

НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НОВАЦИИ ПРИ ВОВЛЕЧЕНИИ В ОБОРОТ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ

А. П. Ласковнев¹, А. И Гарост²

Физико-технический институт НАН Беларуси

Белорусский государственный технологический университет

Минск, Республика Беларусь

Известный английский писатель-фантаст и футуролог Артур Кларк в книге «Черты будущего» сформулировал «закон Кларка» для прогнозирования развития техники: «Когда компетентный, но пожилой, ученый говорит, что что-либо возможно, он почти наверняка прав, когда же он говорит, что нечто неосуществимо, то весьма вероятно, что он ошибается» [2]. Можно сослаться в этой связи на не подтвердившиеся прогнозы Герца о практической неприменимости электромагнитных волн и Резерфорда – об атомной энергии. С другой стороны, Дж. Ри еще в 1953 г. предсказал высадку человека на Луну в 1970 г., тогда как ученые, работавшие в этой области, называли 1985 г. Вообще же, как показала практика, парадоксальное в технике – понятие относительное, зависящее от степени технического консерватизма тех, на чей суд отдаются изобретения. Пионерские изобретения чаще всего встречаются в штывки. Эти ошибки часто быстро исправляются. Однако известны случаи, когда жизнь сурово наказала консерваторов техники: англичане отказались взять по репарации «Фольксваген», посчитав, что машина, мотор у которой расположен сзади, бесперспективна. В дальнейшем «Фольксваген» побил все рекорды производства и экспорта, нанеся, в том числе, ряд ощутимых поражений английскому автопрому, и продолжает являться лидером в области машиностроения [1].

Поиск практически любой инновации сводится к нахождению ошибок в традиционных знаниях и убеждениях (Ларри Эллисон) [1].

Именно отсутствие междисциплинарных взглядов с глубоким анализом существующих

проблем при подготовке и повышении квалификации специалистов в профильных учебных и научных учреждениях и местнические интересы в ряде случаев затрудняют или нивелирует приоритет пионерных разработок.

Наиболее беспроигрышным вариантом является воплощение совершенной инновационной инфраструктуры, где осуществляется полный инновационный цикл — от рождения идеи до производства на ее основе продукции. В данном случае заслуживает внимания опыт эффективной деятельности Института технологии металлов НАН Беларуси, работающего по беспроигрышному варианту: все новые технологические приемы и инновационные решения апробируются в производственных условиях [7]. Результаты лабораторных испытаний в большинстве случаев имеют опосредственное отношение к натурным испытаниям, так как не соблюдаются (чаще, даже не обсуждаются) соответствие природы и модели, когда необходимо выдерживать геометрическое подобие и равенство ряда безразмерных параметров для модели и природы [1]. По этой причине значительная часть интереснейших разработок остаются не реализованными, а предложенные в них идеи используются более продвинутыми в организационном плане зарубежными организациями.

С целью содействия продвижению на внутреннем и международном рынке перспективно инновационное предложение должны быть поставлено на строгий учет, причем оценку научного и практического уровня разработки целесообразно поручать производственникам и ученым-практикам с опытом реализации (например, в течение

последних 5 – 10 лет) инновационно значимых разработок. В этом случае все рецензенты должны всесторонне изучить рассматриваемое техническое решение и нести персональную ответственность за выданную рецензию, а после принятия положительного решения производственники, наряду с разработчиком, в равной степени продвигать инновационное решение в промышленность. В этом случае нужно исключить влияние местных интересов, а профильные учебные и научные учреждения могут взять на себя рекламу и обучение специалистов с учетом созданных новинок. Автору во многих случаях сложно без информационной поддержки продвигать разработку (даже при наличии небольшого финансирования). Каждая инновационная разработка должна проходить научное рецензирование и публиковаться в ведущих мировых изданиях (это подтвердит ее уровень).

Проблемы промышленных отходов

Среди потребительских свойств изделий, по мнению американского исследователя К. Ульриха, одной из категорий является рациональное использование ресурсов, оценивающей целесообразность расходования (с точки зрения стоимости и качества) средств на изготовление, функциональность продукции, материалоемкость, с учетом факторов, касающихся экологии и взаимодействия с окружающей средой [3].

Любое производство имеет определенные сопутствующие проблемы и последствия, а именно промышленные отходы.

