



УДК 621.745

Поступила 18.04.2018

СОЗДАНИЕ СОБСТВЕННОЙ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ДЛЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

С. Л. РОВИН, УП «Технолит», г. Минск, Беларусь, ул. Я. Коласа, 24. E-mail: technolit@tut.by,
Л. Е. РОВИН, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, г. Гомель,
Беларусь, пр. Октября, 48. E-mail: kaf_metallurgy@gstu.by,
А. С. КАЛИНИЧЕНКО, Л. П. ДОЛГИЙ, В. А. ШЕЙНЕРТ, Белорусский национальный технический
университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: akalinichenko@bntu.by

Статья посвящена проблеме переработки дисперсных металлоотходов, образующихся на машиностроительных предприятиях. Предлагаемое решение проблемы – рециклинг в ротационных наклоняющихся печах (РНП) с получением высококачественных шихтовых материалов (шихтовых слитков) или литейных сплавов непосредственно на предприятиях, где эти отходы образуются. Представлены результаты опытно-экспериментальных плавов серого чугуна в индукционной тигельной печи с заменой традиционных шихтовых материалов на чушку, полученную из стружки, окалина, шлама и т.п. в РНП.

Ключевые слова. Рециклинг, дисперсные металлоотходы, ротационные наклоняющиеся печи, шихтовые материалы для литейного производства.

Для цитирования. Ровин, С. Л. Создание собственной сырьевой базы для литейного производства машиностроительных предприятий / С. Л. Ровин, Л. Е. Ровин, А. С. Калинин, Л. П. Долгий, В. А. Шейнерт // Литье и металлургия, 2018. Т. 91. № 2. С. 29–36.

CREATION OF OWN RAW-MATERIAL BASE FOR FOUNDRY PRODUCTION ON MACHINE-BUILDING ENTERPRISES

S. L. ROVIN, «Technolit» Co, Minsk, Belarus, 24, Kolasa str. E-mail: technolit@tut.by,
L. E. ROVIN, Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoj, Gomel, Belarus, 48, Ocyabrya ave.
E-mail: kaf_metallurgy@gstu.by,
A. S. KALINICHENKO, L. P. DOLGY, V. A. SHEINERT, Belarusian National Technical University, Minsk,
Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: akalinichenko@bntu.by

The article is devoted to the problem of processing dispersed metal wastes, generated at machine-building enterprises. The proposed solution of the problem is recycling in rotary tilting furnaces (RTF) with the production of high-quality charge materials (charge ingots) or foundry alloys directly at the enterprises where these wastes are formed. The results of experimental meltings of gray iron in induction crucible furnace with the replacement of traditional charge materials with ingots, obtained from chips, scale, sludge, etc. in the RTF are presented.

Keywords. Recycling, dispersed metal wastes, rotary tilting furnaces, charge materials for foundry production.

For citation. Rovin S. L., Rovin L. E., Kalinichenko A. S., Dolgy L. P., Sheinert V. A. Creation of own raw-material base for foundry production on machine-building enterprises. Foundry production and metallurgy, 2018, vol. 91, no. 2, pp. 29–36.

Введение

Одной из глобальных проблем современного литейного производства является дефицит и рост цен на качественные шихтовые материалы. В то же время абсолютное большинство литейных цехов на постсоветском пространстве входит в структуру машиностроительных предприятий, чье металлургическое и металлообрабатывающее производство являются источником большого количества разнородных металлоотходов, большую часть которых составляют дисперсные отходы, содержащие железо (стружка, мелкий скрап, отходы дроби, окалина, шламы, аспирационная пыль плавильных и механических участков и т.д.). При этом только кусковой лом (бракованные детали и отливки, литниково-питающие системы, элементы металлоконструкций, изношенное и демонтированное оборудование и т.п.) и в определен-

ной степени стружка и скрап (55–60%) возвращаются в производство [1]. Что же касается оксидных и многокомпонентных металлоотходов, то все они, практически в полном объеме, остаются в отвалах предприятий, не только безвозвратно исчезая из металлооборота, но и создавая серьезную экологическую угрозу. Традиционное оборудование, которым располагают сегодня литейные цеха, не позволяет рентабельно перерабатывать дисперсные материалы. В то же время многие из этих отходов (не только стружка, но и окалина, шламы, некоторые аспирационные пыли) по содержанию железа не уступают и даже превосходят железорудные концентраты (табл. 1).

