Зарегистрирован
в Министерстве юстиции Украины
КВ № 24088-13928 ПР от 6 августа 2019 года
Издается с июня 1993 года

Рекомендован к печати Ученым советом
Физико-технологического института
металлов и сплавов НАН Украины

Журнал входит в Перечень научных
профессиональных изданий Украины,
рекомендованных для публикации трудов
соискателей кандидатских и докторских степеней

№5-6'2019
(312-313)

Металл и литье Украины

наука техника технология бизнес

Учредитель: **Физико-технологический институт металлов и сплавов Национальной академии наук Украины**

Издатели: **Физико-технологический институт металлов и сплавов Национальной академии наук Украины**

Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова Национальной академии наук Украины

Ассоциация литейщиков Украины

Украинская ассоциация сталеплавильщиков

ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И СТАЛИ

Семирягин С.В., Осипенко В.В., Бубунец Ю.В.
Сухая очистка доменных газов как элемент энергоэффективности технологии производства чугуна. . . 5

РАЗЛИВКА СТАЛИ В СЛИТКИ

Биктагиров Ф.К., Шаповалов В.А., Гнатушенко А.В., Качан Р.Ю.
Компьютерное моделирование формирования 50-тонного листового слитка. 14

ПРОЦЕССЫ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ

Смирнов А.Н., Ухин В.Е., Верзилов А.П.
Исследование особенностей формирования кристаллической структуры непрерывнолитой заготовки при принудительном перемешивании ее жидкой сердцевины. 21

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА И ПРОЦЕССЫ ЛИТЬЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Стрыгун В.А., Волошин Н.М., Гнилоскуренко С.В., Чаплыгина Л.С.
Научные исследования в стандартизации литейного производства Украины. 28

ПРОЦЕССЫ, ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Дорошенко В.С., Калюжный П.Б.
Концепции охлаждения отливок с помощью криотехнологии новых сыпучих материалов и способов литья. 33

Безуглый В.А., Губинский М.В., Коверя А.С., Коноваленко В.П., Кондратенко П.В.
Экспериментальное исследование удельного электрического сопротивления насыпного слоя термоантрацита. 40

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Мазур В.Л.
Теория и технология прокатки: нерешенные задачи и аспекты развития. 48

ОГНЕУПОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В МЕТАЛЛУРГИИ

Немсадзе Г.Г., Смирнов А.Н., Джоджуа Р.А., Шарандин К.Н., Рябый Д.В.
Совершенствование технологии горячего ремонта футеровки конвертера с использованием разработанной магнезиальной массы марки «GIR-RB-X». 56

в номере

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев-2019

При перепечатывании материалов ссылка на журнал и сайт журнала steelcast.com.ua обязательна

Немсадзе Г.Г., Тонкушин А.Ф.
Современные тенденции производства огнеупоров на основе кварца для коксовых печей. 64

Бублей В.В.
Украинской ассоциации вторичных металлов – 20 лет. Вызовы украинского рынка металлолома 71

Поздравляем!
80 років Котлярському Франку Мар'яновичу 76

80 лет Щеглову Владимиру Михайловичу 77

80 лет Моисееву Юрию Васильевичу 79

80 лет Мазуру Валерию Леонидовичу 80

90 років Кафедрі технології конструкційних матеріалів і матеріалознавства факультету конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України 81

Помним
80 лет со дня рождения Шумихина Владимира Сергеевича. 83

редакционная коллегия

Смирнов А.Н. главный редактор, д-р техн. наук, проф., вед. науч. сотр., Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев, Украина

Дубоделов В.И. зам. главного редактора, д-р техн. наук, проф., акад. НАН Украины, зав. отделом, Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

Верзилов А.П. ответственный секретарь, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев, Украина

Бабаченко А.И. д-р техн. наук, ст. науч. сотр., директор, Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, Днепр, Украина

Величко А.Г. д-р техн. наук, проф., чл.-корр. НАН Украины, ректор Национальная металлургическая академия Украины, Днепр, Украина

Гнилоскуренко С.В. канд. техн. наук, зав. отделом, Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев, Украина

Гридин А.Ю. д-р техн. наук, доц., зам. зав. кафедрой, Падерборнский университет, Падерборн, Германия

Кавалек А.А. проф., Ченстоховский политехнический университет, Ченстохова, Польша

Клименко С.И. канд. техн. наук, директор Департамента литейного производства, Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев, Украина

Кондратюк С.Е. д-р техн. наук, проф., зав. отделом, Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев, Украина

Ладохин С.В. д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотр., Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев, Украина

Лихошва В.П. д-р техн. наук, проф., зав. отделом, Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев, Украина

Лобанов Л.М. д-р техн. наук, проф., акад. НАН Украины, ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина

Мазур В.Л. д-р техн. наук, проф., чл.-корр. НАН Украины, гл. науч. сотр., Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев, Украина

Найдек В.Л. д-р техн. наук, проф., акад. НАН Украины, советник при дирекции, Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев, Украина

Ноговицын А.В. д-р техн. наук, ст. науч. сотр., зам. директора по научно-технической работе, Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев, Украина

Нурадинов А.С. д-р техн. наук, ст. науч. сотр., вед. науч. сотр., Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев, Украина

Петренко В.А. д-р техн. наук, проф., засл. деятель науки и техники Украины, Национальная металлургическая академия Украины, Днепр, Украина

Пономаренко О.И. д-р техн. наук, проф., проф. кафедры Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина

Приходько И.Ю. д-р техн. наук, ст. науч. сотр., зав. отделом, Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, Днепр, Украина

Сигарев Е.Н. д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, Днепровский государственный технический университет, Каменское, Украина

Чернятевич А.Г. д-р техн. наук, проф., зав. отделом, Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, Днепр, Украин

Шинский О.И. д-р техн. наук, проф., зав. отделом, президент Ассоциации литейщиков Украины, Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев, Украина

ISSN 2077-1304
© Металл и литье Украины, 2019

редакция



Редактор
Анастасия Андреевна Горшкова

Корректор
Надежда Александровна Верховлюк





Макет
Сергей Анатольевич Цихмайстренко
Лилия Викторовна Школяренко

Верстка
Ольга Викторовна Козачко

адрес редакции и типографии

Украина, 03142, г. Киев, бул. Акад. Вернадского, 34/1
Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины
Телефон: (044) 424-04-10, 424-34-50, факс (044) 424-35-15
E-mail: mlu@ptima.kiev.ua
Информация о журнале на сайте: www.steelcast.com.ua

Мнение редакции не всегда совпадает с мнением автора. Ответственность за достоверность представленных материалов несут авторы статей.
За рекламную информацию отвечают рекламодатели.

Сдано в набор 27.08.2019. Подписано в печать 24.09.2019. Формат 60х84/8. Бумага офсетная № 1. Печать на ризографе.
Уч.-изд. л. – 12,37. Усл.-печ. л. – 10,70. Усл. кр.-от. – 11,62. Тираж – 150. Отпечатано ООО «Про формат», ул. Маршала Жукова, 45 Б.

ISSN 2077-1304
© Металл и литье Украины, 2019

УДК 669.013.6

С.В. Семирягин, канд. техн. наук, доц., зам. ген. директора, e-mail: td.destal@ukr.net
В.В. Осипенко, ген. директор, e-mail: destal@ukr.net
Ю.В. Бубунец, канд. техн. наук, начальник проектно-конструкторского управления (ПКУ), e-mail: pko.destal@ukr.net
ООО НПП «Днепроэнергосталь», Запорожье, Украина

Сухая очистка доменных газов как элемент энергоэффективности технологии производства чугуна

Статья посвящена освещению применения сухих систем очистки для технологических отходящих газов доменного процесса производства чугуна. Сухая система газоочистки доменного газа является одним из немаловажных факторов энергоэффективности доменного процесса производства чугуна. Современное газоочистное оборудование на основе рукавных фильтровальных элементов дает возможность получить существенные экологические результаты, а кроме того, повысить калорийность отходящих колошниковых газов.
Реализованная ООО НПП «Днепроэнергосталь» сухая система газоочистки на доменной печи полезным объемом 1066 м^3 основана на применении рукавного фильтра ФРИР550, объединенного в блок из 9-ти секций, работающих в автономном режиме. Общая производительность системы составляет до 180 тыс. м^3/ч, при этом в работе (режим очистки) находятся от 5 до 8 секций, а остальные секции находятся в режиме регенерации или горячем резерве.
Температурный режим работы фильтра в большей степени зависит от технологического режима работы доменной печи. Диапазон температуры отходящих колошниковых газов составляет 80–280 ˚С, при этом фильтровальная ткань имеет рабочий диапазон температур 120–150 ˚С. С целью регулирования и корректировки температуры газоочистная установка (ГОУ) доменной печи имеет две регулирующие системы, а именно – радиаторный охладитель и орошаемый водой газоход-охладитель. Скорость понижения температуры на радиаторном охладителе составляет 0,7 ˚С/м. Снижение температуры за счет воды осуществляется в автоматическом режиме по данным термопар.
Взрыво- и пожаробезопасность ГОУ обеспечивается применением инертных газов для периода регенерации фильтра, а герметичность – за счет реализации шлюзовой схемы выгрузки пыли через промежуточную бункерную емкость.
Эффективная сухая система очистки колошниковых газов позволяет повысить надежность работы оборудования ТЭЦ ПВС доменного цеха, исключая конденсационные эффекты и абразивное воздействие колошниковой пыли.

Ключевые слова: *система газоочистки, колошниковый газ, очистка газов, колошниковая пыль, доменная печь, рукавный фильтр, калорийность газа, энергоэффективность, выплавка чугуна.*

Актуальность. Доменное производство – одно из старейших технологических способов производства чугуна. Такая живучесть может свидетельствовать о высокой эффективности данной технологии. Этот фактор заставляет металлургическую науку находить пути совершенствования доменного технологического процесса с учетом изменяющейся сырьевой базы, разработки новых конструкционных материалов и огнеупоров, систем автоматического контроля и пр. Знаковыми разработками в современном доменном процессе являются разработка и внедрение новых аппаратов загрузки шихтовых материалов, внедрение систем пылеугольного вдувания, систем контроля уровня засыпки, а также продуктов плавки [1–6].

Немаловажным направлением модернизации является повышение энергетической эффективности доменного процесса. Фактически, доменная печь – это один из наиболее сбалансированных металлургических агрегатов, однако это не является основанием к тому, чтобы отказаться от как можно более полного использования энергетического потенциала технологии.

Много исследований посвящены определению основных направлений повышения энергетической эффективности доменного процесса. Ряд ученых считают, что энергоэффективность работы доменных печей целесообразно оценивать по расходу суммарного углерода топлива на 1 т выплавляемого чугуна заданного качества [7]. Согласно этому принципу, повышения эффективности процесса можно добиться за счет мероприятий, позволяющих уменьшить расход углерода применяемого топлива, или же мероприятий, позволяющих увеличить содержание железа в шихте. На примере опыта работы доменных печей Новолипецкого металлургического комбината (НЛМК) было предложено следующее:

– оптимизация качества железорудных материалов;

– работа доменных печей на повышенном давлении;

– повышение горячей прочности кокса;

– вдувание пылеугольного топлива;

– оптимизация распределения рудной нагрузки по радиусу печи.

Однако следует не забывать и о таком немаловажном понятии, как потери тепла. Согласно высказыванию А.Д. Готлиба, при неизменных шихтовых условиях работы печи, потери тепла обратно пропорциональны ее производительности [8]. Таким образом, можно сформулировать основную задачу (с точки зрения энергосбережения) современного доменного процесса – повышение интенсивности доменной плавки. Однако есть потери тепла, которые являются неизбежностью в любом пирометаллургическом процессе.

Постановка задачи. Доменный процесс является избыточным по теплу, отходящие колошниковые газы при температуре 200–300 °С обуславливают потери тепла до 15 % от общего прихода. При этом учитывается только физическое тепло отходящих газов, без учета химического теплового потенциала [9].

Учитывая достаточно высокую теплоту сгорания, доменный газ используется как дешевый вид тепловой энергии. Так, в настоящее время, он используется в виде топлива в коксохимическом, прокатном производстве, а также в доменном для нагрева воздуха, подаваемого на горелки доменной печи в качестве вторичного дутья. Кроме того, доменный газ может быть использован, в качестве источника энергии в газовых утилизационных бескомпрессорных турбинах (ГУБТ), с целью получения электрической энергии.

По техническим условиям использования ГУБТ, температура поступающего в них доменного газа должна быть не ниже 100–200 °С, а запыленность не должна превышать 4–5 мг/нм^3. Для очистки газа до столь низких концентраций пыли на металлургических заводах применяют многоступенчатые комбинированные схемы, которые в своей структуре используют аппараты как «мокрой», так и «сухой» очистки [10].

Таким образом, модернизация доменного процесса в направлении более полного использования как физического, так и химического тепла колошниковых газов является актуальной инженерной задачей. Является очевидным тот факт, что тепловой потенциал отходящих колошниковых газов будет зависеть не только от применяемой технологии ведения доменной плавки, но и от способа очистки отходящих колошниковых газов. «Мокрый» способ (применение труб Вентури с водяным орошением) очистки доменного газа обеспечивает необходимую степень очистки, но имеет ряд существенных недостатков, поэтому в настоящее время все большее внимание уделяется разработке «сухих» способов очистки доменного газа.

Конструктивной особенностью систем очистки колошниковых газов, определяемой технологией ведения доменной плавки, является обязательное условие работы под избыточным давлением. Это, с одной стороны, исключает подсос атмосферного воздуха, а значит сохранение содержания СО в отходящих газах, но, с другой стороны, требует герметичности и исключения попадания угарного газа в атмосферу рабочей зоны персонала.

Исходя из вышесказанного, можно сформулировать основные задачи для повышения энергетической эффективности доменного процесса в части использования энергетического потенциала отходящих технологических газов доменной плавки, а именно:

1. Сверхтонкая (до 4 мг/нм^3) очистка отходящих газов от пыли и механической взвеси.

2. Сохранение максимально возможной температуры отходящих газов с целью сохранения физического тепла.

3. Поддержание высокого содержания монооксида углерода в отходящих газах, как основного показателя химического тепла.

Целью работы является разработка «сухой» технологии очистки колошниковых газов доменной печи, позволяющей максимально сохранить энергетический потенциал для последующего использования в качестве топлива, а также уменьшить экологическое влияние доменного процесса в целом. «Сухой» способ очистки доменного газа имеет целый ряд преимуществ перед «мокрой» очисткой:

– исключение использование воды для очистки доменного газа позволяет сократить объемы строительства объектов водного хозяйства, а именно: шламовой перекачивающей станции газоочистки, отстойников и флокуляторов шлама, насосной станции перекачки пульпы, циркуляционной насосной станции оборотного цикла газоочистки;

– температура газа после очистки составляет 100–120 °С, что на 50–70 °С выше, чем при «мокрой» газоочистке;

– влажность газа снижается на 50–60 г/м^3, что в совокупности равноценно увеличению калорийности доменного газа на 50–60 ккал/м^3. Это позволяет увеличить температуру нагрева доменного дутья в воздухонагревателях;

– уменьшается концентрация пыли в доменном газе до 2–4 мг/м^3;

– улучшается экологическая обстановка на заводе в связи с более качественной очисткой газа от пыли и устранением шламового хозяйства.

Объект и методика исследования. В период 2010—2012 гг. ООО НПП «Днепроэнергосталь» реализовала проект системы очистки отходящих колошниковых газов доменной печи рабочим объемом 1066 м^3 с производительностью по колошниковому газу в диапазоне 80÷180 тыс. м^3/ч и среднем значении входной запыленности 11,9 г/нм^3.

Выход колошникового газа при доменной выплавке зависит от ряда технологических факторов: состава исходного сырья и кокса, температуры и давления воздушного дутья, обогащения дутья кислородом, применения природного газа, распределения материалов в печи, прочности кокса, развития процессов восстановления. Существует ряд методик для теоретического расчета количества колошникового газа, образующегося при выплавке чугуна, но все эти расчеты

очень сложные, поэтому на практике, для определения выхода колошникового газа, используются номограммы или упрощенные способы расчета, исходя из полезного объема доменной печи или количества потребляемого кокса [11].

Расчетное количество доменного газа при объеме печи 1066 м^3, среднее составит:

$$Q_{дг} = V_{дп} \cdot 160,$$

где $V_{дп}$ – объем доменной печи, м^3; 160 – среднее, приведенное к 1 м^3 объема печи, значение выхода доменного газа, м^3/ч.

$$Q_{дг} = 1066 \cdot 160 = 170560 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Температура отходящих газов колеблется в диапазоне 80–350 °С. При длительных остановках (более 8 часов) или нарушениях технологического режима, температура доменного газа может снижаться до 35–40 °С.

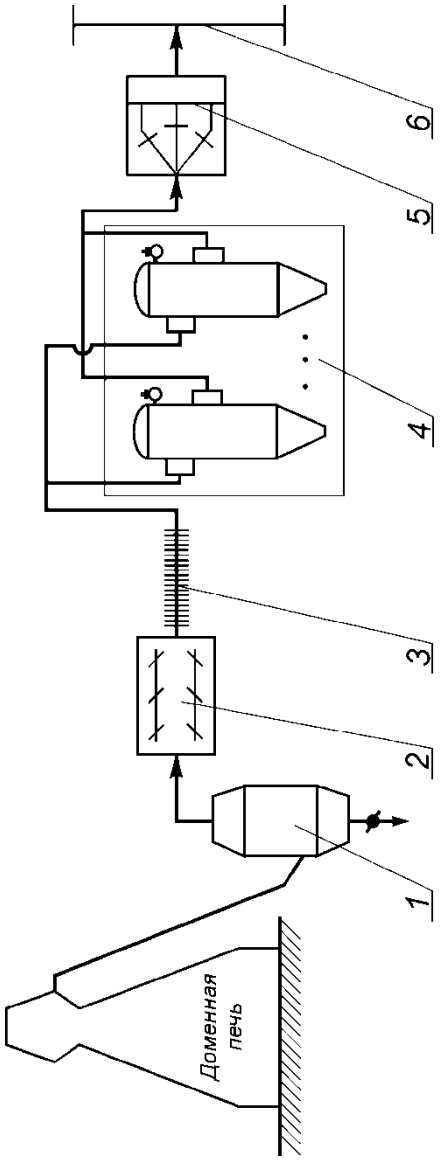


Рис. 1. Схема газового тракта: *1* – инерционный пылеуловитель; *2* – охладитель доменного газа; *3* – радиаторный охладитель; *4* – рукавный фильтр; *5* – дроссельная группа; *6* – общезаводской коллектор доменного газа

На рис. 1 представлена принципиальная схема газового тракта с «сухой» системой очистки колошниковых газов с применением рукавных фильтров с импульсной регенерацией (ФРИР).

Запыленный колошниковый газ, под воздействием избыточного давления 1,20÷1,43 кг/см^2, создаваемого в печи, за счет химических процессов, протекающих при выплавке чугуна, по газоходу Ду 1500 мм направляется на очистку. В качестве первой ступени для очистки доменного газа используется сухой инерционный пылеуловитель п. 1 (рис. 1).

В сухом пылеуловителе за счет гравитации и инерционных сил осуществляется грубая, до 65–75 % всей пыли, очистка газа доменного газа с отделением наиболее крупных частиц (размером > 0,1 мм).

После грубой очистки в пылеуловителе, доменный газ с температурой 270÷280 °С и остаточной запыленностью до 20 г/м^3 направляется на дальнейшую очистку в рукавный фильтр.

Рабочая температура рукавного фильтра составляет 80–200 °С.

Для снижения температуры доменного газа до рабочей температуры используется охладитель доменного газа п. 2. (рис. 1), состоящий из следующих основных узлов:

– газоход Ø 1400 мм;

– шкаф, в котором установлены электромагнитные клапаны управления подачей воды и азота;

– система трубопроводов подачи воды и азота к форсункам;

– двухканальные форсунки тонкого распыла охлаждающей воды.

На рис. 2 приведен общий вид охладителя доменного газа.

Всего на охладителе установлено 18 двухканальных форсунок, где в качестве охлаждающей жидкости используется техническая вода, а в качестве распылителя – азот. Форсунки установлены вдоль газохода в шесть рядов. Каждый ряд форсунок объ-

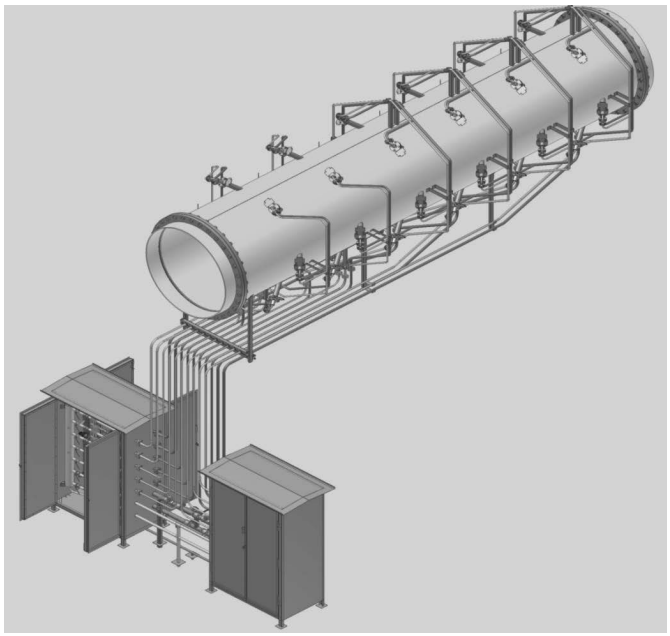


Рис. 2. Общий вид охладителя доменного газа

единен своими раздаточными коллекторами технической воды и азота. Подача воды и азота на каждый коллектор обеспечивается включением в работу быстродействующих клапанов, установленных в шкафах управления работой охладителя. С целью повышения надежности работы охладителя, подача воды на охладитель осуществляется по двум независимым подводам. Техническая характеристика охладителя доменного газа представлена в табл. 1.

Регулирование температуры, а именно уменьшение до рабочих значений работы рукавного фильтра, происходит за счет контролируемого впрыска воды, исключающего шламообразование в самом газоходе (полное испарение влаги). Момент и количество подаваемой воды определяется по исходному значению температуры отходящих газов, до значения не более 200 °С перед входом в секцию ФРИР550.

Дополнительное охлаждение доменного газа, поступающего на очистку в рукавный фильтр, осуществляется в воздушном радиаторном охладителе, который представляет собой не футерованный газоход Ø 1400 мм. По наружной поверхности газохода (для теплоотдачи) наварены ребра из металла толщиной 4,0 мм, с интервалом 200 мм (рис. 3). По результатам эксплуатации данной конструкции радиаторного газохода падение температуры отходящих газов составляет 0,7 °С/м.

Очистка доменного газа осуществляется в рукавном фильтре ФРИР 550х9, состоящего из 9-ти отдельно стоящих секций ФРИР550. Одновременно в работе находятся любые от пяти до восьми секций фильтра. В табл. 2 приведены технические параметры секции рукавного фильтра ФРИР 550.

На рис. 4 приведен общий вид секции рукавного фильтра ФРИР 550.

Запыленный газ подводится в цилиндрическую нижнюю часть рукавного фильтра через газоход грязного газа (рис. 3). Равномерно просасываясь через фильтровальные рукава, газ проходит через ткань. Пыль осаждается на наружной части фильтровального рукава, а чистый газ через камеру чистого газа поступает в газоход чистого газа и затем в сборный коллектор и через дроссельную группу – в общезаводской газоход чистого доменного газа. Фактически конструкция одной секции ФРИР 550 представляет собой емкость, работающую под давлением и разделенную на камеру грязного газа и камеру чистого



Рис. 3. Радиаторный охладитель газохода колошникового газа

Таблица 2

Технические параметры секции рукавного фильтра ФРИР 550

Параметр	Ед. изм.	Значение
Производительность	м³/ч	20 000–26 500
Фильтровальная ткань		(PPS/PPS 551 CS 31)
Сопротивление фильтра	Па	до 8000
Максимальное рабочее давление	кг/см²	3,0
Максимальная рабочая температура	°С	до 220
Входная концентрация пыли	г/нм³	до 40
Выходная концентрация пыли	мг/нм³	не более 4,0
Эффективность очистки	%	99,99
Давление азота, подаваемого на регенерацию в рукавный фильтр	кг/см²	6,0
Габаритные размеры секции рукавного фильтра		
– диаметр	мм	3220
– высота	мм	14910
Вес секции рукавного фильтра	т	18,3

Таблица 1

Техническая характеристика охладителя доменного газа

Наименование параметра		Значение
Габаритные размеры, мм	диаметр газохода	1400
	длина	3366
Количество установленных форсунок, шт		18
Рабочее давление перед форсунками, мПа:	азота	0,25–0,4
	воды	0,4–0,6
Максимальный расход воды, м³/ч		до 11,0
Максимальный расход азота через форсунку, м³/ч		до 10,0
Максимально допустимая температура перед охладителем, °С		450
Температура газов после охладителя, °С		до 220

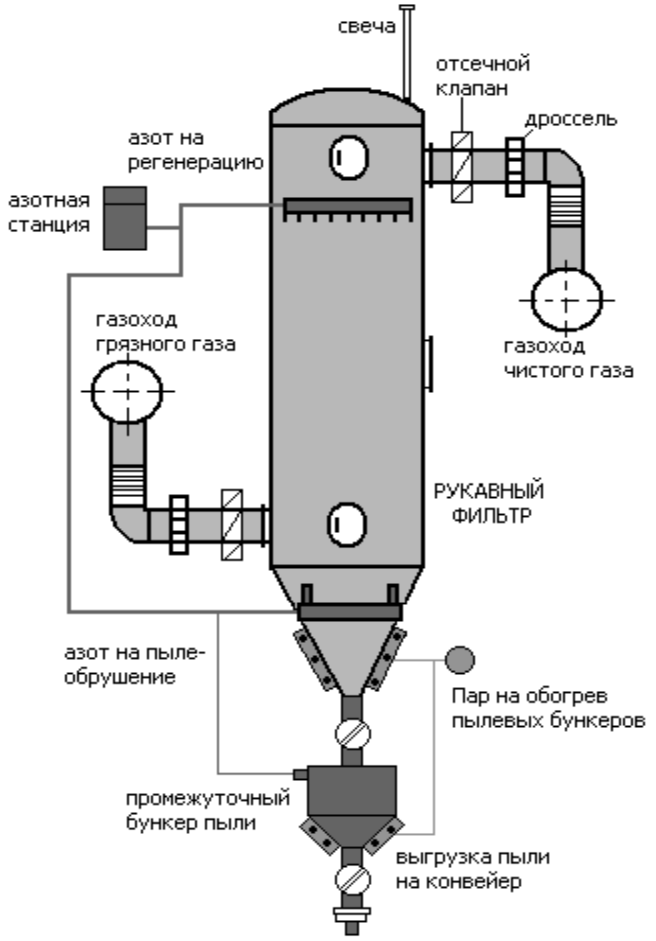


Рис. 4. Общий вид секции рукавного фильтра ФРИР 550

газа. Граница разделения определятся плоскостью крепления рукавных фильтров.

Регенерация рукавного фильтра осуществляется по достижению верхнего значения сопротивления фильтра подачей импульса сжатого азота во внутрь фильтровальных рукавов. Регенерация фильтра проходит с закрытым клапаном чистого газа. Азот для режима регенерации поступает от азотной станции.

Обслуживание камер грязного и чистого газа (рис. 5) осуществляется через герметичные люки Ду 600. В верхней части корпуса каждой секции предусмотрена продувочная свеча для продувки секций паром.

Система выгрузки пыли выполнена по шлюзовому принципу с промежуточным бункером пыли, для исключения подсосов атмосферного воздуха, а также выброса отходящих газов на рабочую площадку обслуживания пылевыгрузки. Нижняя часть секции фильтра, а также промежуточного бункера пыли имеет систему обогрева и пылеобрушения.

Для проектирования системы газоочистки доменной печи были приняты исходные данные, приведенные в табл. 3, а в табл. 4 приведены проектные показатели работы.

На рис. 6 показана смонтированная система газоочистки. Все секции ФРИР550 установлены в пространственные металлоконструкции на собственном основании с площадками обслуживания на уровне расположения системы регенерации и камер чистого

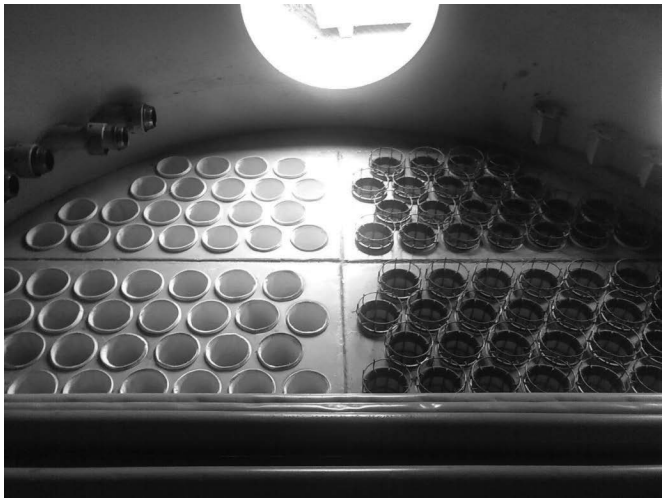


Рис. 5. Общий вид камеры чистого газа ФРИР 550

газа, нижней части камеры грязного газа, а также основных элементов системы выгрузки пыли.

Вход грязного газа и выход чистого газа с каждой секции объединены соответствующими коллекторами с клапанной группой, работающей в автоматическом режиме.

Запыленность доменного газа до рукавного фильтра и после него определялась методом внешней фильтрации. В качестве отборного устройства использовалась трубка из нержавеющей стали ∅ 6 мм. В качестве фильтрующего элемента была использована комплексная набивка – фильтр АФА. Расход отобранной пробы измерялся стеклянным ротаметром.

Таблица 3

Исходные данные для проектирования системы очистки колошниковых газов доменной печи объемом 1066 м³

Наименование параметра	Ед. изм.	Параметр
Максимальный расход газа при рабочих условиях (200 °С)	тыс. м³/ч	180
Пиковая температура газов на колошнике	°С	280
Содержание пыли перед газоочисткой	г/нм³	до 12
Количество секций в фильтре	шт	9
Общая площадь фильтрации	м²	3840
Удельная газовая нагрузка на ткань	м³/м²·мин	0,8
Максимальный расход сжатого азота на регенерацию	нм³/ч	150
Давление сжатого азота в системе	атм	не менее 6
Максимальный расход воды на охлаждение доменного газа	м³/ч	8
Давление технической воды перед форсунками	атм	6,0
Температура газов перед фильтром	°С	не более 200
Гидравлическое сопротивление	Па	2800
Запыленность газов после очистки	мг/м³	не более 4

Таблица 4

Проектные параметры работы системы очистки колошниковых газов доменной печи объемом 1066 м³

1.	Температура газов перед охладителем, °С	100–800
2.	Температура газов перед фильтром, °С	100–200
3.	Температура газов после фильтра, °С	100–200
4.	Температура газов после дроссельной группы, °С	100–180
5.	Расход доменного газа через фильтр, тыс. нм³/ч	0–180
6.	Давление доменного газа перед фильтром, кПа	0–150
7.	Давление доменного газа после рукавного фильтра, кПа	0–150
8.	Давление доменного газа после дроссельной группы, кПа	0–25
9.	Температура пара, подаваемого на обогрев, °С	0–600
10.	Давление пара, подаваемого на обогрев, мПа	0–1,0
11.	Давление воды, подаваемой на охладитель, мПа	не менее 1,0
12.	Давление азота на охладитель, мПа	не менее 0,6
13.	Давление азота на входе в эстакаду, кПа	не менее 63,0
14.	Расход азота на входе в эстакаду, м³/ч	до 200
15.	Запыленность газов, поступающих на очистку в рукавный фильтр, г/нм³	до 40
16.	Запыленность газов после очистки, мг/нм³	4,0
17.	Эффективность очистки доменного газа, %	99,99



Рис. 6. Система очистки доменного газа в рукавном фильтре ФРИР 550х9

Результаты замеров запыленности доменного газа представлены в табл. 5.

Замеры запыленности доменного газа производились в разное время. При отборе проб на запыленность использовались шлюзовые затворы, которыми оборудованы замерные точки до и после рукавного фильтра. Среднее значение количества улавливаемой в рукавном фильтре пыли рассчитывалось по формуле:

$$P = Z \cdot q \cdot Q_{ср} \cdot 24/10^6,$$

где Z – входная запыленность доменного газа, г/нм³; Q – коэффициент очистки; $Q_{ср}$ – количество доменного газа, нм³/ч; 24 – время работы рукавного фильтра, ч; 10^6 – коэффициент перевода количества уловленной пыли в т/сутки.

$P = 11{,}9286 \cdot 0{,}9996 \cdot 120000 \cdot 24/10^6 = 34{,}34$ т/сутки.

Плотность пыли при выплавке передельного чугуна колеблется в пределах 3–4 г/см³. Дисперсный

Таблица 5

Запыленность доменного газа

Наименование параметра	Место отбора	Ед. изм.	Значение	Ср. знач.
Запыленность доменного газа	Перед рукавным фильтром	г/нм³	12,4110	11,929
			19,6480	
			1,8260	
			1,4270	
			2,9870	
			15,3310	
			29,8700	
Запыленность доменного газа	После рукавного фильтра	г/нм³	0,0048	0,004
			0,0040	
			0,0036	
			0,0045	
			0,0032	
			0,0043	
			0,0037	
Эффективность очистки	–	%	–	99,970

Таблица 6

Дисперсный состав пыли при производстве передельного чугуна

Размер частиц, мкм	≤ 1,8	1,8–5,5	5,5–29	29–45	45–63	≥ 63
%мас.	0,6	2,0	18,2	40,8	15,7	22,7

состав пыли, уловленной в рукавном фильтре, определялся ситовым анализом. Результаты лабораторного анализа представлены в табл. 6.

Выводы

По результатам внедрения и работы «сухой» очистки колошниковых газов доменной печи объемом 1066 м^3 можно сделать ряд выводов:

1. Количество газов, поступающих на очистку, составляет от 40 до 160 тыс. нм^3/ч с температурой доменного газа после пылеуловителя 270÷280 °С.

2. Падение температуры в газоходе на участке от колошника до охладителя составляет 50–70 °С. Охладитель доменного газа обеспечивает снижение пиковых значений температуры до рабочего значения 220°С. При работе охладителя в интервале температур от 80 до 220 °С в газоходе отсутствуют отложения, увеличивающие сопротивление газового тракта.

3. Максимальное сопротивление фильтра при температурах доменного газа от 60 до 220 °С составляет от 1,0 до 4,5 кПа, при более низких температурах может достигать 20 кПа. Понижение температуры доменного газа ниже точки росы (+ 50 °С) способствует выпадению сконденсировавшейся влаги и увеличению сопротивления рукавного фильтра. Увеличение сопротивления фильтра при низких температурах доменного газа приводит к увеличению числа работающих секций с 5 до 8.

4. Запыленность доменного газа, поступающего на очистку в рукавный фильтр, составляет 1,427÷29,87г/нм^3. Среднее значение входной запыленности 12 г/нм^3. Среднее значение запыленности доменного газа после очистки составляет – 4,3 мг/нм^3. Количество пыли, улавливаемой в рукавном фильтре за сутки, зависит от количества газа, поступающего на очистку, эффективности работы пылеуловителя и составляет примерно 25–35 т.

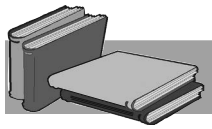
5. Доменный газ, после «сухой» очистки в рукавном фильтре, по техническим условиям пригоден для дальнейшего использования на установках ГУБТ.

В табл. 7 приведены экономические показатели работы системы сухой очистки колошникового газа доменной печи полезным объемом 1066 м^3.

Таблица 7

Экономические показатели работы системы сухой очистки колошникового газа доменной печи полезным объемом 1066 м^3

Наименование параметра	Значение
Количество уловленной сухой пыли, готовой к утилизации, т/год	20 000
Температура доменного газа, подающегося после очистки на ТЭЦ-ПВС, °С	70
Экономия природного газа, тыс. м^3/год	600
Годовая экономия электрической энергии по сравнению с мокрой газоочисткой, МВт ч	5,2

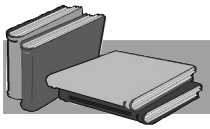


ЛИТЕРАТУРА

1. *Большаков В.И.* Новые технические решения в металлургическом оборудовании. *Металлургическая и горнорудная промышленность.* 2000. № 4. С. 10–13.
2. *Большаков В.И.* Проблемы инновационного развития ГМК Украины. *Металлургическая и горнорудная промышленность.* 2003. № 2. С. 1–4.
3. *Большаков В.И.* Теория и практика загрузки доменных печей. М.: Металлургия. 1990. 256 с.
4. *Большаков В.И.* Современные загрузочные устройства и системы контроля для реконструкции доменных печей. *Металлургическая и горнорудная промышленность.* 2004. № 5. С. 96–100.
5. Доменное производство «Криворожстали». Монография под ред. чл.-корр. НАН Украины В.И. Большакова. Изд. «Криворожсталь» – ИЧМ. Днепропетровск, 2004. 378 с.
6. *Большаков В.И.* Научное обеспечение реализации перспективных технических решений при реконструкции металлургических агрегатов. *Металлургическая и горнорудная промышленность.*2005. № 3. С. 7–12.
7. *Филатов С.В., Загайнов С.А., Гилева Л.Ю., Курунов И.Ф., Титов В.Н.* Анализ путей повышения энергоэффективности выплавки чугуна в доменных печах НЛМК. *Известия Высших Учебных Заведений. Черная Металлургия.* 2017. № 60 (8). С. 637–642.
8. *Готлиб А.Д.* Доменный процесс. М.: Металлургия,1966. 503 с.
9. *Вегман Е.Ф., Жеребин Б.Н., Похвиснев А.Н. Юсфин Ю.С.* Металлургия чугуна. Учебник для ВУЗов. М.: Академкнига, 2004. 774 с.

10. *Старк С.Б.* Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве. М.: Металлургия, 1990. 400 с.
11. *Алиев Г.М.* Устройство и обслуживание газоочистных и пылеулавливающих установок. Учебник. М.: Металлургия, 1988. 368 с.

Поступила 14.08.2019



REFERENCES

1. *Bolshakov, V.I.* (2000). New technical solutions in metallurgical equipment. *Metallurgical and mining industry,* no. 4, pp. 10–13 [in Russian].
2. *Bolshakov, V.I.* (2003). Problems of innovative development of the Mining and Metallurgical Complex of Ukraine. *Metallurgical and mining industry.* no. 2, pp. 1–4 [in Russian].
3. *Bolshakov, V.I.* (1990). Theory and practice of blast furnace loading. Moscow: Metallurgiya, 256 p. [in Russian].
4. *Bolshakov, V.I.* (2004). Modern loading devices and control systems for the blast furnaces redevelopment. *Metallurgical and mining industry,* no. 5, pp. 96–100 [in Russian].
5. *Bolshakov, V.I.* (Ed.) (2004). "Kryvorizhstal" blast furnace production. Monography. Kryvorizhstal. IFM. Dnipropetrovsk, 378 p. [in Russian].
6. *Bolshakov, V.I.* (2005). Scientific support for the implementation of promising technical solutions in the reconstruction of metallurgical units. *Metallurgical and mining industry,* no. 3, pp. 7–12 [in Russian].
7. *Filatov, S.V., Zagainov, S.A., Gileva, L.Yu., Kurunov, I.F., Titov, V.N.* (2017). Analysis of ways to improve energy efficiency of pig iron smelting in "NLMK" blast furnaces. *News of Higher Educational Institutions. Heavy Metallurgy*, no. 60 (8), pp. 637–642 [in Russian].
8. *Gotlib, A.D.* (1966). Blast furnace process. Moscow: Metallurgiya, 503 p. [in Russian].
9. *Vegman, E.F., Zherebin, B.N., Pohvisnev, A.N. Yusfin, Yu.S.* (2004). Pig iron metallurgy. Textbook for Higher Educational Institutions. Moscow: Academkniga, 774 p. [in Russian].
10. *Stark, S.B.* (1990). Gas purification devices and installations in metallurgical production. Moscow: Metallurgiya, 400 p. [in Russian].
11. *Aliev, G.M.* (1988). Installation and maintenance of gas purification and dust removal systems. Textbook. Moscow: Metallurgiya, 368 p. [in Russian].