Как решить экологические проблемы такого рода? Конечно, следуя заведенному на такой

случай алгоритму начать нужно с действий по ликвидации отходов с предприятий. Отработки производства – это остатки твердых, жидких или газообразных веществ природного, или антропогенного происхождения, состав может быть вариативным. Некоторую часть можно использовать при создании технологий ориентированных на использование промышленных отходов и полупродуктов смежных с машиностроением производств, способствующих одновременно экономии материальных и энергетических ресурсов, снижению вредных выбросов и повышению качественных характеристик сплавов. Та доля веществ, которая не подлежит переработке, переходит в разряд безвозвратных потерь и вывозится на специальные полигоны (рис. 1) [4].

Металлосодержащие порошковые и мелкокусковые отходы

В настоящее время около 90 % образующихся в мире металлоотходов - это отходы черных металлов. На металлургических комбинатах и литейных производствах с замкнутым циклом (чугун – сталь – прокат) образуются твердые отходы двух видов: пыль и шлаки. Там, где применяется мокрая газоочистка, вместо пыли отходом служит шлам. Наиболее ценными для черной металлургии являются железосодержащие отходы (пыль, шлам, окалина), в то время как шлаки в основном используются в других отраслях промышленности.

Рудники, из которых добывается железо, в настоящее время находятся на грани истощения. По этой причине деловые отношения с перерабатывающими отходы предприятиями выходят на новый



Рис. 1. Общая схема решения проблемы промышленных отходов

уровень. Вторичная переработка и применение отходов металла обходятся значительно выгоднее с экологической и экономической точки зрения [5].

Только в Беларуси на машиностроительных и металлургических предприятиях образуется и накапливается ежегодно большое количество оксидных железосодержащих отходов (до тыс. т в год) – окалины, шламов и металлургической пыли (аспирационной пыли от плавильных печей, дробелитейных установок, дробеметного и металлообрабатывающего оборудования и т. д.) []. Из них утилизируется не более 15 % таких отходов и, по ориентировочным оценкам, их общее накопление в отвалах и на свалках на сегодняшний день составляет около 2–3 млн. т., так как в республике нет собственного полно профильного металлургического производства, имеющего агрегаты для их переработки.

Размещение территориальных объектов захоронения подобных отходов изымает из государственного пользования значительные территории, создает угрозу подземным водным горизонтам прилегающих территорий.

Очевидно, что экономически целесообразно в наших условиях машиностроительным и металлургическим предприятиям Беларуси, у которых образуются сравнительно небольшие (по меркам металлургии) отходы, заниматься переработкой самостоятельно, учитывая, что такие технологии созданы белорусскими учеными [9–15]. Состав и структура отходов на каждом предприятии различны и технологии для восстановления и переработки требуют только адаптации к конкретным сплавам и существующей технологии их плавки.

Сокращение нерационального перерасхода металла, вызванного отсутствием уверенности в высоком его качестве, а также сокращение расхода металла при создании экономнолегированных технических сплавов, обеспечивается, прежде всего, широким и повсеместным внедрением процессов микролегирования и модифицирования [17–21]. Такие сплавы, в том числе и чугуны, содержат, помимо специально вводимых присадок, более десяти контролируемых и неконтролируемых примесей. Регулирование микро- и макросостава металла обеспечивает прежде всего уменьшение (или вообще ликвидацию) сегрегации примесей, повышение прочностных характеристик и пластических свойств и дает возможность снизить расход металла.

Значительные резервы повышения качества металла заложены в возможности активного и целенаправленного формирования их структуры и

свойств путем введения в расплавы в предкристаллизационный период рационально выбранных модификаторов и микролегирующих добавок [17].

Отходы полимеров

Сегодня изделия из полимеров можно встретить буквально на каждом шагу. Без большинства вещей, созданных с использованием данного рода материалов, современный человек уже просто не может представить своей жизни. Однако с ростом производства и потребления подобных изделий, растут и объемы твердых отходов. По некоторым подсчетам отходы полимеров составляют около % от всего мусора, поступающего на свалки. Но число это растет с каждым годом. А к самостоятельному и быстрому разложению такие отходы не способны. Поэтому в наши дни довольно остро встает задача вторичной переработки полимеров.

