовыми электродами. Графическое изображение процесса получения эффекта синергии при переплаве чугунолитейной стружки по циклу улучшения Деминга приведено на рисунке 3. На координатной оси (y) отложены значения уровня угара, соответствующие проценту угара чугунолитейной стружки, на координатной оси (x) – этапы цикла. Приведенные значения уровня угара изменяются в пределах от 0 до 1; при этом значение «0» соответствует максимальному уровню угара чугунолитейной стружки в исследованном цикле; значение «1» – минимальному уровню угара чугунолитейной стружки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По мере развития инновационных процессов, ужесточения экологических требований, увеличения стоимости сырья, появления новых технологий и оборудования разработанная технология переплава чугунолитейной стружки сделала продукцию переработки литейно-механических производств экономически целесообразным по качеству и цене и позволила повысить

ресурсосберегающие и природоохранные показатели чугунолитейного литья при обеспечении заданных механических свойств и структуры отливок.

Организация производства на базе предложенной методологии решения проблем, представляющей собой детализированный вариант цикла улучшения Plan - Do - Check - Act (PDCA) Деминга применительно к технологии переплава чугунолитейной стружки, дает ощутимый эффект, так как экономия от каждой тонны переплавленной чугунолитейной стружки возрастает в 1,3 раза, что является проявлением синергетического эффекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бех, Н.И. Технология художественного литья: Учеб./ Н.И.Бех, М.А.Иоффе, О.Н. Магницкий, Ри Хосен, В.И. Куманин, С.П. Герасимов [под ред. Ри Хосена]. – СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2006. – 455 с.
2. Кривицкий, В.С. Об экологических проблемах литейного производства / В.С. Кривицкий // Литейное производство. – 1998. – №1. – С.35-36.
3. Кац, А.М. Критерии эффективности и тенденции развития печей для переплава лома и отходов цветных металлов и сплавов / А.М. Кац, Б.С. Чайкин, Е.М. Панов, В.Г. Верейн // Цветные металлы. – 2000. – №4. – С.131-135.
4. Глудкин, О.П. Всеобщее управление качеством: учебник для вузов / О.П. Глудкин, Н.М. Горбунов, А.И. Гуров, Ю.В. Зорин [под ред. О. П. Глудкина]. М.: Радио и связь, 1999. 600 с.
5. Яскевич, И.А. Еще раз о дуговых печах постоянного тока / И.А. Яскевич // Литейное производство. – 2001. – №1. – С.30-31.
6. Зубер, Д.Л. Электрошлаковая гарнисажная печь для переработки металлосодержащих промышленных отходов / Д.Л. Зубер, О.А. Коченюк, М.Г. Рябков, Ю.Б. Петров, М.Н. Кудряш, Ю.Ю. Петелин // Электрометаллургия. – 1999. – №4. – С.35-36.
7. Переборщиков, С.И. Особенности изготовления

- полых заготовок электрошлаковым литьем / С.И. Переборщиков, А.Н. Хабаров, Г.В. Калюжный // Литейное производство. – 1999. – № 4. – С.16-17.
8. Овсов, И.С. Агрегат дуговых печей постоянного тока для плавки чугуна стружки / И.С. Овсов, В.С. Малиновский, Д.А. Мирионков, Л.В. Ярных // Литейное производство. – 2003. – №4 – С.23-24.
 9. Бондорик, Н.Е. Организация работы плавильных агрегатов в плавильных цехах / Н.Е. Бондорик, Л.С. Леонов, В.Л. Рассудов // Литейное производство. – 2007. – №11. – С.27-29.
 10. Пат. 72227 РФ. Установка электрошлакового переплава чугуна стружки / Р.Д. Фарисов, А.Г. Панов; заявл. 18.10.2007; опубл.10.04.2008. Бюл. №10.
 11. Грачев, В.А. Электрошлаковая обработка чугуна / В.А. Грачев, Н.А. Горелов // Литейное производство. – 1995. – № 4-5. – С.15.
 12. Хакен, Г. Тайны природы. Синергетика: учение о взаимодействии / Г. Хакен. – Москва–Ижевск.: Институт компьютерных исследований, 2003. – 320 с.