Received 14.08.2019

Анотація

С.В. Семірягін, канд. техн. наук, доц., заст. ген. директора, e-mail: td.destal@ukr.net; **В.В. Осипенко**, ген. директор, e-mail: destal@ukr.net
Ю.В. Бубунець, канд. техн. наук, начальник проектно-конструкторського управління (ПКУ), e-mail: pko.destal@ukr.net

ТОВ НВП «Дніпроенергосталь», Запоріжжя, Україна

Суха очистка доменних газів як елемент енергоефективності технології виробництва чавуну

Статтю присвячено висвітленню застосування сухих систем очищення для технологічних відхідних газів доменного процесу виробництва чавуну. Суха система газоочищення доменного газу є одним з важливих чинників енергоефективності доменного процесу виробництва чавуну. Сучасне газоочисне обладнання на основі рукавних фільтрувальних елементів дає можливість отримати суттєві екологічні результати, а крім того, підвищити калорійність відхідних колошникових газів.
Реалізована ТОВ НВП «Дніпроенергосталь» суха система газоочищення на доменній печі корисним об'ємом 1066 м^3, заснована на застосуванні рукавного фільтра ФРІР550, який об'єднано у блок з 9-ти секцій, що працюють в автономному режимі. Загальна продуктивність системи становить до 180 тис. м^3/год, при цьому в роботі (режим очищення) знаходяться від 5 до 8 секцій, а решта секцій знаходяться в режимі регенерації або гарячому резерві.
Температурний режим роботи фільтра більшою мірою залежить від технологічного режиму роботи доменної печі. Діапазон температури відхідних колошникових газів становить 80–280 °С, при цьому фільтрувальна тканина має робочий діапазон температур 120–150 °С. З метою регулювання та коригування температури газоочисна установка (ГОУ) доменної печі має дві регулюючі системи, а саме – радіаторний охолоджувач і зрошуваний водою газохід-охолоджувач. Швидкість зниження температури на радіаторному охолоджувачі становить 0,7 °С/м. Зниження температури за рахунок води здійснюється в автоматичному режимі за даними термопар.
Вибухо- та пожежобезпечність ГОУ забезпечується застосуванням інертних газів для періоду регенерації фільтра, а

герметичність – за рахунок реалізації шлюзової схеми вивантаження пилу через проміжну бункерну ємність.
Ефективна суха система очищення колошникових газів дозволяє підвищити надійність роботи обладнання ТЕЦ ПВС доменного цеху, виключаючи конденсаційні ефекти і абразивну дію колошникового пилу.

Ключові слова

Система газоочищення, колошниковий газ, очищення газів, колошниковий пил, доменна піч, рукавний фільтр, калорійність газу, енергоефективність, виплавка чавуну.

Summary

S.V. Semiriagin, PhD (Engin.), Associate Professor, Deputy of General Director, e-mail: td.destal@ukr.net; **V.V. Osipenko**, General Director, e-mail: destal@ukr.net; **Yu.V. Bubunets**, PhD (Engin.), Chief of Design and Engineering Department, e-mail: pko.destal@ukr.net

SME Dneproenergostal LLC, Zaporizhzhia, Ukraine

Dry purification system of blast furnace gases as an element of energy efficiency of cast iron production technology

The article is devoted to coverage of the usage of dry purification systems for technological waste gases of a blast furnace process for the cast iron production. The dry blast furnace gas purification system is one of the important factors in the energy efficiency of the blast furnace process of cast iron production. Modern gas purification equipment based on bag filter elements makes it possible to obtain significant environmental results, and, in addition, to increase the calorific value of flue gases.
The dry gas purification system implemented by Scientific and Manufacturing Enterprise Dneproenergostal LLC using a blast furnace with a useful volume of 1066 m^3 is based on the usage of the FRIR-550 bag filter combined into a unit of 9 sections operating in an autonomous mode. The total system capacity is up to 180 thousand m^3/hour, while in operation (purification mode) there are 5 to 8 sections, and the remaining sections are in regeneration mode or hot standby.
The temperature regime of the filter to a greater extent depends on the technological regime of the blast furnace operation. The temperature range of the flue gases is 80–280 ˚C, while the filter cloth has a working temperature range of 120–150 ˚C. In order to regulate and adjust the temperature, the blast furnace gas purification plant (GPP) has two control systems, namely a radiator cooler and a gas duct-cooler irrigated with water. The rate of temperature drop on the radiator cooler is 0.7 ˚C/m. Temperature drop due to water is carried out automatically according to thermocouples data.
The explosion and fire safety of the GPP is ensured by the use of inert gases for the filter regeneration period, and the tightness – due to the implementation of the gateway dust discharge circuit through the intermediate hopper tank.
An efficient dry flue gas purification system provides the reliability of the TPP (Thermal Power Plant) equipment of the blast furnace steam air duct installation, eliminating the condensation effects and abrasive effect of flue gas dust.

Keywords

Gas purification system, flue gas, gas purification, flue gas dust, blast furnace, bag filter element, gas calorific value, energy efficiency, cast iron smelting.

УДК 621.746.6:531.42:62-412

Ф.К. Биктагиров, д-р техн. наук, ст. науч. сотр., вед. науч. сотр., e-mail: biktagirov@paton.kiev.ua
В.А. Шаповалов, чл.-корр. НАН Украины, проф., зав. отделом, e-mail: shapovalov@paton.kiev.ua
А.В. Гнатушенко, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., ст. науч. сотр., e-mail: sasha-1978@ukr.net
Р.Ю. Качан, вед. инженер, e-mail: kachan808@gmail.com

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина

Компьютерное моделирование формирования 50-тонного листового слитка

Статья посвящена исследованию особенностей формирования 50-тонного листового слитка из стали типа 15Г2СФ, идущего на изготовление толстолистового проката. С использованием программного пакета «MagmaSoft» выполнено компьютерное моделирование разливки и затвердевания металла. Показано, что после окончания разливки сифонным способом металл в центральной осевой зоне слитка имеет более высокую температуру по сравнению с вышележащими горизонтами. Также более прогретой, до температуры 650–700 ˚С, является центральная по высоте зона изложницы.

Согласно результатам моделирования, полное время затвердевания металла при получении данного слитка составляет около 8 часов. По мере затвердевания металла увеличивается протяженность двухфазной зоны и, начиная примерно с 2 часов после окончания разливки, темп нарастания объема жидко-твердой области резко возрастает. Так, к 3 часам с начала периода затвердевания протяженность двухфазной зоны по оси слитка составляет около 35 % от высоты тела слитка, а к 4,5–5 часам – уже почти 80 %. Моделирование показывает, что постепенно происходит сужение металлической ванны на уровне верха изложницы, и к 3,5 часам после окончания разливки двухфазная зона в верхней части слитка полностью перекрывает нижележащие области жидкого состояния. Поэтому с этого времени затрудняется поступление жидкого металла из прибыли вглубь слитка, что приводит к образованию на расстоянии 300–500 мм от его верха усадочных пустот и повышенной пористости металла.

Выявленные особенности формирования 50-тонного листового слитка свидетельствуют о наличии в нем дефектов усадочного происхождения, которые могут выявляться при ультразвуковом контроле толстолистового проката. Поэтому необходимо повышать качество исходной литой заготовки, например, применяя технологию электрошлакового обогрева и подпитки, которая позволяет повысить не только физическую, но и химическую однородность подобных слитков.

Ключевые слова: *плоский слиток, моделирование, «MagmaSoft», разливка, температура металла, затвердевание, двухфазная зона, усадочные дефекты.*

Несмотря на все большее распространение непрерывной разливки стали на установках машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), определенная доля жидкого металла разливается в изложницы с получением крупных слитков массой десятки и сотни тонн. Они предназначены для производства изделий, которые невозможно или нецелесообразно получать непрерывной разливкой. В основном это так называемые круглые кузнечные слитки, подвергаемые ковке (прессованию) для придания им формы, близкой к геометрическим размерам конкретных изделий, таких как прокатные валки, роторы, диски и им подобные. Помимо кузнечных слитков разливкой в изложницы получают и плоские слитки, предназначенные для производства толстолистового проката.

Так для производства горячекатаного листа (плит) толщиной от 80 до 250 мм из низколегированной высокопрочной стали металл разливают в плоские слитки массой до 50 тонн. При прокатке таких слитков на плиты большой толщины (180 мм и более) в зоне, соответствующей верхней части слитка, нередко при ультразвуковом контроле выявляются дефекты.

Хорошо известно, что образование и развитие дефектов в стальном слитке связано со сложными гидродинамическими, теплофизическими и физико-химическими процессами, происходящими при переходе металла из жидкого состояния в твердое. Оказывают влияние на эти процессы много факторов, в том числе такие, как способ разливки, геометрические параметры разливочной оснастки, марка стали, температура разливки, способ утепления прибыли и ряд других. Учитывая трудоемкость и сложность исследования слитков, особенно крупных, путем их производства и дальнейшего изучения внутреннего

строения, в настоящее время для прогнозирования влияния тех или иных параметров на качество литых изделий широко применяются методы моделирования.

Поэтому с целью выявления причин образования дефектов в упоминаемых листовых слитках проводилось моделирование затвердевания металла при их отливке.

Первоначально выполнялось математическое (компьютерное) моделирование с использованием программного комплекса «MagmaSoft», широко используемого для моделирования процессов литья и затвердевания металла [1]. Исследования проводились применительно к производству слитка массой 50 т из стали типа 15Г2СФ с содержанием основных легирующих элементов, % мас.: C = 0,14–0,16; Mn = = 1,2–1,4; Si = 0,3–0,5; V = 0,1–0,15; Nb = 0,03–0,05; Ni = 0,1–0,2. Температура ликвидуса этой стали – 1510 °С, а солидуса – 1440 °С.

Размеры внутренней полости изложницы и прибыльной надставки моделируемого слитка приведены на рис. 1.

Разливка металла с температурой 1535–1540 °С при производстве данного слитка осуществляется в чугунную изложницу, подогретую до 100 °С сифонным способом через один установленный по центру слитка стакан диаметром 60 мм при диаметре сифонной проводки 110 мм, как это показано на разрезе поперек середины широкой грани слитка 3Д

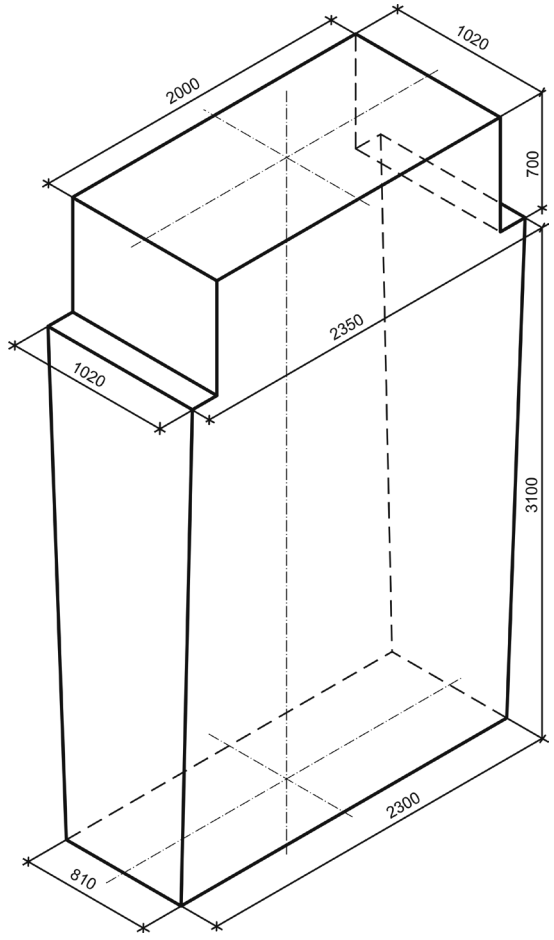


Рис. 1. Геометрические размеры внутренней полости изложницы и прибыльной надставки для отливки 50-тонного листового слитка

модели разливочной оснастки (рис. 2). Прибыльная надставка по периметру утепляется теплоизолирующими вкладышами толщиной 60 мм, в процессе заливки на зеркало металла подается утепляющая смесь в количестве 120–140 кг.

Основные сведения, необходимые для выполнения расчета гидродинамики разливки и кристаллизации металла, касающиеся теплофизических свойств металла, в том числе их температурные изменения, особенностей процессов теплопередачи как в металлической ванне, так и на границе металл-изложница и изложница-окружающая среда в различные периоды формирования слитка, теплоизоляционные свойства применяемых для утепления прибыли теплоизолирующих смесей и огнеупорных изделий и ряд других были выбраны из базы данных упоминаемого программного пакета «MagmaSoft».

Исследование формирования рассматриваемого листового слитка включало в себя моделирование разливки и моделирование затвердевания залитого в изложницу металла. Согласно полученным результатам, время заполнения металлом изложницы и прибыльной надставки составило около 25 минут, что соответствовало времени заливки в реальных условиях. Температурное поле тела слитка после окончания разливки неоднородное. Хорошо видно, что наиболее высокую температуру в пределах 1523–1529 °С имеет металл в центральной (условно осевой) зоне шириной 150–200 мм практически по всей высоте слитка, а также в верхней части прибыльной надставки (рис. 3). Причем этот осевой «шлейф» наиболее перегретого металла имеет небольшое отклонение в сторону, противоположную сифонной проводке.

Обращает на себя внимание то, что температура металла в центральной зоне самой верхней части тела слитка ниже по сравнению с нижележащими горизонтами. А самую высокую температуру имеет уча-

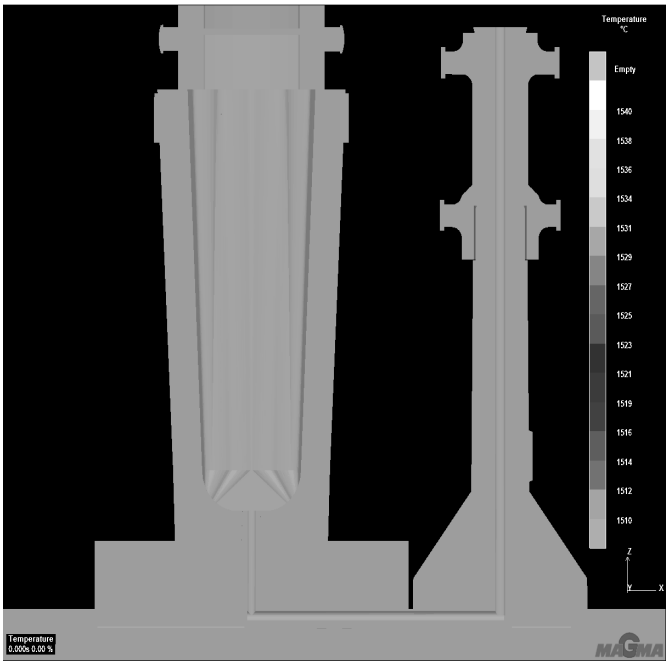


Рис. 2. Вид оснастки и схема разливки при получении листового слитка массой 50 т

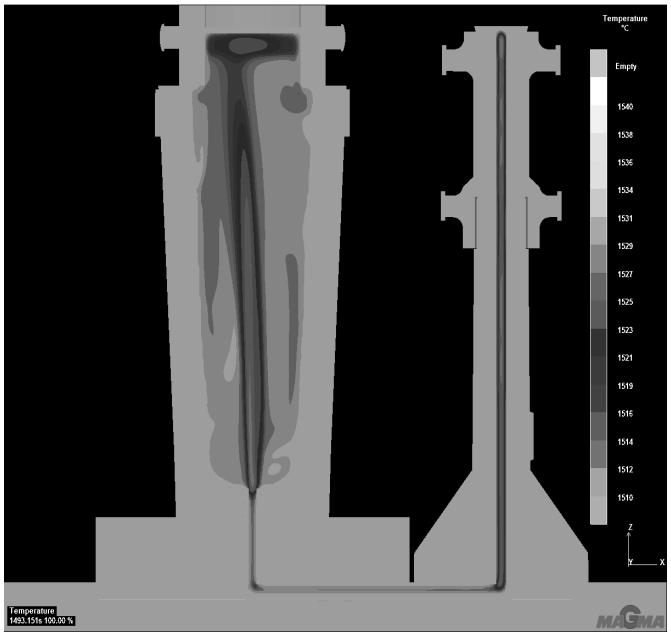


Рис. 3. Температурное поле слитка после окончания разливки

сток в донной части слитка, непосредственно примыкающий к месту поступления металла в изложницу. Такая картина распределения температуры в объеме залитого в изложницу металла является следствием сочетания гидродинамических процессов, характерных для сифонной разливки в целом, с особенностями металлических потоков, возникающих в рассматриваемых условиях получения конкретного слитка.

Программный пакет «MagmaSoft» рассчитывает при заливке и прогрев оснастки, который оказывает влияние в дальнейшем на условия теплоотвода от затвердевающего металла и учитывается при оценке хода кристаллизации. Так согласно результатам моделирования на время окончания заливки наиболее прогретой, до температуры 650–700 °С, является центральная по высоте зона изложницы. Донная часть изложницы вследствие охлаждающего действия поддона имеет температуру на 100–150 °С ниже. Также меньше по сравнению с изложницей прогрев прибыльной надставки, которая изолирована от горячего металла огнеупорным материалом.

Дальнейшее моделирование кристаллизации металла осуществлялось с учетом теплового состояния слитка и оснастки, которое было выявлено на момент окончания разливки. Отмеченные факторы – неравномерность температуры металла и температуры оснастки имеют очень важное значение с точки зрения формирования слитка, так как оказывают влияние на условия теплоотвода от различных по высоте его участков. Если бы моделировалось затвердевание металла после мгновенного заполнения изложницы, имеющей одинаковую температуру по высоте, жидким металлом определенной температуры, одинаковой для всего объема слитка, результаты такого моделирования не соответствовали бы тому, что происходит в реальных условиях.

Математическое моделирование затвердевания с помощью программного пакета «MagmaSoft» позволяет отследить изменение большого числа показателей, имеющих отношение к затвердеванию металла, залитого в изложницу. Помимо сведений о температурном поле слитка и связанного с этим данных о времени полного затвердевания, динамики продвижения фронта кристаллизации, изменении объема (массы) жидкого и твердого металла, положения тех или иных изотерм, моделирование показывает наличие и места сосредоточения усадочных пустот и повышенной рыхлости, оценивает плотность металла, в том числе по критерию Ниямы [2]. А также рассчитывает степень напряженно-деформационного состояния как слитка, так и изложницы и даже степень ликвации растворенных в железе элементов.

Наиболее информативными и показательными, с точки зрения понимания условий формирования рассматриваемого слитка, являются данные о положении во времени изотерм ликвидуса и солидуса. То есть сведения о продвижении фронта начала и окончания кристаллизации металла. На рис. 4 в качестве примера показан вид затвердевающего слитка по двум осевым сечениям вдоль широкой и узкой его граней с выделением областей полностью затвердевшего металла, двухфазной области и оставшейся жидкой фазы.

Как следует из результатов моделирования, после окончания периода заливки возле стенок изложницы уже имеется корка затвердевшего металла с небольшой следующей за ней зоной двухфазного состояния. Только в донной части слитка в прилегающей к одной из граней изложницы области имеется довольно развитая двухфазная зона. Это результат ранее описанной неравномерности температурного поля слитка вследствие сифонной разливки. Количество жидкой незатвердевшей фазы к этому времени составляет около 90 % от всего объема залитого металла.

Первоначально по мере протекания процесса кристаллизации количество затвердевшего металла быстро увеличивается, а количество жидкого, естественно, уменьшается. Так спустя всего 40 минут после окончания разливки количество жидкой фазы составляет около 60 %. К этому времени еще сохраняется тепло перегрева металла, и область двухфазного состояния не получает значительного развития.

В дальнейшем темп нарастания твердой фазы снижается, а объем области двухфазного состояния наоборот увеличивается, и к 3 часам с начала периода затвердевания протяженность твердо-жидкой зоны (δ) по оси слитка составляет почти 35 % от высоты тела слитка (рис. 5).

Обращает на себя внимание то, что к этому времени (рис. 4, *в*), четко видно наличие сужения металлической ванны на уровне верха изложницы. Скорее всего, это следствие сочетания нескольких факторов. А именно, более низкой температуры металла и изложницы в этой области к моменту окончания разливки по сравнению с нижележащими уровнями, а также «угловой эффект» повышенного теплоотвода с верхней плоскости изложницы и в местах перехода от узкой ее грани к широкой.

Вышеописанная особенность формирования исследуемого листового слитка приводит к тому, что спустя около 3,5 часа с начала периода затвердева-

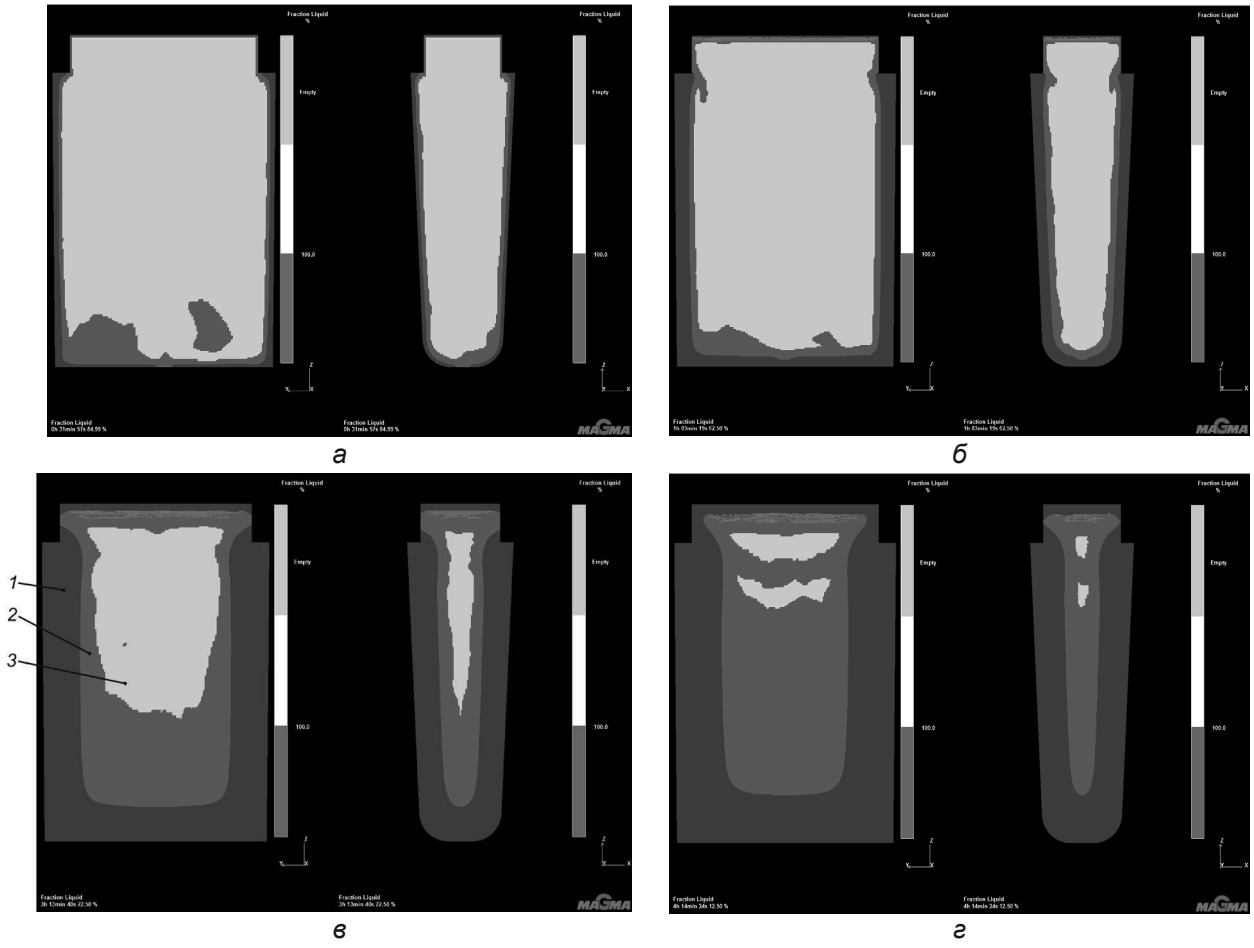


Рис. 4. Вид формирующегося слитка спустя: 6 мин (*а*), 38 мин (*б*), 2 ч 49 мин (*в*) и 4 ч 50 мин (*г*) после окончания разливки: *1* – полностью затвердевший металл; *2* – двухфазная область; *3* – жидкий металл

ния, двухфазная зона в верхней части слитка полностью перекрывает остающуюся ниже еще незатвердевшую жидкую часть слитка. Хорошо это видно на приведенной на рис. 4 (*г*) картине положения областей твердой, жидко-твердой и жидкой фаз после 3 ч 50 мин после окончания разливки. Поэтому с этого времени затрудняется поступление жидкого металла из прибыли в тело слитка и подпитка претерпевающего усадку незакристаллизовавшегося металла. В итоге после полного затвердевания всего металла, которое согласно моделированию наступает спустя примерно 7 ч 50 мин после окончания разливки, в осевой верхней зоне слитка образуется усадочная полость, как это показано на рис. 6. Да и вся центральная зона слитка, ввиду формирования здесь протяженной области двухфазного состояния почти

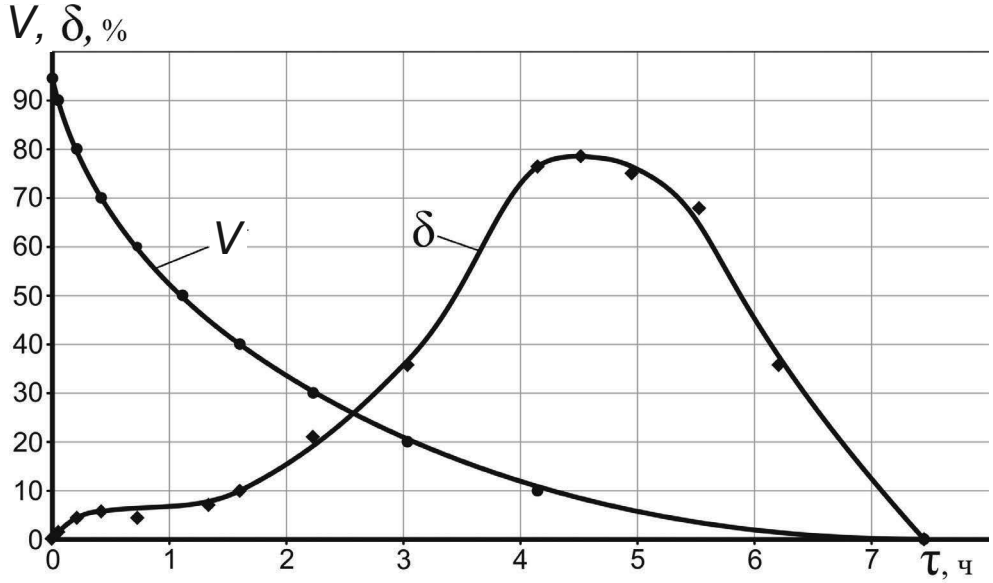


Рис. 5. Изменение объема жидкой фазы (*V*) и протяженности двухфазной зоны по оси слитка (δ)

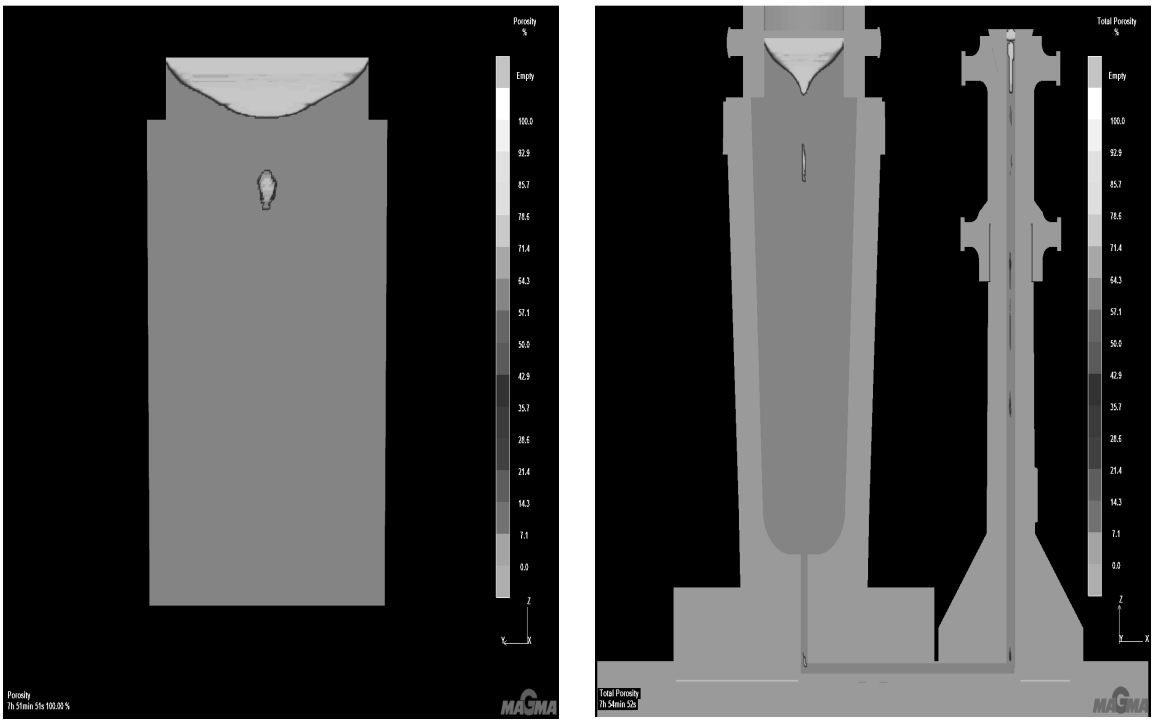


Рис. 6. Вид и расположение общей пористости в листовом слитке массой 50 т

на всю его высоту, имеет повышенную пористость.

Таким образом, результаты математического моделирования формирования 50-тонного листового слитка свидетельствуют, что при его производстве он в центральной области имеет дефекты усадочного происхождения, которые получают наибольшее развитие в подприбыльной его части на расстоянии 300–500 мм от верха тела слитка. Поэтому после прокатки таких слитков на плиты большой толщины они и выявляются при ультразвуковом контроле.

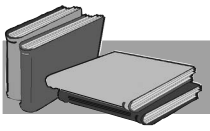
Учитывая проблемы с производством толстых плит из подобных 50-тонных слитков, ведется поиск способов повышения их качества. Одним из таких путей является использование технологии электрошлакового переплава (ЭШП) [3]. Однако себестоимость слитков ЭШП более чем в два раза выше, по сравнению с традиционным методом литья в изложницы.

Как следует из вышеприведенных результатов моделирования, для исключения усадочных дефектов необходимо предотвратить образование «моста» из затвердевающего металла на уровне верхнего среза изложницы на ранних стадиях формирования рассматриваемого слитка. Для этого требуется достаточно длительное время обеспечивать температуру металла в проблемной зоне выше температуры нижележащих слоев. Традиционными методами – увеличением степени теплоизоляции прибыли и ее объема достичь таких условий, скорее всего, будет сложно или даже невозможно.

В работе [4] на примере математического моделирования формирования крупного кузнечного слитка с оценкой плотности металла по критерию Ниямы было показано, что только при дополнительном подогреве металла в прибыли возможно полностью подавить развитие дефектов усадочного происхождения. Из известных методов подвода дополнительного тепла к прибыли стальных слитков в промышленности нашли применение разработки, основанные на электрошлаковых технологиях. Это способы электрошлакового обогрева и электрошлаковой подпитки ЭШО, ЭШО(п), БЭСТ И ТРЕСТ – процессы [5–7]. В том числе применительно к производству крупных листовых слитков [8]. Необходимо отметить, что отсутствие твердой корки на зеркале металла при электрошлаковом обогреве прибыли дает возможность помимо собственно подвода тепла к слитку еще и активно вмешиваться в процессы его затвердевания используя, например, перемешивание жидкой сердцевины слитка тем или иным методом с целью не только борьбы с усадочными дефектами, но и для подавления развития ликвационных процессов.

Выводы

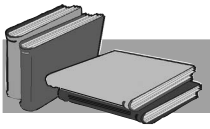
Результаты компьютерного моделирования отливки 50-тонного листового слитка с использованием программного пакета «MagmaSoft» позволяют наглядно представить процессы теплообмена, которые происходят при разливке и затвердевании металла и определяют его физическую и химическую неоднородность. Для разработки реалистичных технологий улучшения качества слитка необходимо исследовать влияние на процессы теплообмена методов дополнительного воздействия на условия формирования слитка (подвод дополнительного тепла, подпитка, внешнее воздействие и др.). Ввиду того, что возможности моделирования с использованием программного пакета «MagmaSoft» в этом плане ограничены, могут быть использованы методы физического моделирования с анализом имеющихся и вновь полученных результатов, а также данных изучения качества реальных слитков, полученных с воздействием различных факторов на процесс затвердевания.



ЛИТЕРАТУРА

1. *Тарасевич Н.И., Корниец И.В., Тарасевич И.Н., Дудченко А.В.* Сравнительный анализ систем компьютерного моделирования металлургических и литейных процессов. *Металл и литье Украины.* 2010. № 5. С. 20–25.
2. *Коротченко А.Ю.* Критерии образования усадочной пористости в отливках. *Литейщик России.* 2010. № 4. С. 43–47.
3. *Чжоу-хуа Цзян, Сю Чень, Синь Ген, Цян Ю.* Металлургические характеристики крупных слябов, полученных электрошлаковым переплавом. *Современная электрометаллургия*. 2018. № 2. С. 19–27.
4. *Ефимов М.В., Биктагиров Ф.К., Тарасевич Н.И.* и др. Влияние технологических параметров на плотность металла при получении крупных слитков. *Металл и литье Украины*. 2017. № 8–10. С. 25–30.
5. *Биктагиров Ф.К., Шаповалов В.А., Ефимов М.В.* и др. Повышение качества крупных слитков. *Современная электрометаллургия*. 2011. № 1. С. 7–11.
6. *Махнер П.* Опыт производства крупных кузнечных слитков с помощью БЭСТ-процесса и состояние технологии электрошлаковой подпитки. *Электрошлаковый переплав*, вып. 6. Киев: Наукова думка, 1983. С. 306–316.
7. *Базеви С., Скепи М., Репетто Е.* Способ ТРЭСТ для производства валов роторов высокого давления из хромомолибденованадиевой стали. *Электрошлаковый переплав,* вып. 6. Киев: Наукова думка, 1983. С. 317–321.
8. *Плекингер Е., Штраубе, Махнер П., Вайс Ф.* Использование БЭСТ-процесса для производства листовых слитков. *Электрошлаковый переплав,* вып. 5. Киев: Наукова думка, 1979. С. 267–269.

Поступила 03.07.2019



REFERENCES

1. *Tarasevich, N.I., Korniets, I.V., Tarasevich, I.N., Dudchenko, A.V.* (2010). Comparative analysis of computer modeling systems for metallurgical and foundry processes. *Metall i lit'e Ukrain*y, no. 5, pp. 20–25 [in Russian].
2. *Korotchenko, A.Yu.* (2010). Criteria for the formation of shrinkage porosity in castings. *Liteishchik Rossii*, no. 4, pp. 43–47 [in Russian].
3. *Zhou-hua Jiang, Xu Chen, Xin Geng, Qiang Yu.* (2018). Metallurgical characteristics of large slabs, produced by electroslag remelting. *Sovremennaya elektrometallurgiya*, no. 2, pp. 19–27 [in Russian].
4. *Efimov, M.V., Biktagirov, F.K., Tarasevich, N.I.* et al. (2017). Influence of technological parameters on metal density at large ingots manufacturing. *Metall i lit'e Ukrainy*, no. 8–10, pp. 25–30 [in Russian].
5. *Biktagirov, F.K., Shapovalov, V.A., Efimov, M.V.* et al. (2011). Improving the quality of large ingots. *Sovremennaya elektrometallurgiya*, no. 1, pp. 7–11 [in Russian].
6. *Mahner, P.* (1983). Experience in the production of large forging ingots using the BEST process and the state of the technology of electroslag feed. *Electroslag remelting*, lss. 6. Kyiv: Naukova dumka, pp. 306–316 [in Russian].
7. *Bazevi, S., Skeli, M., Repetto, E.* (1983). Method TREST for the production of high-pressure rotor shafts from chrome-molybdenum-vanadium steel. *Electroslag remelting*, lss. 6. Kyiv: Naukova dumka, pp. 317–321 [in Russian].
8. *Plekinger, E., Shtraube, Mahner, P., Wais, F.* (1979). Using the BEST process for the production of sheet ingots. *Electroslag remelting,* lss. 5. Kyiv: Naukova dumka, pp. 267–269 [in Russian].

Received 03.07.2019

Анотація

Ф.К. Біктагіров, д-р техн. наук, ст. наук. співр., пров. наук. співр., e-mail: biktagirov@paton.kiev.ua; **В.О. Шаповалов**, чл.-кор. НАН України, проф., зав. відділу, e-mail: shapovalov@paton.kiev.ua; **О.В. Гнатушенко**, канд. техн. наук, ст. наук. співр., ст. наук. співр., e-mail: sasha-1978@ukr.net; **Р.Ю. Качан**, пров. інженер, e-mail: kachan808@gmail.com

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ, Україна

Комп'ютерне моделювання формування 50-тонного листового злитка

Статтю присвячено дослідженню особливостей формування 50-тонного листового злитка зі сталі типу 15Г2СФ, що йде на виготовлення товстолистового прокату. З використанням програмного пакету «MagmaSoft» виконано комп'ютерне моделювання розливки і затвердіння металу. Показано, що після закінчення розливки сифонним способом метал у центральній осьовій зоні злитка має більш високу температуру у порівнянні з розташованими вище горизонтами.

Також більш прогрітою, до температури 650–700 °С, є центральна за висотою зона виливниці.
Згідно з результатами моделювання, повний час затвердіння металу при отриманні даного злитка складає близько 8 годин. У міру затвердіння металу збільшується протяжність двофазної зони і, починаючи приблизно з 2 годин після закінчення розливки, темп нарощування об'єму рідко-твердої області різко зростає. Так, через 3 години з початку періоду затвердіння протяжність двофазної зони за віссю злитка складає близько 35 % від висоти тіла злитка, а через 4,5–5 годин – вже майже 80 %. Моделювання показує, що поступово відбувається звуження металевої ванни на верхньому рівні виливниці, та через 3,5 години після закінчення розливки двофазна зона у верхній частині злитка повністю перекриває розташовані нижче області рідкого стану. Тому з цього часу ускладнюється надходження рідкого металу із надливу вглиб злитка, що призводить до утворення на відстані 300–500 мм від його верху усадкових порожнин і підвищеної пористості металу.
Виявлені особливості формування 50-тонного листового злитка свідчать про наявність у ньому дефектів усадкового походження, які можуть бути виявлені при ультразвуковому контролі товстолистового прокату. Тому необхідно підвищувати якість вихідної литої заготовки, наприклад, використовуючи технологію електрошлакового обігріву та підживлення, яка дозволяє підвищити не тільки фізичну, а й хімічну однорідність подібних злитків.

Ключові слова

Плоский злиток, моделювання, «MagmaSoft», розливка, температура металу, затвердіння, двофазна зона, усадкові дефекти.

Summary

F.K. Biktagirov, Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Leading Researcher, e-mail: biktagirov@paton.kiev.ua; **V.A. Shapovalov**, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Professor, Department Head, e-mail: shapovalov@paton.kiev.ua; **A.V. Gnatushenko**, PhD (Engin.), Senior Research Scientist, Senior Researcher, e-mail: sasha-1978@ukr.net; **R.Yu. Kachan**, Leading engineer, e-mail: kachan808@gmail.com

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Computer modelling of 50-ton sheet ingot forming process

This article is devoted to investigation of peculiarities of 50-ton sheet ingot formation from steel of the type 15Г2СФ, which is used to manufacture steel plates. With the use of the software package "MagmaSoft" computer simulation of casting and solidification of metal was performed. It is shown, that after completion of siphon casting, the metal in central axial zone of the ingot has a higher temperature than the overlying horizons. Central zone by height of the mold is also more heated to a temperature of 650–700 °C.
According to the simulation results, the total solidification time of the metal upon making this ingot is about 8 hours. As the metal solidifies, the length of the two-phase zone increases and, starting from about 2 hours after the end of casting, the rate of the liquid-solid state volume growth increases sharply. By 3 o'clock from the beginning of the solidification period, the length of the two-phase zone along the ingot axis is about 35 % of the ingot body height, and by 4.5–5 hours it is already almost 80 %. Modeling shows that a narrowing of the metal bath at the top of the mold gradually occurs and by 3.5 hours after the end of the casting, the two-phase zone in the upper part of the ingot completely covers the underlying areas of the liquid state. Therefore, from this time on, it is difficult for liquid metal to flow deep down in the ingot, which leads to the formation of shrinkage voids and increased metal porosity at the distance of 300–500 mm from the ingot top.
The revealed features of 50-ton sheet ingot formation indicate the presence of shrinkage origin defects in it, which can be detected with ultrasonic thick plates testing. Therefore, it is necessary to improve the initial cast billet quality, for example, using the electroslag heating and feed technology, that allows you to improve both physical and chemical homogeneity of such ingots.