Для превращения отходов полимеров в сырье, которое можно в дальнейшем использовать для последующей переработки в какие-либо изделия, нужно сначала его обработать. Ну а то, какой способ следует выбрать, зависит в первую очередь от вида отходов, степени их загрязненности и источника происхождения. К примеру, если это однородные отходы, поступившие сразу с производства, то достаточно самой незначительной обработки – измельчения и грануляции.

Что же касается отходов, поступающих на перерабатывающие заводы в виде изделий, которые давно вышли из употребления, то их придется подвергнуть более тщательной подготовке.

Вообще же предварительная обработка полимеров, как правило, предполагает такие этапы, как грубая сортировка; измельчение; разделение смешанных отходов; мойка и очищение; сушка; грануляция.

Новейшие достижения белорусских ученых показывают [9–15], что полимерные отходы открывают новые неизвестные ранее перспективы при модифицировании и микролегировании железоуглеродистых сплавов, как самостоятельно, так и совместно с металлосодержащими техногенными отходами. Данные разработки прошли рецензирование и высоко оценены ведущими мировыми учеными [16, 22–26].

Создание литейных материалов из металлосодержащих и полимерных отходов и технологии их переработки

Переработка и утилизация техногенных отходов важны не только с точки зрения их использования как альтернативного источника сырья, но и в плане охраны окружающей среды. В

Республике Беларусь практически отсутствует производство литейных материалов, таких, как передельные и литейные чугуны, лигатуры для получения качественных чугунов, ферросплавы.

На основе разработок Физико-технического института НАН Беларуси и Белорусского государственного технологического университета комплексное решение проблемы (рис. 2) предполагает использование и переработку промышленных отходов и полупродуктов смежных с машиностроением производств на всех стадиях металлургического передела [12–13, 16] при:

- плавке в составе пакетированных шихтовых материалов (рис. 3) металлосодержащих промышленных отходов, находящихся преимущественно в виде оксидов: окалина, ржавчины, шлифовочных шламов, чугунной и стальной стружки, в том числе с органическим загрязнителем, отходов футеровочных материалов, отработанных катализаторов химической, нефтехимической, промышленности по производству минеральных удобрений, в которых наряду с носителями типа Al_2O_3 , SiO_2 , CaO присутствуют оксиды никеля, молибдена, кобальта, меди, хрома и вольфрама; полупродуктов смежных с машиностроением производств (оксидов титана, ванадия и других элементов, используемые в качестве сырья в стекольной промышленности); и неподлежащих регенерации обычными методами высокополимерных соединений (не склонных к образованию кокса при термической деструкции

(полиолефинов, алифатических полиамидов), или склонных к образованию кокса (полифениленов, полиамидов, полибензимидазолов)), а также непригодных к регенерации эластомеров (силиконовых, акриловых резин, резины на основе этиленпропиленовых, хлоропреновых, полисульфидных каучуков, бутилкаучуков, полиуретанов), в том числе резинотехнических изделий, содержащих 15–35 % текстильных или металлических армирующих материалов, в которых углерод находится, как в химически связанном состоянии, так и в структурно свободном состоянии; восстановительная атмосфера образуется в процессе пиролиза полимерных техногенных отходов (пластмасс и эластомеров) в расплаве в процессе плавки пакетированных совместно с полимерами металлосодержащих материалов;

- доводке расплавов методами прямого, в том числе прямого поверхностного, легирования и модифицирования (рис. 4), обеспечиваемого за счет восстановления металлов атомарным водородом и углеродом, образующимися при гомолитическом разрыве связей в процессе пиролиза полимеров, вводимых в пакетированном состоянии совместно с металлосодержащими отходами, в расплаве, создающими восстановительную атмосферу и обеспечивающими модифицирование сопровождающееся химическим взаимодействием составляющих добавок с отдельными элементами кристаллизующегося вещества, в том числе готовыми центрами, формирующимися в расплаве;