IMPORTANT ASPECTS OF CAST IRON QUALITY MANAGEMENT

© 2022 R.D. Farisov¹, M.A. Ioffe², V.N. Kozlovskiy³

¹ PJSC KAMAZ, Naberezhnye Chelny, Russia

² Lite-Servis LLC, Saint Petersburg, Russia

³ Samara State Technical University, Samara, Russia

Based on the problem-solving methodology, which is a detailed version of Deming's Plan-Do-Check-Act (PDCA) improvement cycle, an innovative production facility for the remelting of fine metal-containing waste using an efficient, resource-saving technology has been created. In the developed furnace for electroslag remelting with graphite electrodes, the loss of metal for waste was 2%. The technology of electroslag remelting is distinguished by the presence of a layer of highly superheated slag, which protects the melt from oxidation. At the same time, significant savings in raw materials, energy and labor resources have been achieved. At the same time, a significant increase in resource-saving and environmental indicators of the quality of cast iron is ensured, while maintaining the functional indicators of castings at a given level.

Keywords: quality indicators; resource saving; cast iron; shavings; remelting; low burn; synergy.

DOI: 10.37313/1990-5378-2022-24-3-69-75

REFERENCES

1. Bekh, N.I. Tekhnologiya hudozhestvennogo lit'ya: Ucheb. / N.I. Bekh, M.A. Ioffe, O.N. Magnickij, Ri Hosen, V.I. Kumanin, S.P. Gerasimov [pod red. Ri Hosena]. – SPb.: Izd-vo Politekhnikeskogo un-ta, 2006. – 455 s.
2. Krivickij, V.S. Ob ekologicheskikh problemah litejnogo proizvodstva / V.S. Krivickij // Litejnoe proizvodstvo. – 1998. – №1. – С.35-36.
3. Kac, A.M. Kriterii effektivnosti i tendencii razvitiya pechej dlya pereplava loma i othodov cvetnyh metallov i splavov / A.M. Kac, B.S. Chajkin, E.M. Panov, V.G. Verein // Cvetnye metally. – 2000. – №4. – С.131-135.
4. Gludkin, O.P. Vseobshchee upravlenie kachestvom: uchebnik dlya vuzov / O.P. Gludkin, N.M. Gorbunov, A.I. Gurov, Yu.V. Zorin [pod red. O. P. Gludkina]. M.: Radio i svyaz', 1999. 600 s.
5. Yaskevich, I.A. Eshche raz o dugovyh pechah postoyannogo toka / I.A. Yaskevich // Litejnoe proizvodstvo. – 2001. – №1. – С.30-31.
6. Zuber, D.L. Elektroshlakovaya garnisazhnaya pech' dlya pererabotki metallosoderzhashchih promyshlennyh othodov / D.L. Zuber, O.A. Kochenyuk, M.G. Ryabkov, Yu.B. Petrov, M.N. Kudryash, Yu.Yu. Petelin // Elektrometallurgiya. – 1999. – №4. – С.35-36.
7. Pereborshchikov, S.I. Osobennosti izgotovleniya polyh zagotovok elektroshlakovym lit'em / S.I. Pereborshchikov, A.N. Habarov, G.V. Kalyuzhnyj // Litejnoe proizvodstvo. – 1999. – № 4. – С.16-17.
8. Ovsov, I.S. Agregat dugovyh pechej postoyannogo toka dlya plavki chugunnoj struzhki / I.S. Ovsov, V.S. Malinovskij, D.A. Mirionkov, L.V. Yarnyh // Litejnoe proizvodstvo. 2003. №4 С.23-24.
9. Bondorik, N.E. Organizaciya raboty plavil'nyh agregatov v plavil'nyh cehah / N.E. Bondorik, L.S. Leonov, V.L. Rassudov // Litejnoe proizvodstvo. 2007. №11. С.27-29.
10. Пат. 72227 РФ. Установка электрошлакового переплава чугуна стружки / R.D. Farisov, A.G. Panov; заявл. 18.10.2007; опубл.10.04.2008. Бюл. №10.
11. Grachev, V.A. Elektroshlakovaya obrabotka chuguna / V.A. Grachev, N.A. Gorelov // Litejnoe proizvodstvo. 1995. № 4-5. С.15.
12. Haken, G. Tajny prirody. Sinergetika: uchenie o vzaimodejstvii / G. Haken. – Moskva–Izhevsk.: Institut komp'yuternyh issledovaniy, 2003. – 320 s.

Risun Farisov, Candidate of Engineering Sciences, Chief Specialist. E-mail: risun@mail.ru

Mikhail Ioffe, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Technical Director. E-mail: risun@mail.ru

Vladimir Kozlovskiy, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Theoretical and General Electrotechnics. Kozlovskiy-76@mail.ru