Keywords

Flat ingot, modelling, «MagmaSoft», casting, metal temperature, solidification, two-phase zone, shrinkage defects.

УДК 669.18

А.Н. Смирнов[1], д-р техн. наук, проф., вед. науч. сотр, e-mail: stalevoz@i.ua, https://orcid.org/0000-0001-5247-3908
В.Е. Ухин[2], канд. техн. наук, инженер по патентной и изобретательской работе, e-mail: ukhinvladimir@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-3560-4130, http://www.researcherid.com/rid/P-9805-2015
А.П. Верзилов[1], канд. техн. наук, ст. науч. сотр., e-mail: verzilovalex@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-0463-5006

[1]Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев, Украина,
[2]ОАО «Шеффилд рефракторис Украина», Днепр, Украина

Исследование особенностей формирования кристаллической структуры непрерывнолитой заготовки при принудительном перемешивании ее жидкой сердцевины

Наиболее эффективным методом исследования динамики затвердевания различного рода слитков является физическое моделирование. Создана физическая модель, имитирующая поперечное сечение непрерывнолитой заготовки. Представлены результаты физического моделирования процесса затвердевания непрерывнолитой заготовки при принудительном перемешивании ее жидкой сердцевины. Отображены особенности формирования кристаллической структуры непрерывнолитой сортовой заготовки в процессе принудительного перемешивания ее жидкой сердцевины магнитным полем на разных этапах затвердевания. В результате проведенных экспериментов установлено, что в процессе принудительного перемешивания жидкой сердцевины при взаимодействии потока расплава с фронтом затвердевания скорость роста ветвей дендрита первого порядка снижается на 50–90 %, а скорость роста ветвей второго порядка увеличивается по сравнению со спокойным состоянием ванны на 20–90 %. При этом наибольшие значения увеличения скорости роста наблюдаются у дендритов, вторичные ветви которых растут в направлении, противоположном движению потока жидкости. Преимущественное развитие ветвей второго порядка дендритов кристаллов в этом случае позволяет заполнить объемы жидкости в межкристаллическом пространстве и увеличить плотность твердой оболочки. Показано, что вершины столбчатых кристаллов, выступающих за фронт затвердевания, отламываются, осколки дендритов попадают в жидкую ванну, а сами кристаллы деформируются при столкновении с движущимися равноосными кристаллами. При этом линия фронта затвердевания выравнивается, а формирующаяся кристаллическая структура уплотняется. Наличие частиц твердой фазы перед фронтом затвердевания в зоне роста столбчатых кристаллов, в свою очередь, при определенных условиях способствует ускорению перехода от зоны столбчатых к зоне равноосных кристаллов.

Ключевые слова: *машина непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), затвердевание, непрерывнолитая заготовка, кристаллическая структура, непрерывная разливка, электромагнитное перемешивание.*

В процессе разливки стали на МНЛЗ на формирующуюся заготовку оказываются различного рода воздействия, которые включают конвективное движение потоков металла и вдуваемого газа в кристаллизаторе, вибрационные и электромагнитные воздействия, упруго-пластические деформации и пр. [1].

Для подавления и предотвращения дефектов кристаллизационного, усадочного и ликвационного характера все большее распространение получают специальные технические приемы, которые позволяют управлять качеством металла за счет регламентированного принудительного перемешивания жидкой фазы непрерывнолитой заготовки посредством наложения различного рода электромагнитных полей [2–6].

Несмотря на технические трудности, существенные положительные результаты по применению электромагнитных воздействий в части торможения потоков стали и стабилизации уровня расплава в кристаллизаторах были достигнуты еще в 80-е годы прошлого века. Такой научно-технологический прорыв стал возможен благодаря развитию представлений о механизме кристаллизации непрерывнолитых заготовок в условиях воздействия на фронт кристаллизации принудительных потоков [7], а также благодаря разработке нового поколения электротехнического

оборудования на соответствующей элементной базе, новых составов огнеупорных материалов, имеющих высокую термическую, химическую и механическую стойкость.

На сегодня разработан целый ряд электромагнитных устройств, применяемых в различных зонах МНЛЗ для влияния на затвердевающую заготовку. Мировыми лидерами в этом направлении являются компании ABB и *JFE Steel* [8].

Электромагнитное перемешивание (ЭМП) жидкотвердой фазы непрерывнолитой заготовки является результатом сложного взаимодействия электродинамических, магнитогидродинамических и металлургических факторов. Создаваемое системой ЭМП магнитное поле, проникая сквозь затвердевшую оболочку слитка, инициирует в жидкой стали вихревые токи, под действием которых металл начинает вращаться. ЭМП улучшает качество подповерхностной и осевой зоны непрерывнолитых заготовок, так как оно воздействует на формирование кристаллической структуры, перемещение неметаллических включений, химическую ликвацию и распределение газов [1].

Цель настоящей статьи заключается в изучении особенностей формирования кристаллической структуры непрерывнолитой сортовой заготовки в процессе принудительного перемешивания ее жидкой сердцевины магнитным полем на разных этапах затвердевания.

Наиболее эффективным методом исследования динамики затвердевания различного рода слитков является физическое моделирование, поскольку в этом случае удается контролировать отвод тепла от исследуемого объекта в совокупности с визуализацией основных процессов, сопровождающих наращивание твердой фазы [1, 9–11]. При этом особое значение приобретает выбор моделирующего вещества, которое должно не только обладать оптической прозрачностью, но также иметь определенную совокупность теплофизических характеристик, позволяющих обеспечить соответствующую систему критериев подобия. Дополнительным условием, которое представляется, по мнению авторов статьи, крайне важным, является затвердевание вещества по дендритному механизму.

Как показывает анализ, в наибольшей степени вышеперечисленным требованиям удовлетворяет химическое соединение камфен (2,2-диметил-3-метилен-бициклогептан), которое затвердевает с образованием дендритной структуры. При этом в жидком состоянии камфен сохраняет оптическую прозрачность вплоть до полного затвердевания. Теплофизические свойства камфена, которые были определены авторами в лабораторных условиях, приведены в табл. 1 [12].

Для исследования особенностей формирования кристаллической структуры была создана физическая модель, имитирующая поперечное сечение непрерывнолитой сортовой заготовки. Принципиальная схема лабораторной установки приведена на рис. 1.

Расплав камфена затвердевал в модели кристаллизатора, которая изготовлена из алюминиевого сплава, что обеспечивает высокую интенсивность отвода тепла. Внутри модели кристаллизатора вмонтированы медные трубки диаметром 5 мм, через которые с определенным расходом пропускается охлаждающая вода. К нижней части модели приклеено прозрачное стекло, которое позволяет визуализировать процессы затвердевания при пропускании света через жидкую ванну. Соответственно, при такой схеме интенсивность теплоотвода через водоохлаждаемые стенки модели на несколько порядков выше, чем через мениск моделирующего вещества и прозрачное стекло.

Физическая модель выполнена в масштабе 1:1 по отношению к моделируемому объекту – непрерывнолитой сортовой заготовке сечением 100×100 мм. Температура заливки камфена составляла 38 ± 0,5 °С. Среднее значение температуры воды для охлаждения стенок модели составляло 18–20 °С. С целью предотвращения влияния теплоотвода через стекло и мениск расплавленного камфена на процесс затвердевания высота модельного слоя жидкости была принята равной 20 мм.

Компенсация различий в теплофизических параметрах стали и камфена осуществлялась путем регулирования интенсивности режимов отвода тепла таким образом, чтобы выполнялось условие тождественности произведения критерия Био (*Bi*) и критерия фазового перехода (*N*) (*Bi*·*N* = idem). Временной масштаб моделирования μ_τ определяли исходя из идентичности критерия Фурье (*Fo* = idem) в соответствии с формулой:

$$\mu_\tau = \frac{a_m}{a_{st}} \cdot \mu_L^2, \qquad (1)$$

где a_m и a_{st} – коэффициенты температуропроводности моделирующего вещества и стали соответственно.

При этом наличие развитой двухфазной зоны учитывалось посредством эффективных значений коэффициентов температуропроводности, которые определялись при помощи следующего уравнения:

$$a_{эф} = \lambda / \rho\left(C + L / \Delta T_{кр}\right), \qquad (2)$$

Таблица 1

Некоторые физические и теплофизические свойства камфена

Температура солидус, °С	Температура ликвидус, °С	Теплота кристаллизации, кДж/кг	Теплоемкость, кДж/(кг·К)		Температуропроводность, м²/с	Поверхностное натяжение, Н/м	Кинематическая вязкость, м²/с
			жидкий	твердый			
33	35	40,2	2,4	2,1	$1{,}3\cdot10^{-8}$	0,021	$7{,}2\cdot10^{-6}$

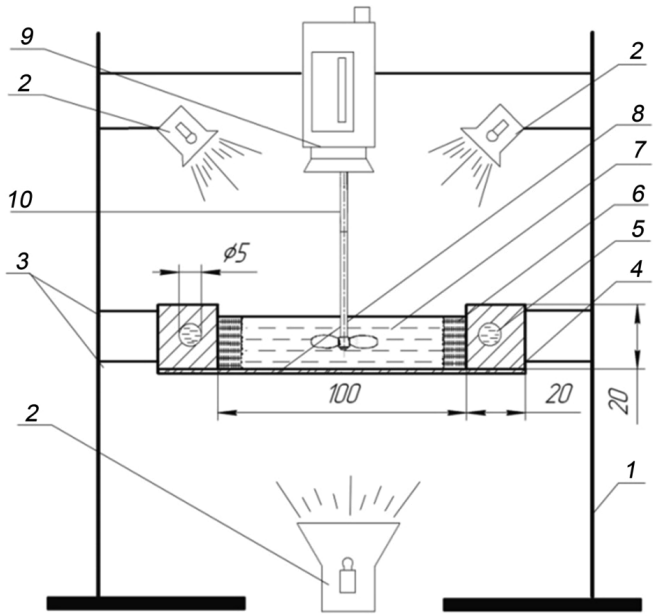


Рис. 1. Общая схема лабораторной установки для моделирования процесса затвердевания заготовки в кристаллизаторе: *1* – фиксирующая рама; *2* – осветительные лампы; *3* – фиксаторы для поддержания кристаллизатора; *4* – кристаллизатор; *5* – отверстия для пропускания охлаждающей воды; *6* – твердый слой камфена, намерзший в ходе затвердевания; *7* – жидкий объем моделирующего вещества; *8* – прозрачное органическое стекло с низкой теплопроводностью; *9* – видеокамера; *10* – лабораторная двухлопастная пропеллерная мешалка

где λ – коэффициент теплопроводности вещества, Вт/(м·К); ρ – плотность вещества, кг/м^3; C – средняя массовая теплоемкость вещества, кДж/(кг·К); L – теплота кристаллизации вещества, кДж/кг; $\Delta T_{кр}$ – интервал температур затвердевания, °С.

Принудительное перемешивание расплава модельного вещества по часовой стрелке в горизонтальной плоскости осуществлялось с помощью лабораторной двухлопастной пропеллерной мешалки, установленной в центре физической модели, со скоростью 60 оборотов в минуту.

Процесс формирования твердой корочки вещества в лабораторной модели фиксировался при помощи цифровой видеокамеры в режиме макросъемки, что позволило визуализировать образование кристаллов и особенности формирования дендритной структуры.

В ходе физического моделирования при отсутствии перемешивания жидкой фазы установлено, что механизм затвердевания модельного вещества при исследовании особенностей формирования кристаллической структуры непрерывнолитой заготовки имеет существенные отличия от «классического» механизма кристаллизации, при котором кристаллы растут параллельно друг другу (рис. 2).

Основной особенностью формирования кристаллической структуры является то, что направление роста столбчатых кристаллов в большинстве случаев является хаотичным относительно поверхности теплоотвода, а скорости роста отдельных дендритов отличаются на 25–35 %. При этом развитие близлежащих кристаллов прекращается из-за столкновения с вторичными ветвями более интенсивно развивающихся дендритов. Следствием этого процесса является отставание в затвердевании части жидкой фазы в междендритном пространстве толщиной равной 20–40 % от толщины твердой фазы слитка (рис. 3, *а*) [13].

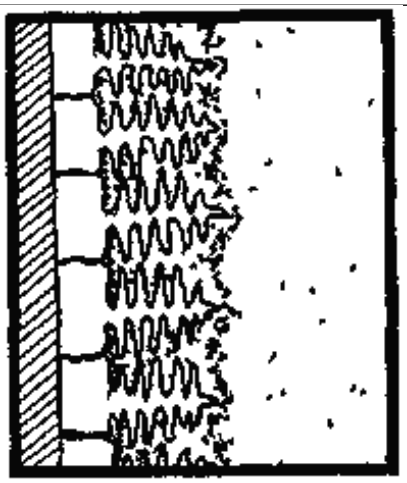
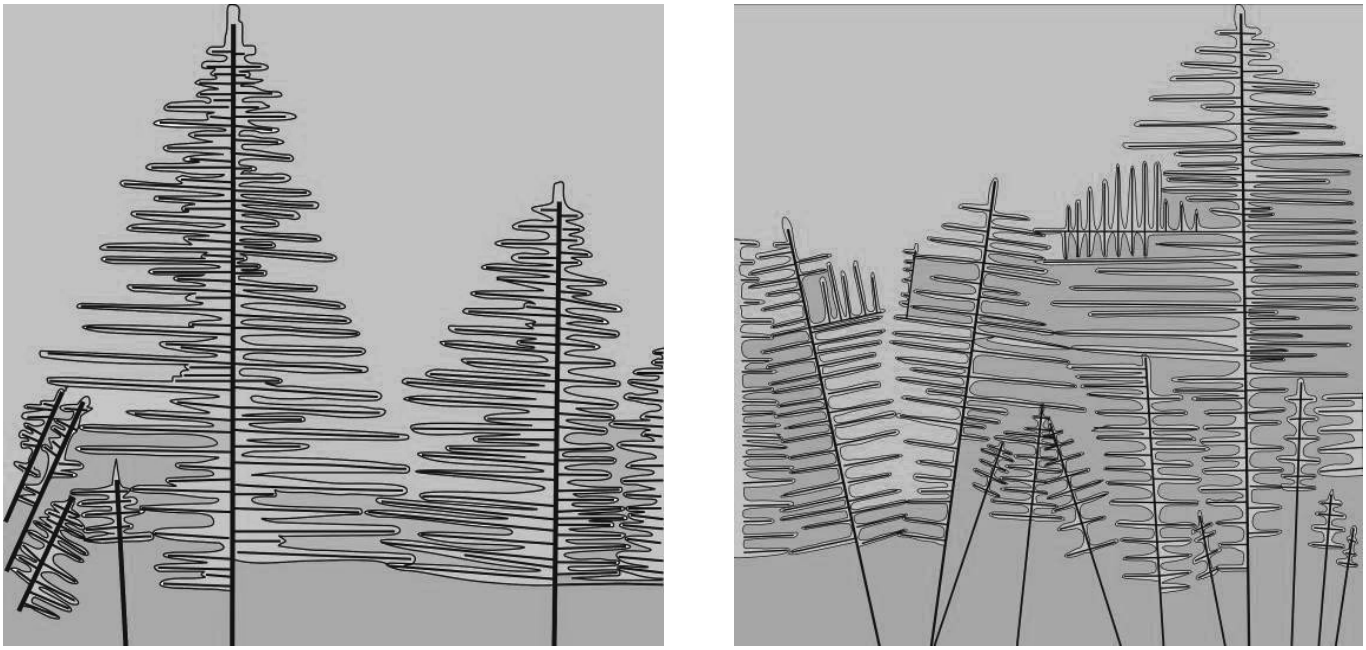


Рис. 2. Схема «классического» механизма роста дендритных кристаллов

Также физическое моделирование показало, что некоторые рядом расположенные столбчатые кристаллы растут под небольшим углом в разные стороны друг от друга. Это приводит к локальному проникновению жидкой фазы вглубь плотной твердой оболочки на 40–60 %, что способствует локальному ухудшению прочности корочки в этой области, и что может стать причиной зарождения и образования трещин при появлении в этой зоне механических или температурных напряжений (рис. 3, *б*) [13].

Для изучения влияния электромагнитного перемешивания на формирование корочки заготовки в кристаллизаторе МНЛЗ вращение жидкой фазы модельного вещества в горизонтальной плоскости осуществлялось при условиях формирования развитой дендритной структуры и отсутствия равноосных кристаллов в расплаве. В результате проведенных экспериментов установлено, что в процессе принудительного перемешивания жидкой сердцевины при взаимодействии потока расплава с фронтом затвердевания, скорость роста ветвей дендрита первого порядка снижается на 50–90 %, а скорость роста ветвей второго порядка увеличивается по сравнению со спокойным состоянием ванны на 20–90 % (рис. 4, *а*). При этом наибольшие значения увеличения скорости роста наблюдаются у дендритов, вторичные ветви которых растут в направлении, противоположном движению потока жидкости. Преимущественное развитие ветвей второго порядка дендритов кристаллов в этом случае позволяет заполнить объемы жидкости в межкристаллическом пространстве и увеличить плотность твердой оболочки.

Исследование особенностей формирования кристаллической структуры заготовки в зоне вторичного охлаждения (ЗВО) при принудительном перемешивании жидкой сердцевины производилось при условии наличия развитой дендритной структуры и присут-

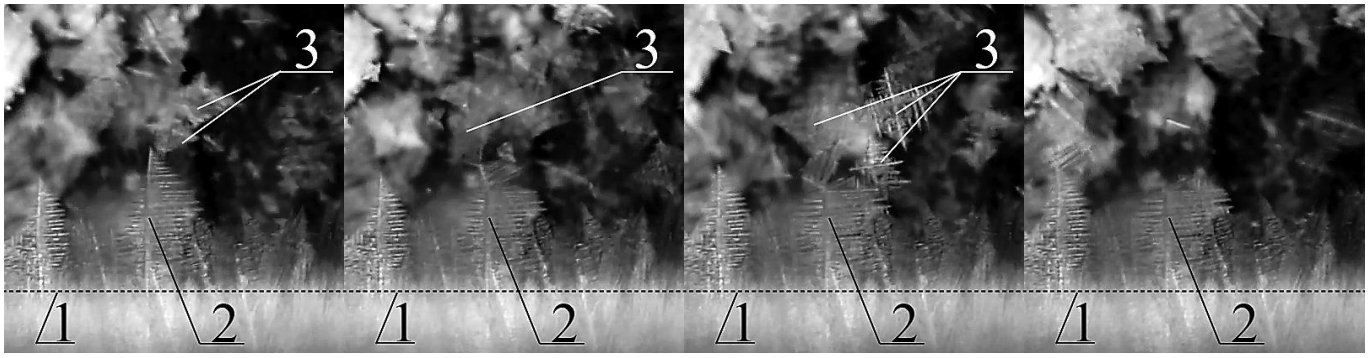


а *б*

Рис. 3. Схемы дендритных структур непрерывнолитой заготовки

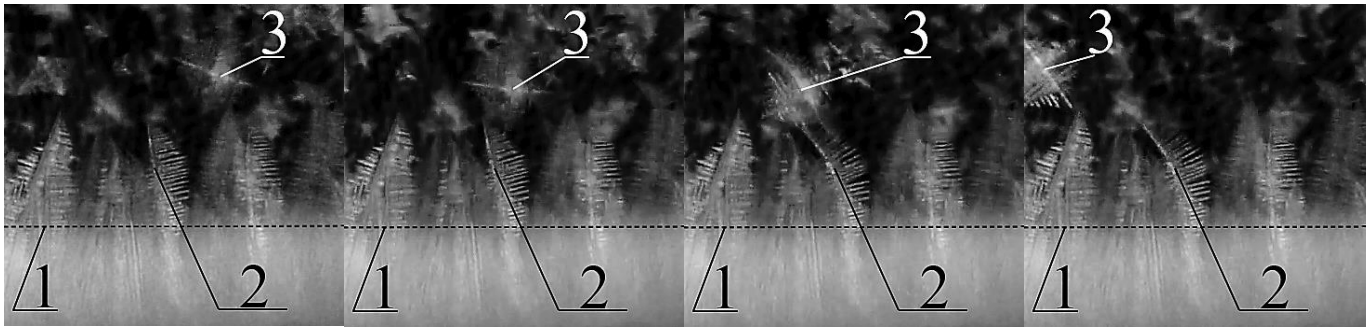
ствия свободно перемещающихся равноосных кристаллов в расплаве. Физическое моделирование показало, что двигающиеся вместе с потоком металла равноосные кристаллы могут сталкиваться с выступающими над фронтом затвердевания вершинами столбчатых кристаллов и отламывать их (рис. 4, *б, в, г*). При этом отломанные части дендритов попадают в расплав и могут служить центрами кристаллизации. Также установлено, что при столкновении с массивным равноосным кристаллом столбчатый кристалл может деформироваться, при наличии достаточного количества пространства в формирующейся оболочке, и вытеснить собой жидкую фазу (рис. 5).

В результате выполненных исследований установлено, что в процессе принудительного перемешивания жидкой сердцевины непрерывнолитой заготовки при взаимодействии потока расплава с фронтом затвердевания, снижается интенсивность роста пер-



а *б* *в* *г*

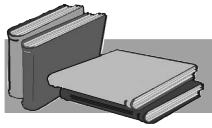
Рис. 4. Кинограмма процесса отделения верхней части дендрита при ее столкновении с движущимся в расплаве равноосным кристаллом: *1* – фронт затвердевания; *2* – столбчатый кристалл; *3* – равноосный кристалл



а *б* *в* *г*

Рис. 5. Кинограмма процесса деформации дендрита при его столкновении с движущимся в расплаве равноосным кристаллом: *1* – фронт затвердевания; *2* – столбчатый кристалл; *3* – равноосный кристалл

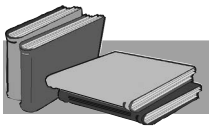
вичных ветвей дендритов, а скорость роста ветвей второго порядка, направленных против движения жидкости, увеличивается в 1,2–1,9 раза, что повышает плотность и прочность корочки слитка. Показано, что вершины столбчатых кристаллов, выступающих за фронт затвердевания, отламываются, осколки дендритов попадают в жидкую ванну, а сами кристаллы деформируются, при столкновении с движущимися равноосными кристаллами. При этом линия фронта затвердевания выравнивается, а формирующаяся кристаллическая структура уплотняется. Наличие частиц твердой фазы перед фронтом затвердевания в зоне роста столбчатых кристаллов, в свою очередь, при определенных условиях способствует ускорению перехода от зоны столбчатых к зоне равноосных кристаллов.



ЛИТЕРАТУРА

1. *Смирнов А.Н., Куберский С.В., Подкорытов А.Л.* и др. Непрерывная разливка сортовой заготовки Алчевск: ДонГТУ, 2012. 449 с.
2. *Ефимов В.А.* Современные технологии разливки и кристаллизации сплавов. М.: Машиностроение, 1998. 360 с.
3. *Айзатулов Р.С., Кузьменко А.Г., Грачев В.Г.* и др. Электромагнитное перемешивание жидкой стали в металлургии. М.: Металлургия, 1996. 184 с.
4. *Самойлович Ю.А.* Кристаллизация слитка в электромагнитном поле. М.: Металлургия, 1986. 168 с.
5. *Бират Ж.-П., Шоне Ж.* Электромагнитное перемешивание при непрерывной разливке заготовок, блюмов и слябов. *Достижения в области непрерывной разливки стали. Тр. Международного конгресса.* М.: Металлургия, 1987. С. 98–116.
6. *Гарнье М.* Возможности и перспективы электромагнитной обработки материалов. *Магнитная гидродинамика*. 1996. Т. 32. № 2. С. 131–140.
7. *Смирнов А.Н., Пилюшенко В.Л., Дубоделов В.И.* и др. Открытие № 299 «Закономерность гомогенизации металлического расплава и эжектирование неметаллических включений при наложении вертикальных потоков в расплаве» // Рег. № АНО/40-09 от 12.12.2005 г. на основании Решения № 181 от 09.12.2005 г. Международной Ассоциации Авторов Научных Открытий.
8. *Эйдем М., Хаклю Х., Коллберг С.* Применение устройств электромагнитного перемешивания (EMS) и установок электромагнитного торможения (EMBR) при производстве стали. *Труды международной конференции «Черная металлургия России и стран СНГ в 21 веке»*. Том 1. М.: Металлургия. 1994. С. 231–238.
9. *Смирнов А.Н., Пилюшенко В.Л., Момот С.В., Амитан В.Н.* Затвердевание металлического расплава при внешних воздействиях. Донецк: Изд-во «ВИК», 2002. 169 с.
10. *Эльдарханов А.С., Ефимов В.А., Нурадинов А.С.* Процессы формирования отливок и их моделирование. М.: Машиностроение, 2001. 208 с.
11. *Смирнов А.Н., Куберский С.В., Головчанский А.В., Максаев Е.Н., Ухин В.Е.* Исследование особенностей формирования следов качания на поверхности непрерывнолитой заготовки. *Известия ВУЗов*. *Черная металлургия.* 2016. Т. 59. № 4. С. 226–231.
12. *Смирнов А.Н., Ухин В.Е., Жибоедов Е.Ю.* Физическое моделирование условий формирования непрерывнолитой сортовой заготовки в кристаллизаторе высокоскоростной МНЛЗ. *Процессы литья*. 2009. № 1. С. 33–42.
13. *Ухин В.Е.* Исследование процесса формирования кристаллической структуры непрерывнолитой сортовой заготовки в кристаллизаторе высокопроизводительной МНЛЗ. *Наукові праці ДонНТУ. Серія* «*Металургія».* 2012. Випуск 14–15. С. 58–67.

Поступила 25.06.2018



REFERENCES

1. *Smirnov, A.N., Kubersky, S.V., Podkorytov, A.L.* et al. (2012). Continuous casting of billets. Alchevsk: DonSTU, 449 p. [in Russian].
2. *Efimov, V.A.* (1998). Modern technologies of casting and crystallization of alloys. Moscow: Mashinostroenie, 360 p. [in Russian].
3. *Aizatulov, R.S., Kuzmenko, A.G., Grachev, V.G.* et al. (1996). Electromagnetic stirring of liquid steel in metallurgy. M.: Metallurgiya, 184 p. [in Russian].
4. *Samoilovich, Yu.A.* (1986). Crystallization of an ingot in an electromagnetic field. Moscow: Metallurgiya. 168 p. [in Russian].
5. *Birat, J.-P., Chaunay, J.* (1987). Electromagnetic stirring during continuous casting of billets, blooms and slabs. *Achievements in the field of continuous casting of steel. Tr. International Congress.* Moscow: Metallurgiya, pp. 98–116 [in Russian].
6. *Garnier, M.* (1996). Opportunities and prospects of electromagnetic processing of materials. *Magnetic hydrodynamics*, Vol. 32, no. 2, pp. 131–140 [in Russian].
7. *Smirnov, A.N., Pilyushenko, V.L., Dubodelov V.I.* et al. (2005). Opening No. 299 “The regularity of homogenization of a metal melt and ejection of non-metallic inclusions when superimposing vertical flows in the melt”. Reg. No. ANO/40–09 dated December 12, 2005 on the basis of Decision No. 181 dated December 9, 2005 of the International Association of Authors of Scientific Discoveries [in Russian].

8. *Eidem, M., Hackle, H., Kollberg, S.* (1994). The use of electromagnetic stirring devices (EMS) and electromagnetic braking systems (EMBR) in steel production. *Proceedings of the international conference "Iron and Steel of Russia and the CIS in 21 century".* Moscow: Metallurgiya, Vol. 1, pp. 231–238 [in Russian].
9. *Smirnov, A.N., Pilyushenko, V.L., Momot, S.V., Amitan, V.N.* (2002). Solidification of a metal melt under external influences. Donetsk: VIK Publishing House, 169 p. [in Russian].
10. *Eldarkhanov, A.S., Efimov, V.A., Nuradinov, A.S.* (2001). The processes of formation of castings and their modeling. Moscow: Mashinostroenie, 208 p. [in Russian].
11. *Smirnov, A.N., Kubersky, S.V., Golovchansky, A.V., Maksaev, E.N., Ukhin, V.E.* (2016). Study of the features of the formation of swing marks on the surface of a continuously cast billet. *Proceedings of universities. Ferrous metallurgy,* Vol. 59, no. 4, pp. 226–231 [in Russian].
12. *Smirnov, A.N., Ukhin, V.E., Zhiboedov, E.Yu.* (2009). Physical modeling of the conditions for the formation of continuously cast billets in a mold of high-speed continuous casting machine. *Casting processes*, no. 1, pp. 33–42 [in Russian].
13. *Ukhin, V.E.* (2012). Investigation of the process of formation of the crystal structure of continuously cast billet in the mold of high-performance continuous casting machine. *Scientific works of DonNTU. Seriya "Metallurgy",* Vol. 14–15, pp. 58–67 [in Russian].

Received 25.06.2019

Анотація

О.М. Смірнов[1], д-р техн. наук, проф., пров. наук. співр.,
e-mail: stalevoz@i.ua, https://orcid.org/0000-0001-5247-3908
В.Є. Ухін[2], канд. техн. наук, інженер з патентної та винахідницької роботи,
e-mail: ukhinvladimir@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-3560-4130,
http://www.researcherid.com/rid/P-9805-2015
О.П. Верзілов[1], канд. техн. наук, ст. наук. співр.,
e-mail: verzilovalex@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-0463-5006

[1]Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ, Україна
[2]ВАТ «Шеффілд рефракторіс Україна», Дніпро, Україна

Дослідження особливостей формування кристалічної структури безперервнолитої заготовки під час примусового перемішування її рідкої серцевини

Найбільш ефективним методом дослідження динаміки твердіння різного роду злитків є фізичне моделювання. Створено фізичну модель, що імітує поперечний переріз безперервнолитої заготовки. Представлено результати фізичного моделювання процесу твердіння безперервнолитої заготовки під час примусового перемішування її рідкої серцевини. Відображено особливості формування кристалічної структури безперервнолитої сортової заготовки в процесі примусового перемішування її рідкої серцевини магнітним полем на різних етапах твердіння. В результаті проведених експериментальних досліджень було встановлено, що в процесі примусового перемішування рідкої серцевини при взаємодії потоку розплаву з фронтом твердіння швидкість росту гілок дендритів першого порядку знижується на 50–90 %, а швидкість росту гілок другого порядку збільшується в порівнянні зі спокійним станом ванни на 20–90 %. При цьому найбільші значення збільшення швидкості росту спостерігаються у дендритів, вторинні гілки яких ростуть в напрямку, протилежному руху потоку рідини. Переважний розвиток гілок другого порядку дендритів кристалів в цьому випадку дозволяє заповнити обсяги рідини в міжкристалічному просторі і збільшити щільність твердої оболонки. Показано, що вершини стовпчастих кристалів, які виступають за фронт твердіння, відламуються, осколки дендритів потрапляють в рідку ванну, а самі кристали деформуються, при зіткненні з рівновісними кристалами, що рухаються. При цьому лінія фронту твердіння вирівнюється, а кристалічна структура, що формується, ущільняється. Наявність частинок твердої фази перед фронтом твердіння в зоні росту стовпчастих кристалів, в свою чергу, за певних умов сприяє прискоренню переходу від зони стовпчастих до зони рівновісних кристалів.

Ключові слова

Машина безперервного лиття заготовок (МБЛЗ), твердіння, безперервнолита заготовка, кристалічна структура, безперервне розливання, електромагнітне перемішування.

A.N. Smirnov[1], Dr. Sci. (Engin.), Professor, Leading Researcher,
e-mail: stalevoz@i.ua, https://orcid.org/0000-0001-5247-3908
V.E. Ukhin[2], PhD (Engin.), engineer for patent and inventive work,
e-mail: ukhinvladimir@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-3560-4130,
http://www.researcherid.com/rid/P-9805-2015
A.P. Verzilov[1], PhD (Engin.), Senior Research Scientist,
e-mail: verzilovalex@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-0463-5006

[1]Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine
[2]Sheffield Refractoris Ukraine OJSC, Dnipro, Ukraine

Investigation of billet crystal structure formation features during forced stirring of its liquid core

Summary

The most effective method for studying the dynamics of solidification of various kinds of ingots is physical modeling. A physical model that simulates a cross section of a continuously cast billet was created. The results of physical modeling of the continuously cast billet solidification process with the forced stirring of its liquid core are presented. The features of the continuously cast billet crystal structure formation during the forced stirring of its liquid core with a magnetic field at different stages of solidification are shown. As a result of the experiments it was established, that during the forced stirring of the liquid core, when the melt flow interacts with the solidification front, the growth rate of the first order dendrite branches decreases by 50–90 %, and the growth rate of the second order branches increases compared to the calm state of the bath by 20–90 %. In this case, the highest values of increase in growth rate are observed in dendrites, the secondary branches of which grow in the direction opposite to the movement of fluid flow. The predominant development of second order branches of dendritic crystals in this case makes it possible to fill the volumes of liquid in the intercrystalline space and increase the density of the solid shell. It is shown, that the vertices of the columnar crystals protruding beyond the solidification front break off, dendrite fragments fall into a liquid bath, and the crystals themselves are deformed when colliding with moving equiaxial crystals. In this case, the front line of solidification is aligned, and the emerging crystal structure is compacted. The presence of particles of the solid phase before the solidification front in the columnar crystals growth zone, in turn, under certain conditions helps to accelerate the transition from the columnar crystals zone to the zone of equiaxial crystals.

Keywords

Continuous casting machine (CCM), hardening, continuous cast billet, crystal structure, continuous casting, electromagnetic stirring.

УДК 621.74:001.5:389.6

В.А. Стрыгун, канд. наук гос. упр., зам. зав. отделом, e-mail: standartftims@gmail.com
Н.М. Волошин, вед. инженер
С.В. Гнилоскуренко, канд. техн. наук, зав. отделом
Л.С. Чаплыгина, гл. технолог

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев, Украина

Научные исследования в стандартизации литейного производства Украины

В статье рассматривается актуальная для экономики Украины задача, непосредственно связанная с переориентацией производства на высокие качественные показатели выпускаемой продукции – разработка новых национальных стандартов, гармонизированных с международными и европейскими стандартами. Для исследования выбрана литейная отрасль, как основа машиностроительного комплекса страны. В частности, объектами выбраны стандарты на наиболее важные современные конструкционные материалы – чугуны, стали и вторичные металлы.

В результате исследования положений ГОСТ 977-88 и ряда национальных и европейских стандартов на марки сталей и методы контроля химического состава и механических свойств отливок из стали, разработан и введен в действие национальный стандарт Украины ДСТУ 8781:2018 «Виливки зі сталі. Загальні технічні умови».

Исследованы положения ГОСТ 1412-82 и ряда национальных и европейских стандартов на чугуны, в результате чего разработан национальный стандарт Украины ДСТУ 8833:2019 «Виливки з сірого чавуну з пластинчатим графітом. Загальні технічні умови». Установлен срок введения его в действие с 1.01.2020 г.

Изучены положения ГОСТ 7769-82 и ряда национальных и европейских стандартов на легированные чугуны, в результате чего разработан национальный стандарт Украины ДСТУ 8851:2019 (ISO 2892:2007,NEQ, ISO/TR 15931:2004, NEQ) «Виливки з легованого чавуну зі спеціальними властивостями. Загальні технічні умови». Установлен срок введения его в действие с 1.07.2020 г.

В результате исследования положений ДСТУ 4121-2002, ряда национальных и европейских стандартов, Европейской спецификации стального лома EU-27, Рекомендаций по стальному лому FS-2017 Института переработки лома США разработана первая редакция нового национального стандарта «Метали чорні вторинні. Загальні технічні умови».

Ключевые слова: *марки, механические свойства, национальный стандарт, нормативная документация, стальные отливки, химический состав, чугунные отливки.*

Интеграция Украины в мировое экономическое пространство, эффективное межгосударственное научно-техническое сотрудничество и устранение барьеров в международной торговле являются необходимыми процессами для успешного развития экономики страны. Для ускорения этих процессов необходима переориентация производства на высокие качественные показатели выпускаемой продукции, которые должны устанавливаться новыми национальными стандартами, гармонизированными с международными и европейскими стандартами.

Базовым законом Украины, который определяет правовые и организационные принципы стандартизации, а также обеспечивает формирование и реализацию государственной политики в этой сфере является Закон Украины «О стандартизации», введенный в действие в 2015 году.

Украиной определен курс на евроинтеграцию, который требует внедрения стратегии развитых стран – членов Европейского Союза, в том числе и в сфере стандартизации. Это будет способствовать выходу украинских товаров на мировой рынок.

В соответствии с постановлением Кабинета Министров Украины от 09.12.2014 № 695, одобренным постановлением Верховного Совета Украины от 11.12.2014 № 26-VIII, в Украине отменяются межгосударственные стандарты – ГОСТ, разработанные до 1992 года.

Литейное производство является основой машиностроения, и его уровень во многом определяет промышленный потенциал страны. Поэтому ориентация на высокие показатели качества продукции этой отрасли является необходимым трендом и может внести существенный вклад в развитие экономики Украины в целом.

Литейная отрасль в Украине развивалась, в основном, с использованием межгосударственных стандартов – ГОСТов. Она отличается от европейской и

требует несколько иных подходов в разработке новых стандартов. Кроме того, не на все материалы и технологические процессы, которые используются в Украине, существуют европейские стандарты.

Поэтому Технический комитет стандартизации 177 «Литейное производство» разрабатывает национальные стандарты на основе межгосударственных стандартов – ГОСТ с учетом положений европейских и международных стандартов. При этом создаются системы соответствия марок материала отливок, в зависимости от их химического состава, механических и других свойств, приведенных в ГОСТ, европейским показателям, с целью беспрепятственного выхода продукции литейного производства на европейский рынок.

В результате исследования положений межгосударственных нормативных документов, изучения европейских стандартов на марки сталей и чугунов относительно их химического состава и механических свойств разработаны следующие проекты национальных стандартов.

Отливки из стали. Общие технические условия.

С целью создания системы соответствия марок сталей, приведенных в межгосударственных стандартах, маркам сталей, приведенным в европейских стандартах, выполнена научно-исследовательская работа «Разработка раздела «Марки» Государственного стандарта Украины «Отливки из стали. Общие технические условия» (государственный регистрационный номер 0116 U 008920). В ходе работы изучены положения ГОСТ 977-88 и ряда национальных и европейских стандартов на марки сталей, проведен сравнительный анализ химического состава и механических свойств марок сталей и создана система соответствия марок сталей, приведенных в ГОСТ 977-88, таковым из ДСТУ EN 10027-1:2004 (табл. 1).

Разработанному национальному стандарту присвоен номер – ДСТУ 8781:2018. Он введен в действие с 1.01.2019 г.

Отливки из серого чугуна с пластинчатым графитом. Общие технические условия.

В процессе разработки проекта национального стандарта исследованы положения ГОСТ 1412-82 и ряда национальных и европейских стандартов на марки чугуна. Проведен сравнительный анализ предела прочности, приведенной в ГОСТ 1412-82 и ряде европейских стандартов, и на основе этого создана система соответствия марок чугуна, приведенных в проекте национального стандарта, маркам чугуна, приведенным в ДСТУ EN 1561:2010 (табл. 2).

Таблица 1

Соответствие марок стали по ДСТУ 8781:2018 маркам стали по ДСТУ EN 10027-1

Марка стали в соответствии с ДСТУ 8721:2018	Марка стали в соответствии с ДСТУ EN 10027-1:2004
16Х18Н12С4ТЮЛ	GX15CrNiSi-18-12-4
10Х18Н3Г3Д2Л	GX8CrNiMnCu-16-3-3-2
12Х21Н5Г2СЛ	GX10CrNiMnSi-21-5-2-1
15Х18Н10Г2С2М2Л	GX12CrNiMoSiMn-18-10-2-2-2
07Х18Н10Г2С2М2Л	X7CrNiMoMnSi-18-11-2-2-2
15Х18Н10Г2С2М2ТЛ	X15CrNiMoMnSi-16-11-2-2-2

Таблица 2

Соответствие марок чугуна по проекту разработанного ДСТУ маркам чугуна по ДСТУ EN 1561:2010

Марка чугуна в соответствии с ДСТУ 8833:2019	Марка чугуна в соответствии с ДСТУ EN 1561:2010	Предел прочности при растяжении, $\sigma_в$, Н/мм^2, не менее чем
СЧ 100	EN – GJL-100	100 (10)
СЧ 150	EN – GJL-150	150 (15)
СЧ 200	EN – GJL-200	200 (20)
СЧ250	EN – GJL-250	250 (25)
СЧ300	EN – GJL-300	300 (30)
СЧ350	EN – GJL-350	350 (35)

Разработанному национальному стандарту присвоен номер – ДСТУ 8833:2019 и установлен срок введения его в действие с 1.01.2020 г.