Таблица 1. Химический состав (%) характерных железосодержащих отходов белорусских машиностроительных предприятий

Наименование отходов (завод-источник)	Fe _{мет}	Fe _{общ}	FeO	Fe ₂ O ₃	C	Mn	Cr	Ni	Cu	S	Si	P
Стружка углеродистой стали (ОАО «МАЗ»)	95,2	97,0	1,0	1,5	0,42	0,6	0,25	0,2	0,15	0,03	0,3	0,03
Стружка чугунная (ОАО «МЗОО»)	81	87,0	4,2	3,6	3,4	0,8	0,08	0,08	0,03	0,12	1,8	0,17
Пыль распиловки заготовок (ОАО «ММЗ», г. Могилев)	76,4	84,1	3,0	9,0	0,93	0,61	0,08	0,06	0,18	0,5	0,3	0,01
Пыль аспирационная механической обработки (ОАО «МТЗ»)*	13,0	59,0	30,6	31,8	0,6	0,65	0,25	0,15	0,12	0,05	0,5	0,03
Шлам металлообработки (ОАО «МТЗ»)*	49,7	63,2	6,3	12,4	0,6	0,64	0,12	0,12	0,15	0,06	0,21	0,04
Пыль аспирационная ДСП СЛЦ (ОАО «МАЗ»)**	0,4	24,9	13,7	20	1,7	2,4	0,8	0,2	0,1	0,35	0,28	0,03
Аспирационная пыль вагранок (ОАО «МАЗ»)**	–	18,5	16,5	8,1	36,3	0,55	0,2	–	–	2,4	16,2	0,06
Шлам инструментального пр-ва (Гомсельмаш)*	47,1	52,7	3,6	4,0	3,2	0,92	1,8	0,7	0,2	0,02	0,15	0,03
Окалина кузнечного цеха (ОАО «МПЗ»)	2,3	73,0	61	34,3	0,15	0,43	0,04	0,05	0,15	0,02	0,13	0,01
Пыль аспирационная дробеструйного устройства (ОАО «МТЗ»)	36	80,6	38,0	22,0	0,42	0,89	0,14	0,07	0,20	0,02	0,52	0,05
Рудный концентрат	0,8	69,5	60,1	34,2								

* В пыли и шламах металлообработки содержится до 15–30% абразива, состоящего на 90–92% из Al₂O₃, в шламах инструментального производства содержится до 8–10% соединений легирующих элементов: V, W, Mo, Ti и др.

** В состав пыли аспирационной плавильных печей входят также SiO₂, Al₂O₃, CaO, MgO, ZnO и др.

Рециклинг дисперсных металлоотходов в ротационных наклоняющихся печах

Перспективу комплексного решения проблемы утилизации дисперсных металлосодержащих отходов машиностроительных предприятий открывает применение ротационных наклоняющихся печей (РНП). РНП нового поколения с управляемым вектором газового потока, разработанные научно-производственным предприятием «Технолит» в сотрудничестве с ГГТУ им. П. О. Сухого, позволяют эффективно перерабатывать разнородные дисперсные отходы как черных, так и цветных сплавов, в том числе оксидные и многокомпонентные, без их подготовки (очистки, сушки, гомогенизации) и окомкования, с получением высококачественных шихтовых материалов (слитков) или литейных сплавов (рис. 1) [2].

В отличие от обычных короткобарабанных печей с прямолинейным движением газов в разработанных РНП поток движется по сложной винтовой петлеобразной траектории, что обеспечивает многократное увеличение пути и соответственно времени пребывания горячих газов в рабочем пространстве печи. Во вращательном движении скорости газового потока относительно поверхности материала в 5–8 раз превышают его осевую скорость, достигая 25–30 м/с, что интенсифицирует конвективный теплообмен между газами и материалом и благодаря циклонному эффекту позволяет значительно (в 1,5–2,0 раза) уменьшить вынос из печи мелких фракций. Дисперсный материал в РНП, вращающихся под углом 12–18°



а

б

в

Рис. 1. Ротационные печи, разработанные УП «Технолит»: а – РНП для переработки чугунной стружки, ОАО «ГЛЗ «ЦЕНТРОЛИТ» (г. Гомель); б – РНП для рециклинга свинца, ЗАО «КПВР СПЛАВ» (г. Рязань, РФ); в – опытно-промышленная РНП для рециклинга окалины и металлургического шлама, ОАО «БМЗ» (г. Жлобин)

к горизонту, в отличие от барабанных печей с горизонтальной осью вращения интенсивно перемешивается не только в радиальном, но и в осевом направлении. Постоянное обновление (перемешивание) слоя и его интенсивная продувка турбулентным газовым потоком многократно ускоряют процессы массопереноса и теплообмена: в РНП объемный коэффициент теплопередачи (α_v) достигает 2000–3000 Вт/(м³·К), что почти на три порядка выше, чем в неподвижном слое материала в стационарных печах отражательного типа, где $\alpha_v = 3\text{--}5$ Вт/(м³·К). Тепловой КПД РНП при нагреве и расплавлении дисперсных материалов достигает 50–55%, что в 2–3 раза выше, чем в индукционных, дуговых или короткобарабанных печах [3].