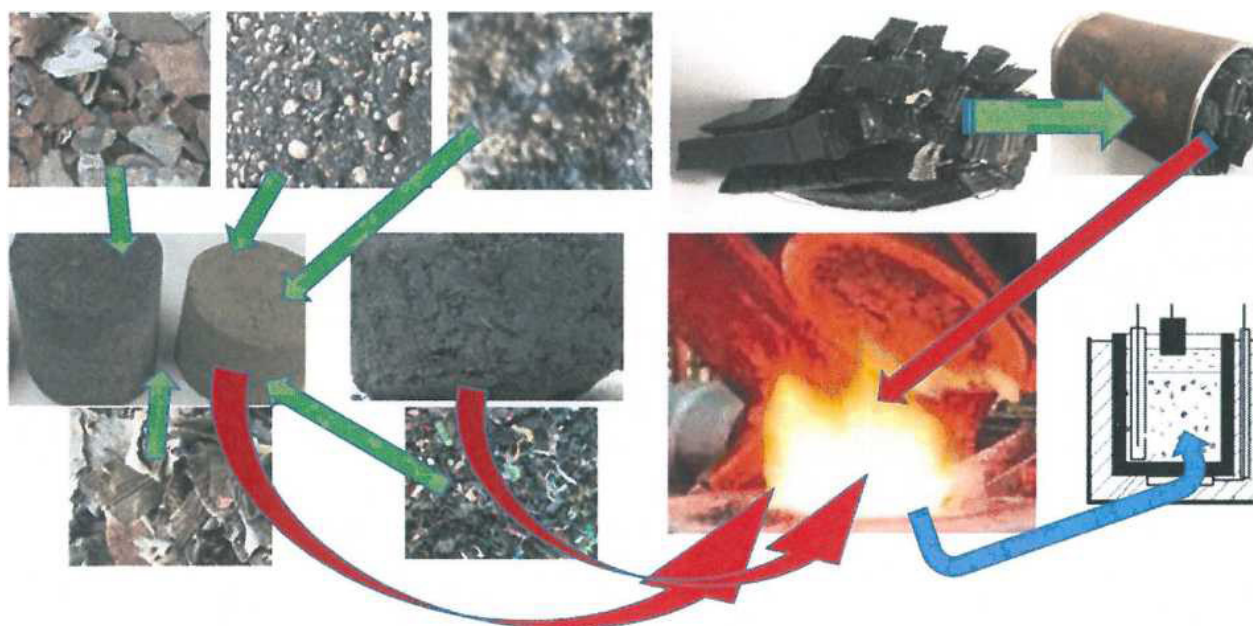


Рис. 2. Схема технологических приемов переработки металлосодержащих и полимерных техногенных отходов металлургическими методами



Рис. 3. Внешний вид пакетов

термической обработке изделий из черных металлов с применением в качестве охлаждающей среды нового продукта [15], являющегося водным раствором оптимальной концентрации нейтрализованного продукта щелочного гидролиза полиакрилонитрильного полимера, не приводящего к выделению дыма, копоти, масляных паров, продуктов окисления и термического разложения углеводородов.

Отличительной особенностью рассматриваемых технических решений является ориентация на использование промышленных отходов и полупродуктов смежных с машиностроением производств, обеспечивающих одновременно экономии материальных и энергетических ресурсов, снижение вредных выбросов и повышение качественных характеристик сплавов.

Созданные материалы и технологии позволяют эффективно извлекать металлы из нетрадиционных видов шихты.

Ввод шихтовых пакетов из железосодержащих отходов (стальной окалины) и отходов аккумуляторных пластиков обеспечивает:

- повышение механических характеристик чугуна; практически полное (92,68 %) восстановление железа из окалины; практически полное усвоение чугуном углерода из шихтовых пакетов (присутствует эффект науглероживания);

- введенная с окалиной сера, не усваивается чугуном и в полном объеме переходит в шлак;

- наблюдается угар хрома из чугуна (другими известными методами этот эффект не обеспечивается, что позволит получать высококачественные чугунные отливки на рядовой шихте);

- марганец и кремний участвуют в окислительно-восстановительных процессах и ввод их в составе пакетов из железосодержащих отходов и отходов аккумуляторных пластиков в расплав способствует восстановлению железа, десульфурации и дефосфорации чугуна и переводу хрома в шлак.

При вводе в чугунный расплав на стадии доводки пакетов из техногенных отходов магнетита и полимеров обеспечивается восстановление магния из оксидов продуктами пиролиза полимеров, который вступает во взаимодействие с элементами расплава, обеспечивая снижение концентрации серы в чугуне (с 0,107 % до 0,057 % при вводе 12 % магнетита и 4,3 % не подлежащего регенерации высокополимерного соединения); процесс сопровождается растворением глобуляризатора (магния до 0,14 %) в графите (способствующего увеличению сил связи между его слоями), наблюдается образование магнийсодержащих титанованадиевых карбидов (инокуляторов), формирующихся в расплаве при химическом взаимодействии модифицирующих и микролегирующих добавок с элементами кристаллизующегося вещества. Определено, что в случае использования в качестве полимерных добавок в составе модифицирующих пакетов техногенных отходов резинотехнических изделий основная масса структурно свободного угле-



Рис. 4. Вид отливки и формы с нанесенным покрытием

рода, находящегося в виде сажи, не участвует в массообменных процессах и переходит в шлак (содержание углерода в шлаке 39,81 %), что обеспечивает извлечение дополнительного продукта – технического углерода.