Отливки из легированного чугуна со специальными свойствами. Общие технические условия.

В процессе разработки проекта национального стандарта исследованы положения ГОСТ 7769-82 и ряда национальных и европейских стандартов на марки чугуна. Разработана система обозначений чугуна в соответствии с международными стандартами ISO 2892:2007 «Чугун аустенитный. Классификация» и ISO/TR 15931:2004 «Система обозначений для литейного и чушкового чугуна». В разработанном проекте национального стандарта приводятся таблицы соответствия.

Пример маркировки высоконикелевого чугуна с пластинчатым и шаровидным графитом в зависимости от химического состава приведен в табл. 3.

Разработанному национальному стандарту присвоен номер – ДСТУ 8851:2019 (ISO 2892:2007,NEQ, ISO/TR 15931:2004,NEQ) и установлен срок введения его в действие с 1.07.2020 г.

Металлы черные вторичные. Общие технические условия.

В процессе разработки проекта национального стандарта исследованы положения ДСТУ 4121-2002, ряда национальных и европейских стандартов, Европейской спецификации стального лома EU-27, Рекомендаций по стальному лому FS-2017 Института переработки лома США.

Разработана система классификации металлов черных вторичных в зависимости от содержания углерода в его составе.

За характеристиками и показателями качества металлы черные вторичные разделены на виды и подвиды. Каждый отдельный вид характеризуется способом его создания, физическими свойствами, размерами, массой отдельных кусков, степенью загрязнения и химическим составом.

Таблица 3

Химический состав высоконикелевого чугуна с пластинчатым и шаровидным графитом

Марка чугуна в соответствии с ISO 2892:2007	Массовая доля элемента, %						
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	P
JLA/XNi13Mn7	≤ 3,0	1,5–3,0	6,0–7,0	12,0–14,0	≤ 0,2	≤ 0,5	≤ 0,25
JLA/XNi15Cu6Cr2	≤ 3,0	1,0–2,8	0,5–1,5	13,5–17,5	1,0–2,5	5,5–7,5	≤ 0,08
JSA/XNi13Mn7	≤ 3,0	2,0–3,0	6,0–7,0	12,0–14,0	≤ 0,2	≤ 0,5	≤ 0,08
JSA/XNi20Cr2	≤ 3,0	1,5–3,0	0,5–1,5	18,0–22,0	1,0–2,5	≤ 0,5	≤ 0,08
JSA/XNi20Cr2Nb	≤ 3,0	1,5–2,4	0,5–1,5	18,0–22,0	1,0–3,5	≤ 0,5	≤ 0,08
JSA/XNi22	≤ 3,0	1,5–3,0	1,5–2,5	21,0–24,0	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,08

Таблица 4

Соответствие видов лома по национальной классификации шихтового металлолома и металлолома для переработки углеродосодержащих сталей и чугунов видам лома по Европейской спецификации стального лома

Вид в соответствии с Европейской спецификацией стального лома	Описание лома	Вид лома в соответствии с проектом ДСТУ	Примечание
E2	Новый толстый стальной лом	5	Габаритный лом
E3	Старый толстый стальной лом	1, 2, 3	
E8	Новый тонкий стальной лом	6	
ELV	Автомобильный лом	8	
E40	Размельченный стальной лом	9	
E26	Габаритный чугунный лом	17	

В результате изучения всех показателей разработана таблица соответствия видов шихтового металлолома и металлолома для переработки углеродистых сталей и чугунов национальной классификации видам Европейской спецификации стального лома EU-27 (табл. 4).

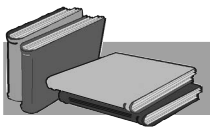
Стандарт дополнен вновь разработанными разделами: «Классификация. Основные параметры и размеры», «Общие технические требования» вместо «Технические требования», «Правила приемки, маркировки, упаковки, переработки, транспортировки и хранения» вместо «Правила приемки», «Методы контроля» вместо «Методы испытаний».

Разработана первая редакция проекта нового стандарта и размещена на сайте Физико-технологического института металлов и сплавов Национальной академии наук Украины. Готовится окончательная редакция проекта стандарта.

Выводы

В ходе выполнения работы изучены положения ряда национальных и европейских стандартов, спецификаций и в результате созданы национальные стандарты: ДСТУ 8781:2018 «Виливки зі сталі. Загальні технічні умови» (введен в действие с 1.01.2019 г.), ДСТУ 8833:2019 «Виливки з сірого чавуну з пластинчастим графітом. Загальні технічні умови», (срок введения его в действие с 1.01.2020 г.), ДСТУ 8851:2019 (ISO 2892:2007,NEQ, ISO/TR 15931:2004,NEQ), «Виливки з легованого чавуну зі спеціальними властивостями» и установлен срок введения его в действие с 1.07.2020 г. Также разработан проект нового ДСТУ «Метали чорні вторинні. Загальні технічні умови». Готовится окончательная редакция проекта стандарта.

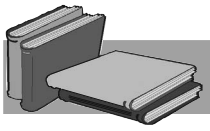
Внедрение вышеуказанных национальных стандартов позволит обеспечить терминологическую совместимость, рациональное производство, а также устранение технических барьеров в торговле и поддержание конкурентоспособности отечественной продукции на международном рынке.



ЛИТЕРАТУРА

1. Постанова Верховної Ради України від 11.12.2014 р. № 26-VIII «Про Програму діяльності Кабінету Міністрів України». Київ, 2014. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/26-19
2. Постанова Кабінету Міністрів України від 09.12.2014 р. № 695 «Про затвердження Програми діяльності Кабінету Міністрів України». Київ, 2014. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/695-2014-п
3. ДСТУ EN 1561:2015 (EN 15610:2009, IDT) Литво. Сірий чавун. Технічні умови. Національний. стандарт України. [Чинний від 2016-01-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015. 28 с.
4. ДСТУ EN 10027-1:2004 Сталь. Системи позначання. Частина 1. Назви сталі. Основні символи. Національний стандарт України. [Чинний від 2005-07-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 10 с.
5. ГОСТ 977-88 Отливки стальные. Общие технические условия. М.: Издательство стандартов, 1989. 56 с.
6. ГОСТ 1412-82 Чугун с пластинчатым графитом для отливок. М.: Издательство стандартов, 1989. 5 с.
7. ГОСТ 7769-82 Чугун легированный для отливок со специальными свойствами. Марки. М.: Издательство стандартов, 1982. 19 с.
8. ISO 2892:2007 Чугун аустенитный. Классификация. ISO, 2007. 32 с.
9. ISO/TR 15931:2004 Система обозначений для литейного и чушкового чугуна. ISO, 2004. 14 с.
10. EC-27. European steel scrap specification (Европейская спецификации стального лома). JBF, 2000. 6 с.

Поступила 14.08.2019



REFERENCES

1. Resolution of the Suprime Council of Ukraine on 11.12.2014, no. 26-VIII “On the Program of Activities of the Cabinet of Ministers of Ukraine”. Kyiv, 2014. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/26-19 [in Ukrainian].
2. Resolution of the Suprime Council of Ukraine on 09.12.2014, no. 695 “On the approval of the Program of Activities of the Cabinet of Ministers of Ukraine”. Kyiv, 2014. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/695-2014-п [in Ukrainian].
3. DSTU EN 1561:2015 (EN 15610:2009, IDT): Founding. Grey cast iron. Kyiv: DP “UkrNDNTS”. 2015, 28 p. [in Ukrainian].
4. DSTU EN 10027-1:2004: Designation systems for steels. Part 1: Steel names. Kyiv: DP “UkrNDNTS”, 2019, 10 p. [in Ukrainian].
5. GOST 977-88: Steel castings. General specifications. Moscow: Izdatel’stvo standartov, 1989, 56 p. [in Russian].
6. GOST 1412-82: Castings of grey cast iron with flake graphite. General specifications. Moscow: Izdatel’stvo standartov, 1989, 5 p. [in Russian].
7. GOST 7769-82: Alloy cast iron for castings of special properties. General technical conditions. Moscow: Izdatel’stvo standartov, 1982, 19 p. [in Russian].
8. ISO 2892:2007: Austenitic cast irons. Classification. ISO, 2007, 32 p. [in Russian].
9. ISO/TR 15931:2004: Designation system for cast irons and pig irons, ISO, 2004, 14 p. [in Russian].
10. EC-27. European steel scrap specification, JBF, 2000, 6 p. [in English].

Received 14.08.2019

Анотація

В.О. Стригун, канд. наук держ. упр., зам. зав. відділу,
e-mail: standartftims@gmail.com; **Н.М. Волошин**, пров. інженер;
С.В. Гнилоскуренко, канд. техн. наук, зав. відділу;
Л.С. Чаплигіна, гол. технолог

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ, Україна

Наукові дослідження в стандартизації ливарного виробництва України

У статті розглядається актуальне для економіки України завдання, безпосередньо пов’язане з переорієнтацією виробництва на високі якісні показники продукції, що випускається – розробка нових національних стандартів, гармонізованих з міжнародними та європейськими стандартами. Для дослідження обрано ливарну галузь, як основу машинобудівного комплексу країни. Зокрема, об’єктами обрано стандарти на найважливіші сучасні конструкційні матеріали – чавуни, сталі і вторинні метали.

За результатами дослідження положень ГОСТ 977-88 та ряду національних і європейських стандартів на марки сталей та методи контролю хімічного складу і механічних властивостей виливок із сталі розроблено та надано чинності

національному стандартові України ДСТУ 8781:2018 «Виливки зі сталі. Загальні технічні умови».
Досліджено положення ГОСТ 1412-82 та ряду національних і європейських стандартів на чавуни, в результаті чого розроблено національний стандарт України ДСТУ 8833:2019 «Виливки з сірого чавуну із пластинчастим графітом. Загальні технічні умови». Термін надання чинності – 1.01.2020 р.
Досліджено також положення ГОСТ 7769-82 та ряду національних і європейських стандартів на леговані чавуни, в результаті чого розроблено національний стандарт України ДСТУ 8851:2019 (ISO 2892:2007,NEQ, ISO/TR 15931:2004, NEQ) «Виливки з легованого чавуну зі спеціальними властивостями. Загальні технічні умови». Термін надання чинності – 1.07.2020 р.
За результатами дослідження положень ДСТУ 4121-2002, ряду національних і європейських стандартів, Європейської специфікації стального лому EU-27, Рекомендацій зі стального лому FS-2017 Інституту переробки лому США розроблено першу редакцію нового національного стандарту України «Метали чорні вторинні. Загальні технічні умови».

Ключові слова

Марки, механічні властивості, національний стандарт, нормативна документація, стальні виливки, хімічний склад, чавунні виливки.

Summary

V.A. Strygun, PhD in State Administration, Deputy Head of the Department, e-mail: standartftims@gmail.com; **N.M. Voloshin**, Leading Engineer; **S.V. Gnyloskurenko**, Ph.D (Engin.), Head of the Department; **L.S. Chaplygina**, Chief Technologist

Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Research on the standardization in foundry of Ukraine

The article deals with the important task for the Ukrainian economy, directly related to the reorientation of production to high quality indicators of products – the development of new national standards that are harmonized with International and European standards. For the research, the foundry industry was chosen as the basis of the country's engineering complex. In particular, the standards for the most important modern structural materials – cast iron, steel and secondary metals – were selected as objects.
As a result of the study of the provisions of GOST 977-88 and a number of national and European standards for steel grades and methods for monitoring the chemical composition and mechanical properties of steel castings, the national standard of Ukraine DSTU 8781: 2018 "Steel castings. General specifications" was developed and introduced.
The provisions of GOST 1412-82 and a number of national and European standards for cast irons are studied, as a result of which the national standard of Ukraine DSTU 8833: 2019 "Gray iron castings with plate graphite. General specifications" was developed. The term of its issue is 1.01.2020.
The provisions of GOST 7769-82 and a number of national and European standards for alloyed cast irons are studied, as a result of which the national standard of Ukraine DSTU 8851: 2019 (ISO 2892: 2007, NEQ, ISO/TR 15931: 2004, NEQ) "Castings from alloyed cast iron with special properties. General specifications" was developed. The term of its issue is 1.07.2020.
As a result of the study of the provisions of DSTU 4121-2002, a number of national and European standards, the European specification of steel scrap EU-27, Recommendations for steel scrap FS-2017 of the US Scrap Processing Institute, the first edition of the new national standard "Secondary ferrous metals. General specifications" was developed.

Keywords

Grades, mechanical properties, national standard, normative documentation, steel castings, chemical composition, cast iron castings.

УДК 621.74.045.072.2

В.С. Дорошенко, д-р техн. наук, ст. науч. сотр., e-mail: doro55v@gmail.com
П.Б. Калюжный, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., e-mail: kpb.cmw@ukr.net

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев, Украина

Концепции охлаждения отливок с помощью криотехнологии, новых сыпучих материалов и способов литья

Литейное производство служит одним из лучших примеров ресурсоэффективности, поскольку отливки практически полностью доступны для переработки по окончании эксплуатационного цикла путем переплавки при производстве новых. В разрезе тематики повышения ресурсоэффективности производства описаны новые способы литья, сыпучие низкотемпературные и огнеупорные материалы для регулирования охлаждения отливок. Исследования выполнены под руководством проф. О.И. Шинского в ходе выполнения научной тематики ФТИМС НАН Украины. Процессы регулирования в широких пределах охлаждения отливки в песчаной форме позволяют как оптимально сокращать время охлаждения отливки в форме, так и влиять на формирование структуры металла. В первом случае создаются основания уменьшения длины конвейерной ветки формовочно-заливочных линий, на которой охлаждают отливки в формах, или площадей под формы на заливочном плацу, а также для комплектации литейных роторно-конвейерных комплексов соразмерными по величине роторными модулями, на которых выполняют операции формовки, заливки и охлаждения отливок, приведя их к примерно одинаковой длительности. Во втором случае увеличение скорости кристаллизации и охлаждения отливки имеет пределы, превышение которых может привести к ухудшению служебных свойств металла, в частности, для графитизированных чугунов. Поэтому привлечены процессы термообработки металлов и показаны примеры взаимного дополнения процессов литья и термообработки металла. Для отливок из чугуна предложены способы литья в сочетании с изотермической закалкой отливок. Применение для такой закалки твердо-газовых дисперсных сред (в отличие от традиционных жидких) повышает экологические условия производства. А охлаждение отливок, вплоть до их закалки, при помощи криотехнологии с плавлением льда, испарением воды и конденсацией пара в контакте со льдом приближают процесс производства к природоподобным технологиям.

Ключевые слова: *литье, охлаждение отливок, криотехнология, изотермическая закалка, термообработка, высокопрочный чугун, лед, пропант.*

Литейное производство является одним из лучших примеров ресурсоэффективности, поскольку отливки практически полностью доступны для переработки, по окончании «жизненного» цикла отливки переплавляют для производства новых, ежегодно закупая миллионы тонн металлолома. Кроме того, современные системы позволяют регенерировать до 95 % песка для его возврата в производство форм. Таким образом, литейная промышленность заслуживает особой оценки в том, что касается переработки [1]. Многие литейные заводы вкладывают средства в технологию и сокращают потребление ресурсов на постоянной основе. Особенностями этого процесса и движущим инструментом является оцифровка при моделировании производства, а 3D-печать позволяют не только лить очень сложные детали, но и заменить энерго-, ресурсо- и трудоемкий метод проб и ошибок, что повышает не только конкурентные позиции литейных цехов, но и позволяет реализовать устойчивые стратегии [1].

В плане развития теории и практики теплообменных процессов и структурообразования при течении, охлаждении и кристаллизации сплавов в литейной форме, создания методов литья с использованием вакуума и криотехнологий, а также рентабельных ресурсосберегающих технологических процессов получения литых деталей рассматривали способ литья в оболочковые формы с опорным наполнителем (ОН) в контейнерах. Такие формы получают по разовым моделям или по горячей металлической модельной оснастке. ОН (чаще кварцевый песок) упрочняет извне оболочку и препятствует вытеканию из нее метала при появлении в ней трещин или других нарушений целостности стенок. С целью ускорения на 25–50 % литейного процесса, согласно справочнику [2, с. 181], опорный слой вакуумируют во время заливки металлом оболочек, удаляя выделяющиеся газы. После образования на отливке достаточно толстой твердой корки вакуумирование прекращают.

Учитывая опыт литья в вакуумируемые [3] и замороженные формы [4], а также формовку песчаной смесью с сыпучим зернистым льдом, входящим в ее состав [5, 6], предложено использовать для оболочковых форм ОН из такой смеси с зернистым льдом

в количестве 5–100 %. Зернистый (гранулированный или чешуйчатый) лед получают на серийно выпускаемых льдогенераторах (с обширной номенклатурой по производительности) преимущественно для пищевой промышленности и охлаждения пищевых продуктов. При засыпке песчаной оболочки таким ОН в контейнере она с комнатной температуры в течение нескольких минут охладится до температуры, близкой к температуре ОН со льдом. Затем заливка металлом такой оболочки, затвердевание и охлаждение отливки будет подобно литью в замороженной форме, для которой отмечено получение более мелкозернистой структуры для отливок из чугуна с незначительным ускорением охлаждения, по сравнению с песчано-глинистыми формами без применения криотехнологии [4].

Подключение к песчаной форме трубопровода от вакуумного насоса и вакуумирование сыпучего ОН обеспечит направленный газоотвод и даст эффект вакуумного всасывания, которое улучшит формозаполнение металла, сравнимое с таким показателем для прокаленных форм и нагретых до температуры около 800 °С. Замороженные формы рекомендуют заливать в течение не более 3 мин [7], во избежание конденсации на холодной поверхности их полости влаги из воздуха цеха. В нашем случае также следует принять меры, чтобы до заливки металлом лед ОН не начал таять и не увлажнил песчаную оболочку в среде низкотемпературного наполнителя.

Песчаная оболочка служит «теплоизолятором» для металла при заливке, но таяние льда, особенно при ОН на 100 % изо льда, позволит оболочке с отливкой двигаться вниз ко дну контейнера, проплавляя лед в контейнере. Быстрое охлаждение отливки будет подобно операции закалки в литейной форме. В конечном итоге отливка быстро окажется в контейнере с водой. Оболочковая форма осыплется с отливки из-за перепада температур и разной усадки металла и неметаллических материалов. Наличие льда в ОН от 5 до 100 % обеспечит версии взаимодействия отливки и формы от варианта литья в замороженные формы до варианта литья с самозакалкой отливки в литейной форме путем ее контакта с плавящимся льдом и водой, заполняемой формовочный контейнер. Толщиной оболочковой формы в зависимости от вида металла и толщины стенки отливки можно регулировать скорость процесса кристаллизации, степень зернистости структуры и нередко фазовый состав металла отливки. А температурой и массой ОН и долей в нем льда также можно в некоторых пределах регулировать операции, свойственные термообработке.

Многие сплавы металлов для литья в кокиль с быстрым охлаждением могут входить в область применения такого литейного способа с термообработкой, а именно, закалки отливок в литейной форме. При этом процессы плавления льда, испарения воды и конденсации пара в контакте со льдом напоминают привычные для нас процессы круговорота воды, наблюдаемые в природе. Поэтому их относят к экологическим природоподобным технологическим процессам литейного производства, как это подробнее описано в работе [8].

Исследуя научные предпосылки, создавая теоретические основы и развивая технологию регулирования в широких пределах охлаждения отливки в песчаной форме [3, 4], мы достигаем двух положительных эффектов, которые позволяют не только оптимально сокращать время охлаждения (выдержки) отливки в форме (1), но и влиять на формирование структуры металла (2). Первый эффект полезен для сокращения длины конвейерной ветки для охлаждения отливок на формовочно-заливочных линиях или площадей на заливочном плацу, а также для комплектации литейных роторных линий соразмерными по величине роторными модулями, разбивая процесс формовки и литья на операции примерно одинаковой длительности. Второй эффект показывает, что увеличение скорости кристаллизации и охлаждения отливки имеет свои технологические пределы с той точки зрения, что может привести к потере свойств пластичности и прочности металла, как это отмечал д-р техн. наук В.Б. Бубликов для высокопрочного чугуна (ВЧ). Это вынуждает литейщика учитывать соответствующие отработанные технологии в области металловедения и термообработки (ТО) металлов и действовать по ним.

Таким образом, в вышеописанном способе с применением криотехнологии, процесс литья неизбежно дополняется другим металлургическим переделом – технологией ТО металлопродукции. Развивая такую взаимодополняемость (комплементарность) литья и ТО в исследовательской работе под руководством профессора О.И. Шинского «Научные и технологические основы создания высокопроизводительных литейных процессов получения литых конструкций из железоуглеродистых сплавов в песчаных формах» для отливок из ВЧ, предложен способ литья в сочетании с изотермической закалкой отливок [9]. Этот и ряд аналогичных способов [10–12] основаны на литье ВЧ в вакуумируемой (на момент заливки металлом) форме из сухого песка без связующего с удалением отливок в горячем аустенитном состоянии из сыпучего песка формы. Затем отливку в течение до 15 с переносят на закалку с изотермической выдержкой для получения бейнитной структуры металлической матрицы. Традиционную изотермическую закалку с аустенитного состояния отливки изменили таким образом, что отливку в аустенитном состоянии извлекают из формы, а не достигают этого состояния длительным нагревом в термопечи с выдержкой при температуре насыщения аустенита углеродом нередко до получаса и более.

Такой процесс литья с ТО (особенно с толщиной стенки отливки выше 20 мм) дает возможность получения отливки быстрее, чем при традиционном ее охлаждении в сухом песке формы. Изотермически закаленный ВЧ (Austempered Ductile Iron, ADI) может достигать прочности $\sigma_в$ = 1200–1300 МПа и выше. Кроме того, предложен способ закалки отливки из ВЧ в псевдоожиженном (кипящем) слое песка [13], который по скорости охлаждения отливки находится

между двумя процессами ее закалки при контакте с маслом и водой [14]. Сухой дисперсный компонент не дает пара и продуктов горения в контакте с горячей отливкой (это улучшает условия труда) и не требует мытья отливки после закалки, как часто требуется после охлаждения в жидкой (полимерные растворы) среде, а также уменьшает вероятность переохлаждения отливки.

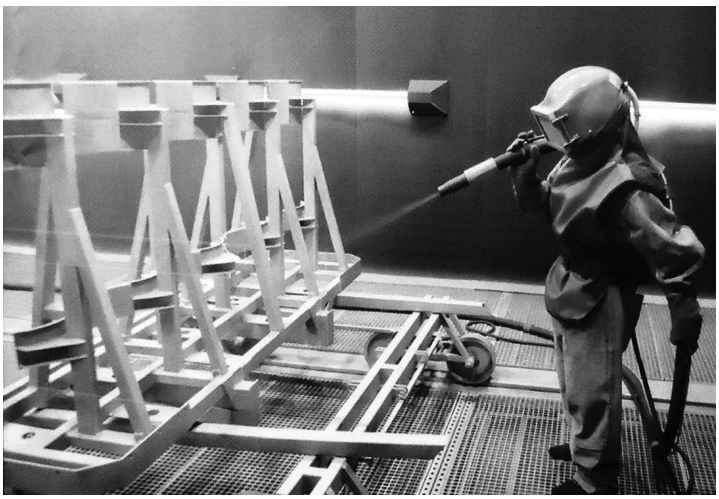
Для случаев прилипания краски к поверхности отливки, песчаных слоев или местных зон пригара, особенно для крупных отливок и в местах подвода к ним металла, рассмотрен способ закалки подачей на горячую подвешенную и вращающуюся в камере отливку воздушно-песчаной смеси (как при пескоструйной обработке), включая использование щелевого сопла или двух и более сопел.

Пескоструйную обработку нередко используют в литейных цехах, как, например, по способу [15], согласно которому за такой обработкой следует выдержка отливки из чугуна при температуре до 400 °С в течение 2–3 часов. Отработанный материал осыпается вниз и поступает в сепаратор, а затем – снова на обработку. Разная степень усадки при охлаждении горячих металла и неметаллических слоев способствует их легкому отделению, что допустимо также для отливок, выбитых в аустенитном состоянии из форм из смесей по-сырому, практически всякий налет быстро удаляется с поверхности отливки вместе с ее охлаждением. Традиционные способы пескоструйной обработки в ручном режиме (рисунок) доступны для автоматизации, в том числе с применением роботов-манипуляторов [16], а также нескольких форсунок, обеспечивающих равномерный поток дисперсного материала вокруг отливки.

Такие автоматы-манипуляторы все шире применяют на участках литья по выплавляемым и газифицируемым моделям. Причем типовые траектории подготовительных операций формовки: окунания блока (кластера) разовых моделей в емкость с жидкой суспензией или краской, обсыпания его песчаной композицией в барабане и помещения на конвейер в сушило, мало отличаются от нового цикла операций по режиму ТО: извлечения горячей отливки из сухого песка формы, помещения ее в камеру для закалки, а затем – в емкость для засыпки закаленной отливки нагретой песчаной средой для изотермической выдержки, на который несложно перепрограммировать такого типа автоматы-манипуляторы.

Способ сочетания литья и ТО экономит продолжительность производства металлопродукции, затраты на нагрев и выдержку для аустенизации отливок из ВЧ, присущих традиционно раздельным процессам литья и ТО. К сожалению, ВЧ типа ADI редок для цехов Украины, хотя в ряде стран Европы и США марки ADI стандартизированы, и эти чугуны быстро распространяются в машиностроении как материалы с







Примеры пескоструйной обработки металлоизделий в специальных камерах разной величины

повышенными прочностными и функциональными свойствами.

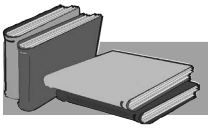
Среди новых сыпучих огнеупорных материалов рассмотрим применение в литейном производстве пропантов. Использование пропантов для литья по газифицируемым моделям (ЛГМ) описано В.А. Андерсоном (НТП «Кварц», Киев) в качестве сыпучего формовочного материала высокой текучести для заполнения тонких каналов разовых моделей гидроаппаратуры [17]. Пропант (или проппант, от англ. Propping agent – расклинивающий агент) – гранулированный материал, созданный для повышения отдачи скважин в нефтедобывающей технологии гидроразрыва пласта (ГРП). Пропанты алюмосиликатные (ГОСТ Р 51761-2013) или магнезиально-кварцевые (ГОСТ Р 54571-2011) и др. закачивают в нефтяные или газовые пласты под давлением. Пропанты, имея высокую способность к проникновению сквозь скважину в трещины от ГРП, удерживают для скачивания без остатка нефти и газа из стареющих скважин. В Украине пропанты применяют с 1950-х гг. (http://newgas.org.ua) для добычи углеводородов на истощенных месторождениях. Алюмосиликатный пропант – гранулированный огнеупорный материал, каждая гранула которого – керамическое изделие, полученное высокотемпературным обжигом фракционированного глинозема. Для литейных форм пригодны алюмосиликатный или магнезиально-кварцевый (на основе силиката магния и кварцевого песка) пропанты, насыпной плотности около 1,8 г/см^3, сферичности 0,9 и среднего размера 0,339 мм. Последний вид пропанта получают сначала выжиганием природного серпентинита при 750–1150 °С для удаления влаги и образования форстерита, а затем выполняют помол материала с кварцполевошпатным песком, гранулирование шихты и выжигание гранул при 1200–1350 °С [18].

Высокую текучесть и проницаемость гранул пропанта, созданного для максимального заполнения трещин, в литейных процессах целесообразно реализовать для заполнения возможных пустот вокруг стенок разовой модели либо отливки. Последний способ аналогично способам [9, 11, 12] заключается в удалении горячей отливки из сыпучего песка формы и ТО в виде изотермической закалки ее (включая изотермическую выдержку при температуре бейнитного превращения) в горячей среде не песка, а пропанта, которым засыпают отливку в контейнере [10].

В дополнение к отмеченным выше преимуществам отметим: по сравнению с традиционной изотермической закалкой в нагретых жидких средах в виде расплавов солей или щелочей, способных к вредным выделениям, совмещение литья и изотермической закалки с удалением горячей отливки из формы сокращает охлаждение отливки в песчаной форме и экономит на ее нагревании до аустенитного состояния и выдержке (аустенизации). При этом удалением источника нагрева с песчаной формы также экономят на охлаждении сыпучего песка для повторного изготовления формы. Высокая текучесть гранул пропанта, нагретого до температуры бейнитного превращения, позволяет быстро засыпать отливки для изотермической выдержки этими гранулами в контейнере и удалить гранулы по окончании ТО. Формовочные кварцевые пески для этого имеют худшую текучесть (песчинки могут не заполнять поднутрения отливки и после ТО оставаться в полостях отливки), а также меньшую теплопроводность, что потребует больше затрат для обеспечения изотермы нагретой сыпучей среды вокруг отливки.

Кроме того, высокая газопроницаемость пропанта также полезна при ЛГМ для уменьшения «потерь» вакуума по глубине формы при заполнении пропантом тонких каналов моделей в песчаной форме или формовке целиком из пропанта, это позволяет эффективно удалить газы от деструкции модели. Эта повышенная проницаемость гранул также позволит создавать металло-пропантовые композиты путем протекания расплава металла на сотни миллиметров сквозь поры пропанта под давлением на металл или засасыванием металла вакуумированием пропанта. Такие композиты на основе железоуглеродистых сплавов будут иметь значительно меньший удельный вес, чем монолитный сплав. Пропант с Al_2O_3 позволит изготавливать композитные слои на абразивном металлическом инструменте, а также изготавливать отливки с поверхностями «противоскольжения» частичной пропиткой металла через тонкий слой пропанта методом целенаправленного создания механического пригара на поверхности отливки [19].

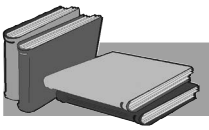
Таким образом, в статье изложены концепции охлаждения отливок с помощью криотехнологии, новых сыпучих материалов и способов литья. Регулирование в широких пределах охлаждения отливки в песчаной форме позволяет не только оптимально сокращать время охлаждения отливки в форме, но и влиять на формирование структуры металла. В первом случае имеются основания для уменьшения длины конвейерной ветки формовочно-заливочных линий, на которой охлаждают отливки в формах, или площадей под формы на заливочном плацу, а также для комплектации литейных роторно-конвейерных комплексов соразмерными по величине роторными модулями, на которых выполняют операции формовки, заливки и охлаждения отливок примерно одинаковой длительности. Во втором случае увеличение скорости кристаллизации и охлаждения отливки имеет пределы роста, превышение которых может привести к потере свойств пластичности и прочности металла, в частности, для графитизированных чугунов. Это требует от литейщика учитывать соответствующие технологии ТО металлов и действовать по ним, что показано на примерах дополнения процесса литья таким металлургическим переделом, как ТО металлопродукции. В частности, для отливок из ВЧ предложены способы литья в сочетании с изотермической закалкой отливок. Применение для закалки отливок твердо-газовых дисперсных сред (в отличие от традиционных жидких) повысит экологическую безопасность производства. А предложенные для охлаждения отливок элементы криотехнологии с плавлением льда, испарением воды и конденсацией пара в контакте со льдом приближают процесс производства к природоподобным технологиям.



ЛИТЕРАТУРА

1. *Carina Hendricks.* Tremendous potential – environmental, economic and social sustainability in foundries. *GMTN 2019 – Specialist article*, no. 6. January 2019. URL: www.gifa.com
2. Специальные способы литья. Справочник / Под ред. В.А. Ефимова. М.: Машиностроение, 1991. 436 с.
3. *Дорошенко В.С.* Регулирование охлаждения отливки в вакуумируемой форме фильтрацией хладагентов и движением частиц песка. *Литейное производство.* 2013. № 10. С. 32–37.
4. *Черновол А.В., Дорошенко В.С.* Способы воздействия песчаной вакуумируемой формы на кристаллизацию и охлаждение отливки. Литье – 2007: Тез. докл. К.: Редакция журнала *«Процессы литья»*, 2007. С. 37–38.
5. Патент 77595 Україна, МПК B22C 9/02. Спосіб виготовлення виробів з сипкого наповнювача / О.Й. Шинський, В.С. Дорошенко; опубл. 25.02.2013, Бюл. № 4.
6. Патент 95319 Україна, МПК B22C 9/02. Спосіб формування / О.Й. Шинський, В.С. Дорошенко; опубл. 25.12.2014, Бюл. № 24.
7. *Солоненко Л.І.* Теоретичні та технологічні основи виготовлення виливків з алюмінієвих сплавів в екологічно безпечні низькотемпературні кварцові форми: дис. … канд. техн. наук: 05.16.04. Дніпро, 2018. 144 с.
8. *Дорошенко В.С.* Литейное производство как среда для природоподобных технологий. *Литье и металлургия*. 2018. №. 2. С. 23–28.
9. Патент 123731 Україна, МПК B22 D7/00, B22 D23/00, C21D5/02, C21D1/20, B22 D27/04. Спосіб виготовлення виливків з бейнітного або аусферитного чавуну з кулястим графітом / В.С. Дорошенко, В.О. Шинський; опубл. 12.03.2018, Бюл. № 5.
10. Патент 131581 Україна, МПК B22D 7/00, B22D 23/00. Спосіб виготовлення виливків з бейнітного або аусферитного залізовуглецевого сплаву (чавуну, сталі) / В.С. Дорошенко, В.О. Шинський; опубл. 25.01.2019, Бюл. № 2.
11. Патент 131907 Україна, МПК B22D 7/00, B22D 23/00, B22D 27/04, C21D 1/20. Спосіб виготовлення виливків / В.С. Дорошенко, В.О. Шинський; опубл. 11.02.2019, Бюл. № 3.
12. Патент 131968 Україна, МПК B22 D7/00, B22 D23/00, C21D 1/20, C21D 5/02. Спосіб виготовлення виливків з бейнітного або аусферитного чавуну / В.С. Дорошенко, В.О. Шинський; опубл. 11.02.2019, Бюл. № 3.
13. Патент 133701 Україна, МПК B22D 7/00, B22D 23/00, B22D 27/04, C21D 5/02, C21D 1/20. Спосіб виготовлення виливків з ізотермічно загартованого бейнітного чавуну / В.С. Дорошенко, П.Б. Калюжний, В.О. Шинський; опубл. 25.04.2019, Бюл. № 8.
14. *Гуляев А.П.* Металловедение. 6-е изд. М.: Металлургия, 1986. 544 с.
15. Патент 68163 Україна, МПК A47J 27/00, A47J 37/00, C21D 1/00, C21D 5/00. Спосіб виготовлення чавунного посуду / Ю.М. Згібнєв; опубл. 12.03.2012, Бюл. № 5.
16. *Дорошенко В.С., Гнатуш В.А.* Скільки ливарних машин випускають у світі та як застосовують роботи у ливарних процесах? *Промышленность в фокусе*. 2019. № 5. С. 40–44.
17. *Дорошенко В.С.* Застосування пропантів у ливарних процесах. *XI Міжнародна науково-технічна конф. Нові матеріали і технології в машинобудуванні – 2019*: *матеріали науково-техн. конф., 30–31.05.2019, м. Київ* / ред. Р.В. Лютий, І.М. Гурія. Київ: КПІ ім. І. Сікорського, 2019. С. 68–70.
18. Патент 2613676 C1 Россия, C09K 8/80, C04B 35/20, C04B 35/622, C04B 35/64. Способ изготовления магнийсиликатного проппанта и проппант / В.Г. Пейчев и др.; опубл. 21.03.2017, Бюл. № 9.
19. *Дорошенко В.С.* Оболочковые литые конструкции с декоративным пригаром. *Литво. Металургія. 2017: Матеріалы XIII міжнародн. науково-практич. конф*. (23–25.05.2017, м. Запоріжжя). Запоріжжя: АА Тандем. С. 48–50.

Поступила 02.06.2019



REFERENCES

1. *Carina Hendricks.* (2019). Tremendous potential – environmental foundations. *GMTN 2019 – Specialist article*, no. 6. January 2019. URL: www.gifa.com [in English].
2. *Efimov, V.A.* (Ed.) (1991). Special casting methods. Handbook. Moscow: Mashinostroenie, 436 p. [in Russian].
3. *Doroshenko, V.S.* (2013). Regulation of casting cooling in evacuated form by filtration of refrigerants and movement of sand particles. *Liteynoe proizvodstvo*, no. 10, pp. 32–37 [in Russian].
4. *Chernovol, A.V., Doroshenko, V.S.* (2007). Ways of the effect of a sandy vacuumized form on crystallization and cooling of a casting. Lit'e – 2007: Tez. dokl. Kyiv: Redaktsiya zhurnala "*Protsessy lit'ya"*, pp. 37–38 [in Russian].
5. *Shinskiy, O.Y., Doroshenko, V.S.* (2013). Patent 77595 Ukraine, MPK V22S 9/02. A method of making products from loose filler. Opubl. 25.02.2013, Byul. no. 4 [in Ukrainian].
6. *Shinskiy, O.Y., Doroshenko, V.S.* (2014). Patent 95319 Ukraine, MPK V22S 9/02. A molding method. Opubl. 25.12.2014, Byul. no. 24 [in Ukrainian].
7. *Solonenko, L.I.* (2018). Theoretical and technological bases for the development of willows in aluminum and alloys in ecologically safe low temperature quartz molds: Candidate's thesis: 05.16.04. Dnipro, 144 p. [in Ukrainian].
8. *Doroshenko, V.S.* (2018). Foundry production as a medium for nature-like technologies. *Lit'e i metallurgiya*, no. 2, pp. 23–28 [in Russian].

9. *Doroshenko, V.S., Shinskiy, V.O.* (2018). Patent 123731 Ukraine, MPK B22 D7/00, B22 D23/00, S21D5/02, S21D1/20, B22 D27/04. Method of making castings from bainite or ausferrite spheroidal graphite cast iron. Opubl. 12.03.2018, Byul. no. 5 [in Ukrainian].
10. *Doroshenko, V.S., Shinskiy, V.O.* (2019). Patent 131581 Ukraine, MPK B22D 7/00, B22D 23/00. Method of making castings from bainite or ausferrite iron-carbon alloy (cast iron, steel). Opubl. 25.01.2019, Byul. no. 2 [in Ukrainian].
11. *Doroshenko, V.S., Shinskiy, V.O.* (2019). Patent 131907 Ukraine, MPK B22D 7/00, B22D 23/00, B22D 27/04, C21D 1/20. Method of manufacturing of castings. Opubl. 11.02.2019, Byul. no. 3 [in Ukrainian].
12. *Doroshenko, V.S., Shinskiy, V.O.* (2019). Patent 131968 Ukraine, MPK B22 D7/00, B22 D23/00, C21D 1/20, C21D 5/02. Method of making castings from bainite or ausferrite cast iron. Opubl. 11.02.2019, Byul. no. 3 [in Ukrainian].
13. *Doroshenko, V.S., Kalyuzhniy, P.B., Shinskiy, V.O.* (2019). Patent 133701 Ukraine, MPK B22D 7/00, B22D 23/00, B22D 27/04, C21D 5/02, C21D 1/20. A method for making castings from isothermal hardened bainite cast iron. Opubl. 25.04.2019, Byul. no. 8 [in Ukrainian].
14. *Gulyaev, A.P.* (1986). Metal science. 6th ed. Moscow: Metallurgiya, 544 p. [in Russian].
15. *Zgibnev, Yu.M.* (2012). Patent 68163 Ukraine, MPK A47J 27/00, A47J 37/00, C21D 1/00, C21D 5/00. Method of making iron dishes. Opubl. 12.03.2012, Byul. no. 5 [in Ukrainian].
16. *Doroshenko, V.S., Gnatush, V.A.* (2019). How many casting machines are produced in the world and applied work in foundry processes? *Promyshlennost' v fokuse*, no. 5, pp. 40–44 [in Ukrainian].
17. *Doroshenko, V.S.* (2019). Application of proppants in foundry processes. *XI Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konf. Novi materialy i tekhnologii v mashynobuduvanni – 2019: materialy naukovo-tekhn. konf., 30–31.05.2019, m. Kyiv. red. R.V. Lyutyj, I.M. Guriya.* Kyiv: KPI im. I. Sikorskogo, 2019, pp. 68–70 [in Ukrainian].
18. *Peychev, V.G.* et al. (2017). Patent 2613676 C1 Russia, C09K 8/80, C04B 35/20, C04B 35/622, C04B 35/64. A method of manufacturing magnesium silicate proppant and proppant. Opubl. 21.03.2017, Byul. no. 9 [in Russian].
19. *Doroshenko, V.S.* (2017). Molded shell constructions with decorative burn-on. *Lytvo. Metalurgiya. 2017: Materialy XIII mizhnarodn. naukovo-praktych. konf. (23–25.05.2017, m. Zaporizhzhia).* Zaporizhzhia: AA Tandem, pp. 48–50 [in Russian].