К преимуществам РНП относятся возможность работы на жидком и газообразном топливе, применение в качестве восстановителей любых углеродсодержащих материалов, в том числе отходов (например, отсева кокса или лигнина), относительно низкая стоимость и простота изготовления, компактность, удобство обслуживания, высокая степень управляемости и активного ведения металлургических процессов.

Применительно к дисперсным железосодержащим отходам РНП позволяют реализовать следующие технологические схемы рециклинга [4]:

- Высокотемпературный безокислительный нагрев стружки и мелкого скрапа с последующим использованием горячей стружки при плавке металла в индукционных печах, при расходе природного газа в пределах 8–14 м³/т продолжительность нагрева стружки до 700–800 °С составляет 15–20 мин, при этом удельные затраты электроэнергии на расплавление стружки снижаются в среднем на 220–250 кВт·ч/т.

- Переплавку металлических отходов (стружки, металлической пыли, мелкого скрапа и т. п.), которая включает в себя высокотемпературный безокислительный нагрев, расплавление, при необходимости науглероживание, выдержку, скачивание шлака и выдачу расплава в разливочный ковш или изложницы. Окисление металла при нагреве предотвращается благодаря высокой скорости нагрева (60–80 К/мин) и поддержанию восстановительной атмосферы в печи (добавление в завалку 6–8% твердого восстановителя и сжигание топлива с коэффициентом избытка воздуха $\alpha = 0,85\text{--}0,9$), продолжительность плавки составляет 40–50 мин (примерные удельные затраты материалов и энергоносителей на процесс плавки чугуна и смешанной стружки приведены в табл. 2).

- Восстановительную плавку оксидных и многокомпонентных отходов (окалины, аспирационной пыли, шламов и т.п.), которая в общем случае может быть условно разделена на два основных этапа: I – нагрев и твердофазное восстановление (ТВФ) железосодержащих отходов в восстановительной атмосфере (сжигание топлива осуществляется с $\alpha = 0,6\text{--}0,7$) в присутствии твердого восстановителя (отсев кокса, угля, антрацита, лигнина и т.п.) при температуре 1100–1200 °С, продолжительность этой стадии – 2,5–3 ч в зависимости от степени окисленности исходного сырья, по окончании ТВФ степень металлизации достигает 70–80%; II – повышение температуры до 1700–1800 °С (путем обогащения дутья кислородом до общего содержания 27–29%), расплавление, окончательное жидкофазное восстановление, при необходимости науглероживание расплава, выдержка до прекращения кипа, отделение шлака и слив металла в разливочный ковш или изложницы, продолжительность этой стадии – 40–50 мин.

Удельный расход железосодержащего сырья, флюсов, восстановителя, энергоносителей на восстановительную плавку изменяется пропорционально содержанию железа ($Fe_{\text{общ}}$) в исходном сырье (табл. 2). Выход металла составляет 85–90% от теоретически возможного, т.е. от общего содержания железа в перерабатываемых отходах.

Таблица 2. Удельные затраты материалов и энергоносителей на получение 1 т металла из железосодержащих отходов в РНП

Материалы и энергоносители	Удельный расход	
	стружка 1050–1100	окалина 1550–1700
Железосодержащее сырье, кг		
Восстановитель – коксик, электродный бой, отсев угля, лигнин, кг	70–90	600–700
Флюсы – известняк, доломит, плавиковый шпат, кг	55–65	100–150
Топливо – природный газ, м ³	80–90	200–220
Кислород, м ³	10–15	35–45
Электроэнергия, кВт·ч	5–6	15

Использование шихтовых материалов, полученных в РНП, для выплавки марочных литейных сплавов в электропечах

Полученный в результате рециклинга в РНП металл в зависимости от поставленной задачи может быть разлит в слитки (чушку) с последующим использованием в качестве шихты в традиционных пла-

вильных агрегатах литейных цехов; передан в жидком виде в электропечи для доводки – получения химического состава, соответствующего марочным сплавам; доведен до заданного состава непосредственно в РНП.

В литейном цехе БНТУ была организована серия экспериментальных плавок в индукционной тигельной печи повышенной частоты ИСТ-0,06 с выплавкой серого чугуна марок СЧ20, СЧ25 при частичной и полной замене традиционных компонентов металлошихты (чугунного и стального лома, переделного и литейного чугунов) на шихтовые слитки, полученные в РНП из окалины и металлургического шлама (состав использованной чушки приведен в табл. 3).

