

УДК 621.74

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-7-302-26-30

*И. О. Леушин, Л. И. Рябова, У. Ш. Вахидов, А. Ю. Субботин, А. А. Шилиев***ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛА ИЗНОШЕННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН
ДЛЯ НАУГЛЕРОЖИВАНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО ЧУГУНА
ИНДУКЦИОННОЙ ВЫПЛАВКИ****Нижегородский государственный технический университет****им. Р. Е. Алексеева**

e-mail: igoleu@yandex.ru

Важнейшей операцией выплавки синтетического чугуна является науглероживание стального расплава, осуществляемое с помощью карбюризатора, или науглероживателя, – материала, содержащего углерод. При выборе материала карбюризатора на производстве руководствуются такими требованиями к нему, как высокая скорость и степень усвоения углерода расплавом, низкая зольность, а также небольшой расход, доступность и минимальная цена. Авторами статьи выполнен критический анализ вариантов карбюризатора по материалам открытых источников. В центре их внимания находится задача замены использования дефицитных углеродсодержащих материалов в качестве карбюризатора для науглероживания синтетического чугуна без снижения его качества в части эффективности науглероживания металла и чистоте получаемого чугуна по примеси серы, а также повышения экологической безопасности за счет использования в литейно-металлургическом производстве углеродсодержащих отходов промышленного происхождения. Предложен карбюризатор для науглероживания синтетического чугуна, не требующий длительной и трудоемкой подготовки к применению, характеризующийся доступностью, высокой степенью усвоения углерода расплавом и небольшим расходом, представляющий собой изношенные автомобильные шины, разделанные до кусков размерами 5,0–50,0 см. Проведенные опытно-промышленные испытания материала подтвердили эффективность его использования и целесообразность внедрения.

Ключевые слова: синтетический чугун, карбюризатор, индукционная плавка, изношенные автомобильные шины

*I. O. Leushin, L. I. Ryabova, U. Sh. Vakhidov, A. Yu. Subbotin, A. A. Shilyaev***THE USE OF THE MATERIAL OF WORN CAR TIRES FOR CARBON
MONOXIDE OF SYNTHETIC CAST IRON OF INDUCTION MELTING****Nizhniy Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev**

The most important surgery for the smelting of synthetic cast iron is the speed of a steel melt, carried out using a carburizer, or a carbonate - material containing carbon. When choosing the material of the carburizer in production, they are guided by such requirements for it as high speed and degree of assimilation of carbon by melt, low ash content, as well as low consumption, availability and minimum price. The authors of the article performed a critical analysis of the variants of the carburizer based on the materials of open sources. The focus of their attention is the task of replacing the use of scarce carbon-containing materials as a carburizer for scum for synthetic cast iron without reducing its quality in terms of the efficiency of the metal of the metal and the purity of the resulting impurities of sulfur, as well as the increase in environmental safety due to the use of carbon-containing waste-containing waste of industrial origin. A carburizer for carburization of synthetic cast iron has been proposed, which does not require long-term and time-consuming preparation for use, characterized by accessibility, a high degree of assimilation of carbon by melt and a small consumption, which is worn out car tires, cut to pieces of 5,0–50,0 cm in size. Conducted experimental tests of the material confirmed the efficiency of its use and expediency implementation.

Keywords: synthetic cast iron, carburizer, induction melting, worn car tires

Как известно, синтетическим принято считать чугун с заданным химическим составом и физико-механическими свойствами, полученный путем металлургического обогащения стального расплава углеродом, кремнием, марганцем и другими химическими элементами в необходимых пропорциях, а также высокотемпературной обработки [1–2].

Из такого чугуна изготавливают различные детали ответственного и особо ответственного назначения, например, локомотивные и вагонные колодки, фрикционные клинья, коленчатые валы, блоки цилиндров, головки блока двигателей внутреннего сгорания и другие, работающие при высоких силовых нагрузках и повышенных температурах.

Выплавка синтетического чугуна чаще всего ведется в электрических индукционных печах. При этом в составе шихты используют стальной лом, возврат собственного производства, листовую обрезь, высежку тонколистовой стали, стружку и другие низкосортные дешевые стальные отходы. Для доводки химического состава чугуна по отдельным элементам применяют соответствующие ферросплавы и карбюризаторы, а в некоторых случаях для улучшения характеристик выплавляемого чугуна, например, по содержанию в расплаве газов и неметаллических включений – технологические добавки и присадки.