Received 02.06.2019

Анотація

В.С. Дорошенко, д-р техн. наук, ст. наук. співр., e-mail: doro55v@gmail.com; **П.Б. Калюжний**, канд. техн. наук, ст. наук. співр., e-mail: kpb.cmw@ukr.net

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ, Україна

Концепції охолодження виливків за допомогою кріотехнології, нових сипучих матеріалів і способів лиття

Ливарне виробництво служить одним з кращих прикладів ресурсоефективності, оскільки виливки практично повністю доступні для переробки після закінчення експлуатаційного циклу шляхом переплавки при виробництві нових. З огляду підвищення ресурсоефективності виробництва описано нові способи лиття, сипучі низькотемпературні і вогнетривкі матеріали для регулювання охолодження виливків. Дослідження виконано під керівництвом проф. О.Й. Шинського у ході виконання наукової тематики ФТІМС НАН України. Процеси регулювання в широких межах охолодження виливка в піщаній формі дозволяють як оптимально скорочувати час охолодження виливка у формі, так і впливати на формування структури металу. У першому випадку створюються підстави для зменшення довжини конвеєрної гілки формувально-заливальних ліній, на якій охолоджують виливки в формах, або площ під форми на заливальному плацу, а також для комплектації ливарних роторно-конвеєрних комплексів пропорційними за величиною роторними модулями, на яких виконують операції формовки, заливки і охолодження виливків, привівши їх до приблизно однакової тривалості. У другому випадку збільшення швидкості кристалізації і охолодження виливка має межі, перевищення яких може призвести до погіршення службових властивостей металу, зокрема, для графітизованих чавунів. Тому залучено процеси термообробки металів і показано приклади взаємного доповнення процесів лиття та термообробки металу. Для виливків з чавуну запропоновано способи лиття в поєднанні з ізотермічним гартуванням виливків. Застосування для такого гартування твердо-газових дисперсних середовищ (на відміну від традиційних рідких) підвищить екологічні умови виробництва. А охолодження виливків, аж до їх гартування, за допомогою кріотехнології з плавленням льоду, випаровуванням води і конденсацією пари в контакті з льодом наближають процес виробництва до природоподібних технологій.

Ключові слова

Лиття, охолодження виливків, кріотехнологія, ізотермічне гартування, термообробка, високоміцний чавун, лід, пропант.

V.S. Doroshenko, Dr. Sci. (Engin.), Senior Researcher, e-mail: doro55v@gmail.com; **P.B. Kaliuzhnyi**, PhD (Engin.), Senior Researcher, e-mail: kpb.cmw@ukr.net

Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Concepts of cooling castings using cryotechnology, new bulk materials and casting methods

Summary

Foundry is one of the best examples of resource efficiency, since castings are almost completely available for processing at the end of the operating cycle by re-melting in the production of new ones. In terms of increasing the resource efficiency of production, new casting methods, bulk low-temperature and refractory materials for regulating the cooling of castings are described. The studies were performed under the guidance of prof. O.I. Shinskii in terms of scientific topics of the PTIMA NAS of Ukraine. The regulation processes over a wide range of cooling of a casting in a sandy mold allow both to optimally shorten the cooling time of the casting in the mold, and to influence the formation of the metal structure. In the first case, bases are created to reduce the length of the conveyor branch of the molding and casting lines, on which castings in molds or areas for molds on the casting pad are cooled, as well as for assembling casting rotary conveyor complexes with proportional rotor modules on which molding, pouring and cooling castings operations are performed, bringing them to about the same duration. In the second case, an increase in the rate of crystallization and cooling of the casting has growth limits, the excess of which can lead to a deterioration in the service properties of the metal, in particular, for graphitized cast irons. Therefore, the processes of heat treatment of metals are involved and examples of the mutual complement of the processes of casting and heat treatment of metal are shown. For castings made of iron, casting methods have been proposed in combination with isothermal quenching of castings. The use of solid-gas dispersed media for such quenching (as opposed to traditional liquid) will increase the environmental conditions of production. And the cooling of castings, up to their hardening, using cryotechnology with ice melting, water evaporation and condensation of steam in contact with ice bring the production process closer to nature-like technologies.

Keywords

Casting, cooling of castings, cryotechnology, isothermal hardening, heat treatment, high-strength cast iron, ice, proppant.

УДК 537.311.3:622.335

В.А. Безуглый, мл. науч. сотр., e-mail: vbez@i.ua
М.В. Губинский, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой промышленной теплоэнергетики, e-mail: gubinmv@ukr.net
А.С. Коверя, канд. техн. наук, доц., e-mail: nakover13@gmail.com
В.П. Коноваленко, канд. техн. наук, зав. лаб. кафедры электрометаллургии
П.В. Кондратенко, ассистент кафедры термической обработки металлов
Национальная металлургическая академия Украины, Днепр, Украина

Экспериментальное исследование удельного электрического сопротивления насыпного слоя термоантрацита

В статье приведены результаты экспериментального исследования удельного электрического сопротивления насыпного слоя донецкого антрацита класса крупности 25–6 мм при его термической обработке в диапазоне температур 800–1600 °С и при давлении в слое в диапазоне 2–62 кПа.
Эффективным инструментом, используемым для усовершенствования электрокальцинаторов, является компьютерное моделирование. Важным является использование в модели достоверных исходных данных, в частности, зависимости удельного электрического сопротивления насыпного слоя термоантрацита от температуры и давления в слое.
Удельное электрическое сопротивление насыпного слоя кускового углеродистого материала, в частности термоантрацита, зависит от его гранулометрического состава, температуры и давления в слое. Известные зависимости для удельного электрического сопротивления насыпного слоя противоречат друг другу в части характера его изменения с изменением фракционного размера термоантрацита. Поэтому возникла практическая необходимость дополнительного исследования удельного электрического сопротивления насыпного слоя термоантрацита.
Исследовался прокаленный донецкий антрацит фракции 25–6 мм, который наиболее часто используется в электрокальцинаторах Украины.
Экспериментально установлено, что значение температуры обработки антрацита, при которой удельное электрическое сопротивление слоя достаточно для начала эффективного электрического нагрева, даже при минимальном давлении в слое, составляет 950 °С.
Вид аппроксимирующей зависимости удельного электрического сопротивления насыпного слоя исследуемого термоантрацита от давления в слое является логарифмической с высоким коэффициентом детерминации.
Получена аппроксимирующая зависимость удельного электрического сопротивления насыпного слоя исследуемого термоантрацита от температуры обработки в диапазоне 1000–1600 °С и давления в слое в диапазоне 2–62 кПа, которая в дальнейшем будет использована для проведения компьютерного моделирования работы электрокальцинаторов.

Ключевые слова: *термоантрацит, электрокальцинатор, удельное электрическое сопротивление, насыпной слой, давление в слое, контактное электрическое сопротивление.*

Введение. Антрацит, прошедший термическую обработку без доступа воздуха при высоких температурах – термоантрацит – получил широкое применение в черной и цветной металлургии. В результате воздействия высоких температур из ископаемого антрацита удаляются влага и летучие компоненты, увеличивается истинная плотность и значительно уменьшается удельное электрическое сопротивление (УЭС), что является важным для дальнейшего его использования при изготовлении электродов.

Мировой объем производства термоантрацита составляет примерно 20 миллионов тонн ежегодно [1].

Для производства термоантрацита используются печи различных типов: электрические, шахтные, ретортные, барабанные вращающиеся и другие [1].

Для получения термоантрацита высшего сорта [2], который используется при изготовлении электродов и электродной массы, применяются исключительно электрические печи прямого нагрева – электрокальцинаторы. Только печи данного типа позволяют получить температуры обработки более 1500 °С, которые необходимы по технологическим требованиям.

К недостаткам существующих конструкций электрокальцинаторов можно отнести значительный расход электроэнергии, значительную неоднородность свойств термоантрацита и его значительный угар.

Для усовершенствования существующих конструкций электрокальцинаторов, а также для разработки новых, широко используется компьютерное моделирование [3–5]. Его результатом является распределения температуры, тепловых потоков, электрического потенциала и плотности тока в рабочем объеме.

Как правило, программы компьютерного моделирования реализуют метод конечных элементов, с помощью которого решаются связанные тепловая и

электрическая задачи. Для получения достоверных результатов необходимым условием является использование точных входных данных относительно физических, тепловых и электрических свойств термоантрацита: насыпной плотности, эффективной теплоемкости, коэффициента эффективной теплопроводности, УЭС насыпного слоя. Первые три параметра являются довольно точно установленными. Наиболее сложным для определения является УЭС насыпного слоя термоантрацита, который в общем виде зависит от размеров кусков, температуры и давления в слое.

Анализ публикаций. Экспериментально было установлено [6], что при прохождении электрического тока через слой термоантрацита основная часть тепла выделяется в зоне контактов его кусков. То есть, задействован электроконтактный механизм нагрева, а не искро-дуговой [7, 8].

Также экспериментально [9] установлена важная особенность термоантрацита – явление электро-контактной памяти. С увеличением усилия в контактной паре термоантрацит-металл или термоантрацит-термоантрацит электрическое сопротивление контакта уменьшается. Однако, при снятии усилия или его уменьшении, значение электрического сопротивления остается неизменным и равняется сопротивлению при максимальном усилии на сжатие. Это явление можно объяснить структурными особенностями термоантрацита. Известно, что термоантрацит является хрупким материалом. При увеличении усилия на сжатие в зоне контакта происходит механическое разрушение материала термоантрацита. Это приводит к увеличению площади контакта, что, в свою очередь, приводит к снижению контактного электрического сопротивления. А при уменьшении усилия или его снятии площадь контакта и, соответственно, электрическое сопротивление остаются постоянными.

Исходя из теории электрических контактов Хольма [10] в работах [11–13] аналитически и экспериментально получены зависимости УЭС насыпного слоя термоантрацита от гранулометрического состава, давления в слое и внутреннего УЭС, который, в свою очередь, зависит от температуры.

Однако, в ряде работ [14–18] были получены экспериментальные данные, которые противоречат результатам исследований [11–13] в части характера зависимости УЭС насыпного слоя термоантрацита от гранулометрического состава.

Таким образом, анализ публикаций, касающихся установления зависимости УЭС насыпного слоя термоантрацита от гранулометрического состава, температуры и давления в слое, показывает необходимость дальнейшего исследования этого вопроса, имеющего важное практическое значение.

Постановка задачи. В электрокальцинаторах, которые эксплуатируются в Украине, в основном, термообработку проходит антрацит Донецкого угольного бассейна класса крупности 25–6 мм, что обеспечивает достаточную газопроницаемость слоя с одной стороны и равномерность прокаливания кусков антрацита – с другой. Поэтому важной задачей является исследование УЭС слоя термоантрацита, полученного путем термической обработки именно донецкого антрацита данного класса крупности.

Существенные физико-химические превращения в антраците, которые влияют на изменение УЭС, начинаются с температуры более 800 °С. Поэтому начальная температура обработки антрацита при проведении исследования УЭС выбирается равной 800 °С, а максимальная – в 1600 °С, исходя из условий эксплуатации действующих электрокальцинаторов.

Высота рабочего объема электрокальцинаторов не превышает 6 метров, при насыпной плотности термоантрацита класса крупности 25–6 мм около 1000 кг/м^3. Поэтому максимальное давление в слое термоантрацита наблюдается в самом низу печи и составляет не более 60 кПа.

Измерение УЭС слоя термоантрацита при высокой температуре реализовать технически крайне сложно. Поэтому исследование целесообразно проводить при его комнатной температуре с использованием предварительно прокаленного при разных температурах антрацита.

Целью данной работы является экспериментальное исследование УЭС насыпного слоя донецкого антрацита класса крупности 25–6 мм при его термической обработке в диапазоне температур 800–1600 °С и при давлении в слое до 62 кПа. Также важной задачей является получение аппроксимирующей зависимости УЭС насыпного слоя термоантрацита от температуры обработки и давления в слое, которая в дальнейшем будет использована для проведения компьютерного моделирования работы электрокальцинаторов.

Объект и методика исследования. Для исследования была отобрана проба антрацита класса крупности 25–6 мм из партии рядового антрацита, добытого на одной из шахт Донецкого угольного бассейна.

Был проведен технический анализ подготовленной пробы антрацита, результаты которого приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технический анализ исследуемого антрацита

Параметр	Обозначение	Единица	Значение	ГОСТ
Влага аналитической пробы	W^a	%	3,8	11014–2001
Зольность на сухое состояние	A^d	%	5,3	11022–95
Выход летучих веществ на горючее состояние	V^{daf}	%	6,9	6382–2001

Результаты технического анализа показывают, что изучаемый антрацит является довольно характерным для антрацитов Донецкого угольного бассейна.

Антрацит был прокален при температурах: 800, 900, 950, 1000 и 1600 градусов Цельсия при изотермической выдержке 2 ч. После этого он был постепенно охлажден до комнатной температуры.

Прокалка антрацита до температур 1000 °С производилась в шахтной электрической печи, а до температур 1600 °С – в печи Таммана. При этом термоантрацит, который прокаливался до температур 1600 °С, предварительно подвергался термообработке в шахтной электрической печи до температуры 1000 °С, а потом охлаждался до комнатной температуры.

Измерение УЭС слоя антрацита/термоантрацита производилось с помощью экспериментальной установки (рис. 1, 2), которая состоит из матрицы *1*, заполненной антрацитом/термоантрацитом, разрывной машины *2*, источника постоянного тока *3*, амперметра *4* и вольтметра *5*.

Для создания сжимающихся усилий использовалась разрывная машина типа FPZ-100/1.

Для обеспечения постоянным током силой до 1 А использовался источник питания типа ТЕС 13.

Для измерения силы тока и падения напряжения использовались два цифровых мультиметра.

Экспериментальная установка работает следующим образом. В матрицу *1* загружается антрацит/термоантрацит. Матрица устанавливается в разрывную машину *2*, после чего включается источник постоянного тока *3* и фиксируются показания амперметра *4* и вольтметра *5*. Начинает работу разрывная машина, которая создает сжимающие усилия и дополнительно фиксируются показания динамометра.

Матрица (рис. 3) состоит из пластикового цилиндрического корпуса *1*, в середине которого находится антрацит/термоантрацит *2*, верхнего подвижного медного электрода *3*, верхнего токоподвода *4*, верхнего изолятора *5*, нижнего неподвижного медного электрода *6*, который фиксируется в корпусе при помощи четырех болтов *7*, нижнего токоподвода *8* и нижнего изолятора *9*.

Площадь поперечного сечения засыпки антрацита/термоантрацита составляла 100 см^2. Максимальный объем засыпки внутри матрицы был 2 дм^3.

Для каждой пробы антрацита/термоантрацита определение УЭС проводилось последовательно три раза. Каждый раз перед засыпкой в матрицу материал тщательно перемешивался.

Для каждой пробы антрацита/термоантрацита дополнительно измерялось УЭС по ГОСТ 4668-75.

Обработка экспериментальных данных выполнялась в пакетах MS Excel и TableCurve 3D.

Результаты исследования. График изменения УЭС слоя антрацита/термоантрацита в зависимости от давления и его аппроксимирующие зависимости приведены на рис. 4–9.

Аппроксимирующая зависимость УЭС слоя антрацита/термоантрацита в диапазоне температур 1000–1600 °С и давления 2–62 кПа приведены на рис. 10.

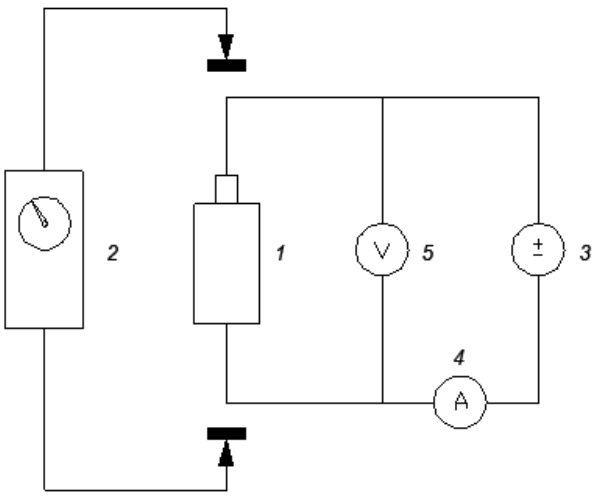


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для определения УЭС: *1* – матрица; *2* – разрывная машина; *3* – источник питания; *4* – амперметр; *5* – вольтметр



Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки для определения УЭС

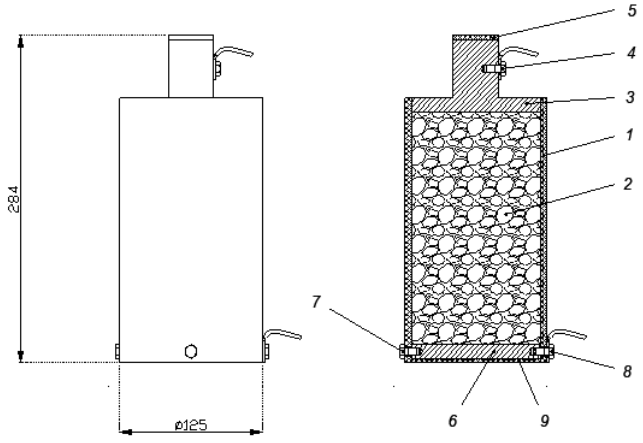


Рис. 3. Схема матрицы: *1* – корпус; *2* – антрацит/термоантрацит; *3* – верхний электрод; *4* – верхний токоподвод; *5* – верхний изолятор; *6* – нижний электрод; *7* – болт; *8* – нижний токоподвод; *9* – нижний изолятор

Значения УЭС антрацита/термоантрацита, определенные по ГОСТ 4668-75, приведены в табл. 2.

Обсуждение результатов исследования. Полученные экспериментальные данные показывают, что термическая обработка антрацита в диапазоне температур в 800–1000 °С приводит к стремительному уменьшению УЭС его насыпного слоя при одинаковом давлении в слое. Это согласуется с данными, которые ранее были получены другими авторами

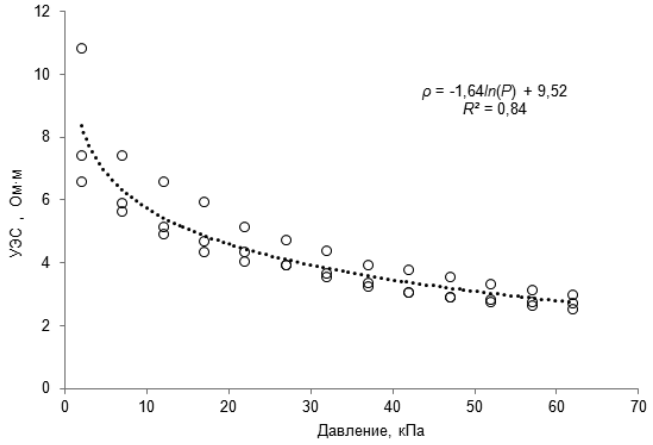


Рис. 4. График зависимости УЭС слоя от давления для исходного антрацита

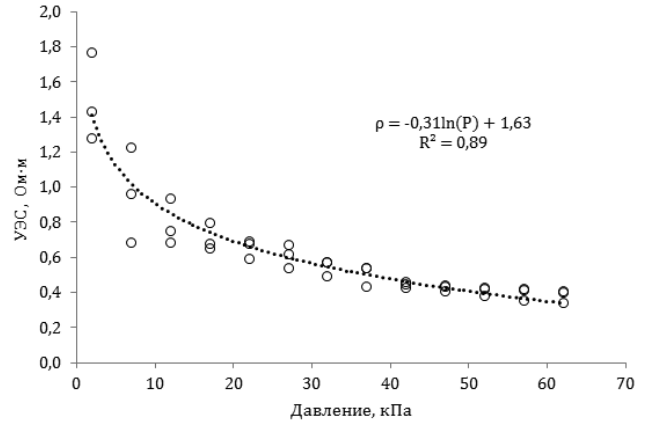


Рис. 5. График зависимости УЭС слоя от давления для термоантрацита, термически обработанного при температуре 800 °С

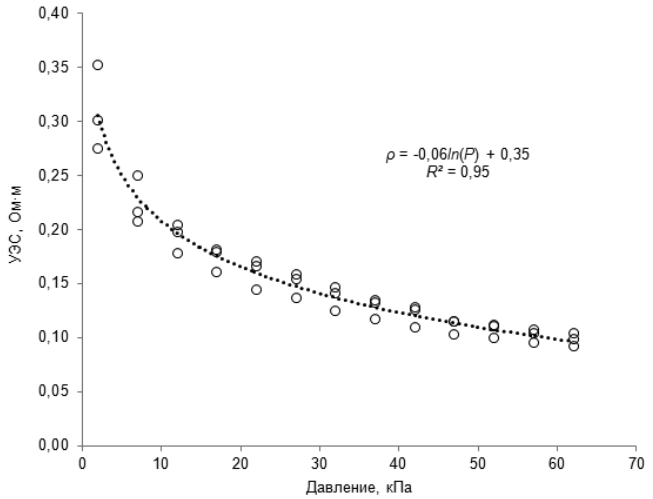


Рис. 6. График зависимости УЭС слоя от давления для термоантрацита, термически обработанного при температуре 900 °С

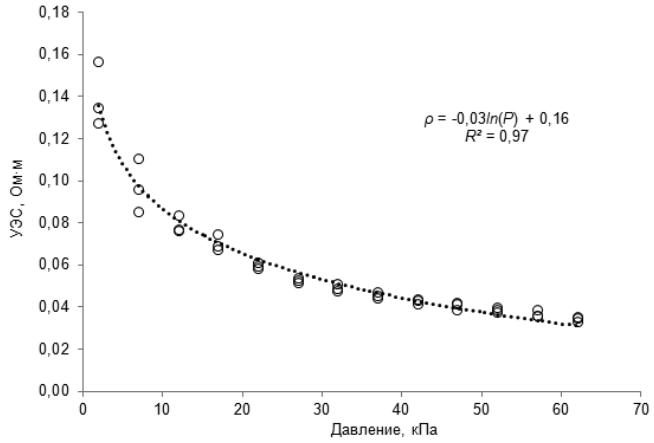


Рис. 7. График зависимости УЭС слоя от давления для термоантрацита, термически обработанного при температуре 950 °С

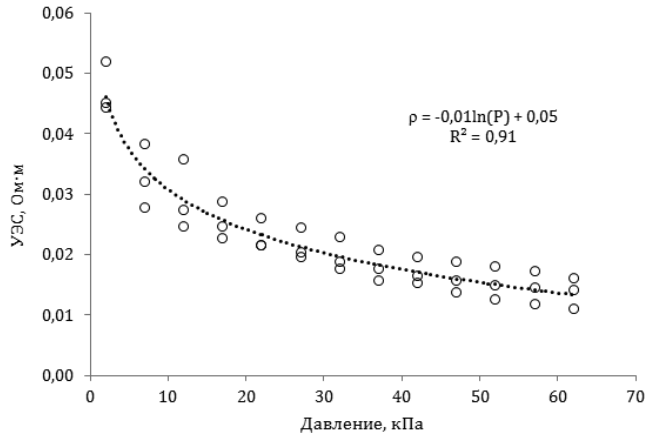


Рис. 8. График зависимости УЭС слоя от давления для термоантрацита, термически обработанного при температуре 1000 °С

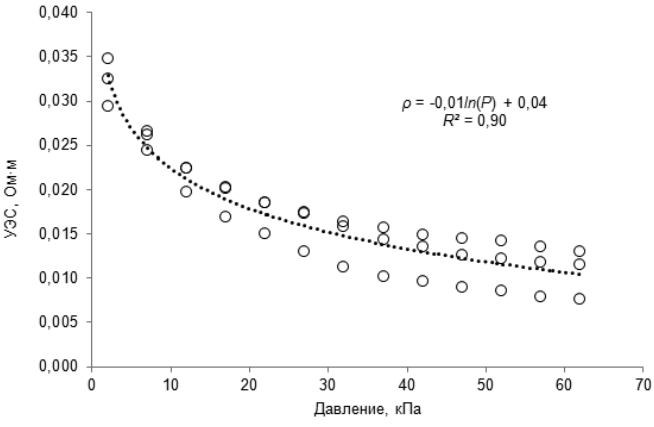


Рис. 9. График зависимости УЭС слоя от давления для термоантрацита, термически обработанного при температуре 1600 °С

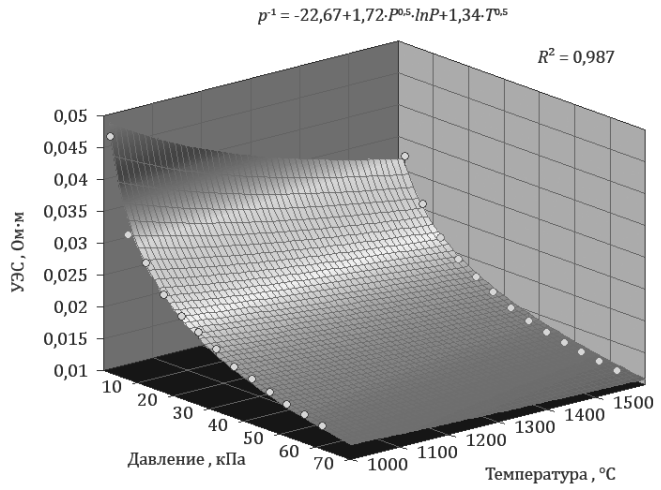


Рис. 10. Аппроксимирующая поверхность зависимости УЭС слоя термоантрацита от температуры и давления

Таблица 2

Значение УЭС антрацита/термоантрацита, измеренное по ГОСТ 4668-75

Температура, °С	20	800	900	950	1000	1600
УЭС, мкОм·м	493125	23334	3334	2834	1750	1090

относительно резкого снижения УЭС термоантрацита в компактном виде и УЭС, измеренного по ГОСТ 4668-75 в данном температурном диапазоне. Уменьшение УЭС насыпного слоя может быть объяснено как структурными изменениями в самом материале при прокалке, так и уменьшением электрического сопротивления контактов между его кусками. С практической точки зрения, важным является то, что при температуре термообработки антрацита в 950 °С, даже при минимальном давлении в слое, УЭС его насыпного слоя является достаточным для эффективного электрического нагрева в действующих электрокальцинаторах.

Из полученных результатов также видно, что при увеличении давления в слое антрацита/термоантрацита УЭС слоя уменьшается, что согласуется с данными, которые ранее были получены другими авторами, в частности, относительно кокса. Увеличение давления в слое антрацита/термоантрацита с 2 до 62 кПа приводит к уменьшению УЭС слоя в 3–4 раза, что может быть объяснено увеличением площади контактов между кусками. Аппроксимирующие зависимости УЭС слоя от давления для каждой порции исследуемого материала являются логарифмическими с коэффициентом детерминации более 0,8.

Максимальное среднеарифметическое относительное отклонение от среднеарифметического значения УЭС слоя антрацита/термоантрацита между тремя независимыми измерениями составляет не более 20 %. По мнению авторов статьи, это позволяет распространить полученные результаты на значительный объем засыпки обрабатываемого материала, который характерен для условий действующих электрокальцинаторов.

Для дальнейшего практического использования в математическом моделировании работы электрокальцинаторов была получена аппроксимирующая зависимость УЭС слоя термоантрацита от температуры обработки в диапазоне 1000–1600 °С и давления в слое в диапазоне 2–62 кПа с коэффициентом детерминации более 0,98.

Выводы

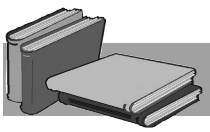
Экспериментально исследовано УЭС насыпного слоя антрацита Донецкого угольного бассейна класса крупности 25–6 мм при его термической обработке в диапазоне температур 800–1600 °С и при давлении в слое в диапазоне 2–62 кПа.

Аппроксимирующие зависимости УЭС слоя в зависимости от давления имеют логарифмический вид, что подтверждает данные предыдущих исследований.

В диапазоне температур обработки в 800–1000 °С наблюдается резкое снижение УЭС насыпного слоя термоантрацита. Такой же характер имеет изменение УЭС, измеренное по ГОСТ 4668-75. Это согласуется с данными предыдущих исследований, как относительно характера изменения УЭС по ГОСТ 4668-75, так и характера изменения внутреннего УЭС термоантрацитов.

Полученные экспериментальные данные позволили непосредственно установить, что УЭС насыпного слоя донецкого антрацита класса крупности 25–6 мм, начиная с температуры его обработки в 950 °С, является достаточным для начала его эффективного электрического нагрева в условиях существующих электрокальцинаторов.

На основе экспериментальных данных была получена аппроксимирующая зависимость для УЭС насыпного слоя донецкого антрацита от температуры обработки и давления в слое, которая в дальнейшем будет использована для проведения компьютерного моделирования работы электрокальцинаторов.

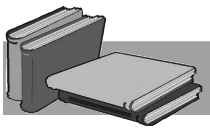


ЛИТЕРАТУРА

1. *Петров Б.Ф.* Энергосбережение в производстве электродного термоантрацита: монография. Київ: «Екотехнологія», 2006. 144 с.
2. ГОСТ 4794-97. Термоантрацит электродный. Технические условия. Минск, 2000. 4 с.

3. *Perron J., Bouvette J.-F., Dupuis M.* Optimization of Anthracite Calcination Process in a Vertical Electric Arc Furnace. *Light Metals*. 1996. P. 597–602.
4. *Gasik M.M., Gasik M.I., Urazlina O.Yu., Kutuzov S.V.* Modeling and Optimisation of Anthracite Treatment in an Electrocalcinator. *The Twelfth International Ferroalloys Congress, June 6–9, 2010, Helsinki, Finland*. P. 339–347.
5. *Лакомский В.И., Пальти А.М., Юрченко Д.Д.* Компьютерное моделирование тепловых и электрических процессов в электрокальцинаторе. *Современная электрометаллургия.* 2011. № 2. С. 44–49.
6. *Лакомский В.И., Григоренко Г.М.* Особенности нагрева термоантрацита в электрическом поле переменного тока. *Современная электрометаллургия.* 2004. № 3. С. 53–55.
7. *Bernard J.C., Bassart J.L., Lacroix S.* Electrical calcination anthracite. *A new technology: Proc. Session 116 AIME, Annual Meeting. Light Metals.* 1987. P. 581–587.
8. *Rui R.T., Hachette R., Simard G.* et al. Computer simulation of the anthracite calcining furnace. Ibid. 1999. P. 609–616.
9. *Лакомський В.Й.* Явище електроконтактної пам`яті термоантрациту. *Доповіді НАН України.* 2008. № 12. С. 88–91.
10. *Хольм Р.* Электрические контакты. М.: ИЛ, 1961. 464 с.
11. *Лакомский В.И., Лебедев В.А.* Зависимость контактного электрического сопротивления термоантрацита от температуры и давления. *Современная электрометаллургия.* 2004. № 4. С. 46–48.
12. *Лакомский В.И., Цыбулькин Г.А.* Аналитическая модель удельного сопротивления электропроводного сыпучего материала. *Современная электрометаллургия.* 2005. № 1. С. 46–49.
13. *Быковец В.В., Лакомский В.И., Кириленко В.П.* Удельное электрическое сопротивление кускового термоантрацита в тонком слое. *Современная электрометаллургия.* 2004. № 1. С. 47–49.
14. *Скрипченко Г.Б.* Изменение структуры и свойств антрацитов Донбасса при термической обработке. *Химия твердого топлива.* 2010. *№ 4*. С. 3–13.
15. *Чирка Т.В.* Теплопровідність та електропровідність сипучих вуглецевих матеріалів: автореферат дисертації кандидата технічних наук. Національний технічний університет України – «КПІ», Київ, 2013. 20 с.
16. *Вархалев В.Ю., Вархалев Ю.П., Горда В.И., Тесленко А.И.* Экспериментальная проверка математической модели определения электрического сопротивления насыпного материала как нагревательного элемента в энергетических установках. *Научные труды Донецкого национального технического университета – Электротехника и энергетика.* 2007. Выпуск 7. С. 245–248.
17. *Белозеров А.А.* Зависимость удельной электрической проводимости гетерогенных систем от физических свойств составляющих фаз и давления: автореферат диссертации кандидата технических наук. Санкт-Петербургский государственный технологический институт, Санкт-Петербург, 2010. 163 с.
18. *Домбровский Ю.М., Степанов М.С., Бровер Г.И.* Оценка электропроводности порошковых углеродных карбюризаторов. *Научные труды Донецкого национального технического университета – Технические науки.* 2011. Выпуск 10. С. 1780–1784.

Поступила 23.06.2019



REFERENCES

1. *Petrov, B.F.* (2006). Energy saving in the thermoanthracite production for electrodes: monograph. Kyiv: Ecotechnology, 144 p. [in Russian].
2. GOST 4794-97. Thermoanthracite for electrodes. Specifications. Minsk, 2000, 4 p. [in Russian].
3. *Perron, J., Bouvette, J.-F., Dupuis, M.* (1996). Optimization of Anthracite Calcination Process in a Vertical Electric Arc Furnace. *Light Metals,* pp. 597–602 [in English].
4. *Gasik, M.M., Gasik, M.I., Urazlina, O.Yu., Kutuzov, S.V.* (2010). Modeling and Optimisation of Anthracite Treatment in an Electrocalcinator. *The Twelfth International Ferroalloys Congress, June 6–9, 2010, Helsinki, Finland,* pp. 339–347 [in English].
5. *Lakomskiy, V.I., Palti, A.M., Yurchenko, D.D.* (2011). Computer simulation of thermal and electrical processes in the electric calciner. *Advances in Electrometallurgy,* no. 2, pp. 44–49 [in Russian].
6. *Lakomskiy, V.I., Grigorenko, G.M.* (2004). Features of the thermoanthracite heating in an alternating current electric field. *Advances in Electrometallurgy,* no. 3, pp. 53–55 [in Russian].
7. *Bernard, J.C., Bassart, J.L., Lacroix, S.* (1987). Electrical calcination anthracite. A new technology: Proc. Session 116 AIME, Annual Meeting. *Light Metals,* pp. 581–587 [in English].
8. *Rui, R.T., Hachette, R., Simard, G.* et al. (1999). Computer simulation of the anthracite calcining furnace. Ibid, pp. 609–616 [in English].
9. *Lakomskiy, V.Y.* (2008). The phenomenon of electrocontact memory of thermoanthracite. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine,* no. 12, pp. 88–91 [in Ukrainian].
10. *Holm, R.* (1961). Electrical contacts. Moscow: IL, 464 p. [in Russian].
11. *Lakomskiy, V.I., Lebedev, V.A.* (2004). Dependence of the contact electrical resistance of thermoanthracite on temperature and pressure. *Advances in Electrometallurgy,* no. 4, pp. 46–48 [in Russian].
12. *Lakomskiy, V.I., Tsybulkin, G.A.* (2005). Analytical model of the specific resistivity for electrically conductive bulk material. *Advances in Electrometallurgy,* no. 1, pp. 46–49 [in Russian].
13. *Bykovets, V.V., Lakomskiy, V.I. Kirilenko, V.P.* (2004). The specific electrical resistance of lumpy thermoanthracite for a thin layer. *Advances in Electrometallurgy,* no. 1, pp. 47–49 [in Russian].
14. *Skripchenko, G.B.* (2010). Structure changes and properties of Donbass anthracite during heat treatment. *Solid Fuel Chemistry,* no. 4, pp. 3–13 [in Russian].

15. *Chirka, T.V.* (2013). Thermal conductivity and electrical conductivity of bulk carbon materials: the author abstract for the candidate of technical sciences. National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, 20 p. [in Ukrainian].
16. *Varkhalev, V.Yu., Varkhalev, Yu.P., Gorda, V.I., Teslenko, A.I.* (2007). Experimental validation of a mathematical model for determining the electrical resistance of bulk material as a heating element in power facilities. *Scientific works of Donetsk National Technical University. Electrical Engineering and Energy.* Issue 7, pp. 245–248 [in Russian].
17. *Belozerov, A.A.* (2010). Dependence of the specific electrical conductivity of heterogeneous systems on the physical properties of the constituent phases and pressure: the author abstract for the candidate of technical sciences. St. Petersburg State Institute of Technology, St. Petersburg, 163 p. [in Russian].
18. *Dombrovskiy, Yu.M., Stepanov, M.S., Brover, G.I.* (2011). Evaluation of the electrical conductivity of carbon cementing powder. *Scientific works of Donetsk National Technical University. Technical science.* Issue 10, pp. 1780–1784 [in Russian].

Received 23.06.2019

Анотація

В.А. Безуглий, мол. наук. співр., e-mail: vbez@i.ua; **М.В. Губинський**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри промислової теплоенергетики, e-mail: gubinmv@ukr.net; **А.С. Коверя**, канд. техн. наук, доц., e-mail: nakover13@gmail.com; **В.П. Коноваленко**, канд. техн. наук, зав. лаб. кафедри електрометалургії; **П.В. Кондратенко**, асистент кафедри термічної обробки металів

Національна металургійна академія України, Дніпро, Україна

Експериментальне дослідження питомого електричного опору насипного шару термоантрациту

В статті наведено результати експериментального дослідження питомого електричного опору насипного шару донецького антрациту класу крупності 25–6 мм при його термічній обробці в діапазоні температур 800–1600 °С та тиску у шарі в діапазоні 2–62 кПа.

Ефективним інструментом, який використовується для удосконалення електрокальцинаторів, є комп’ютерне моделювання. Важливим є використання у моделі достовірних вихідних даних, зокрема, залежності питомого електричного опору насипного шару термоантрациту від температури та тиску у шарі.

Питомий електричний опір насипного шару кускового вуглецевого матеріалу, зокрема термоантрациту, залежить від гранулометричного складу, температури та тиску у шарі. Відомі залежності для питомого електричного опору насипного шару суперечать одна одній у частині характеру його зміни зі зміною фракційного розміру термоантрациту. Тому виникла практична необхідність додаткового вивчення питомого електричного опору насипного шару термоантрациту. Вивчався прожарений донецький антрацит фракції 25–6 мм, який найбільш часто використовується в електрокальцинаторах України.

Експериментально встановлено, що значення температури обробки антрациту, за якої питомий електричний опір шару достатній для початку ефективного електричного нагріву, навіть за мінімального тиску у шарі, складає 950 °С.

Апроксимуюча залежність питомого електричного опору насипного шару досліджуваного термоантрациту від тиску у шарі є логарифмічною з високим коефіцієнтом детермінації.

Отримано апроксимуючу залежність питомого електричного опору насипного шару досліджуваного термоантрациту від температури обробки в діапазоні 1000–1600 °С та тиску у шарі в діапазоні 2–62 кПа, котра в подальшому буде використана для проведення комп’ютерного моделювання роботи електрокальцинаторів.

Ключові слова

Термоантрацит, електрокальцинатор, питомий електричний опір, насипний шар, тиск у шарі, контактний електричний опір.

V.A. Bezugly, Junior Researcher, e-mail: vbez@i.ua; **M.V. Gubynskyi**, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Head of the Department of Industrial Power System, e-mail: gubinmv@ukr.net; **A.S. Koveria**, PhD (Engin.), Associate Professor, e-mail: nakover13@gmail.com; **V.P. Konovalenko**, PhD (Engin.), Head of the Laboratory of Department of Electrometallurgy;
P.V. Kondratenko, Assistant of the Department of Heat Treatment of Metals

National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine

Experimental study of the specific electrical resistance of the thermoanthracite bulk layer

Summary

The studies of the specific electrical resistance of the Donetsk anthracite bulk layer with the size of 25–6 mm under its thermal treatment in the temperatures of 800–1600 °C and at the pressures in the layer of 2–62 kPa have been presented.
An effective tool used to improve electric calciners is computer modelling. It is important to use reliable input data for the model, in particular, the dependence of the specific electrical resistance of the thermoanthracite bulk layer on temperature and pressure in the layer.
The specific electrical resistance of the bulk layer of lumpy carbonaceous material, in particular, thermoanthracite, depends on its particle size distribution, temperature and pressure in the layer. The known dependencies for the specific electrical resistance of the bulk layer contradict each other in terms of the nature of its change with the change in the fractional size of thermoanthracite. In regard to the above mentioned there is a practical need for additional studies of the specific electrical resistance of the thermoanthracite bulk layer.
The calcined Donetsk anthracite with fraction of 25–6 mm is most frequently used in electric calciners of Ukraine, was studied in this paper.
Experiments proved that the temperature treatment of the anthracite, at which the sufficient specific electrical resistance of the layer to start effective electrical heating, is 950 °C, even with a minimum pressure in the layer.
The type of approximating dependence of the specific electrical resistance of the thermoanthracite bulk layer on the pressure in the layer is logarithmic with the high coefficient of determination.
An approximating dependency of the specific electrical resistance of the thermoanthracite bulk layer on the temperature treatment of 800–1600 °C and pressure in the layer of 2–62 kPa has been obtained, and it will be used later for computer modelling of the electric calciners.