Таблица 3. Химический состав шихтовых слитков, использованных для проведения экспериментальных плавок СЧ

Номер плавки в РНП	Содержание компонентов, %											
	Fe _{общ}	Fe _{мет}	FeO	Fe ₂ O ₃	C	S	Mn	Si	P	Cr	Ni	Cu
2	97,0	93,8	4,2	–	1,7	0,2	0,1	0,15	0,016	0,020	0,12	0,1
3	96,0	95,2	1,1	–	2,3	0,07	0,02	0,05	0,011	0,004	0,10	0,23
4	97,8	97,8	0,2	–	1,3	0,14	0,01	0,17	0,012	0,010	0,11	0,22
8	93,8	88,5	4,5	1,1	3,8	0,05	0,02	0,45	0,022	0,015	0,12	0,34

Апробацию техпроцесса осуществляли при изготовлении опытной партии фасонных отливок «Крышка MRR» с толщиной стенок 8–15 мм из чугуна марки СЧ20 (рис. 2).

Составы шихты для экспериментальных плавок, состав традиционной шихты, использованной для получения контрольной партии отливок (контрольная плавка) приведены в табл. 4. При изготовлении опытной партии отливок состав шихты соответствовал плавке № 2. Плавки № 1 и 2 проводили с целью получения чугуна марки СЧ20, плавки № 3 и 4 – чугуна марки СЧ25. Угар основных элементов при проведении индукционной плавки составил: углерода и кремния – не более 5%, марганца – около 10%.

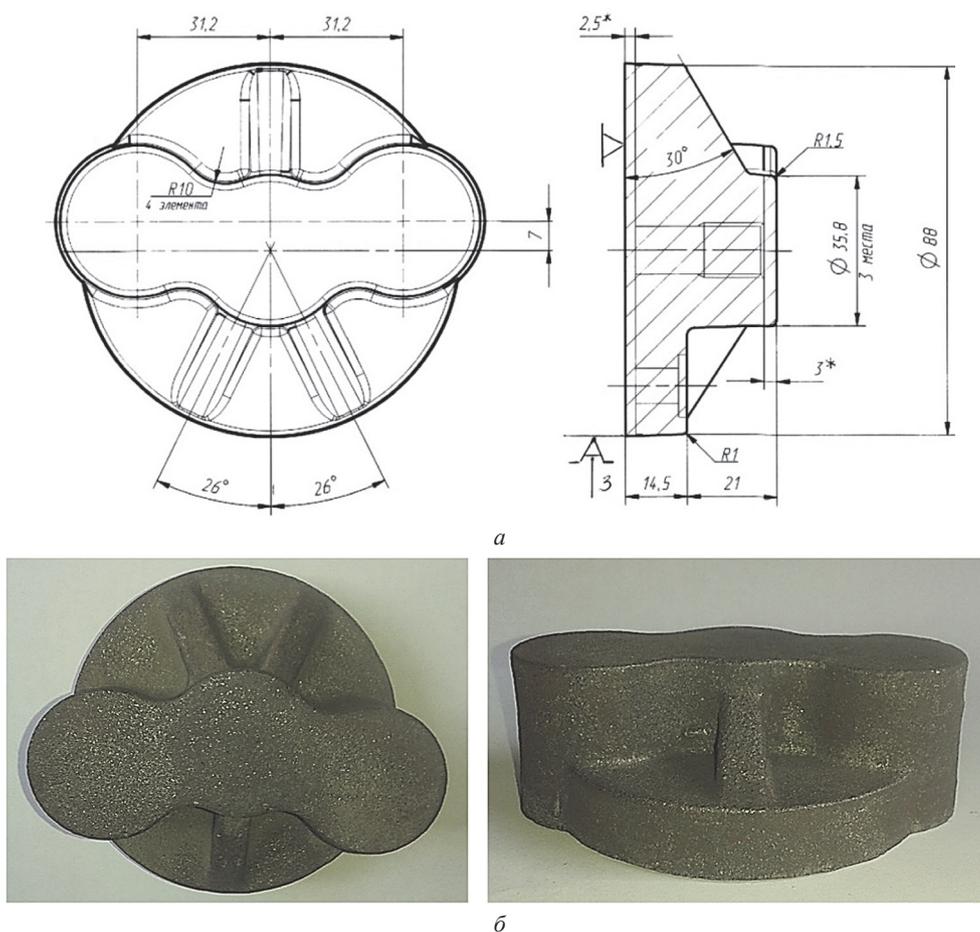


Рис. 2. Чертеж отливки «Крышка MRR» (а) и вид отливок, полученных в составе опытной партии (б)