Важнейшей операцией выплавки синтетического чугуна является науглероживание стального расплава, осуществляемое с помощью карбюратора, или науглероживателя. – материала, содержащего углерод. При выборе материала карбюратора на производстве руководствуются такими требованиями к нему, как высокие скорость и степень усвоения углерода расплавом, низкая зольность, а также небольшой расход, доступность и минимальная цена.

Традиционно в качестве карбюратора используют отходы производства графитовых изделий, например, графитовых электродов для дуговых электропечей, природный графит, кокс, термоантрацит. Однако эти материалы имеют недостатки. Отходы производства графитовых изделий и природный графит, имея невысокую зольность (до 0,5 %) и небольшой расход, при условии подбора соответствующего гранулометрического состава обеспечивают достаточно высокую и стабильную степень усвоения углерода стальным расплавом, достигающую уровня 75–95 %, быстро растворяясь в металле, но относятся к дефицитным и достаточно дорогим материалам. Кокс и термоантрацит также дефицитны и дороги, но в дополнение к этому характеризуются относительно большим расходом, высокой зольностью (8–15 %), низкой степенью усвоения углерода (60–75 %), а также содержат в своем составе повышенное количество серы (0,5–1,5 %), являющейся для чугуна вредной примесью и препятствующей эффективному модифицированию [1].

В открытых информационных источниках встречаются упоминания об использовании в качестве карбюратора синтетического чугуна и других углеродсодержащих техногенных отходов. Так, например, авторами защищенного технического решения [3] предлагается

к практической реализации способ производства синтетического графитизированного чугуна, согласно которому в процессе выплавки металл охлаждают до 1380–1420 °С, сливают в ковш, в который предварительно загружают ферросилиций и отсеивают сухой тушения кокса, в количестве 0,5–1,0 кг на тонну металла. Известно и об опыте использования в качестве карбюратора для науглероживания синтетического чугуна обезвоженных «хвостов» от флотации угольной «пены» с электролизных ванн алюминиевого производства [4]. Их общими недостатками являются труднодоступность материала, повышенный расход углеродсодержащего материала и низкая степень усвоения углерода металлическим расплавом, а для [4] еще и неконтролируемое присутствие в составе карбюратора фторидов натрия, кальция, магния и глинозема, неизбежно повышающее зольность и шлакообразование при выплавке чугуна, и необходимость дополнительных операций окомкования или брикетирования материала перед применением по причине неподходящего исходного состояния (пена, мелкодисперсная осыпь).

Заслуживают внимания и решения, ориентированные на интенсификацию процесса науглероживания синтетического чугуна. Так, например, в 2006 году группой исследователей Нижегородского государственного технического университета совместно с представителями ОАО «РУМО» (г. Нижний Новгород) для повышения скорости и увеличения степени усвоения углерода, исключения спелеобразования и снижения содержания серы в металле в ходе индукционной плавки на синтетический чугун было предложено совместно со штатным карбюратором – традиционным углеродсодержащим материалом – вводить на зеркало металла карбонаты щелочноземельных металлов [5, 6].

По мнению авторов разработки, основная роль здесь отводится ряду известных химических реакций газификации углерода и взаимодействия углерода с оксидами железа, а также гетерофазной реакции цементации с участием газовой фазы CO и CO₂, при которой осуществляется переход углерода в жидкую фазу по реакции Белла-Будуара. Данный способ производства синтетического чугуна не получил широкого практического распространения из-за сложности обеспечения необходимых температурных диапазонов протекания ключевых химических реакций при ведении индукционной плавки.

В последние годы на производстве для одновременных науглероживания и модифицирования металлического расплава на синтетический чугун активно применяют комплексные смеси, содержащие углерод и кремний в определенном соотношении и довольно широких интервалах. При этом, например, согласно [7], кремний содержится в составе смеси в виде карбида кремния металлургического и/или его шламов, а углерод – в виде термообработанных углеродсодержащих материалов электродного производства и/или графита.

Однако такой подход тоже не свободен от очевидных минусов. Дело в том, что закись железа (FeO), неизбежно присутствующая в металлической части шихты, кремнием восстанавливается при температурах, меньших 1500°C , а углеродом – соответственно больших этого уровня. В этой связи одновременное присутствие в составе комплексной смеси углерода и кремния существенно увеличивает риски повышенного угара углерода и, как следствие, снижения эффективности науглероживания. Помимо этого достаточно широкий диапазон содержания углерода и кремния в комплексной смеси не способствует стабильности, достаточности степени усвоения углерода металлическим расплавом и надежности получения чугуна требуемых химического состава и структуры.