Keywords

Thermoanthracite, electric calciner, specific electrical resistance, bulk layer, layer pressure, contact electrical resistance.

УДК 621.771.23

В.Л. Мазур, д-р техн. наук, проф., чл.-корр. НАН Украины, гл. науч. сотр., e-mail: prof.vlm@ukr.net

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев, Украина

Теория и технология прокатки: нерешенные задачи и аспекты развития

Рассмотрены актуальные задачи в области теории и технологии горячей и холодной прокатки полос. Показано, что на нынешнем этапе эволюции прокатного производства дальнейшего углубленного изучения требуют математические модели, описывающие формирование структуры и механических свойств стали при горячей прокатке, модели и алгоритмы оптимизации процесса прокатки, работающие в масштабе реального времени, вероятностные модели процессов горячей и холодной прокатки, теория прокатки в режиме полужидкостного трения. Приведены ссылки на работы, посвященные раскрытию механизма формирования микрорельефа поверхности полос при холодной прокатке, а также анализу закономерностей влияния состояния поверхности валков, степени и скорости деформации, механических свойств металла, других параметров процессов прокатки и дрессировки. Отмечено, что разработанные технологические решения обеспечивают получение в производственных условиях заданной стандартами шероховатости поверхности тонколистовой стали. Рассмотрено развитие теории и практики применения технологической смазки при холодной прокатке полос. Показаны позитивные эффекты, достигаемые с применением технологической смазки, и ее влияние на формирование микрорельефа прокатываемого металла. Даны рекомендации по использованию опубликованных теоретических решений в промышленной практике. Обращено внимание на практику применения технологической смазки при горячей прокатке стальных полос на широкополосных станах. Подчеркнута эффективность такой технологии. Предложены направления теоретических исследований в этой сфере науки, а также развития способов и систем подачи смазочных материалов на прокатные валки и в очаг деформации. Принципиальное значение для дальнейшего развития теории и технологии тонколистовой прокатки имеют новые методики и алгоритмы оценки устойчивости рулонов холоднокатаных полос, разработанные на основании нового подхода к расчету их напряженно-деформированного состояния. Эффективность рекомендованных решений по предупреждению дефектов рулонов холоднокатаной тонколистовой стали подтверждена промышленной практикой. Предложены направления развития научных основ процесса тонколистовой прокатки и способы решения ряда актуальных задач. В технологии основные усилия должны быть направлены на решение вопросов энергосбережения, повышения эффективности производства и улучшения качества листовой продукции.

Ключевые слова: *сталь, прокатка, теория, технология, производство, энергосбережение, металлопродукция, эффективность, качество.*

Усилиями нескольких поколений ученых и производственников разработаны основы теории и технологии прокатки металлов и сплавов. Тем не менее, эволюция промышленности, в том числе металлургии, составной частью которой является прокатное производство, требует постоянной модернизации оборудования и технологии. Их совершенствование невозможно без надлежащего укрепления и развития научного фундамента в этой сфере знаний. Возникает необходимость совершенствования научных подходов и методов, используемых в расчетах основных параметров процесса прокатки. Новые, ранее неведомые возможности высокоточного оперативного анализа сложнейших научных аспектов теории и технологии прокатки открыло стремительное развитие вычислительной техники.

Применительно к листопрокатному производству в нынешнее время научно-исследовательские работы в направлении повышения эффективности производства и улучшения качества металлопродукции должны выполняться комплексно, одновременно на всех операциях и агрегатах технологического цикла, включая станы горячей и холодной прокатки, дрессировки, травильные линии, печи для термической обработки листовой стали, установки для порезки металла и др. Именно с этаких позиций следует подходить к определению наиболее актуальных научно-технических задач в рассматриваемой области и поиску путей их решения.

Среди наиболее важных научных достижений украинских ученых в листопрокатном производстве в последние десятилетия необходимо назвать разработки теории и технологии формирования заданной микрогеометрии тонколистовой стали, теории прокатки в режиме жидкостного и полужидкостного трения, математических моделей формирования напря-

женного состояния рулонов прокатываемых полос, прогнозирования структуры и механических свойств горячекатаной стали в потоке широкополосного стана, совмещенного регулирования профиля и формы полос. Результаты этих исследований были положены в основу ряда монографий [1–12 и др.], многие из которых обрели статус классических в литературе по металлургии и машиностроению. На основе материалов исследований и разработанных технологических рекомендаций было освоено массовое производство высококачественной продукции – листовой стали высших категорий вытяжки и групп отделки поверхности, тонкой и тончайшей жести, горячекатаных полос для автомобилестроения из экономно легированных сталей, горячекатаной травленой дрессированной листовой стали взамен холоднокатаной и др. [2, 3, 8, 10]. Названные и многие другие технические и технологические решения внедрены в производственную практику.

В листопрокатном производстве на нынешнем этапе его развития актуальными являются задачи дальнейшего повышения качества и конкурентоспособности, расширения номенклатуры продукции, освоения ее новых видов, экономии металла, топлива, воды, тепловой и электрической энергии, уменьшения отходов производства. Каждая из этих задач представляет собой комплекс проблем и нерешенных научно-технических вопросов.

Затрагивая тему влияния состояния поверхности листового металла на его функциональные свойства, необходимо отметить следующее.

В монографии [1, с. 68–111] показано влияние шероховатости поверхности тонколистовой стали на ее механические свойства, штампуемость, пригодность к нанесению металлических покрытий и покраске. Однако с момента издания этой книги прошло много времени. Технология производства тонких листов, полос, жести шагнула далеко вперед. Расширилось производство листопрокатной продукции новых видов, в частности электролитически оцинкованного металла, полос с лакокрасочными покрытиями, тончайшей жести и других. Нанесение покрытий потребовало внесения корректив в технологию на переделах холодной прокатки, отжига и дрессировки полос. Возникли новые задачи, связанные с эффектами микрорельефа поверхности металла [13]. В частности, потребители ужесточили требования к шероховатости поверхности оцинкованного металла. Эти требования должны обеспечиваться технологическими режимами прокатки и отделки тонколистовой стали. Для определения и реализации в промышленной практике оптимальных режимов необходимы специальные исследования.

Другой пример. На современных линиях нанесения покрытий обработанные полосы сматывают в рулоны сравнительно большой массы. При этом, вследствие низкого коэффициента трения между витками полосы с нанесенным на ее поверхность покрытием, рулоны, находящиеся в горизонтальном положении, теряют устойчивость и проседают [14–15]. Из-за проскальзывания витков полосы в рулонах возникают царапины и потертости на поверхности покрытия. Ухудшается качество продукции. Для предупреждения таких негативных последствий необходимо разработать специальные режимы регулирования натяжения сматываемых в рулоны полос, исключающие проседание рулонов.

Создание новых и совершенствование ныне применяемых технологий в условиях современных листопрокатных комплексов не может ограничиваться использованием полуэмпирических подходов, построенных преимущественно на базе производственного опыта, а должно опираться на надежный теоретический фундамент в области обработки металлов давлением. Именно поэтому теория листовой прокатки развивается путем всестороннего исследования поведения металла в очаге деформации при прокатке, выявления закономерностей, связывающих показатели качества листов и полос с режимами их обжатий и последующей термической обработки. Используемые при этом методы механики сплошных сред и металлографического анализа позволяют выполнять количественные оценки происходящих в металле превращений непосредственно в процессе прокатки.

К новому классу теоретических и прикладных задач листопрокатного производства относятся задачи прогнозирования структуры и свойств стали; предупреждения дефектов сплошности листового металла; оценки надежности технологических операций прокатки и последующей отделочной обработки; построения математических моделей, учитывающих вероятностную природу производственных процессов в металлургии; достаточно строгого моделирования изучаемых явлений с учетом многофакторности, сложной взаимозависимости, многостадийности производственных переделов. Так, разработанные математические модели позволяют прогнозировать структуру и механические свойства металла в процессе горячей прокатки на станах различного типа достаточно достоверно [11, 16]. Однако возможности совершенствования этих моделей и алгоритмов их реализации далеко не исчерпаны.

Особое внимание должно быть уделено построению математических моделей и алгоритмов нового поколения, компьютерным системам расчета и оптимизации процессов горячей и холодной прокатки, работающих в реальном масштабе времени и пригодных для использования в системах автоматического управления прокатными станами. Примером таких решений могут служить разработки, выполненные и внедренные в производство украинскими учеными на ряде металлургических комбинатов [16 и др.].

Сегодня все крупные научные коллективы в своей работе широко применяют математические модели и алгоритмы расчета параметров процесса прокатки, которые дают результаты, достаточно близкие к наблюдаемым в промышленной практике. При этом используемые модели различаются между собой набором допущений и выбором эмпирических констант. Например, если проанализировать формулы для расчета коэффициента трения в очаге деформации

при прокатке, применяемые в математических моделях, разработанных разными коллективами, то легко убедиться, что они дают величины и зависимости, не совпадающие не только количественно, но и качественно. Это обусловлено тем, что получаемые обратным пересчетом по экспериментально зарегистрированным параметрам процесса прокатки на промышленных станах выражения для определения коэффициента трения как бы вбирают в себя результат допущений, принятых при построении математических моделей. В этой связи актуальной научной задачей является повышение корректности моделей процесса прокатки путем учета ими максимального количества влияющих факторов, в том числе перевода ранее принятых допущений в компоненты математических зависимостей, основанных на новейших результатах исследований, представляющих собой признанные достижения в науке.

Следует констатировать, что среди десятков тысяч монографий, статей и других публикаций, посвященных вопросам теории и технологии прокатки, совсем слабо освещена проблема достоверной оценки надежности расчетных методов, моделей, формул, экспериментальных данных и принимаемых на их основе технологических решений. Надежность любого технологического процесса прокатки определяется не только возможностью обеспечения заданной производительности агрегатов, но и возможностью получения продукции с требуемыми уровнем и стабильностью показателей ее качества. В условиях рыночной экономики последнее условие часто становится главенствующим, поскольку от уровня и стабильности показателей качества проката решающим образом зависит его цена, возможности реализации, прибыльность производства.

На нынешнем этапе развития теории прокатки, следует четко понимать, что физические константы, описывающие свойства прокатываемого металла (сопротивление деформации, показатели упрочнения), и условия внешнего трения (толщину смазочной пленки в зоне контакта поверхностей валков и полосы, коэффициент трения), а также температурные, энергосиловые, кинематические параметры процесса прокатки представляют собой случайные величины и, следовательно, необходимо рассматривать их распределения, оперировать характеристиками этих распределений (математическими ожиданиями, средними квадратическими отклонениями и др.), а не пользоваться только средними значениями, как было в прошлом.

Вследствие нестабильности химического состава, структуры и свойств металла, точности размеров исходного подката, непостоянства условий трения в очаге деформации и других параметров процессы горячей и холодной прокатки, необходимо рассматривать в вероятностной постановке как в теоретическом, так и в технологическом аспектах. Результаты исследований, выполненных в этом направлении с привлечением метода Монте-Карло, обобщены в работах авторов [9, 11]. Однако приведенные в этих и некоторых других публикациях материалы следует оценивать как начало развития существенно нового направления в теории прокатки. Можно ожидать, что современный уровень науки, возможности компьютерного анализа и непрерывной статистической обработки обширных массивов информации о параметрах процесса прокатки непосредственно на промышленных станах в режиме реального времени, позволит существенно повысить надежность и достоверность прогнозирования и оценок качества готовой продукции.

Говоря о стабильности процесса холодной прокатки полос, необходимо затронуть также тему возникновения резонансных колебаний в рабочих клетях и перегрузок в главных приводных линиях непрерывных станов. Возникновение вибраций при холодной прокатке тонких полос на непрерывных станах нарушает технологический процесс, ухудшает качество прокатываемого металла. Несмотря на определенные успехи, достигнутые в решении частных задач предотвращения или хотя бы уменьшения вибраций на прокатных станах ряда металлургических комбинатов [17–18 и др.], эта тема требует дальнейших обобщающих решений ввиду ее актуальности и крайней важности, прежде всего, в связи с повышением скоростей холодной прокатки тонких полос.

Процесс прокатки в реальных промышленных условиях нередко проходит с элементами геометрической, скоростной, температурной и другой асимметрии даже тогда, когда номинально он считается симметричным. Такое утверждение базируется, прежде всего, на результатах сравнения распределений величин входных и выходных параметров процесса прокатки, условно называемого симметричным [12, 16]. Кроме того, достаточно часто, помимо случайно возникающих отклонений параметров прокатки от заданных значений, преднамеренно создается определенная несимметрия этого процесса с целью достижения желаемого влияния на его энергосиловые условия или показатели качества прокатанного металла.

На данное время достаточно глубоко теоретически и экспериментально исследован процесс прокатки при геометрической, скоростной, фрикционной (при различных коэффициентах трения на контактных поверхностях в очаге деформации со стороны верхнего и нижнего валков) несимметрии, а также асимметрии за счет неодинаковых механических свойств прокатываемого металла, в частности, из-за непостоянства температуры по толщине полос. Основные результаты выполненных работ, предложения по использованию эффектов асимметрии для совершенствования процесса прокатки и улучшения качества металлопродукции, а также направления дальнейшего развития теории процесса асимметричной прокатки на базе современных возможностей метода линий скольжения, численного анализа и вычислительной техники показаны в работах [12–16]. Главный вывод заключается в том, что асимметрию (несимметрию) прокатки в современных условиях надо рассматривать не столько как неизбежное и подлежащее устранению следствие несовершенств технологического процесса, сколько как средство воздействия на параметры, а также на

качество готовой металлопродукции. Так, за счет рассогласования скоростей валков, можно уменьшить усилие прокатки, регулировать толщину прокатываемых листов, управлять их изгибом. Потенциальные возможности асимметрии процесса прокатки еще до конца не изучены и требуют дальнейшего исследования, поскольку описания процесса асимметрической прокатки с помощью приближенных теорий по ряду причин оказываются несовершенными.

Говоря о влиянии несимметрии процесса прокатки на свойства листовой стали, следует еще раз заострить внимание на установленной [1, с. 85–99] зависимости кристаллографической текстуры стальных отожженных полос от различия величин шероховатости поверхностей верхнего и нижнего рабочих валков при прокатке. В технической литературе пока нет сведений об использовании этого эффекта в промышленной практике. Но весьма вероятно, что при производстве листовой стали специального назначения, к текстуре которой предъявляются особые требования (например, обеспечение ориентировки кристаллов, близкой к беспорядочной по всей толщине листа), будут реализованы возможности несимметричного процесса прокатки, преднамеренно создаваемого приданием различной шероховатости верхнему и нижнему прокатным валкам [16]. Понятно, что для доведения этой идеи до промышленной технологии необходимы детальные исследования.

Процессы горячей и холодной прокатки листовой стали предусматривают применение технологической смазки [19]. Толщина слоя смазки в очаге деформации увеличивается с ростом скорости прокатки. Высокоскоростные станы холодной прокатки могут работать в режиме смазки, близком к жидкостному (гидродинамическому) [7, 20]. В таких условиях поведение процесса прокатки со смазкой принципиально отличается от процесса прокатки без смазки, в режиме сухого или граничного трения. Поэтому в фундамент современной теории листовой прокатки должны быть заложены результаты аналитических и экспериментальных исследований течения смазки в очаге деформации. Это позволит правильно объяснить все многообразие явлений, наблюдаемых при прокатке с технологическими смазками, выявить основные закономерности и свойства этого процесса.

Исследования процесса прокатки с применением технологической смазки наиболее активно проводились в семидесятых-восьмидесятых годах прошлого столетия. Полученные научные результаты имеют фундаментальный характер и позволили успешно решить прикладные технологические задачи на многих металлургических комбинатах. Однако теория прокатки в режиме полужидкостного трения, например, получившая определенный импульс в монографиях [7, 20], как и ряд других проблемных вопросов в области теории прокатки с применением технологической смазки требует дальнейшего развития.

В общем случае процесс листовой прокатки с технологической смазкой проходит в режиме смешанного (полужидкостного) трения, при котором величина результирующей силы трения определяется относительной протяженностью участков граничного и жидкостного трения. Предельными состояниями режима полужидкостного трения при прокатке являются граничное трение и чисто жидкостное (гидродинамическое) трение. В реальных процессах листовой прокатки предельные условия трения встречаются редко. Тем не менее, теория процесса прокатки в режиме смешанного трения находится лишь на стадии начальных исследований и поэтому при выполнении прочностных и технологических расчетов, как правило, используют детально разработанные решения задач прокатки для одного из предельных случаев трения – сухого (граничного) с использованием закона трения Кулона-Амонтона, даже если применяется смазка и процесс прокатки проявляет «гидродинамические» свойства (с увеличением скорости прокатки коэффициент трения в очаге деформации уменьшается и др.).

В работах авторов [7, 19–20] предложена обобщенная математическая модель процесса прокатки при жидкостном трении, построенная с использованием закона трения Ньютона, согласно которому величина касательных напряжений в жидкости пропорциональна ее вязкости и градиенту скорости течения по толщине ее слоя в очаге деформации. На базе этой модели было проанализировано влияние различных факторов на параметры процесса прокатки в режиме трения, приближающегося к жидкостному. Важно, что в работах [7, 20] сформулированы принципы построения теории процесса прокатки в режиме полужидкостного трения, сделана постановка этой задачи и показаны пути ее решения. Однако до всеобъемлющего решения эта задача еще не доведена, хотя непреодолимых трудностей такого решения на современном этапе развития вычислительной техники не просматривается.

Основная идея предлагаемой для построения обобщенной модели процесса прокатки в полужидкостном режиме трения состоит в том, что влияние технологической смазки на трение в очаге деформации определяется двумя факторами – ограничением площади фактического контакта поверхностей валков и деформируемого металла и изменением величины касательных напряжений на участках истинного контакта. Причем, фактическая площадь контакта поверхностей валков и полосы определяется средней толщиной смазочной пленки в очаге деформации (количеством смазки, поступающей в зону контакта валков и деформируемого металла) и шероховатостью поверхности металла, сформированной в процессе его обжатия.

Строгая модель процесса прокатки в режиме полужидкостного трения позволит отразить дополнительные явления, которые непредсказуемы в рамках теории прокатки при гидродинамическом или граничном трении. В частности, рассматриваемая модель дает возможность выявить влияние на параметры процесса прокатки контактирования микронеровностей поверхностей валков и полосы.

Опыт использования различных технологических смазок при холодной прокатке тонколистовой стали

свидетельствует, что путем выбора оптимальных параметров эмульсий, включая характеристики и концентрацию базового масла в них, можно существенно улучшать качество прокатываемого металла. В частности, уменьшать загрязненность поверхности полос. Научный поиск в этом направлении не ограничен какими-либо обстоятельствами. В книге [20], например, показаны возможности улучшения плоскостности прокатываемых полос путем селективной подачи эмульсии на валки непрерывного стана холодной прокатки 2030 Новолипецкого металлургического комбината. Алгоритм управления эмульсионной системой этого стана заслуживает изучения и распространения в промышленной практике.

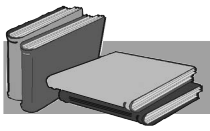
Важно подчеркнуть, что изложенная в книге [20] теория течения смазки в очаге деформации при холодной прокатке полос может быть эффективно использована при решении задачи предупреждения вибраций клетей непрерывного стана. Авторы работ [17–18] убедительно показали, что нестабильность течения смазки при прокатке в определенном диапазоне скоростей является одной из причин возбуждения вибраций стана. Исследования этого вопроса весьма перспективны, поскольку с проблемой вибрации отдельных клетей высокоскоростных непрерывных станов сталкиваются производственники практически всех заводов. При возникновении вибраций операторы станов вынуждены снижать скорость прокатки, изменять режимы обжатий и натяжений и тем самым воздействовать на температуру прокатываемой полосы. Все названное приводит к нестабильности процесса прокатки. Снижение скорости прокатки и обусловленное этим уменьшение температуры в очагах деформации клетей непрерывного стана улучшает условия функционирования технологической смазки, устраняет разрушение смазочного слоя на границе контакта поверхностей валков и прокатываемого металла, устраняет возникшую нестабильность режима трения. Следовательно, решать проблему предупреждения вибраций непрерывных станов, возникающих в определенных диапазонах скоростей прокатки полос, необходимо, во-первых, путем подбора устойчивых к повышению температуры смазок, и, во-вторых, оптимизацией деформационного и температурно-скоростного режима прокатки полос. Именно поэтому при разработке современных математических моделей процесса прокатки с применением технологической смазки значимая роль должна отводиться выбору зависимости ее вязкости от давления и температуры. Относительно предотвращения вибраций клетей при холодной прокатке полос с высокой скоростью, то заслуживающие внимания рекомендации по этому вопросу даны в работах [17–18].

Долгое время в металлургии требуемого внимания не уделялось вопросам снижения затрат энергии при прокатке. Сегодня же приоритет в промышленности состоит в существенном уменьшении энергоемкости производства металла. В этой связи особого обсуждения заслуживают состояние и перспективы развития теории и технологии горячей прокатки широкополосной стали с применением смазки. Эффективность этой технологии с позиций экономии энергии, затрачиваемой на прокатку, снижения износа валков, уменьшения нагрузок, действующих на оборудование прокатного стана, доказана как результатами тонких лабораторных экспериментов, так и производственной практикой [20–21 и др.]. Однако теория горячей прокатки полос и тем более труб, учитывающая все особенности процесса, еще далека до завершения из-за сложности относящихся к ней задач. Весьма трудоемкими являются экспериментальные исследования в этой сфере, но их результаты представляют несомненную ценность. Именно нехваткой имеющихся экспериментальных данных объясняется отсутствие единого мнения у проектантов и производственников относительно лучших способов и систем подачи смазочной среды на валки широкополосных станов горячей прокатки. Поэтому следует ожидать активных и всесторонних исследований процесса горячей прокатки с применением технологической смазки. При определении рационального расхода технологической смазки на станах горячей прокатки полос могут быть использованы рекомендации, приведенные в монографии [20] и статье [21].

В связи с обострением проблемы энергосбережения в последние годы ведется интенсивный поиск новых схем и компоновок литейно-прокатных модулей для производства листового и сортового проката на строящихся, действующих и реконструируемых объектах. Причем, если ранее одним из основных направлений развития металлургии было создание миниметаллургических заводов мощностью 1,0–1,5 млн тонн проката в год, то сегодня нередко проектируются и вводятся в эксплуатацию микрометаллургические заводы производительностью 100–300 тыс. т/год и даже 30–50 тыс. т/год. Очевидно, что технологические режимы производства стали и проката на таких объектах имеют специфические особенности и требуют соответствующего научного сопровождения.

Одним из ключевых вопросов в проблеме обеспечения высокого качества листопрокатной продукции является предупреждение возникновения дефектов металла. Применительно к технологии производства проката по схеме слиток-сляб-рулон основные причины образования дефектов и меры их предупреждения в большинстве изучены [6 и др.]. Однако повсеместный переход на непрерывную разливку слябов, в том числе тонкослябовую технологию производства листовой стали, ставит новые, ранее не изученные задачи в этой области, которые требуют решения на базе результатов теоретических и экспериментальных исследований.

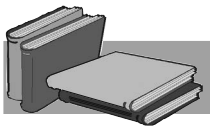
В заключение следует подчеркнуть, что тема дальнейшего развития теории и технологии листовой прокатки не ограничена названными задачами, поскольку научный поиск в принципе не имеет каких-либо границ. При этом заметим, что рассмотренные направления развития теории и технологии прокатки применимы не только к листопрокатному производству, но также и к другим процессам обработки металлов давлением (сортопрокатному, трубопрокатному производствам, волочению и др.).



ЛИТЕРАТУРА

1. *Мелешко В.И., Чекмарев А.П., Мазур В.Л., Качайлов А.П.* Отделка поверхности листа. М.: Металлургия, 1975. 272 с.
2. *Беняковский М.А., Мазур В.Л., Мелешко В.И.* Производство автомобильного листа. М.: Металлургия, 1979. 256 с.
3. *Мазур В.Л. , Качайлов А.П., Иванченко В.Г.* и др. Повышение качества листового проката. К.: Техніка, 1979. 143 с.
4. *Мазур В.Л.* Производство листа с высококачественной поверхностью. Киев: Техніка, 1982. 166 с.
5. *Мазур В.Л., Мелешко В.И., Галкин Д.П.* и др. Прокатка металла со сварными соединениями. М.: Металлургия, 1985. 112 с.
6. *Мазур В.Л., Добронравов А.И., Чернов П.П.* Предупреждение дефектов листового проката. К.: Техніка, 1986. 142 с.
7. *Мазур В.Л., Тимошенко В.И.* Теория прокатки (гидродинамические эффекты смазки). М.: Металлургия, 1989. 192 с.
8. *Пименов А.Ф., Сосковец О.Н., Трайно А.И., Мазур В.Л.* и др. Холодная прокатка и отделка жести. М.: Металлургия, 1990. 208 с.
9. *Мазур В.Л., Воробей С.А., Романовский Д.Л.* и др. Надежность технологического процесса производства листового проката. К.: Техніка, 1992. 170 с.
10. *Мазур В.Л., Сафьян А.М., Приходько И.Ю., Яценко А.И.* Управление качеством тонколистового проката. К.: Техніка, 1997. 384 с.
11. *Мазур В.Л., Ноговицын А.В.* Теория и технология тонколистовой прокатки (численный анализ и технические приложения). Днепропетровск: РВА «Дніпро – VAL», 2010. 500 с.
12. *Николаев В.А., Мазур В.Л., Голубченко А.К., Бинкевич Е.В.* Теория и технология несимметричной прокатки. М.: Агенство «Инфомарт», 1996. 262 с.
13. *Мазур В.Л.* Качество тонколистовой холоднокатаной стали: обеспечение заданной шероховатости поверхности в производственных условиях. *Сталь.* 2018. № 1. С. 25–30.
14. *Мазур В.Л., Тимошенко В.И., Приходько И.Ю.* Потеря устойчивости и дефекты формы рулонов холоднокатаных полос (причины, способы предупреждения). *Сталь*. 2009. № 1. С. 24–32.
15. *Мазур В.Л., Тимошенко В.И., Приходько И.Ю.* Возможности управления напряженным состоянием рулонов воздействием на жесткость барабана моталки. *Сталь*. 2018. № 8. С. 19–26.
16. *Mazur V.L., Nogovitsyn A.V.* Theory and Technology of Sheet Rolling (Numerical Analysis and Applications): London-New York, CRC Press, 2019. 479 p. URL: http://www.taylor and francis.com; http://www.crc press.com.
17. *Приходько И.Ю., Крот П.В., Парсенюк Е.А.* и др. Система контроля и методы снижения резонансных вибраций на непрерывных станах холодной прокатки полос. Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. *Сборник научных трудов Института черной металлургии НАН Украины.* Вып. 12. Днепропетровск: Визион, 2006. С. 232–244.
18. *Prikhod'ko I.Yu., Krot P.V., Solovyov K.V.* et al. Vibration monitoring system and the new methods of chatter early diagnostics for tandem mill control. *Материалы лондонской конференции «Вибрации в прокатных станах».* Лондон, 9 ноября 2006. С. 87–106.
19. *Мазур В.Л.* Эффекты технологической смазки при холодной прокатке и волочении труб. *Сталь*. 2018. № 10. С. 35–43.
20. *Мазур В.Л., Тимошенко В.И.* Теория и технология прокатки (гидродинамические эффекты смазки и микрорельеф поверхности). Киев.: ИД «АДЕФ Украина», 2018. 560 с.
21. *Мазур В.Л., Тимошенко В.И.* Горячая прокатка полос с применением технологической смазки. *Сталь*. 2018. № 4. С. 21–27.

Поступила 14.08.2019



REFERENCES

1. *Meleshko, V.I., Chekmarev, A.P., Mazur, V.L., Kachaylov, A.P.* (1975). Finishing the surface of the sheet. Moscow: Metallurgiya, 272 p. [in Russian].
2. *Benyakovsky, M.A., Mazur, V.L., Meleshko, V.I.* (1979). Automotive sheet production. Moscow: Metallurgiya, 256 p. [in Russian].
3. *Mazur, V.L., Kachaylov, A.P., Ivanchenko, V.G.* et al. (1979). Improving the quality of sheet metal. Kyiv: Tekhnika, 143 p. [in Russian].
4. *Mazur, V.L.* (1982). High quality sheet production. Kyiv: Tekhnika, 166 p. [in Russian].
5. *Mazur, V.L., Meleshko, V.I., Galkin, D.P.* et al. (1985). Rolled metal with welded joints. Moscow: Metallurgiya, 112 p. [in Russian].
6. *Mazur, V.L., Dobronravov, A.I., Chernov, P.P.* (1986). Prevention of defects in sheet metal. Kyiv: Tekhnika, 142 p. [in Russian].
7. *Mazur, V.L., Timoshenko, V.I.* (1989). Theory of rolling (hydrodynamic effects of lubrication). Moscow: Metallurgiya, 192 p. [in Russian].
8. *Pimenov, A.F., Soskovets, O.N., Traino, A.I., Mazur, V.L.* et al. (1990). Cold rolling and finishing of tin. Moscow: Metallurgiya, 208 p. [in Russian].
9. *Mazur, V.L., Vorobey, S.A., Romanovsky, D.L.* et al. (1992). Reliability of the technological process for the production of sheet metal. Kyiv: Tekhnika, 170 p. [in Russian].

10. *Mazur, V.L., Saf'yan, A.M., Prikhod'ko, I.Yu., Yatsenko, A.I.* (1997). Quality management of sheet metal. Kyiv: Tekhnika, 384 p. [in Russian].
11. *Mazur, V.L., Nogovitsyn, A.V.* (2010). Theory and technology of sheet rolling (numerical analysis and technical applications). Dnepropetrovsk: PBA"Dnipro-VAL", 500 p. [in Russian].
12. *Nikolayev, V.A., Mazur, V.L., Golubchenko, A.K., Binkevich, E.V.* (1996). Theory and technology of asymmetric rolling. Moscow: Agency "Infomart", 262 p. [in Russian].
13. *Mazur, V.L.* (2018). Ensuring specified surface roughness in the production of thin cold steel sheet. *Steel.* Vol. 48, no. 1, pp. 49–54 [in Russian].
14. *Mazur, V.L., Timoshenko, V.I., Prikhod'ko, I.Yu.* (2019). Stability loss and defects in coils cold-rolled strip. *Steel.* Vol. 49, no. 1, pp. 58–65 [in Russian].
15. *Mazur, V.L., Timoshenko, V.I., Prikhod'ko, I.Yu.* (2018). Regulating the coil stress by adjusting the rigidity of the winding drum. *Steel.* Vol. 48, no. 8, pp. 528–535 [in Russian].
16. *Mazur, V.L., Nogovitsyn, A.V.* (2019). Theory and Technology of Sheet Rolling (Numerical Analysis and Applications): London-New York, CRC Press, 479 p. URL: http://www.taylor and francis.com; http://www.crcpress.com [in English].
17. *Prikhod'ko, I.Yu., Krot, P.V., Parsenyuk, E.A.* et al. (2006). Control system and methods for reducing resonant vibrations in continuous cold strip mills. Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy. *Collection of scientific papers of the Institute of Ferrous Metallurgy of the National Academy of Sciences of Ukraine.* Iss. 12. Dnepropetrovsk: Vision, pp. 232–244 [in Russian].
18. *Prikhod'ko, I.Yu., Krot, P.V., Solovyov, K.V.* et al. (2006). Vibration monitoring system and the new methods of chatter early diagnostics for tandem mill control. *Materials of the London conference "Vibrations in rolling mills".* London. November 9, pp. 87–106 [in English].
19. *Mazur, V.L.* (2018). Lubricant in cold rolling and drawing of pipe. *Steel.* Vol. 48, no. 10, pp. 663–671 [in Russian].
20. *Mazur, V.L., Timoshenko, V.I.* (2018). Theory and technology of rolling (hydrodynamic effects of lubrication and surface microrelief). Kyiv: ID «ADEF Ukraine», 560 p. [in Russian].
21. *Mazur, V.L., Timoshenko, V.I.* (2018). Hot rolling of strip with lubricant: theoretical and practical aspects. *Steel.* Vol. 48, no. 4, pp. 245–251 [in Russian].

Received 14.08.2019

Анотація

В.Л. Мазур, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАН України, гол. наук. співр., e-mail: prof.vlm@ukr.net

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ, Україна

Теорія і технологія прокатки: невирішені задачі та аспекти розвитку

Розглянуто актуальні задачі у сфері теорії та технології гарячої та холодної прокатки штаб. Показано, що на нинішньому етапі еволюції прокатного виробництва подальшого поглибленого вивчення вимагають математичні моделі, які описують формування структури і механічних властивостей сталі під час гарячої прокатки, моделі і алгоритми оптимізації процесу прокатки, що працюють у масштабі реального часу, імовірнісні моделі процесів гарячої і холодної прокатки, теорія прокатки в режимі напіврідинного тертя. Наведено посилання на роботи, присвячені вивченню механізму формування мікрорельєфу поверхні металу під час холодної прокатки, а також аналізу закономірностей впливу стану поверхні валків, ступеня і швидкості деформації, механічних властивостей металу, інших параметрів процесів прокатки і дресирування. Відзначено, що розроблені технологічні рішення забезпечують отримання в виробничих умовах заданої стандартами шорсткості поверхні тонколистової сталі. Розглянуто розвиток теорії і практики застосування технологічного мастила під час холодної прокатки штаб. Показано позитивні ефекти, які досягаються застосуванням технологічного мастила, і його вплив на формування мікрорельєфу металу. Надано рекомендації щодо використання опублікованих теоретичних рішень у промисловій практиці. Звернуто увагу на практику застосування технологічного мастила під час гарячої прокатки сталевих штаб на широкоштабових станах. Підкреслено ефективність такої технології. Запропоновано напрями теоретичних досліджень у цій галузі науки, а також розвиток способів і систем подачі мастильних матеріалів на прокатні валки і в осередок деформації. Принципове значення для подальшого розвитку теорії і технології тонкоштабової прокатки мають нові методики і алгоритми оцінки стійкості рулонів холоднокатаних штаб, розроблені на підставі нового підходу до розрахунку їх напружено-деформованого стану. Ефективність рекомендованих рішень щодо попередження дефектів рулонів холоднокатаної тонкоштабової сталі підтверджена промисловою практикою. Запропоновано напрями розвитку наукових основ процесу тонкоштабової прокатки і способи вирішення низки актуальних задач. У технології основні зусилля повинні бути спрямовані на вирішення питань енергозбереження, підвищення ефективності виробництва і покращення якості металопродукції.

Ключові слова

Сталь, прокатка, теорія, технологія, виробництво, енергозбереження, металопродукція, ефективність, якість.

V.L. Mazur, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Chief Researcher,
e-mail: prof.vlm@ukr.net

Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Theory and rolling technology: unsolved problems and development aspects

Summary

Actual problems in the theory and technology of hot and cold strip rolling are considered. It is shown, that at the current stage of the evolution of rolling production, further in-depth study requires mathematical models, that describe the formation of the structure and mechanical properties of steel during hot rolling, models and optimization algorithms for the rolling process, that work in real time, probabilistic models of hot and cold rolling processes, rolling theory in semi-fluid friction mode. Links are given to works, devoted to the disclosure of the mechanism of formation of the microrelief of the surface of strips during cold rolling, as well as an analysis of the laws of the influence of the state of the surface of the rolls, the degree and speed of deformation, the mechanical properties of the metal, and other parameters of the rolling and tempering processes. It is noted, that the developed technological solutions provide in the production environment the surface roughness specified by the standards for sheet steel. The scientific foundations, the development of the theory and practice of the use of technological lubricants in cold strip rolling are considered. The positive effects achieved with the use of technological lubricants and its effect on the formation of the microrelief of the formed metal are shown. Recommendations are given on the use of published theoretical solutions in industrial practice. Attention is drawn to the theory and practice of the use of technological lubricants in the hot rolling of steel strips. The effectiveness of such technology is emphasized. The directions of theoretical research in this field of science, as well as the development of methods and systems for supplying lubricants to rolling rolls and to the deformation zone, are proposed. Of fundamental importance for the further development of the theory and technology of sheet rolling are new techniques and algorithms for assessing the stability of coils of cold-rolled strips, developed on the basis of a new approach to calculating their stress-strain state. The effectiveness of the recommended solutions for the prevention of defects in coils of cold rolled sheet steel is confirmed by industrial practice. The directions of development of the scientific foundations of the sheet rolling process and methods for solving a number of urgent problems are proposed. In technology, the main efforts should be aimed at solving energy conservation issues, improving production efficiency and improving the quality of sheet products.

Keywords

Steel, rolling, theory, technology, production, energy conservation, metal products, efficiency, quality.

УДК 669.74.047

Г.Г. Немсадзе[3], глава наблюдательного совета, e-mail: ngg@gir.ua
А.Н. Смирнов[1], д-р техн. наук, проф., вед. науч. сотр., e-mail: stalevoz@i.ua, https://orcid.org/0000-0001-5247-3908
Р.А. Джоджуа[3], директор по стратегии и развитию, e-mail: rad@gir.ua
К.Н. Шарандин[2], ген. директор, e-mail: sharandin@gir.ua
Д.В. Рябый[2,1], зам. ген. директора, e-mail: dmitriy.ryabyi@gir.ua

[1]Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев, Украина
[2]ООО «ГИР-Инжиниринг», Днепр, Украина
[3]ПАО «ЗНВКИФ «GIR», Киев, Украина

Совершенствование технологии горячего ремонта футеровки конвертера с использованием разработанной магнезиальной массы марки «GIR-RB-X»

Выполнен анализ методов горячего ремонта участков опережающего износа рабочей периклазоуглеродистой футеровки конверторов методом подварки. Разработана методика оценки качества саморастекающейся, магнезиальной, подварочной массы на лабораторной печи роторного типа, не имеющей аналогов в Украине. Разработанная методика позволяет достичь высокого уровня достоверности полученных результатов, что позволяет перенести полученный опыт на промышленные условия, при сравнительно низких энергозатратах и высокой безопасностью в сравнении с проведением экспериментов в реальном металлургическом агрегате.
По результатам лабораторных исследований разработана ремонтная, саморастекающаяся, подварочная масса марки «GIR-RB-X», на основе вторичного, отечественного сырья, позволяющая эффективно восстанавливать участки огнеупорной футеровки конвертера, подверженные опережающему износу, продлить его рабочую кампанию и тем самым снизить удельные затраты на производство стали.
Проведены промышленные испытания саморастекающейся, магнезиальной, ремонтной массы на футеровках большегрузных конвертеров в условиях металлургических предприятий ПАО «ДМК» и ЧАО «МК «Азовсталь». Результаты испытаний свидетельствуют о высокой конкурентоспособности разработанной массы в сравнении с зарубежными аналогами, а также гибкости разработанной подварочной массы к различным условиям эксплуатации конвертера.
Компанией ООО «ГИР-Инжиниринг» организовано серийное производство саморастекающейся подварочной массы марки «GIR-RB-X» на производственных мощностях ЧАО «КрОЗ» с применением высокотехнологической линии компании «Eirich» и автоматики компании «Siemens», что позволяет достичь высокого качества готовой продукции.

Ключевые слова: *конвертер, футеровка, магнезиальная масса, роторная печь, адгезия, стойкость, периклазоуглеродистая футеровка, горячий ремонт.*

Одной из важнейших стратегий развития технологии конвертерного производства стали является достижение высокой стойкости рабочей футеровки, что соответствует минимальным удельным затратам на огнеупоры и исключает простои, связанные с ремонтами [1–2].

Выбор оптимальной системы ухода за футеровкой в течение кампании формируется, в конечном счете, из соображений снижения удельных затрат и технологических требований [3–5].

Оценивая перспективы развития рынка огнеупоров для сталеплавильного комплекса Украины, можно предположить дальнейшее развитие тенденции к снижению удельного расхода огнеупоров на 1 т стали за счет повышения эксплуатационной стойкости футеровок конвертеров. Об этом свидетельствуют показатели стойкости в Европе, Японии, Китае и США, в полтора-два раза и более превосходящие средние показатели, достигнутые в Украине.