Таблица 4. Составы шихты контрольной и опытно-экспериментальных плавов

Наименование компонентов шихты	Расход компонентов, %				
	опытно-экспериментальные плавки				контрольная плавка
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	
Возврат (ЛПС и брак отливок СЧ20)	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Металл из РНП (плавка № 2)	–	17,5	–	20	–
Металл из РНП (плавка № 3)	30,0	18,0	15	20	–
Металл из РНП (плавка № 4)	20,0	14,5	15	10	–
Металл из РНП (плавка № 8)	–	–	40	10	–
Лом стальной (Сталь 30)	–	–	–	–	20
Лом чугуна (СЧ15)	–	–	–	–	30
Чугун передельный ПЛ2	20,0	20,0	–	10	20
Всего металлозавалка	100	100	100	100	100
Сверх 100%:					
ферросилиций ФС75	0,52	0,60	0,53	0,46	–
ферросилиций ФС45	1,60	1,70	1,34	1,54	1,50
ферромарганец ФМн78	0,70	0,54	0,76	0,66	0,35
карбюризатор (электродный бой)	0,70	0,73	0,38	0,66	0,4

Из чугуна экспериментальных плавов отливали заготовки образцов по ГОСТ 24648-90 для проведения испытаний на растяжение (разрыв) и определение твердости по ГОСТ 27208-87, отбирали пробы для проведения анализа химического состава и определения плотности. Кроме того, отливали клиновые пробы на отбел, спиральную пробу на жидкотекучесть (проба Керри по ГОСТ 16438-70) и пробы на линейную усадку (отливали стержень сечением 20×20 мм и длиной между контрольными метками – 200 мм) [5]. Спираль Керри и пробу на линейную усадку заливали в сухую песчаную форму при температуре расплава 1370–1390 °С. Температуру контролировали с помощью переносной термопары ППП со сменными керамическими колпачками.

Для исследования состава образцов использовали оптико-эмиссионный спектрометр OBLF QSN750, энергодисперсионный спектрометр INCA-350, анализатор углерода АН7529, металлографический микроскоп МИМ-7, электронный сканирующий микроскоп TESCAN, твердомер ТШ-2М, универсальную разрывную машину Р-20.

Свойства чугуна экспериментальных плавов оценивали на соответствие требованиям ГОСТ 1412-85 и сравнивали с характеристиками контрольной плавки, выполненной с использованием стандартной технологии и традиционных шихтовых материалов. Полученные данные приведены в табл. 5–7.

Таблица 5. Химический состав чугуна контрольной, опытной и экспериментальных плавов

Материал	Массовая доля элементов, %							
	углерод	кремний	марганец	фосфор	сера	хром	никель	медь
Плавка № 1	3,37	1,81	0,95	0,090	0,10	0,031	0,082	0,15
Плавка № 2	3,34	1,93	0,86	0,070	0,13	0,036	0,085	0,12
Чугун опытной плавки	3,35	1,95	0,89	0,068	0,13	0,035	0,085	0,12
Чугун контрольной плавки	3,45	2,05	0,90	0,15	0,12	0,06	0,09	0,11
СЧ20 по ГОСТ 1412-85	3,3–3,5	1,4–2,4	0,7–1,0	≤0,2	≤0,15	–	–	–
Плавка № 3	3,31	1,75	0,84	0,087	0,10	0,038	0,11	0,23
Плавка № 4	3,27	1,74	0,79	0,080	0,11	0,037	0,097	0,15
СЧ25 по ГОСТ 1412-85	3,2–3,4	1,4–2,2	0,7–1,0	≤0,2	≤0,15	–	–	–

Таблица 6. Физико-механические и литейные свойства чугуна экспериментальных плавов

Номер плавки*	Физико-механические и технологические свойства					
	временное сопротивление при растяжении, МПа	твердость НВ	плотность, кг/м ³	линейная усадка, %	отбел, мм	жидкотекучесть (проба Керри), см
1	256, 265, 270	204; 191; 194	7120	1,0	7	112
2	270, 268, 260	200; 207; 197	7140	1,1	5	115
СЧ20 по ГОСТ 1412-85	≥200	≤230	7100	1,2	–	–
3	285, 280, 284	235, 240, 228	7180	1,2	9	110
4	270, 278, 276	232, 226, 220	7250	1,2	7	108
СЧ25 по ГОСТ 1412-85	≥250	≤245	7200	1,2	–	–

Таблица 7. Физико-механические свойства и структура отливок из опытной и контрольной партий, склонность к отбелу и жидкотекучесть чугуна