Создан метод химического пакетирования (без предварительного удаления смазочных масел и эмульсий) железосодержащих материалов (содержащий до 8,0 мас. % масла) с органическим загрязнителем, основанный на образовании основных солей типа $(\text{MgOH})_3\text{PO}_4$ либо $(\text{MgOHAIO}_2 + (\text{MgOH})_2\text{SiO}_3$ при совместном смешивании избыточных количеств глины (щелочная среда), недостатке магнетита в кислой среде, обеспечивающий окисление масел, образование более плотной фосфатной пленки (фосфатирование), чем исходные оксиды, что способствует адгезии и прочности образованной структуры. В соответствии с заводскими требованиями пакеты испытывались на прочность путем удара их о металлическую плиту с высоты 1,5 м. Пакеты выдерживали 2–3 удара без разрушения. Результаты проведенных исследований показали, что предложенные методы пакетирования обеспечивают получение качественных пакетов с достаточной механической прочностью.

При вводе в расплав чугуна до 30 % пакетированной замазочной стружки с полимерными добавками увеличивается количество перлитной составляющей в металлической основе отливок из чугуна и его дисперсность, образуется значительное количество мелкодисперсных упрочняющих фаз в структуре металла, достигается рост прочностных характеристик с $\sigma_{\text{в}}$ 118,0 МПа (исходный чугун) до $\sigma_{\text{в}}$ 133,0 МПа (шихта с 30 % пакетов).

Разработан механизм формирования износостойких поверхностных слоев на отливках из железоуглеродистых сплавов, заключающийся в покрытии поверхности форм и стержней специальными композициями, включающими недорогие металлосодержащие промышленные отходы, полимерные материалы, генерирующие в процессе заливки при их пиролизе сверхсильные восстановители (атомарный водород и углерод), и связующие компоненты (жидкое стекло). Синергетический эффект на межфазной границе расплав – легирующее покрытие (при соотношении оксида ванадия и восстановителя в композиции примерно 1:1 по объему) способствует образованию на чугунных отливках ванадиевых легирующих слоев толщиной до 3 мм с присутствием в них эвтектических колоний – аустенит

и железованадиевые карбиды; аустенитная матрица легирующих слоев упрочнена отдельными хромсодержащими карбидами цементитного типа (присутствует небольшое количество отдельных компактных включений графита); в поверхностном легированном слое наблюдается полное отсутствие, как растворенного, так и химически связанного кислорода (указывает не только на полное восстановление металлов, но и высокую степень рафинирования и дегазации расплава).

Разработан импортозамещающий экологически безопасный способ термической обработки изделий из черных металлов (патент Республики Беларусь на изобретение № 11233 от 22.07.2008 г.), когда в качестве охлаждающих сред используются водные растворы полимеров (полиакриламидов, полиакрилатов). Определены режимы термической обработки углеродистых и легированных сталей в разработанной среде, созданы ресурсосберегающие технологические процессы термической обработки деталей машин

Улучшаются экологические условия в термических цехах, снимается проблема утилизации отходов охлаждающей среды, обеспечивается охлаждение деталей при закалке с требуемой по технологии скоростью и достигаются требуемые структура и твердость.

Охлаждающая среда (закалин) с концентрацией полимера –3,0 % в воде полностью соответствует условиям закалки деталей из легированных сталей в масле. Стоимость 1 кг закалина около 4 белорусских рублей. Соответственно, если стоимость на рынке Республики Беларусь 1 тонны индустриального масла составляет около 1000 руб., то стоимость такого же объема рабочего состава водно-акриловой охлаждающей среды около 132 руб., т. к. для приготовления 1 тонны раствора требуется 33 кг закалина (стоимость рабочего состава с учетом его корректировки в процессе эксплуатации может возрасти до 150,0 руб.).