Современные технологии позволяют осуществлять «горячие» ремонты футеровки конвертера без вывода ее из эксплуатации по ходу рабочей кампании. Основные способы восстановления огнеупоров: торкретирование (полусухое, факельное), подварка (формованными изделиями, массами), раздувка конечного (модифицированного) шлака азотом [6–8].

Такие методы, как правило, не продолжительные (5–35 мин) и при значительной эффективности

не нарушают ритмичность производственного процесса в цехе.

Известно, что огнеупорная кладка конвертера подвержена неравномерному износу в ходе кампании. Это обусловлено целым рядом факторов, основными из которых являются коррозионное воздействие шлака и эрозионное воздействие циркуляционных потоков газо-шлако-металлической эмульсии. Ввиду особенностей гидродинамики конвертерного процесса [9, 10] и специфики его цикличности (завалка-пробоотбор-слив), то есть постоянное кантование агрегата с продуктами плавки, формируются зоны опережающего износа футеровки. В основном это зоны нижнего конуса, зоны цапф, зона слива и зона летки. Схема зональной кладки конвертера и пример топографии неравномерного износа футеровки представлены на рис. 1.

Существует два основных метода ремонта наиболее «сложных» участков опережающего износа футеровки зоны цапф и летки. Это метод торкретирования (полусухого, факельного) и подварка саморастекающейся массой. При этом, торкретирование осуществляется с использованием специального оборудования, требующего подготовки и настройки перед операцией, что влечет за собой значительные временные затраты, нарушающие производственный график. Так, время, затраченное на операцию торкретирования, доходит до 30–50 мин. Зачастую экономия времени (сокращение времени выдержки, снижение расхода массы) на подобной операции негативно влияет на качество ремонта и снижает стойкость восстановленного участка.

Наиболее перспективной альтернативой торкретированию локального износа, не требующей специального оборудования и подготовки персонала, является подварка саморастекающимися, магнезиальными массами. Подварка – это способ восстановления наиболее изношенного, локального участка футеровки конвертера.

Так, конвертер, после слива продуктов плавки, кантуется в сторону слива или завалки, в зависимости от зоны износа. Саморастекающаяся, подварочная масса забрасывается на ремонтируемый участок вручную либо из ломозавалочного совка. За счет своих специфических свойств «подвижности» в температурном интервале спекания, масса равномерно заполняет место износа. По прошествии определенного времени выдержки, как правило, 10–20 мин, материал спекается в прочный, огнеупорный конгломерат и приваривается к огнеупорам футеровки с образованием т. н. латки – подварки.

На огнеупорном рынке Украины основными поставщиками подобных материалов являются компания «Dalmond» и «Puyang». Обе компании являются импортерами, что обуславливает высокую стоимость продукта, а также низкую «гибкость» поставок за счет зарубежной логистики, что, в конечном счете, ведет к повышению удельных затрат на 1 т стали.

Производство магнезиальной подварочной массы на базе недефицитных, вторичных ресурсов Украины и ближнего зарубежья представляется весьма рентабельным. Организация такого производства в условиях, действующих на территории Украины предприятий огнеупорной промышленности, входящих в группу «GIR», позволяет не только обеспечить достойную конкуренцию импортируемой продукции, но и развивает ресурсосберегающие технологии в металлургии и целых регионах страны.

Компанией ООО «ГИР-Инжиниринг» проведен детальный анализ рынка вторичного магнезиального сырья Украины, подходящего для производства саморастекающейся подварочной массы. Так, основные шихтовые материалы для разработки и производства массы – это лома периклазовых, периклазоуглеродистых, периклазохромитовых изделий. Подобные материалы представлены на рынке в достаточном количестве, относительно спроса на подварочные массы, а также являются техногенными отходами металлургических предприятий, нуждающимися в утилизации.

На основании доступной отечественной сырьевой базы, специалистами компании ООО «ГИР-Инжиниринг» разработана рецептура саморастекающейся, подварочной, магнезиальной массы марки «GIR-RB-X».

Основными качественными показателями разработанной массы «GIR-RB-X» являются:

– гранулометрический состав; фракции 0–8 мм, подобранный таким образом, чтобы обеспечить

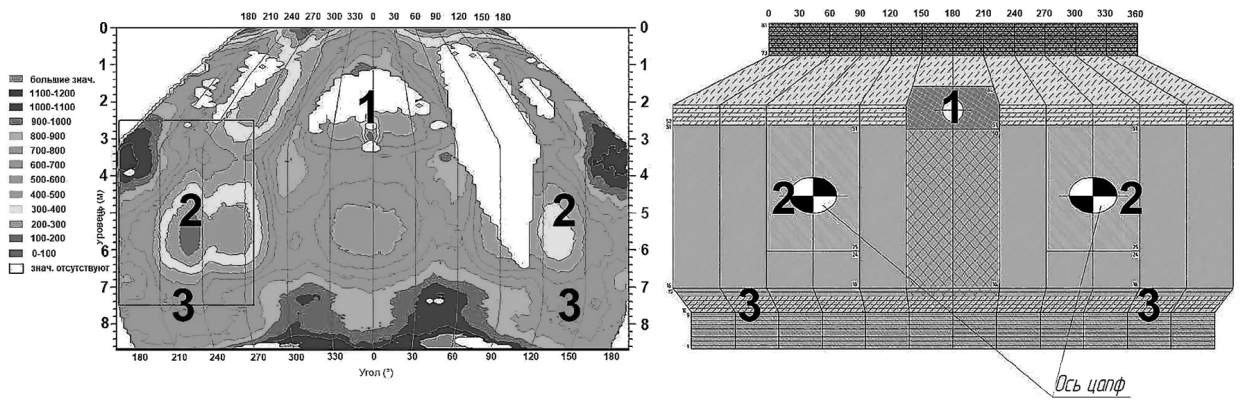


Рис. 1. Зональная футеровка 350-тонного конвертера и пример неравномерности износа: *1* – зона летки; *2* – зоны цапф; *3* – зона нижнего конуса. Цвет на топографии – остаточная толщина футеровки: синий – max, красный – min.

максимально плотную укладку зерновой составляющей после спекания;

– химический состав; содержание MgO 75–85 %мас. (на прокаленное в-во); для обеспечения максимальной эрозионной стойкости после спекания;

– связующие компоненты; смесь органических и неорганических смол, кислот и солей; для обеспечения «жидкоподвижности» массы в заданном интервале температур, регулирования времени спекания, предания заданной механической прочности конгломерату.

Для проверки и оптимизации физико-химических свойств подварочной массы была разработана методика. Агрегатом для проведения экспериментов выступила нагревательная печь роторного типа [11]. Схема и внешний вид экспериментальной установки представлены на рис. 2.

Методика экспериментальных исследований была разделена на три этапа:

– первый этап: подготовка огнеупорных образцов к операции подварки. Расплавление в полости печи шлакометаллической эмульсии. Температура жидкой ванны – 1630 °С. Принудительный износ внутреннего пространства осуществлялся посредством вращения печи вокруг своей оси с частотой 10–12 оборотов/мин. Неравномерность износа внутреннего пространства добивались наклоном печи относительно горизонтальной оси. Продолжительный контакт (3,5 часа) рабочей поверхности со шлакометаллической эмульсией имитировал эрозионный и коррозионный износ периклазоуглеродистого кирпича с инфильтрацией жидких продуктов плавки в огнеупор, что в достаточной степени соответствовало механизмам износа в реальных условиях конвертерной плавки. После предания адекватных реальным свойств рабочей поверхности огнеупоров перешли ко второму этапу – подварка изношенной зоны разработанной массой «GIR-RB-X»;

– второй этап: заполнение ремонтной массой зоны опережающего износа. Перед засыпкой массы в полость печи продукты плавки сливались. Температура рабочего пространства после слива плавки – 1450 °С. Масса подавалась по течке во внутреннее пространство на изношенный участок футеровки.

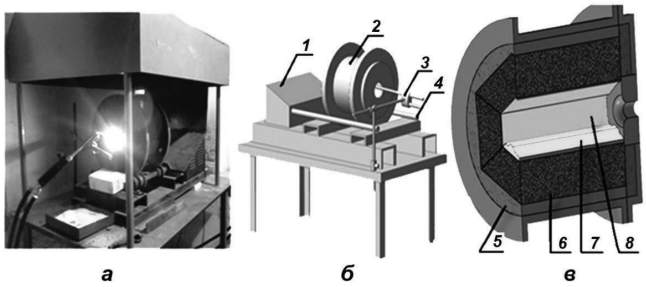


Рис. 2. Общий вид (*а*) и схема установки (*б, в*) экспериментального стенда печи роторного типа: *1* – двигатель; *2* – корпус печи; *3* – газово-кислородная горелка; *4* – приводной вал; *5* – теплоизоляция; *6* – периклазоуглеродистая футеровка (конвертерные огнеупоры); *7* – подварочная масса марки «GIR-RB-X»; *8* – рабочая поверхность огнеупора (пропитка продуктами плавки)

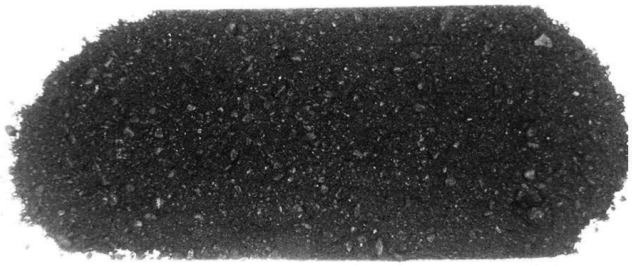


Рис. 3. Навеска магнезиальной ремонтной массы марки «GIR-RB-X» 0,5 кг – экспериментальный образец

Расход массы на операцию – 0,5 кг. На рис. 3 представлен внешний вид навески магнезиальной ремонтной массы марки «GIR-RB-X».

Проверку «подвижности» массы оценивали при вращении печи вокруг горизонтальной оси реверсом в две стороны на 45°. Заполнение изношенного участка происходило равномерно, без преждевременного спекания массы. Затем печь возвращали в исходное положение и выдерживали в течение 15 мин, до полного прогрева навески и спекания (рис. 4, *а*).

Степень адгезии массы после спекания к поверхности оценивали вращением печи вокруг горизонтальной оси. Масса спеклась в плотный монолит с футеровкой, не осыпалась и не отслаивалась;

– третий этап: повторный разогрев печи до рабочей температуры 1630 °С; испытание эрозионной и коррозионной стойкости подварочной массы.

После оценки адгезионных свойств и скорости спекания рабочее пространство повторно разогревалось до температуры конвертерной плавки. При этом в рабочее пространство загружалась новые порции металла и шлака до формирования жидкоподвижной ванны (1/3 внутреннего объема печи) 4–5 кг. Непрерывное вращение печи с шлакометаллической эмульсией продолжалось в течение 1 часа, для имитации эрозионного и коррозионного износа конгломерата подварки. После чего продукты плавки вновь сливались из печи. Внешний вид и остаточное количество подварочной массы после повторного разогрева и износа шлакометаллической эмульсией представлено на рис. 4, *б*.

После качественной оценки поведения подварочной массы, степени ее адгезии к периклазоуглеродистому кирпичу, времени спекания и коррозионно-эрозионной устойчивости печь охлаждали до

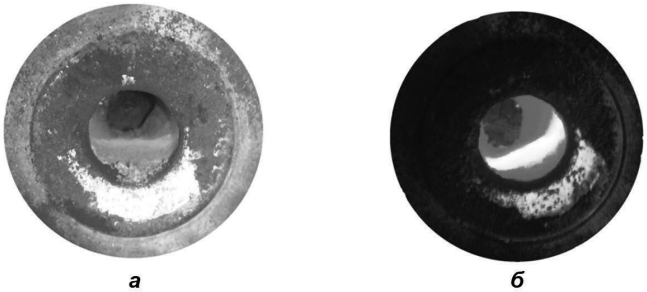


Рис. 4. *а* – равномерное заполнение изношенного участка; *б* – подварка после повторного разогрева и эрозионно-коррозионного износа

комнатной температуры. Производили демонтаж внутренней футеровки и отделение навески спеченной массы от поверхности огнеупора. После механической подготовки образца подварки – конгломерата производили замер прочности при сжатии на лабораторном прессе. В результате данный параметр составил – 38,5 МПа, что в полной мере удовлетворяет производственным требованиям и соответствует показателю зарубежных аналогов. На рис. 5 представлен образец спеченного конгломерата массы марки «GIR-RB-X» после разрушения на прессе.



Рис. 5. Образец конгломерата массы марки «GIR-RB-X»

На рис. 5 видна плотная структура образца подварочной массы, что так же подтверждается количеством крупных фрагментов после разрушения на прессе.

На основании полученных экспериментальных результатов, в период с 01.05 по 10.05.2018 г. на производственной площадке компании ООО «ГИР-Инжиниринг» в условиях ЧАО «КрОЗ» произведена опытная партия магнезиальной подварочной массы марки «GIR-RB-X» в количестве 10 т. Основными компонентами при производстве массы являлось вторичное сырье, то есть отходы металлургического (бой периклазового и периклазоуглеродистого и периклазохромитового кирпича) и огнеупорного производства.

Компания ООО «ГИР-Инжиниринг» располагает специально оборудованной линией для производства сухих смесей, включающей в себя бункерную эстакаду (16 бункеров), шнековую систему подачи и автоматического дозирования, а также смесители принудительного действия типа «Eirich» (рис. 6).

Основные физико-химические показатели магнезиальной подварочной массы марки «GIR-RB-X», опытной партии в количестве 10 т представлены в таблице.

Для удобства использования методом набрасывания на ремонтируемый участок футеровки магнезиальная подварочная масса марки «GIR-RB-X» фасуется в полиэтиленовые мешочки массой 3–5 кг и укладывается в полипропиленовые мягкие контейнеры (МКР) по 0,5–1,0 т в зависимости от требований заказчика.

По состоянию на конец 2018 г. проведены промышленные испытания массы в условиях двух металлургических комбинатов в количестве 3 т на каждом.

Так, в течение июня месяца 2018 г. в условиях ПАО «ДМК» проведены испытания подварочной массы марки «GIR-RB-X» в количестве 3 т на конвертерах емкостью 250 т.

На основании испытаний получены следующие результаты:

– подварочная масса марки «GIR-RB-X» при попадании на футеровку конвертера возгоралась, после выдержки спекалась;

– удельный расход подварочной массы составил 0,089 кг/т, при нормативном – 0,092 кг/т;

– масса марки «GIR-RB-X» рекомендована к использованию в условиях ПАО «ДМК».

В течение декабря месяца 2018 г. в условиях конвертерного цеха ЧАО «МК «Азовсталь» проведены испытания подварочной массы марки «GIR-RB-X» в количестве 3 т на конвертерах емкостью 350 т.

На основании испытаний получены следующие результаты:

– отмечена удовлетворительная адгезия материала к рабочей футеровке; отмечена равномерность образования подварочного конгломерата;

– стойкость подварочного слоя, выполненного с использованием массы марки «GIR-RB-X», составила 30 плавок, что соответствует стойкости базовых поставщиков;

– масса марки «GIR-RB-X» рекомендована к использованию в условиях ЧАО «МК «Азовсталь».

На сегодняшний день компания ООО «ГИР-Инжиниринг» располагает возможностью серийного производства и поставок магнезиальной подварочной массы марки «GIR-RB-X» в количестве 40–50 т в месяц. Основными потребителями магнезиальной подварочной массы марки «GIR-RB-X»предполагаются металлургические предприятия, находящиеся в Донецком и Днепропетровском регионах с конвертерным производством стали. Развитая транспортная сеть позволяет обеспечить доставку продукции на

Основные физико-химические свойства массы марки «GIR-RB-X» согласно НТД ООО «ГИР-Инжиниринг»

Наименование показателя	Норма для марки	Методы контроля
	GIR-RB-X	
1. Массовая доля общей влаги W, % не более	5	ГОСТ 22939.2
2. Гранулометрический состав, мм в пределах	0–8	ДСТУ 3210
3. Массовая доля оксида магния MgO, % не менее	75	ДСТУ 3305.8 (ГОСТ 2642.8)
4. Массовая доля углерода C, % не менее	10	ГОСТ 23581.9
5. Предел прочности при сжатии (после спекания 1600 °C), МПа не менее	35	ГОСТ 4071.1-94

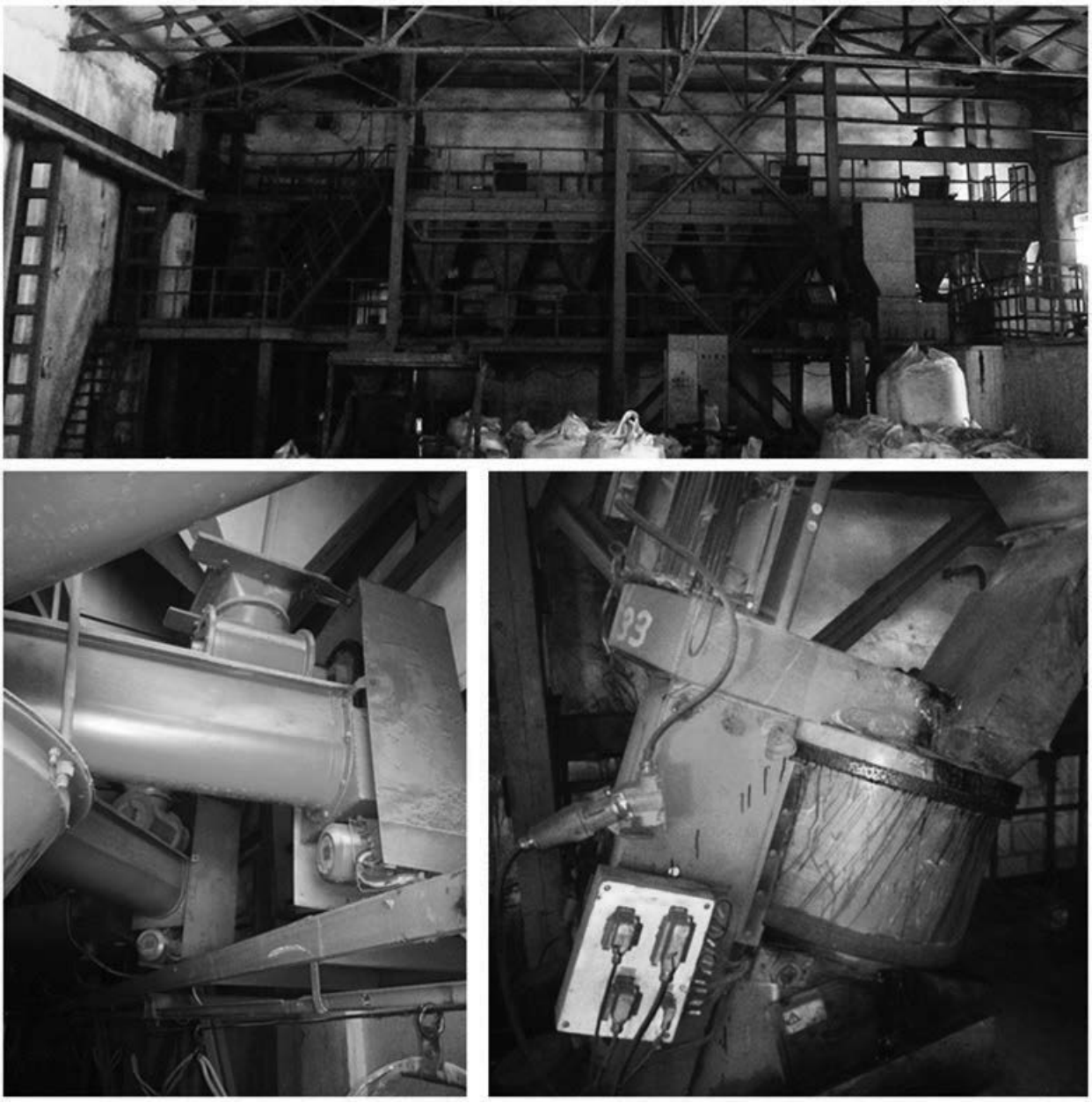


Рис. 6. Технологическая линия компании ООО «ГИР-Инжиниринг» по производству сухих огнеупорных смесей

такие предприятия, как ЧАО «МК «Азовсталь», ПАО «ММК им. Ильича», ПАО «ДМК», ПАО «ДМК им. Петровского», ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» как автомобильным, так и ж/д транспортом, в соответствии с предпочтениями заказчика.

Выводы

1. Выбор оптимальной системы ухода за футеровкой в течение кампании формируется, в конечном счете, из соображений снижения удельных затрат и технологических требований. Одним из наиболее эффективных способов восстановления труднодоступных зон футеровки, подверженных опережающему износу, является горячий ремонт методом подварки, с использованием саморастекающихся, магнезиальных масс.

2. На основании доступной отечественной сырьевой базы, специалистами компании ООО «ГИР-Инжиниринг» разработана рецептура саморастекающейся, подварочной, магнезиальной массы марки «GIR-RB-X».

3. Для проверки и оптимизации физико-химических свойств подварочной массы была разработана методика, включающая три основных этапа:

– подготовка огнеупорных образцов к операции подварки;

– заполнение ремонтной массой зоны опережающего износа (операция подварки);

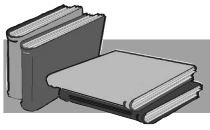
– испытание эрозионной и коррозионной стойкости подварочной массы.

4. На основании полученных экспериментальных результатов, в период с 01.05 по 10.05.2018 г. на производственной площадке компании ООО «ГИР-Инжиниринг» в условиях ЧАО «КрОЗ» произведена опытная партия магнезиальной подварочной массы марки «GIR-RB-X» в количестве 10 т.

5. По состоянию на конец 2018 г. проведены промышленные испытания массы в условиях ПАО

«ДМК» в количестве 3 т и в условиях ЧАО «МК «Азовсталь» в количестве 3 т. Результаты испытаний – положительны, использование массы рекомендованы, о чем свидетельствуют соответствующие заключения предприятий.

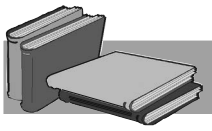
6. На сегодняшний день компания ООО «ГИР-Инжиниринг» располагает возможностью серийного производства и поставок магнезиальной подварочной массы марки «GIR-RB-X» в количестве 40–50 т в месяц.



ЛИТЕРАТУРА

1. *Смирнов А.Н.* Перспективы развития рынка огнеупоров для сталеплавильного комплекса Украины. *Металлургический компас. Украина – Мир.* 2010. № 4. С. 16–23.
2. *Аксельрод Л.М.* Развитие производства огнеупоров в мире и в России, новые технологии. *Новые огнеупоры.* 2011. № 3. С. 106–120.
3. *Сердюков А.А., Тонкушин А.Ф., Смирнов А.Н.* Современная футеровка для крупных кислородных конвертеров. *Металл и литье Украины.* 2010. № 9–10. С. 4–7.
4. *Аксельрод Л.М., Лаптев А.П., Устинов В.А., Геращук Ю.Д.* Повышение стойкости футеровки конвертеров: огнеупоры, технологические приемы. *Металл и литье Украины.* 2009. № 1–2. С. 9–15.
5. *Немсадзе Г.Г., Шарандин К.Н.* Повышение стойкости футеровки кислородных конвертеров. Монография. – Донецк: GIR-INTERNATIONAL – Норд Пресс, 2014. 135 с.
6. *Смирнов А.Н., Тонкушин А.Ф., Сердюков А.А. Шарандин К.Н.* Повышение стойкости футеровки и совершенствование методов обслуживания современных большегрузных конвертеров. *Бюллетень научно-технической и экономической информации. Черная металлургия.* 2012. № 6. С. 26–30.
7. *Смирнов А.Н., Шарандин К.Н., Лизун А.Ю.* Моделирование элементов процесса нанесения гарнисажного покрытия на рабочий слой футеровки конвертера. *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия.* 2012. № 11. С. 43–48.
8. *Шарандин К.Н.* Технология раздувки конечного шлака азотом в большегрузных конвертерах с использованием магнезиального модификатора. *Металл и литье Украины.* 2018. № 5–6. С. 19–26.
9. *Смирнов А.Н., Лебедев Е.Н., Шарандин К.Н.* Физическое моделирование металла в конвертере с комбинированной продувкой. *Известия вузов. Черная металлургия.* 2010. № 9. С. 23–27.
10. *Смирнов А.Н., Лебедев Е.Н., Шарандин К.Н., Лизун А.Ю., Ухин В.Е.* Физическое моделирование взаимодействия встречных газовых струй при комбинированной продувке в конвертере. *Сборник. Инновационные способы внепечной* обработки стали и чугуна. Донецк, 2011. С. 176–181.
11. *Смирнов А.Н., Немсадзе Г.Г., Шарандин К.Н., Тонкушин А.Ф., Рябый Д.В., Лизун А.Ю.* Роторная печь для сравнительной оценки эрозионной стойкости огнеупорных изделий тепловых агрегатов. *Новые огнеупоры.* 2018. № 4. С. 145–148.

Поступила 18.07.2019



REFERENCES

1. *Smirnov, A.N.* (2010). Prospects for the development of the refractory market for the steel-smelting complex of Ukraine. *Metallurgical compass. Ukraine – World,* no. 4, pp. 16–23 [in Russian].
2. *Axelrod, L.M.* (2011). Development of refractory production in the world and in Russia, new technologies. *New refractories,* no. 3, pp. 106–120 [in Russian].
3. *Serdyukov, A.A., Tonkushin, A.F., Smirnov, A.N.* (2010). Modern lining for large oxygen converters. *Metall i lit'e Ukrainy*, no. 9–10, pp. 4–7 [in Russian].
4. *Axelrod, L.M., Laptev, A.P., Ustinov, V.A., Gerashchuk, Yu.D.* (2009). Increasing the durability of converters lining: refractories, technological methods. *Metall i lit'e Ukrainy*, no. 1–2, pp. 9–15 [in Russian].
5. *Nemsadze, G.G., Sharandin, K.N.* (2014). Increasing the durability of the lining of oxygen converters. Monograph. Donetsk: GIR-INTERNATIONAL – Nord Press, 135 p. [in Russian].
6. *Smirnov, A.N., Tonkushin, A.F., Serdyukov, A.A. Sharandin, K.N.* (2012). Improving the durability of the lining and improving the methods of servicing modern heavy-duty converters. *Bulletin of scientific, technical and economic information. Ferrous* metallurgy, no. 6, pp. 26–30 [in Russian].
7. *Smirnov, A.N., Sharandin, K.N., Lizun, A.Yu.* (2012). Simulation of elements of the skimming process on the working layer of the converter lining. *Proceedings of higher educational institutions. Ferrous metallurgy,* no. 11, pp. 43–48 [in Russian].
8. *Sharandin, K.N.* (2018). The technology of blowing out the final slag with nitrogen in large-scale converters using a magnesian modifier. *Metall i lit'e Ukrainy,* no. 5–6, pp. 19–26 [in Russian].
9. *Smirnov, A.N., Lebedev, E.N., Sharandin, K.N.* (2010). Physical modeling of metal in converter with a combined purge. *News of universities. Ferrous metallurgy,* no. 9, pp. 23–27 [in Russian].

10. *Smirnov, A.N., Lebedev, E.N., Sharandin, K.N., Lizun, A.Yu., Ukhin, V.E.* (2011). Physical modeling of the interaction of oncoming gas jets during combined purge in the converter. *Collection. Innovative ways of secondary treatment of steel and cast iron.* Donetsk, pp. 176–181 [in Russian].
11. *Smirnov, A.N., Nemsadze, G.G., Sharandin, K.N., Tonkushin, A.F., Riabyi, D.V., Lizun, A.Yu.* (2018). Rotary kiln for comparative evaluation of erosion resistance of refractory products of thermal units. *New refractories,* no. 4, pp. 145–148 [in Russian].

Received 18.07.2019

Анотація

Г.Г. Немсадзе[3], голова наглядової ради, e-mail: ngg@gir.ua
О.М. Смірнов[1], д-р техн. наук, проф., пров. наук. співр., e-mail: stalevoz@i.ua, https://orcid.org/0000-0001-5247-3908
Р.А. Джоджуа[3], директор зі стратегії та розвитку, e-mail: rad@gir.ua
К.М. Шарандін[2], ген. директор, e-mail: sharandin@gir.ua
Д.М. Рябий[2,1], зам. ген. директора, e-mail: dmitriy.ryabyi@gir.ua

[1]Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ, Україна
[2]ТОВ «ГІР-Інжінірінг», Дніпро, Україна
[3]ПАТ «ЗНВКІФ «GIR», Київ, Україна

Вдосконалення технології гарячого ремонту футерівки конвертера з використанням розробленої магнезіальної маси марки «GIR-RB-X»

Виконано аналіз методів гарячого ремонту ділянок випереджаючого зносу робочої, периклазовуглецевої футерівки конверторів методом підварювання. Розроблено методику оцінки якості магнезіальної, підварювальної маси, що розтікається, на лабораторній печі роторного типу, що не має аналогів в Україні. Розроблена методика дозволяє досягти високого рівня достовірності отриманих результатів, що дозволяє перенести отриманий досвід на промислові умови, при порівняно низьких енерговитратах і високою безпекою у порівнянні з проведенням експериментів в реальному металургійному агрегаті.
За результатами лабораторних досліджень розроблено ремонтну, підварювальну масу, яка розтікається, марки «GIR-RB-X», на основі вторинної, вітчизняної сировини, що дозволяє ефективно відновлювати ділянки вогнетривкої футерівки конвертера, схильні до випереджаючого зносу, продовжити його робочу кампанію і тим самим знизити питомі витрати на виробництво сталі.
Проведено промислові випробування магнезіальної, ремонтної маси, що розтікається, на футерівках великовантажних конверторів в умовах металургійних підприємств ПАТ «ДМК» і ПрАТ «МК «Азовсталь». Результати випробувань свідчать про високу конкурентоспроможність розробленої маси в порівнянні із зарубіжними аналогами, а також гнучкість розробленої підварювальної маси до різних умов експлуатації конвертера.
Компанією ТОВ «ГІР-Інжініринг» організовано серійне виробництво підварювальної маси, що розтікається, марки «GIR-RB-X» на виробничих потужностях ПАТ «КрОЗ» із застосуванням високотехнологічної лінії компанії «Eirich» і автоматики компанії «Siemens», що дозволяє досягти високої якості готової продукції.

Ключові слова

Конвертер, футерівка, магнезіальна маса, роторна піч, адгезія, стійкість, периклазовуглецева футерівка, гарячий ремонт.

G.G. Nemsadze[3], Head of the Supervisory Board, e-mail: ngg@gir.ua
A.N. Smirnov[1], Dr. Sci. (Engin.), Professor, Leading Researcher, e-mail: stalevoz@i.ua, https://orcid.org/0000-0001-5247-3908
R.A. Dzhodzhua[3], Director for Strategy and Development, e-mail: rad@gir.ua; **K.N. Sharandin**[2], CEO, e-mail: sharandin@gir.ua;
D.V. Ryabyi[2,1], Deputy Director, e-mail: dmitriy.ryabyi@gir.ua

[1]Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine
[2]LLC GIR-Engineering, Dnipro, Ukraine
[3]PJSC "CUVCIF "GIR", Kyiv, Ukraine

Improvement of the technology of the hot repair of the converter lining with the use of the developed magnesium mass "GIR-RB-X"

Summary

The analysis of methods of hot repair of areas of advanced wear of working, periclase-carbon lining of converters by a method of welding is carried out. The technique of estimation of quality of self-flowing, magnesian, welding mass on laboratory furnace of rotor type, which has no analogues in Ukraine is developed. The developed technique allows reaching high level of reliability of the received results that allows transferring the received experience on industrial conditions, at rather low power inputs and high safety in comparison with carrying out of experiments in the real metallurgical unit.
According to the results of laboratory researches the repair, self-flowing, cellar mass of "GIR-RB-X" brand is developed, on the basis of secondary, domestic raw materials, allowing to restore effectively the areas of refractory lining of the converter, which are subject to advanced wear and tear, to prolong its working campaign and thereby to reduce specific costs for steel production.
Industrial tests of self-flowing, magnesium and repair masses were carried out on heavy-duty converter linings at metallurgical enterprises of PJSC "DMK" and PJSC "Azovstal Iron and Steel Works". The results of the tests testify to the high competitiveness of the developed mass in comparison with foreign analogues, as well as the flexibility of the developed welding mass to different operating conditions of the converter.
GIR-Engineering LLC organized serial production of self-flowing repair mass of "GIR-RB-X" brand at the production facilities of PJSC "KrOZ" with the use of high-tech line of "Eirich" company and automatics of "Siemens" company, which allows to achieve high quality of finished products.

Keywords

Converter, lining, magnesium mass, rotary furnace, adhesion, durability, periclase-carbon lining, hot repair.

УДК 66.043.1:662.741/.742

Г.Г. Немсадзе, глава наблюдательного совета, e-mail: ngg@gir.ua
А.Ф. Тонкушин, консультант, e-mail: vsalde52@gmail.com
ПАО «ЗНВКИФ «GIR», Киев, Украина

Современные тенденции производства огнеупоров на основе кварца для коксовых печей

Статья посвящена актуальным вопросам коксохимического производства, как важной составляющей металлургического цикла получения чугуна. Проведен анализ проблем, возникающих в технологическом процессе выпуска кокса с заданными параметрами в коксовых батареях, с учетом их конструкционных особенностей. Определена важность качества огнеупорных динасовых и шамотных изделий, состояния футеровки батарей в обеспечении их стойкости при высоких температурах и резких ее перепадах при загрузке угля и выдаче горячего кокса, а также химической стойкости к агрессивным каменноугольным смолам и газам. Отмечена перспективность использования кварцита, как основы футеровки, с учетом его высоких служебных характеристик. При этом рассмотрены сложности его обработки, ввиду объемных изменений материалов на его основе в процессе нагревания. Предложено использование плазменного переплава чистого кварцевого песка при температурах более 1750 ˚С, что обеспечит стабилизацию структуры кварца. Это позволяет производить огнеупорные изделия на основе плавленого кварца для коксовых батарей, сохраняющих свои размеры при высоких температурах без потерь прочности. Отмечено, что новый метод производства таких огнеупоров исключает целый ряд технологических переделов, таких как прессование и длительный обжиг в туннельных печах, характерных для динасовых огнеупоров. Новый материал также позволяет проектировать футеровки блочного типа, резко сократить время футеровочных работ и позволяет их максимально механизировать.

Ключевые слова: *кокс, коксовая батарея, динасовые огнеупоры, плавленый кварц, блочные огнеупоры.*

Классическая схема получения чугуна – использование двух природных минералов: железной руды и каменного угля. Несмотря на то, что на различных форумах и конференциях предлагаются схемы, в которых один из компонентов, а именно каменный уголь, заменяется на другие ресурсы, массового распространения они пока не получают по различным причинам, в первую очередь, из-за высокой стоимости проектов.

В составе чугуна обычно содержится около 4,0 % углерода, который поступает из углероднесущего компонента и заменить его теоретически возможно, но не в многомиллионном мировом металлургическом потоке.

Как известно, реализовать прямой синтез чугуна из железной руды и каменного угля представляется затруднительным. Железная руда обычно проходит ряд технологических переделов на горно-обогатительных комбинатах (ГОКах) и металлургических комбинатах перед погрузкой в доменную печь, а каменный уголь перерабатывается в кокс на коксохимических предприятиях. Это совершенно специфическое производство в общем металлургическом цикле и порой незаслуженно обделено вниманием как в научном, так и в информационном плане, несмотря на то, что кокса производится сотни миллионов тонн в год во всем мире.

На практике получение кокса является сложным термохимическим процессом переработки каменного угля, позволяющим максимально удалить из его состава все вредные примеси (в первую очередь, смолы), и подготовить его для правильной эффективной работы доменной печи.

Коксохимическое производство основано на термической обработке каменного угля без доступа кислорода для предотвращения его прямого горения, то есть процесс идет в герметичном замкнутом объеме при высокой температуре. Кроме этого, при высокой температуре из каменного угля выделяется большое количество агрессивных смол и газов, которые необходимо своевременно отводить из этого замкнутого объема. Таким агрегатом, в котором реализуется технологический процесс получения кокса с заданными параметрами, является коксовая батарея (рис. 1). Она представляет такую же конструкцию, как и батарея отопления в жилых помещения, состоящая из ряда секций, греющих друг друга за счет проходящего через них теплоносителя, только в коксовой батарее они называются камерами. Количество камер в батарее зависит от проектной мощности, но в среднем составляет 60–70 штук. Вокруг огнеупорной конструкции находятся все коммуникации, включая энергетические, газовые, транспортные и т. д. По производительности проекты коксовых батарей также отличаются, но в среднем одна батарея производит до 1 миллиона кокса в год.

Требования по параметрам термохимического процесса производства кокса, а именно обеспечения стойкости конструкции при высоких температурах и их резких перепадах при загрузке угля и выдаче горячего кокса, а также химической стойкости к агрессивным каменноугольным смолам и газам, обеспечиваются огнеупорными динасовыми и шамотными изделиями. Коксовая батарея на 4/5 состоит из динасовых огнеупоров. Именно они обеспечива-



Рис. 1. Коксовая батарея (общий вид)

ют многолетнюю работу коксовых батарей по всему миру. Шамотные и другие огнеупоры используются в основном в нижней части батареи и периферийных зонах. Количество огнеупоров в кладке одной коксовой батареи достигает нескольких тысяч тонн огнеупоров и мертелей (рис. 2), и при строительстве батареи огнеупоры производятся иногда одновременно на нескольких огнеупорных заводах. Проект коксовой батареи в части огнеупорной футеровки представляет собой пакет чертежей кирпича до 500 различных марок и наименований.

Главный элемент конструкции коксовой батареи (камеры коксования) представляет собой прямоугольный вертикальный канал высотой в несколько метров и длиной в среднем десять метров. Рабочее пространство камеры коксования, а также строение отапливаемых простенков, перекрытия, подины и каналов подачи горячего газа для нагрева камер выполняется из динасовых кирпичей сложной геометрической формы. Для обеспечения герметичности камер коксования и газовых каналов огнеупорные кирпичи в кладке соединяются между собой посредством лабиринтного замка типа «шпунт-паз» и динасового мертеля. Главным параметром качества огнеупорной кладки является именно создание условий невозможности проникновения в камеру кислорода воздуха и выбросов коксового газа в атмосферу.

Производительность батареи, ее экологическая безопасность и качество кокса в огромной степени зависит от состояния огнеупорной футеровки. Соответственно это должно обеспечиваться качеством динасовых и шамотных огнеупоров, качеством футеровочных работ и своевременностью проведения горячих и холодных ремонтов. Требования по качеству огнеупоров для строительства и ремонтов коксовых батарей достаточно высокие и регламентируются целым рядом международных стандартов, а проведение работ при кладке огнеупоров контролируется независимыми экспертами.

Динасовые кирпичи для коксовых батарей изготавливаются из природного минерала кварцита, основой которого является диоксид кремния SiO_2. Именно диоксид кремния, в отличие от других химических соединений, обладает целым рядом необходимых физико-химических свойств для использования в контакте с каменным углем, горячим коксом, агрессивной каменноугольной смолой и коксовым газом. Диоксид кремния в кварцитовом сырье и в виде динасового кирпича, получаемого на его основе, имеет высокую огнеупорность, прочность, химическую стойкость к агрессивной среде камеры коксования. При всех положительных качествах он имеет низкую термостойкость, что обусловлено тем, что кристаллическая решетка кварцита имеет ряд специфических отрицательных особенностей, которые не удается преодолеть технологическими процессами производства динасового кирпича. Структура кварцита при нагревании претерпевает неоднократные изменения, сопряженные с кардинальным изменением кристаллической решетки и объемными изменениями. Изменения кристаллических решеток кварца различных модификаций, тридимита и кристобалита при изменении температуры огнеупора приводят к изменению объема на несколько объемных процентов и соответственно – изменению линейных размеров динасового огнеупора (рис. 3). Если не стабилизировать структурную решетку динасового огнеупора и не перевести ее в стабильную тридимитовую структуру, полностью уничтожив другие структурные формы, то при последующих изменениях температур в преде-



Рис. 2. Огнеупорная кладка коксовой батареи

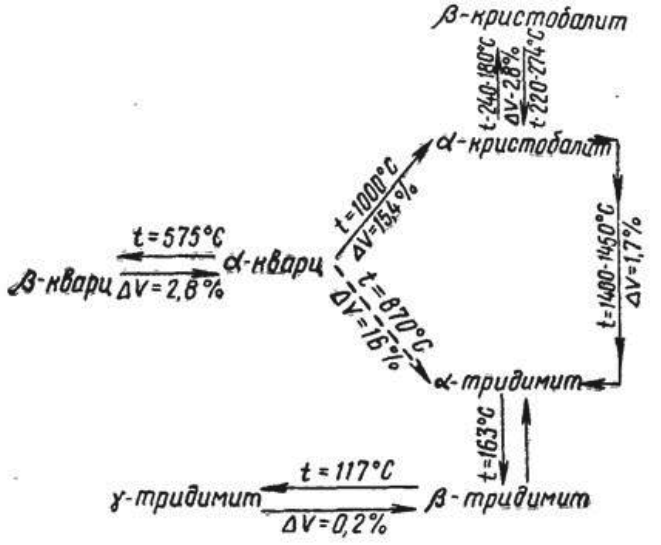


Рис. 3. Модификация структуры диоксида кремния с изменением объема

лах от 150 до 1500 °С в структуре динаса возможны процессы рекристаллизации и соответственно изменение линейных размеров кирпича и даже его разрушение растрескиванием.