Наименование партии отливок	Номер образца	Твердость НВ	Временное сопротивление при растяжении, МПа	Структура	Отбел, мм	Проба Керри, см
Опытная партия	1.1	213; 207; 210	270	ПГф1, ПГд 90–120, ПГр1, ПГ 4–6, Пт1, Ф 3–5, П 97–95	5	115
	1.2	203; 208; 197	260			
Контрольная партия	К.1	209; 219; 207	240	ПГф1, ПГд 45–75, ПГр1, ПГ 2–3, Пт1, Ф 5–8, П 95–92, ФЭр2	5	115
	К.2	213; 208; 224	240			
Требования по ГОСТ 1412-85		≤230	≥200			

При изготовлении отливок дополнительно проводили анализ их микроструктуры и поверхности излома (рис. 3, 4). При изготовлении опытной и контрольной партий отливок использовали одинаковые режимы плавки и заливки форм. Твердость и структуру отливок определяли в идентичных сечениях.

Исследования показали, что чугун экспериментальных плавок полностью соответствует требованиям ГОСТ по химическому составу и физико-механическим свойствам и обладает высокими литейными свойствами: жидкотекучесть по стандартной пробе чугуна, соответствующего марке СЧ20, составила 112–115 см, отбел по клиновидной пробе – 5–7 мм; у чугуна, соответствующего марке СЧ25, жидкотекучесть составила 108–110 см, отбел – 7–9 мм, линейная усадка всех полученных сплавов не превышала 1,2%.

Единственным заметным отличием в составе чугуна опытно-экспериментальных плавок является существенно меньшее содержание фосфора, что не повлияло заметно на его жидкотекучесть, но должно снижать хрупкость, увеличивать пластичность, уменьшать склонность к пригару. Низкое содержание фосфора является важным требованием при получении высокопрочного чугуна.

Отливки опытной партии имеют плотную однородную структуру с металлической основой в виде пластинчатого перлита (95–97%) с равномерно распределенными включениями пластинчатого графита, имеющими прямолинейную форму, средняя длина включений графита составляет 45–90 мкм, площадь, занятая графитом, составляет 4–6%.

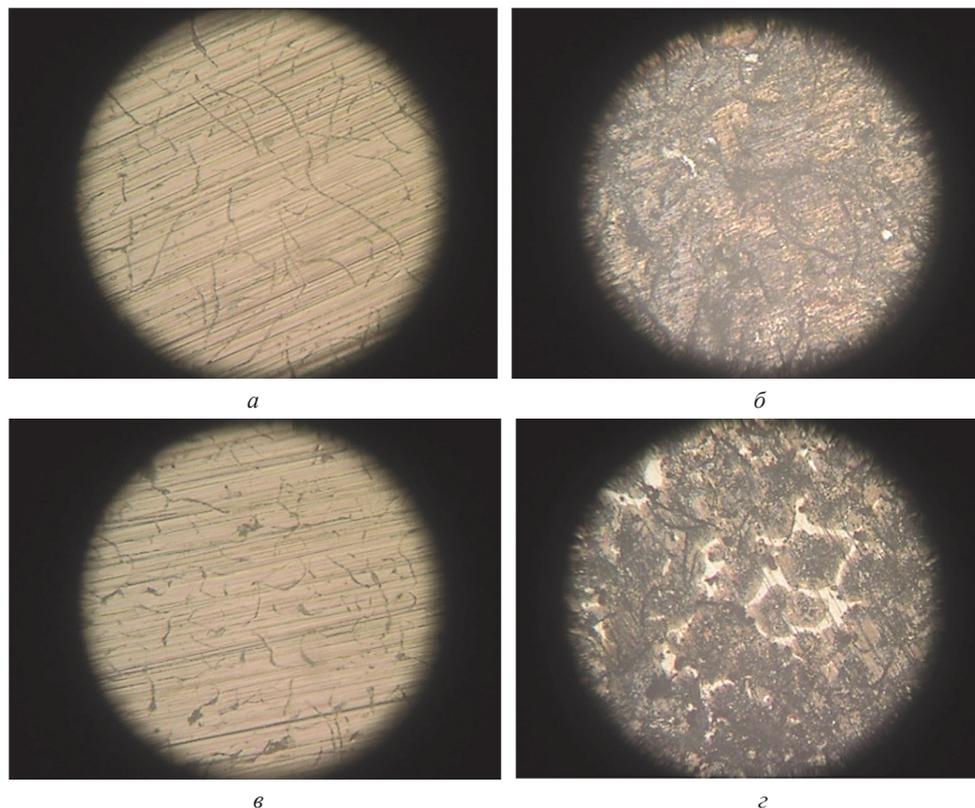


Рис. 3. Микроструктуры отливок из опытной (а, б) и контрольной (в, г) партий: а, в – до травления; б, г – после травления. ×100