Авторами данной статьи ставилась задача замены использования дефицитных углеродсодержащих материалов в качестве карбюризатора для науглероживания синтетического чугуна без снижения его качества в части эффективности науглероживания металла и чистоте получаемого чугуна по примеси серы, а также повышения экологической безопасности за счет использования в литейно-металлургическом производстве углеродсодержащих отходов промышленного происхождения. В результате ее решения нужно было предложить для применения в производстве карбюризатор для науглероживания синтетического чугуна, не требующий длительной и трудоемкой подготовки к применению, характеризующийся доступностью, высокой степенью усвоения углерода расплавом и небольшим расходом.

Свое внимание исследователи обратили на материал изношенных автомобильных шин – весьма распространенного отхода техногенного происхождения, запасы которого практически неисчерпаемы. По данным информационно-аналитического агентства Cleandex, ежегодно

в России выбрасывается более 1 млн т изношенных автопокрышек и с увеличением выпуска автомобилей этот объем только вырастет [8]. Из всех изношенных автомобильных шин только малая часть идет на переработку, остальная – на захоронение, требующее расширения действующих или создания новых полигонов для этих техногенных отходов. Отсюда остро стоит задача их рециклинга с целью повторного использования.

В то же время основным компонентом состава изношенных автомобильных шин является синтетическая резина, или резиновая смесь. Ее доля в материале шин легковых автомобилей достигает 86 %, соответственно грузовых – 85 % и более. Кроме нее в составе шин имеются стальная проволока, удерживающая обод (для легковых автомобилей до 10 %, грузовых до 15 %), и текстильный корд (для легковых автомобилей около 4 %, грузовых – менее 0,05 %). В свою очередь синтетическая резина более чем на 90 % представляет собой высокомолекулярный углеводород, претерпевающий термодеструкцию в интервале температур $300\text{--}700^\circ\text{C}$, выделяющий углерод и воду в условиях недостатка кислорода. Все это дает достаточные основания считать, что материал изношенных автомобильных шин, как содержащий в своем составе высокую долю углерода, имеет существенный потенциал для использования в качестве карбюризатора.

Для проверки данной гипотезы выполняли опытно-экспериментальную работу. На предварительном этапе с целью подготовки к использованию изношенные автомобильные шины разделяли на фрагменты на площадке специализированного предприятия. Разделка была необходима для получения кусков требуемого размера и отделения резиновой и текстильной составляющих материала шин от стальной проволоки. Наименее затратным из известных способов такой разделки является механический, предусматривающий последовательно вырезку бортового кольца на борторезательном станке с последующим выжиманием стальной проволоки из вырезанного кольца шины с помощью специального станка; разгонку, или развертку, – резку шины дисковыми ножницами на длинную ленту шириной 3–5 см по спирали и рубку полученной ленты на куски требуемого размера механическими ножницами или на чипсоре. Резка автошин на кольца или по спирали может быть выполнена гидравлическими ножницами,

прессами-гильотинами или механическими резаками. Возможна разделка шин сегментным способом.

Дополнительно оценивали зольность материала методом сжигания согласно ГОСТ ISO 247-1–2021. Массовая доля золы изношенных автомобильных шин по результатам измерений оказалась равной 11 %, что соответствует уровню этого показателя для кокса и термоантрацита и существенно превышает таковой для отходов графитовых изделий.

После этого проводили серию опытных плавков синтетического чугуна из расчета на 100 кг на марку СЧ25 ГОСТ 1412 в индукционной печи ИСТ-016 для определения оптимальных размеров кусков карбюризатора. Предварительно механически разделанные куски изношенных автомобильных шин загружали

в рабочую емкость печи и засыпали стальной высечкой. По ходу плавки регулярно снимали шлак. Модифицирование получаемого чугуна проводили в ковше ферросиликобариом марки ФС65Ба4 ТУ 14-5-160–2006 при температуре 1450 °С, затем металл разливали в литейные формы из холодно-твердеющей смеси.

Для различных размеров фракции карбюризатора фиксировали длительность проведения плавки, фактический расход карбюризатора и степень усвоения углерода карбюризатора металлом, кроме того контролировали содержание серы в получаемом чугуне и глубину отбела на клиновой технологической пробе.