Сравнение с импортными аналогами

РУП «МИНСКИЙ ТРАКТОРНЫЙ ЗАВОД» в 2010 г. закупал водополимерную закалочную среду ПК-М ТГ 71218688-01-03 у изготовителя ЗАО «Полимер-Тюмень (г. Тюмень, Россия) по цене 81 российский рубль за 1 кг. По инструкции для замены масла требуется 9-ый раствор. Таким образом, стоимость 1 тонны закалочной среды составит 81 руб. \times 90 кг = 7290 российских рублей, что в пересчете на белорусский рубль составит: 7290 \times 0,035 = 255,15 белорусских рублей

(с учетом корректировки состава в процессе эксплуатации может возрасти до 350 белорусских руб.). Экономия только на 1 т закалочной среды составляет в пересчете на белорусские рубли в ценах 2018 г. 400 руб. Таким образом, экономия валютных средств (в ценах 2018 г.) составляет 14580 российских рублей (только на 1 т среды).

Показано, что закалку тонкостенных и разностенных деталей с целью интенсификации процесса отвода тепла от них и получения требуемых структур механических характеристик целесообразно проводить в режиме интенсивного барботажа охлаждающей среды. Барботирование может осуществляться как за счет ввода в систему сжатого воздуха (от компрессора), так и самой закалочной средой (от насоса). Поэтому основными параметрами, обеспечивающими как движение закаливаемых деталей, так и обеспечение барботажа, будут являться рабочее давление и расход воздуха (закалочной среды). Приведены расчеты гидродинамических параметров среды, позволяющие осуществлять закалку тонкостенных деталей с интенсивным отводом тепла от них. Разработаны конструкции закалочных корзин, обеспечивающие барботаж охлаждающей среды, всплывание тонкостенных стальных деталей и равномерное охлаждение полых деталей. Приведены результаты исследований термической обработки углеродистых сталей в режиме интенсивного барботажа охлаждающей среды на основе водорастворимого полимера.

Предложены и исследованы перспективные методы (отнесем их к технологиям недалекого будущего) регулирования состава сплава при незначительных расходах шлакообразующих добавок [27]. Воздействие различных факторов (атмосфера плавильного аппарата, состав шлака, наличие вредных примесей и др.) приводит к тому, что в реальных металлургических процессах невозможно полностью достичь прогнозируемого равновесия. Одновременно не всегда удается точно оценить вклад того или иного компонента в общий окислительно-восстановительный процесс в системе металл – шлак – газ (М – Ш – Г). Помимо главной движущей причины металлургического процесса – градиента концентраций, на границе металл–шлак возникают короткозамкнутые микрогальванические элементы, которые также определяют состав получаемого сплава. Однако влияние последнего фактора незначительно вследствие малой электродвижущей силы на границе М – Ш.

Проведена оценка процессов поляризации в

системе металл – шлак в гальваностатических условиях с учетом известных закономерностей перехода зарядов через границу фаз и современных представлений об их многостадийности и поведение компонентов алюминиевых сплавов при внешнем катодном и анодном воздействии на расплав постоянным электрическим полем. Характер перераспределения компонентов между расплавом и шлаком в первом приближении связан с их расположением в электрохимическом ряду напряжений. На положение металла в ряду напряжений влияет ионный состав расплава и температура. При катодной поляризации наблюдается значительное снижение угара Mg в процессе выдержки расплава, в то время как при анодной происходит, наоборот, увеличение угара в сравнении с плавкой без внешнего электрохимического воздействия. Магний как активный металл будет в первую очередь окисляться при анодной обработке. Также следует отметить, что, меняя полярность расплава, можно лишь уменьшить угар магния Mg, но нельзя полностью его исключить при увеличении продолжительности обработки. Поведение марганца Mn при изменении полярности алюминиевого расплава, в первом приближении, аналогично поведению магния Mg. Однако можно заметить, что при катодной полярности марганец Mn можно защитить от угара и при увеличении длительности обработки. Угар цинка Zn как при анодной, так при катодной поляризации меньший, чем при отсутствии электрохимического воздействия. При анодной полярности расплава содержание железа Fe и никеля Ni не уменьшается по сравнению с плавкой без электрохимического воздействия, что объясняется пассивацией. Наибольший защитный эффект наблюдается для элементов, которые стоят в конце электрохимического ряда напряжений. Так, медь, как при катодной, так и особенно при анодной полярности меньше всего угорает.