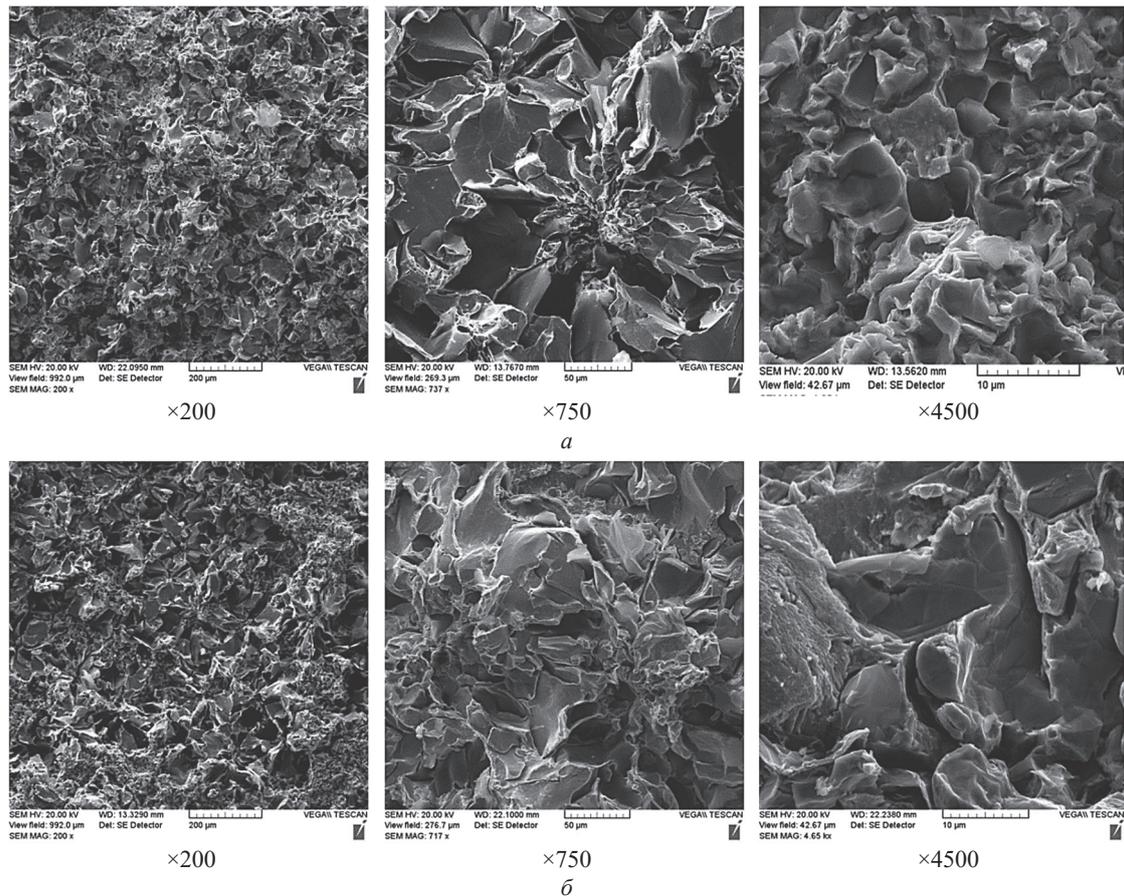


Рис. 4. Фрактограммы излома образцов отливок опытной (а) и контрольной (б) партий

Все отливки, изготовленные в составе опытной партии, соответствовали требованиям конструкторской и технической документации и ГОСТ 1215-85, не уступая отливкам из контрольной партии и даже превосходя их по прочности, что возможно связано с меньшим содержанием фосфора и отсутствием в их структуре фосфидной эвтектики.

Оценка себестоимости металла, полученного в результате рециклинга в РНП

Расчеты, выполненные с учетом действующих на 01.03.2018 г. тарифов Министерства энергетики Республики Беларусь на энергоносители, официального прейскуранта цен «ГО Белвормет» на лом и отходы черных металлов и рыночных цен на прочие исходные материалы, показывают, что себестоимость чушки, полученной из оксидных железосодержащих отходов (окалина) в РНП, составляет 220–230 руб./т (~110–115 \$/т), из стружки – 180–190 руб./т (~90–95 \$/т), что в 1,5–1,8 раза ниже цен кускового стального и чугунного лома марок 1А, 2А, 4А и 17А, 18А, соответственно и в 3,0–3,5 раза ниже цен первичных шихтовых материалов (доменных чугунов). Таким образом, внедрение предлагаемой технологии рециклинга позволяет не только исключить необходимость захоронения металлосодержащих отходов, относящихся к 4-му классу опасности, и решить проблему их утилизации, но и снизить себестоимость получаемых отливок.