Для сравнения испытывали бой графитовых электродов дуговых электропечей размерами 5,0–10,0 см. Результаты представлены в таблице.

Результаты испытаний

Показатели технологии	Бой графитовых электродов дуговых электропечей	Изношенные автомобильные шины				
		1	2	3	4	5
Размер кусков, см	5,0–10,0	менее 5,0	5,0–10,0	10,0–30,0	30,0–50,0	более 50,0
Длительность плавки, мин	30	40	30	30	25	40
Фактический расход карбюризатора на плавку, кг	2,0	3,5	2,0	2,0	2,0	4,3
Степень усвоения углерода металлом, %	75	64	77	90	82	60
Глубина отбела чугуна по клиновой пробе, мм	10	20	7	5	8	15
Содержание серы в чугуне, % (согласно ГОСТ 1412 не более 0,15 %)	0,07	0,13	0,08	0,08	0,07	0,12
Особенности плавки	активное шлакообразование	активное шлакообразование и выделение дыма	–	–	–	спелеобразование при выпуске металла в ковш и литейные формы

Как показали опытные плавки, использование кусков изношенных автомобильных шин размерами менее 5,0 см приводит к существенному снижению степени усвоения углерода, активному шлакообразованию и выделению дыма, а применение кусков размерами более 50,0 см затрудняет их полную засыпку металлической частью шихты при подготовке к ведению плавки и способствует спелеобразованию при выпуске металла в ковш и литейные формы, что в конечном итоге уменьшает степень усвоения углерода расплавом.

Наилучшие результаты по степени усвоения углерода металлом и глубине отбела на клиновой пробе показали варианты 2–4, соответствующие размерам кусков изношенных автомобильных шин 5,0–50,0 см.

Для них длительность плавки до достижения необходимой марки чугуна составила 25–30 мин, расход карбюризатора – 2,0 кг на 100 кг металла при удовлетворительном содержании серы в металле.

Выводы

С целью применения в действующем производстве предложен карбюризатор для науглероживания синтетического чугуна, не требующий длительной и трудоемкой подготовки к применению, характеризующийся доступностью, высокой степенью усвоения углерода расплавом и небольшим расходом, представляющий собой изношенные автомобильные шины, разделанные до кусков размерами 5,0–50,0 см. Проведенные опытно-промышленные испытания материала подтвердили эффективность его использования и целесообразность внедрения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шумихин, В. С. Синтетический чугун / В. С. Шумихин, П. П. Лузан, М. В. Жельнис. – Киев : Наукова думка, 1971. – 159 с.
2. Разработка эффективной технологии получения синтетического чугуна в индукционной тигельной печи / М. Р. Туракулов [и др.] // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. – 2022. – № 6 (99). – URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/13923> (дата обращения: 15.05.2025).
3. Патент 2186123 Российская Федерация, МПК C21C 1/10, C21B 11/10. Способ производства синтетического графитизированного чугуна / Курганов В. И. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ОАО «Северсталь». – № 200012544/02, заявл. 26.09.2000; опубл. 27.02.2002.
4. Авторское свидетельство СССР 1018976, МПК C21C 1/10. Карбюризатор для науглероживания синтетического чугуна / Нейгебауэр Г. О. [и др.] ; заявители и патентообладатели Нейгебауэр Г. О. [и др.]. – № 3380268, заявл. 11.01.1982; опубл. 23.05.1983.
5. Патент 2324742 Российская Федерация, МПК C21C 1/10. Способ производства синтетического чугуна / Егоров В. А. [и др.] ; заявители и патентообладатели ОАО «РУМО», ГОУ ВПО Нижегородский государственный технический университет. – № 2006126857/02, заявл. 24.07.2008; опубл. 20.05.2008. Бюл. № 14.
6. Влияние газовой фазы на процесс науглероживания / И. О. Леушин, Н. Ю. Голубев, С. В. Калистов [и др.] // Литейщик России. – 2007. – № 7. – С. 23–26.
7. Патент № 2395589 Российская Федерация, МПК C21C 1/00, C21C 1/10. Способ выплавки железоуглеродистых сплавов в индукционных печах [Текст] / Подольчук А. Д. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ООО «НЛАН». – № 2007129387/02, заявл. 01.08.2007 ; опубл. 27.07.2010, Бюл. № 21.
8. Информационно-аналитическое агентство Cleandex [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cleandex.ru/> (дата обращения: 10.05.2025).