Заключение

Признание ведущего места науки в составе факторов роста объективно приводит к акцентированию их внимания на проблемном поле поиска так называемых пионерных разработок, реализация которых позволит принципиально изменить исследовательский фронт и облик современной науки, сформировать новые векторы ее развития. Характерными чертами эффективности развития и инновационности должны одновременно выступать сразу несколько критериев, в том числе снижение издержек на единицу производимой продукции. Сложная ситуация на рынке метал-

лошихты побудила коммерческие и технические службы предприятий, использующих при получении литейных сплавов лом, заняться поиском альтернативных материалов и технологий.

Новые материалы и технологии, созданные на основе прорывных научных разработок Физико-технического института Национальной академии наук Беларуси и Белорусского государственного технологического университета, позволяют эффективно извлекать металлы из нетрадиционных видов шихты (пыли железосодержащей, шлама ваграночных газов, шлама железосодержащего, окалины, ржавчины, шлифовочных шламов, чугуновой и стальной стружки, отходов футеровочных материалов, отработанных катализаторов химической и нефтехимической, промышленно-

сти) при применении нового класса восстановителей (атомарных углерода и водорода).

Разработаны шихтовые и литейные материалы из тонкодисперсных металлосодержащих концентратов, в том числе с органическими загрязнителями, и полимерных отходов для легирования и модифицирования железоуглеродистых сплавов, поверхностного легирования отливок в форме (патенты Республики Беларусь №№ 11641, 14183). Предложены методы интенсификации окислительно-восстановительных процессов в системе металл–шлак или металл–шлак–газ и регулирования состава сплава при воздействии слабыми электрическими полями при незначительных расходах шлакообразующих добавок (патент Республики Беларусь № 15409).

Литература

1. Емельянович, И. Инновационная Россия: среда, дружественная для инноваций. Наука и инновации. – № 8(114), 2012. – С. 30–33.
2. Чернышева, Т. Предвидеть – значит управлять. Наука и инновации. – №7(113), 2012. – С. 54–57.
3. Ульрих Карл. Промышленный дизайн: создание и производство продукта. – М., 2007.
4. <http://vtorothodi.m/wp-content/uploads/2015/08/85-4.jpg>
5. Утилизация и переработка отходов © vtorothodi.ru.
6. Гацуро В. М. С научным подходом к проблеме переработки железосодержащих отходов // Литье и металлургия. 2010. № 4. С. 41.
7. Марукович, Е. Знания, отлитые в металле. Наука и инновации. – № 7(113), 2012. – С. 40–43.
8. Гарост А.И., Свидуневич Н.А., Дулевич А.Ф. Моделирование процесса обработки расплава высокотемпературной газовой струей. Сб.: Основные направления научно-исследовательских работ по аппаратурному оформлению электротермических и высокотемпературных процессов химических производств в X пятилетке (Тезисы докладов Всесоюзного совещания). – Ленинград, 1975. – С. 178–181.
9. Ласковнѐв, А. П. Многофункциональные (износостойкие и антифрикционные) покрытия на изделиях из чугуна / А. П. Ласковнѐв, А. И. Гарост, А. И. Покровский // Литье и металлургия. – 2015. – № 2. – С. 89–94.
10. Ласковнѐв, А. П. Создание литейных материалов из техногенных отходов / А. П. Ласковнѐв, А. И. Гарост // Весці Нацыянальнай Акадэміі Беларусі Сер. фізіка-тэхнічных навук. – 2015. – № 3. – С. 88–95.
11. Ласковнѐв, А. П. Использование железосодержащих материалов с органическими загрязнителями в качестве шихты при выплавке серых чугунов / А. П. Ласковнѐв, А. И. Гарост // Весці Нацыянальнай Акадэміі Беларусі Сер. фізіка-тэхнічных навук. – 2016. – № 1. – С. 62–74.
12. Гарост, А.И. Железоуглеродистые сплавы: структурообразование и свойства. Монография / А.И. Гарост. – Минск: Беларус. навука, 2010. – 252 с.
13. Способ выплавки чугуна и способ выплавки стали: пат. 11641 Респ. Беларусь: МПК(2006) С 21 С 1/00, С 21 С 5/00, F 23 G 5/027 / А.И. Гарост; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет» (ВУ) – № а20050280; заявл. 24.03.2005; опубл. 28.02.2009 // Афіцыйны бюлетэнь / Нац. цэнтр штэлект. уласнасць. – 2009. – № 2.
14. Способ выплавки чугуна: пат. 14183 Респ. Беларусь: МПК(2009) С 21 С 1/00 / А.И. Гарост; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет» (ВУ) – № а20091272; заявл. 31.08.2009; опубл. 30.04.2011 // Афіцыйны бюлетэнь / Нац. цэнтр інтэлект. уласнасці – 2011. – № 4.
15. Способ термической обработки изделий из черных металлов : пат. 11233 Респ. Беларусь : МПК7 С 21 D 1/56 / А. И. Гарост, Е. П. Шишаков, А. К. Корнейчик; заявители: Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»; Производственно-торговое частное унитарное предприятие «Акута-ИФ» (ВУ) – № а20070625; заявл. 24.05.2007; опубл. 30.10.2008 // Афіцыйны бюлетэнь / Нац. цэнтр інтэлект. Уласнасці. – 2008. – № 10.
16. Haraŝt Aliaxandr Ivanavich. Chemical Baling of Oily Caŝt Iron Turnings and Use of Bales to Subŝtute Expensive