Следующим шагом экономии ресурсов и снижения себестоимости литья может стать реализация дуплекс-процесса «РНП – индукционная печь» или «РНП – электродуговая печь» с передачей жидкого металла, полученного из металлоотходов в РНП, в используемые на предприятии электроплавильные печи для доводки до заданного состава. Жидкая завалка позволяет пропорционально увеличить производительность электроплавки, сократить угар компонентов и значительно снизить удельные затраты электроэнергии.

Замена чугунного и стального лома, которые составляют при традиционной плавке чугуна в индукционных печах около 50% шихты, на жидкую завалку позволит на 40–45% сократить удельные затраты электроэнергии (при плавке на среднечастотных печах это снижение составит около 300–350 кВт·ч/т) и соответственно на 60–70 руб. (30–35\$) снизить себестоимость 1 т чугуна. При этом, учитывая, что

средний выход годного при производстве чугуновых отливок находится в пределах 65–70%, снижение их себестоимости составит около 90–100 руб./т (45–50 \$/т). Аналогичный и даже больший эффект при использовании дуплекс-процесса может быть получен при производстве стальных отливок (учитывая, что для стальных отливок выход годного, как правило, не превышает 52–57%).

Выводы

Результаты опытно-экспериментальных плавов показали, что металл (как сталь, так и чугун), полученный в результате рециклинга дисперсных металлоотходов в РНП, с успехом может использоваться при плавке в электропечах литейных цехов для замены традиционных шихтовых материалов (как вторичных – стального и чугунового лома, так и первичных – доменного чугуна), обеспечивая получение качественных литейных сплавов, полностью отвечающих требованиям ГОСТ.

Для промышленных предприятий, имеющих собственное литейное производство, наиболее рациональным решением по переработке образующихся дисперсных металлосодержащих отходов является реализация дуплекс-процесса «РНП – электроплавильная печь или миксер».

Внедрение разработанных техпроцессов рециклинга дисперсных металлоотходов позволит решить задачу их возврата в производство, значительно снизить себестоимость готовой продукции, получить ощутимый экологический эффект и создать для литейного производства машиностроительных предприятий новую, собственную сырьевую базу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дьяконов О. М. Комплексная переработка стружки и металлосодержащих шламов. Минск: Технология, 2012. 262 с.
2. Ровин С. Л. Рециклинг металлоотходов в ротационных печах. Минск: БНТУ, 2015. 382 с.
3. Ровин С. Л. Исследование работы ротационных наклоняющихся плавильных печей // Наука и техника. 2016. № 1. С. 18–28.
4. Ровин С. Л., Ровин Л. Е. Переработка дисперсных металлоотходов в литейных цехах машиностроительных предприятий // Литейное производство. 2016. № 10. С. 30–34.
5. Машиностроение. Энциклопедия. Сталь. Чугуны. Т. 11–2 / Г. Г. Мухин, А. И. Беляков, Н. Н. Александров и др. М.: Машиностроение, 2001. 784 с.

REFERENCES

1. D'jakonov O. M. *Kompleksnaja pererabotka struzhki i metallosoderzhashhih shlamov* [Complex processing of chips and metal-containing sludge]. Minsk, Tehnologija Publ., 2012. 262 p.
2. Rovin S. L. *Recikling metallootodov v rotacionnyh pechah* [Recycling of metal wastes in rotary furnaces]. Minsk, BNTU Publ., 2015. 382 p.
3. Rovin S. L. *Issledovanie raboty rotacionnyh naklonjajushhihsja plavil'nyh pechej* [The study of the work of rotary tilting melting furnaces]. *Nauka i tehnika = Science and Technique*, 2016, no. 1, pp. 18–28.
4. Rovin S. L., Rovin L. E. *Pererabotka dispersnyh metallootodov v litejnyh cehah mashinostroitel'nyh predpriyatij* [Processing of dispersed metal wastes in foundries of machine-building enterprises]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry production*, 2016, no. 10, pp. 30–34.
5. *Mashinostroenie. Encyklopediya. Stali. Chuguny* [Mechanical engineering. Encyclopedia. Steel. Cast iron.] Vol. 11–2. G. G. Muxin, A. I. Belakov, N. N. Aleksandrov and oth. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2001. 784 p.