- and Scarce Scrapes. *International Journal of Materials Science and Applications*. Vol. 2, No. 6, 2013, pp. 194–203. doi: 10.11648/j.ijmsa.20130206.15.
17. Гольдштейн, Я. Е. Модифицирование и микролегирование чугуна и стали / Я. Е. Гольдштейн, В. Г. Мизин. – М. : Metallurgia, 1986. – 272 с.
 18. Шульте, Ю. А. Неметаллические включения в электростали / Ю. А. Шульте. – М. : Metallurgia, 1964. – 208 с.
 19. Крещановский, Н. С. Модифицирование стали / Н. С. Крещановский, М. Ф. Сидоренко. – М. : Metallurgia, 1970. – 296 с.
 20. Гольдштейн, М. И. Дисперсионное упрочнение стали / М. И. Гольдштейн, В. М. Фарбер. – М. : Metallurgia, 1979. – 206 с.
 21. Крещановский, Н. С., Сидоренко, М. Ф. Модифицирование стали / Н. С. Крещановский, М. Ф. Сидоренко. – М. : Metallurgia, 1970. – 296 с.
 22. Haras̆t, A. I. Modification and Microalloying of Iron Carbon Alloys Using Industrial Polymer Scrapes / A. I. Haras̆t // *Journal of Current Advances in Materials Sciences Research (CAMSR)*. – 2014. – Vol. 1, Issue 3. – PP. 66–74. www.vkingpub.com/journal/camsr/ © American V-King Scientific Publishing.
 23. Haras̆t, A. I. The Casting Technologies Focused on the Use of Industrial Waste and Semiprocessed Products Related to Engineering Industries / A. I. Haras̆t // *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST)*, ISSN: 3159–0040. – 2015. – Vol. 2 Issue 5. – PP. 914–918.
 24. Haras̆t, A. I. Formation Mechanism Of Wear Resisting Surface Layer On Cast Iron Moulds By Direct Surface Alloying / A. I. Haras̆t // *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST)*, ISSN: 3159-0040. -2015. – Vol. 2 Issue 9. – PP. 2591–2598.
 25. Haras̆t, A. I. Improving Quality of Alloys and Saving Alloying and Refining Additives While the External Cathode and Anode Are Exposed to the Melt in Constant Electric Field / A. I. Haras̆t // *Advances in Materials*. Vol. 5, No. 2016, PP. 66–72. doi: 10.11648/j.am.20160506.12
 26. Haras̆t, A. I. Extracting metals from non-traditional types of charge when implementing breakthrough foundry and metallurgy technologies / A. I. Haras̆t // *Home / SciencePG Frontiers. From Colloid and Surface Science*. Mar. 6, 2017. <http://article.sciencepublishinggroup.com/html/10.11648/j.am.20160506.12.html>.
 27. Ласковнѐв, А. П. Использование внешних электрических полей при доводке расплавов в плавильных агрегатах. А. П. Ласковнѐв, А. И. Гарост, Е. В. Кривоносова // *Литье и металлургия*. – 2017. – № 1. – С. 7–17.