Технологическим процессом производства динасового огнеупора предусматривается получение из скального кварцитового камня неопределенных размеров кирпича заданных размеров с высокой огнеупорностью, строительной прочностью, низкой пористостью и нулевым остатком кварцевой кристаллической решетки. Обеспечение данных свойств является достаточно сложной технологической задачей. Поэтому производство динасовых огнеупоров сконцентрировано на специализированных огнеупорных заводах, которые часто и носят эти названия в отличие от других огнеупорных предприятий. Процесс производства – многоэтапный и представляет собой размол природного кварцитового камня, рассев, приготовление формовочной смеси с добавкой клеящих компонентов и минерализаторов, прессование кирпича в соответствии с чертежами и, самое главное, длительный и тщательный обжиг в туннельных печах.

Размолом кварцита, естественно, не удается каким-то образом разрушить кристаллическую решетку кварца и это выполняют посредством медленного разогрева и последующего охлаждения для того, чтобы структурные превращения не несли взрывного характера и не привели к образованию трещин в кирпиче при объемных изменениях кристаллической решетки. Обжиг динасовых огнеупоров продолжается несколько суток прохождением огнеупора через туннельную печь длиной 250 метров с максимальной температурой в зоне обжига 1450 °С. При этом следует отметить, что одновременно обжигаются несколько десятков типоразмеров кирпича, отличающихся как по геометрии, так и по весу. Это обусловлено тем, что продукция одновременно прессуется на нескольких прессах различной мощности от 200 до 1000 тонн. Эксплуатация таких огромных туннельных печей требует значительных энергоресурсов и имеет целый ряд отрицательных экономических показателей, а именно:

– туннельная печь является агрегатом непрерывного действия, остановить ее в технологическом процессе невозможно, так как для продвижения по печи требуется постоянное проталкивание через нее продукции;

– обжиг тяжеловесного изделия требует большего времени, но при этом в печи одновременно находится несколько сотен тонн других, в том числе более легких огнеупоров, для которых этого времени не нужно;

– для продвижения продукции через туннельную печь необходимо иметь более 100 туннельных вагонов грузоподъемностью до 10 тонн каждый, которые также подвергаются воздействию высокой температуры и требуют постоянного ремонта.

Качественный динасовый огнеупор после такого длительного и дорогого обжига не должен иметь в своей структуре следов или остатков структуры кварца с большим объемным расширением. Однако настоящая технология этого не обеспечивает, и стандарты качества разрешают иметь несколько процентов остаточного кварца (от 0,5 до 6,0 % по различным стандартам). Соответственно в процессе проектирования и эксплуатации коксовых батарей приходится учитывать данный фактор и предусматривать то, что в процессе эксплуатации динасовые огнеупоры и вся футеровка будут подвергаться изменениям. При проектировании этот фактор закладывается расчетным путем, а вот в процессе эксплуатации его возможно определить и в дальнейшем компенсировать только при осмотрах футеровки в процессе длительной эксплуатации.

В тех случаях, когда не удается компенсировать неуправляемые изменения размеров динаса, это приводит к разрушению футеровки и разгерметизации камер коксования и простенков, что негативно сказывается на работе батареи и экологии производства. В процессе коксования на стены камер оказывается значительное давление каменного угля и в дальнейшем горячего кокса, а затем при выдаче кокса происходит абразивный износ при проталкивании коксового пирога из камеры наружу. При этом поверхность динасового кирпича на подине и стенах камер коксования изнашивается тем быстрее, чем больше на ней трещин и сколов огнеупора (рис. 4). В корнюрной зоне, через которую подается энергоноситель для нагрева простенков, также вследствие трещин и сколов снижаются рабочие параметры, нарушаются процессы сжигания топлива, и возрастают выбросы в атмосферу вредных газов.

Для восстановления изношенной футеровки стен камер коксования применяются несколько технологических приемов холодных и горячих ремонтов, таких как торкретирование, плазменная наплавка и, наконец, перекладка огнеупоров заново. Все это требует больших дополнительных затрат и приводит к снижению производительности коксовой батареи.

Исходя из анализа диаграммы состояния кварца, следует, что для стабилизации структуры двуокиси кремния необходимо перевести его в расплав при температурах более 1750 °С, получив так называемый плавленый кварц или кварцевое стекло. Одним из процессов получения плавленого кварца является плазменный переплав чистого кварцевого песка,

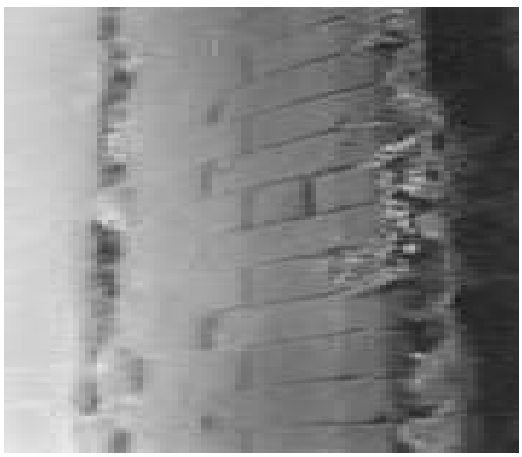


Рис. 4. Дефекты динасовой кладки в камере коксования

в результате которого получается химически чистое сырье для производства огнеупоров с очень высокой термической стойкостью (рис. 5). Испытания огнеупоров на основе плавленого кварца показали, что при соответствии физико-химических параметров по прочности, огнеупорности, пористости и др. они превосходят динасовые огнеупоры по отсутствию термического расширения и остаточного изменения размеров, что и является определяющим преимуществом для футеровки коксовых батарей.

Сравнение показателей динасовых огнеупоров и огнеупоров на основе плавленого кварца приведено в таблице.

Отсутствие термического расширения у огнеупоров на основе плавленого кварца (рис. 6) особенно важно при проведении холодных ремонтов камер коксования в действующих батареях, когда они стыкуются с динасовой кладкой, так как теперь не нужно закладывать расчетные погрешности на рост огнеупоров при разогреве футеровки.

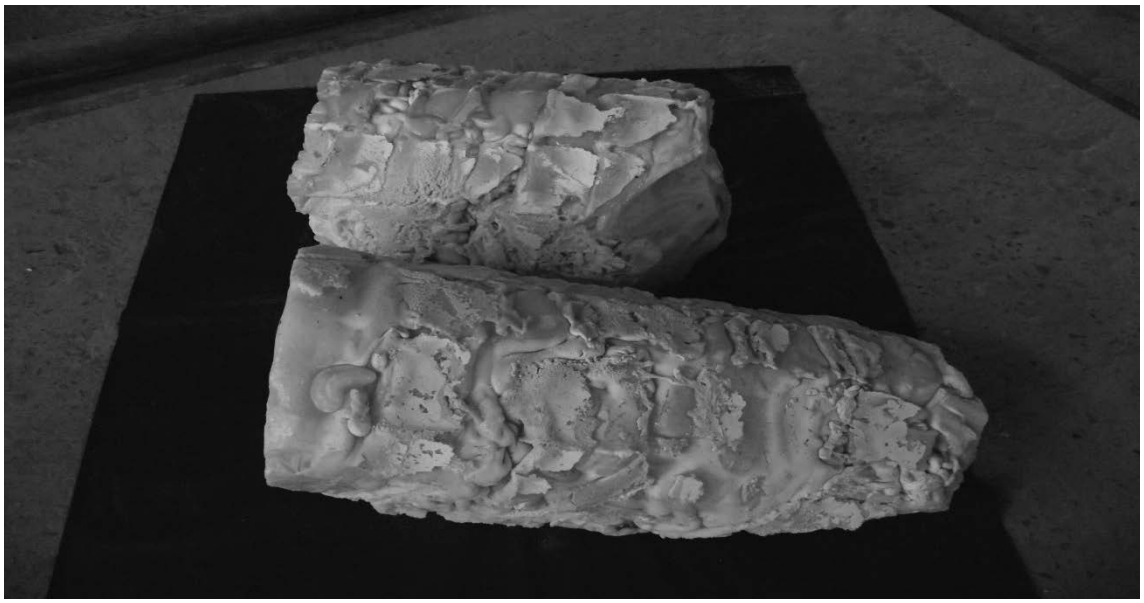


Рис. 5. Слиток плавленого кварца после воздействия плазмотроном

Сравнительные показатели динасовых огнеупоров и огнеупоров на основе плавленого кварца

Показатели	Ед. изм.	Динасовые огнеупоры		Огнеупоры на основе плавленого кварца
		Стандарт GIR	DIN 1089	Стандарт GIR
SiO_2	%	94,0–95,0	94,5–95,0	99,3–99,7
Al_2O_3	%		1,2–2,0	0,2–0,6
Fe_2O_3	%	1,2–1,7	1,0–1,4	0,02–0,05
CaO	%		2,5–3,0	0,05–0,10
Щелочи R_2O	%		0,35 max	0,02 max
Остаточный кварц	%	1,5–6,0	1,5–6,0	1,0 max
Прочность на сжатие	Н/мм^2	25,0–50,0	28,0–45,0	Min 40,0
Пористость открытая	%	16,0–23,0	22,0–24,5	18,0–21,0
Температура начала деформации	°С	1620–1650	1640–1650	1650
Огнеупорность	°С	1700	1700	1700
Термическое расширение при 1000 °С	%	1,3	0,12–0,35	0
Ползучесть при температуре 1450 °С и нагрузке 0,2 Н/мм^2	%	0,05–0,1	0,12–0,35	
Ползучесть при температуре 1500 °С и нагрузке 20–50 Н/мм^2	%			0,2
Остаточное изменение размеров (рост) при температуре 1450 °С	%	0,1–0,4	0,5	0

Отсутствие у огнеупоров на основе плавленого кварца остаточного изменения размеров (роста или усадки) при резких перепадах температур, как это происходит, например, на футеровке дверей камер коксования при их высокой прочности, позволяет значительно повысить стойкость футеровки и значительно сократить ремонты дверей.

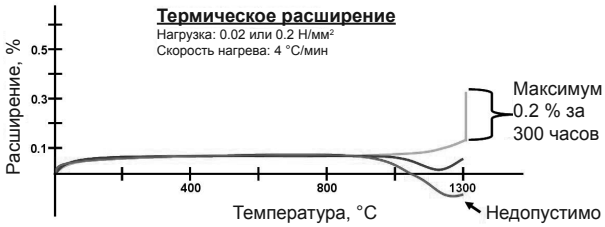


Рис. 6. Диаграмма термических изменений образца плавленого кварца под нагрузкой в температурном интервале процесса получения кокса



Рис. 7. Литые блоки в кладке отапливаемого простенка коксовой батареи

Практические результаты исследований и эксплуатации огнеупоров на основе плавленого кварца привели к созданию проектов футеровки современных коксовых батарей и новой технологии производства этих огнеупоров. Следуя мировой тенденции увеличения применения неформованных огнеупоров по технологии огнеупорных бетонов и смесей, а также блочной футеровки, современные конструкции коксовых батарей, а также их холодные ремонты находят все большее применение.

Исследования кварцевой керамики показали, что плавленый кварц имеет уникальную возможность приобретать вяжущие свойства при помоле в воде, так называемые ВКВС, и тем самым обеспечивать изготовление огнеупоров методом литья в крупные блочные изделия. Химическая инертность плавленого кварца к воде позволяет создавать на его базе огнеупорные бетоны на гидравлическом вяжущем, а также отливать крупные огнеупорные блоки для строительства коксовых батарей.

Внедрение в коксохимическое производство новых огнеупоров на основе плавленого кварца взамен динасовых позволяет не только улучшить качество футеровки камер коксования за счет более качественных показателей огнеупоров, но и значительно сократить количество наименований огнеупорных изделий. При проектировании блочной футеровки сразу несколько кирпичей объединяется в один блок (рис. 7) как в горизонтальном положении, так и в вертикальном, то есть количество типоразмеров огнеупоров уменьшается в несколько раз. В первую очередь это резко сокращает время футеровочных работ и позволяет их максимально механизировать. Особенно это важно в процессе проведения холодных ремонтов камер коксования на действующих батареях, когда каждый день простоя снижает производство на несколько сотен тонн кокса в сутки.

Технология производства изделий для коксовых батарей на основе плавленого кварца в корне отличается от технологии производства динасовых изделий, исключается целый ряд технологических переделов, таких как прессование и длительный обжиг в туннельных печах. Производительность, энергозатраты и трудозатраты на производство литых блоков на основе плавленого кварца в несколько раз меньше, чем при производстве динасовых изделий.

Выводы

Замена футеровки камер коксования современными блочными огнеупорами на основе плавленого кварца значительно увеличивает срок эксплуатации действующих коксовых батарей и резко сокращает время проведения холодных ремонтов при перекладке элементов коксовых батарей.

Технология производства блочных огнеупоров на основе плавленого кварца коренным образом меняет технологию производства изделий для коксовых батарей, исключая необходимость использования большого количества прессового оборудования и длительного обжига в туннельных печах динасовых огнеупоров.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Пивинский Ю.Е., Ромашин А.Г.* Кварцевая керамика. М.: Металлургия, 1974. 264 с.
2. *Shimizu K., Yoshitomi J., Mishimay M.* et al. Effects of Mineralizers on the Phase Transitions and Sintering Behavior of Silica Bricks. J. of Tech. Assoc. of Refrac. Japan. 2001. Vol. 21 (2). P. 105–110.
3. *Стрелов К.К., Кащеев И.Д.* Теоретические основы технологии огнеупорных материалов. М.: Металлургия, 1996. 607 с.
4. *Роучка Г., Вутнау Х.* Огнеупорные материалы. Структура, свойства, испытания. М.: Интермет Инжиниринг, 2010. 457 с.
5. *Кайнарский И.С.* Динас: теоретические основы, технология, свойства и служба. М.: Металлургиздат, 1961. 469 с.
6. *Кащеев И.Д., Алфеева В.Г., Ладигичев М.Г.* и др. Огнеупоры для промышленных агрегатов и топок: справочное издание. В двух книгах. Кн. 1. Производство огнеупоров. М.: Интермет Инжиринг, 2000. 633 с.
7. Огнеупоры и их применение. Пер с японского / Под. ред. Инамуры Я.М. М.: Металлургия, 1984. 448 с.

Поступила 30.07.2019

REFERENCES

1. *Pivinskiy, Yu.E., Romashin, A.G.* (1974). Quartz ceramics. Moscow: Metallurgiya, 264 p. [in Russian].
2. *Shimizu, K., Yoshitomi, J., Mishimay, M.* et al. (2001). Effects of Mineralizers on the Phase Transitions and Sintering Behavior of Silica Bricks. J. of Tech. Assoc. of Refrac. Japan. Vol. 21 (2), pp. 105–110 [in English].
3. *Strelov, K.K., Kasheev, I.D.* (1996). Theoretical foundations of refractory technology. Moscow: Metallurgiya, 607 p. [in Russian].
4. *Rouchka, G., Vutnau, Kh.* (2010). Refractory materials. Structure, properties, tests. Moscow: Intermet Inzhiniring, 457 p. [in Russian].
5. *Kaynarskiy, I.S.* (1961). Dinas: theoretical foundations, technology, properties and service. Moscow: Metallurgizdat, 469 p. [in Russian].
6. *Kasheev, I.D., Alfeeva, V.G., Ladigichev, M.G.* et al. (2000). Refractories for industrial units and furnaces: a reference publication. In two books. Book 1. Production of refractories. Moscow: Intermet Inzhiniring, 633 p. [in Russian].
7. *Inamura, Ya.M.* (Ed.) (1984). Refractories and their use. Transl. from Japanese. Moscow: Metallurgiya, 448 p. [in Russian].

Received 30.07.2019

Анотація

Г.Г. Немсадзе, голова наглядової ради, e-mail: ngg@gir.ua
А.Ф. Тонкушин, консультант, e-mail: vsalde52@gmail.com

ПАТ «ЗНВКІФ «GIR», Київ, Україна

Сучасні тенденції виробництва вогнетривів на основі кварцу для коксових печей

Статтю присвячено актуальним питанням коксохімічного виробництва, як важливої складової металургійного циклу отримання чавуну. Проведено аналіз проблем при технологічному процесі випуску коксу із заданими параметрами в коксових батареях, з урахуванням їх конструкційних особливостей. Визначено важливість якості вогнетривких динасових і шамотних виробів, стану футерівки батарей в забезпеченні їх стійкості при високих температурах і різких її перепадах при завантаженні вугілля і видачі гарячого коксу, а також хімічної стійкості до агресивних кам'яновугільних смол і газів. Відзначено перспективність використання кварциту, як основи футерівки, з урахуванням його високих службових характеристик. При цьому розглянуто складності його обробки через об'ємні зміни матеріалів на його основі в процесі нагрівання. Запропоновано використання плазмового переплаву чистого кварцового піску при температурах більше 1750 °С, що забезпечить стабілізацію структури кварцу. Це дозволяє випускати вогнетривкі вироби на основі плавленого кварцу для коксових батарей, які зберігають свої розміри при високих температурах без втрат міцності. Відзначено, що новий метод виробництва таких вогнетривів виключає цілий ряд технологічних переділів, таких як пресування і тривалий відпал у тунельних печах, характерний для динасових вогнетривів. Новий матеріал також дозволяє проектувати футерівку блочного типу, різко скоротити час футерувальних робіт і дозволяє їх максимально механізувати.

Ключові слова *Кокс, коксова батарея, динасові вогнетриви, плавлений кварц, блокові вогнетриви.*

Summary

G.G. Nemsadze, Head of the Supervisory Board, e-mail: ngg@gir.ua
A.F. Tonkushin, Consultant, e-mail: vsalde52@gmail.com

PJSC "CUVCIF "GIR", Kyiv, Ukraine

Current trends in the production of refractories based on quartz for coke ovens

The article is devoted to the issues of coke production, as an important component of the metallurgical cycle of pig iron producing. The analysis of the problems arising in the technological process of coke production with given parameters in coke oven batteries, taking into account their design features is carried out. The importance of the quality of refractory dinas and chamotte products, the condition of the lining of the batteries in ensuring their stability at high temperatures and its sharp drops when loading coal and the production of hot coke, as well as chemical resistance to aggressive coal tar and gases is determined. The prospects of using quartzite as a basis for lining, taking into account its high service characteristics, are noted. At the same time, the difficulties of its processing due to volumetric changes in materials based on it during heating are considered. It is proposed to use plasma remelting of pure quartz sand at temperatures above 1750 °C, which will ensure stabilization of the quartz structure. This allows the production of refractory products based on fused silica for coke oven batteries, which retain their size at high temperatures without loss of strength. It is noted that the new method for the production of such refractories eliminates a number of technological processes, such as pressing and long-term firing in tunnel kilns, characteristic of dinas refractories. The new material also allows you to design block-type linings, drastically reduce the time of lining operations and allows them to be mechanized as much as possible.

Keywords

Coke, coke oven battery, dinas refractories, fused silica, block refractories.

В.В. Бублей, президент УАВтормет

Украинская ассоциация вторичных металлов (УАВтормет), Киев, Украина

Украинской ассоциации вторичных металлов – 20 лет. Вызовы украинского рынка металлолома

Украинская ассоциация вторичных металлов (далее – УАВтормет) действует более 20 лет (создана в 1999 году) как некоммерческое и неприбыльное объединение предприятий, специализирующихся на заготовке, переработке и реализации металлолома. Основной принцип ассоциации – поддержка и защита интересов своих членов для эффективного функционирования стратегически важной подотрасли горно-металлургического комплекса Украины с учетом соответствующих общегосударственных интересов. УАВтормет фактически является единственным в стране действенным органом, который координирует деятельность этого сектора экономики. В состав Ассоциации входят, кроме непосредственных, также несколько коллективных членов. С учетом субъектов, входящих в их состав, Ассоциация представляет интересы более 200 субъектов предпринимательства, объем деятельности которых составляет около 75 % оборота лома и отходов черных металлов в стране.

Ассоциация активно участвует в инициировании, подготовке и экспертизе проектов законодательных и других нормативных документов, направленных на регулирование предпринимательской деятельности с металлоломом. Вместе с тем УАВтормет постоянно проводит работу по ограничению неоправданного административного вмешательства в сферу хозяйствования с металлоломом.

Между Украинской ассоциацией вторичных металлов и ОП «Укрметаллургпром» заключен Меморандум о сотрудничестве, координации общих позиций и обеспечении эффективной деятельности металлургической и ломозаготовительных отраслей. В рамках Меморандума проводится совместная работа по вопросам, важным как для металлургической, так и для ломоперерабатывающей отраслей, осуществляется обмен информацией, ежемесячно проводятся «Балансовые совещания» по вопросам работы горно-металлургического комплекса (ГМК), обеспечения сырьем металлургов, проводится совместная работа над совершенствованием законодательства, вопросам стандартизации и т. п. Также заключены Меморандумы о сотрудничестве между УАВтормет и Ассоциацией литейщиков Украины (АЛУ), Государственным предприятием «Информационно-аналитическое агентство» (Госаналитинформ), Украинским производственно-экологическим объединением «УКРВТОРМА», с Государственным учреждением «Институт экономики и прогнозирования НАН Украины», Физико-технологическим институтом металлов и сплавов НАН Украины, а также Ассоциацией «УАВтормет-Ресурс», что позволило объединить усилия специалистов родственных отраслей и ученых в решении многих насущных вопросов ГМК.

УАВтормет с участием ведущих украинских заготовительных и перерабатывающих предприятий (членов УАВтормет), уполномоченных представителей металлургических комбинатов и отраслевых объединений (Укрметаллургпром, АЛУ, УкрФА, экспертных и научных учреждений НАН Украины) регулярно проводит Научно-практические конференции «Украинский рынок металлолома: практические аспекты и современные вызовы» (проведено 5 конференций).

Украинская ассоциация вторичных металлов является членом Киевской торгово-промышленной палаты и Торгово-промышленной палаты Украины, много лет сотрудничает с международной организацией переработчиков вторичного сырья BIR, которая объединяет около 500 национальных федераций и ведущих компаний мира.

Для обеспечения рассмотрения практических и теоретических рекомендаций и проведения профессиональных консультаций по рынку металлолома, а также рассмотрения практических, научных, методических вопросов деятельности в сфере заготовки, переработки, реализации лома черных и цветных металлов, в марте 2019 года в ассоциации создан Экспертно-научный Совет из ведущих ученых и специалистов отрасли.

УАВтормет проводит активную работу по разработке нового национального стандарта на лом черных и цветных металлов вместо действующего ДСТУ 4121-2002, который бы отвечал современным требованиям рынка и был гармонизирован с европейскими нормативными документами. Приказом Национального органа стандартизации (НОС) «УкрНДНЦ» УАВтормет принят в члены ТК 177 «Литейное производство», образовав и возглавив подкомитет ПК 5 «Металлы черные вторичные», который проводит постоянные консультации с НОС и техническими комитетами о возможности адаптации нового национального стандарта в сфере деятельности, связанной с ломом и отходами черных металлов к международным и европейским стандартам. Кроме того, ассоциация разработала и согласовала с крупнейшими металлургическими предприятиями унифицированную спецификацию (Евроспецификацию), которая имеет целью упростить оформление металлолома, поставляемого в адрес комбинатов и при экспортно-импортных операциях.

Значительно активизирована практическая работа Ассоциации в разных направлениях деятельности, а именно:

- с Комитетами Верховной Рады Украины;
- с государственными органами исполнительной власти (Минэкономики, Минприроды и другими) о внесении изменений в нормативно-правовые акты (Закон Украины «О металлоломе» и других);
- по вопросам стандартизации;
- проведение рабочих совещаний с «Укрзализныцей», Государственной регуляторной службой по тарифам на перевозку грузов.

На новый уровень выведено освещение деятельности ассоциации на сайте УАВтормет и в социальных сетях (на страницах Фейсбук), разработка и представление информационно-аналитических материалов на Телеграмм-канале.

Полная прозрачность деятельности Ассоциации позволяет постоянно обсуждать проблемы украинского рынка отходов и лома черных металлов в средствах массовой информации, способствующей созданию в обществе объективного имиджа как этого вида предпринимательской деятельности в целом, так и отдельных предприятий. УАВтормет направляет свои усилия для достижения главной цели – нормализации хозяйственной деятельности с металлоломом в интересах как государства, так и всех субъектов украинского рынка металлолома – производителей и его потребителей.

Деятельность Украинской ассоциации вторичных металлов (УАВтормет) в 2017–2019 годах

ЗАКОНОДАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

- Разработка и утверждение баланса потребления металлолома в Украине.
- Участие в разработке нового национального стандарта «Метали чорні вторинні. Загальні технічні умови».
- Участие в разработке проекта закона Украины о детенизации рынка металлургического сырья.
- Работа по внесению изменений в налоговый кодекс Украины относительно отмены НДС при операциях с металлоломом.
- Активная позиция ассоциации в вопросах регулирования тарифов на железнодорожные перевозки.
- Защита интересов ломозаготовительных предприятий в Министерстве экологии и природных ресурсов Украины.
- Активное участие в разработке Проекта Закона Украины «Об управлении отходами».

Перед ассоциацией сегодня стоят следующие вызовы:

ВЫЗОВЫ УКРАИНСКОГО РЫНКА МЕТАЛЛОЛОМА

ИНДИКАТОРЫ	ВЫЗОВЫ	ОЖИДАНИЯ	ПРЕДЛОЖЕНИЯ
Проект Закона Украины «О детенизации рынка металлолома»	Затягивание принятия ВР Украины	Сохранение неопределенности и коррупционности рынка	Незамедлительное принятие Закона
Проект Закона Украины «Об управлении отходами»	Принятие Закона в редакции, которая не содержит предложений УАВтормет и партнеров	Создает высокие коррупционные риски на рынке, противоречит курсу на дерегуляцию рынка	Включение предложений УАВтормет при дальнейшем рассмотрении Проекта Закона в ВР Украины
Внесение изменений в Налоговый Кодекс относительно отмены НДС на операции с металлоломом на постоянной основе	Принятие соответствующего Закона Украины	Даст возможность простого и прозрачного ведения деятельности в сфере заготовки и поставки металлолома	Разработка и внесение на рассмотрение ВР Украины соответствующего законопроекта
Позиция Минэкологии Украины по вопросам выдачи согласований и разрешений	Сохранение коррупционной схемы, дальнейшее усложнение условий ведения бизнеса	Сокращение заготовки металлолома, выход из бизнеса участников рынка	Срочное внесение изменений в законодательство, с учетом позиции и предложений УАВтормет
Оптимизация системы реализации металлолома через систему PROZZORO.SALE	Неэффективная и бюрократизированная система реализации металлолома	Финансовые потери при реализации металлолома и ухудшение обеспечения сырьем МК	Разработка современной методики определения качественных и ценовых параметров металлолома

ЭКСПЕРТНО-НАУЧНЫЙ СОВЕТ УАВТОРМЕТ

Экспертно-научный совет является постоянно действующим консультационным органом УАВтормет, который был образован в 2018 году для рассмотрения практических рекомендаций и проведения профессиональных консультаций по рынку металлолома, а также рассмотрения практических, научных и методических вопросов в сфере заготовки и реализации металлолома.

УА Втормет
УКРАЇНСЬКА АСОЦІАЦІЯ ВТОРИННИХ МЕТАЛІВ
Ukrainian Metal Scrap Association

- Анализ ситуации на рынке металлолома, определение проблемных вопросов и механизмов их решения.
- Разработка проектов нормативно-правовых актов, стандартов и т. п., которые касаются функционирования рынка металлолома.
- Предоставление аналитической и ценовой информации. Ценовая экспертиза.
- Организация деловых мероприятий, международное сотрудничество.

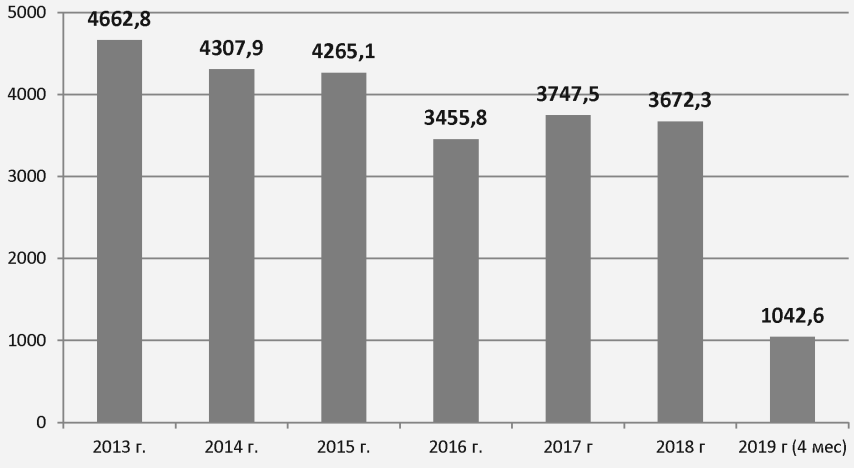
uavtormet@gmail.com

https://t.me/UAVtormet

www.facebook.com/uavtormet/

ЗАГОТОВКА МЕТАЛЛОЛОМА В УКРАИНЕ

ДИНАМИКА ЗАГОТОВКИ ЛОМА, тыс. тонн



В 2019 г. продолжается СОКРАЩЕНИЕ заготовки металлолома

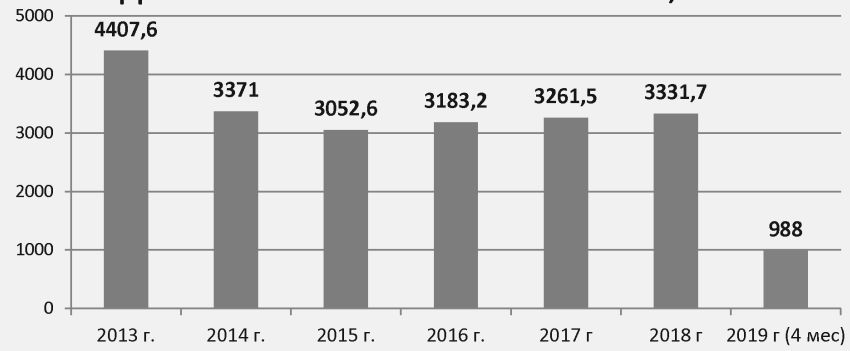
СТРУКТУРА ОБРАЗОВАНИЯ ЛОМА



Основными источниками образования является амортизационный, транспортный и прочий («сложный») металлолом

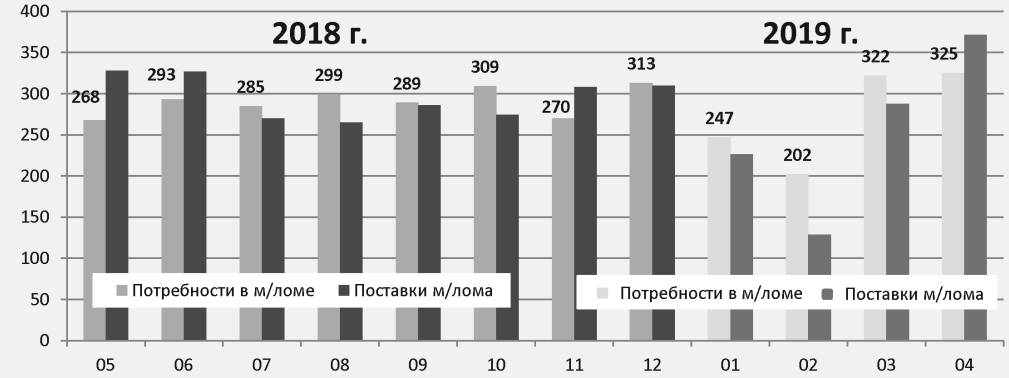
ВНУТРЕННИЕ ПОСТАВКИ МЕТАЛЛОЛОМА

ДИНАМИКА ВНУТРЕННИХ ПОСТАВОК, тыс. тонн



В 2019 г. отмечается незначительное УВЕЛИЧЕНИЕ поставок металлолома комбинатам

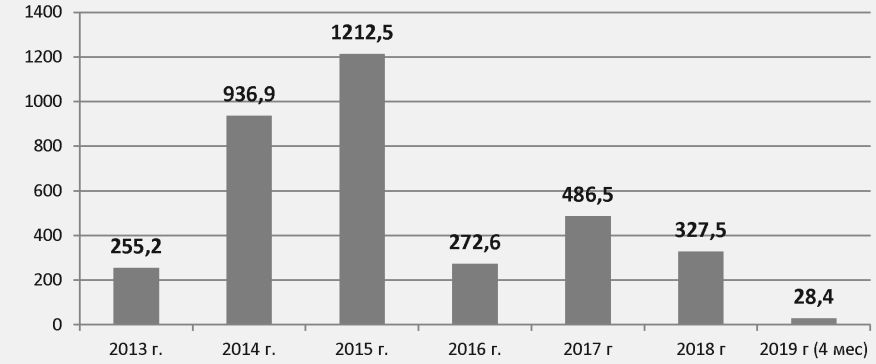
ДИНАМИКА ПОТРЕБНОСТЕЙ И ПОСТАВОК М/ЛОМА в 2018 – 2019 гг.



Запасы лома на МК на 01.05.19 составляют 50-60 тыс. тонн

ЭКСПОРТНЫЕ ПОСТАВКИ МЕТАЛЛОЛОМА

ДИНАМИКА ЭКСПОРТНЫХ ПОСТАВОК, тыс. тонн



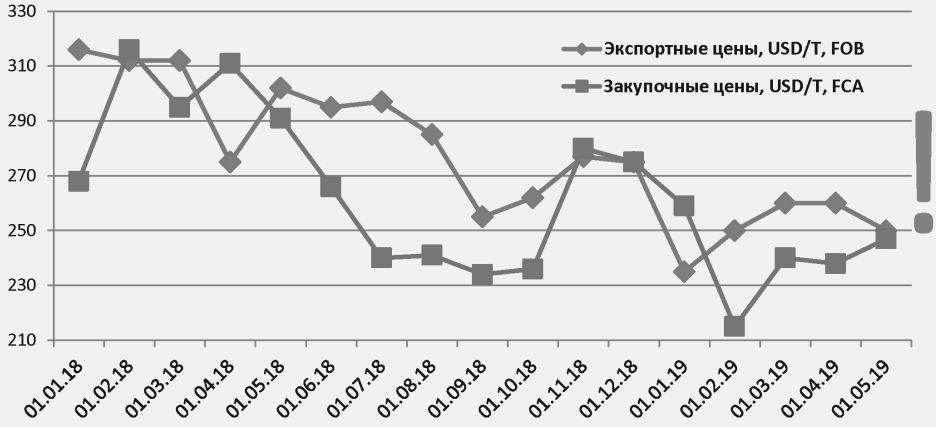
В 2019 г. Отмечается дальнейшее СОКРАЩЕНИЕ экспортных поставок металлолома

ДИНАМИКА ВНУТРЕННИХ ПОСТАВОК И ЭКСПОРТА М/ЛОМА в 2018 - 2019 гг.



ЦЕНОВАЯ СИТУАЦИЯ НА РЫНКЕ

ДИНАМИКА ЗАКУПОЧНЫХ И ЭКСПОРТНЫХ ЦЕН, USD/T



В 2019 г. разрыв между закупочными и экспортными ценами сохраняется.

СРЕДНИЕ ЗАКУПОЧНЫЕ И ЭКСПОРТНЫЕ ЦЕНЫ, USD/T

	01.06.18	01.07.18	01.08.18	01.09.18	01.10.18	01.11.18
Экспортные цены, USD/T, FOB	290-300	290-295	280-290	250-260	260-265	275-280
Закупочные цены, USD/T, FCA	262-270	227-250	235-248	233-236	235-238	275-285
	01.12.18	01.01.19	01.02.19	01.03.19	01.04.19	01.05.19
Экспортные цены, USD/T, FOB	270-280	230-240	245-255	255-265	255-265	245-255
Закупочные цены, USD/T, FCA	270-280	254-264	210-220	235-245	233-243	242-252



80 РОКІВ

КОТЛЯРСЬКОМУ Франку Мар'яновичу

15 серпня 2019 р. виповнюється 80 років доктору технічних наук, старшому науковому співробітнику відділу фізико-технологічних процесів лиття алюмінієвих сплавів **Франку Мар'яновичу Котлярському**. Після закінчення ливарного факультету Бердичівського машинобудівного технікуму в 1957 р. Ф.М. Котлярський працював протягом двох років майстром сталеливарного цеху Бобруйського машинобудівного заводу. Після проходження військової служби на Тихоокеанському флоті він вступив на навчання до Київського політехнічного інституту на інженерно-фізичний факультет, який успішно закінчив в 1967 р., будучи неодноразово ленінським стипендіатом протягом усіх років навчання.

Вся подальша наукова діяльність Франка Мар'яновича тісно пов'язана з роботою в Фізико-технологічному інституті металів та сплавів НАН України: в 1975 році він захистив кандидатську дисертацію на тему «Дослідження процесу формування виливків з алюмінієвих сплавів в залежності від умов живлення», а в 1992 р. – докторську «Процеси утворення і методи зниження фізичної і хімічної неоднорідності виливків з алюмінієво-кремнієвих сплавів». Ф.М. Котлярський – автор 4 монографій, 1 довідника, 210 друкованих праць, 45 винаходів.

За роки роботи в інституті під його керівництвом і при безпосередній участі була створена для підприємств Мінрадіопрому спільно з ЦНІТІ (м. Москва) і ВО «Радар» (м. Київ) унікальна 4-позиційна автоматизована установка УНДКФ-1 для лиття під низьким регульованим тиском алюмінієвих сплавів в холодні керамічні оболонки, виготовлені за моделями, що виплавляються.

Ф.М. Котлярським була розроблена технологія виготовлення порожнистих алюмінієвих стрижнів, що виплавляються, з диференційованою за висотою товщиною стінки поєднаним процесом лиття під низьким тиском (ЛНТ) з наморожуванням для отримання литих корпусних чавунних і сталевих деталей спеціального призначення.

Створення маловідходної технології лиття алюмінієвих сплавів з розсередженою ливниково-живильною системою (РОЗЛИВ-процес) визначило новий напрямок розвитку робіт Франка Мар'яновича. Надалі в процесі промислового освоєння даної технології на Мінському підшипниковому заводі для отримання алюмінієвих сепараторів спільно з групою співавторів їм був розроблений найбільш ефективний варіант поєднання принципу лиття з розосередженою ливниково-живильною системою із заливанням форм під електромагнітним тиском, який отримав назву «РОЗЛИВ-ЛЕМТ».

Значний науковий інтерес мають виконані Ф.М. Котлярським вперше з використанням оригінальної методики роботи, пов'язані з проблемою інтегральної фільтраційної проникливості реальної твердо-рідкої зони двофазної області сплавів в момент змикання безперервного каркаса кристалів на осі виливка, що твердне. В результаті проведених досліджень теоретично було обґрунтовано і експериментально підтверджено механізм зміни фільтраційної проникливості каркаса твердої фази з градієнтом температур в зоні фільтрації в результаті додаткового виділення тугоплавкої складової.

Велике місце в науковій діяльності Франка Мар'яновича займає вивчення питання впливу попередньої водневої обробки рідких алюмінієвих сплавів на процеси формування виливки і кінцеві фізико-механічні та експлуатаційні властивості литого матеріалу, які склали, по суті, наукову основу постановки такого самостійного напрямку робіт, як механіка поведінки газової фази в рідких і алюмінієвих сплавах, шо кристалізуються. Так, підходячи до оцінки ролі газової фази в процесах структуро- і формоутворення литих виробів з позицій механіки пористих середовищ вперше було чітко сформульовано критерії оцінки корисної і шкідливої газової пористості (на відміну від традиційної лише негативної оцінки присутності пористості в литому металі). Результати проведених досліджень викликали інтерес та отримали позитивну оцінку на міжнародній арені.

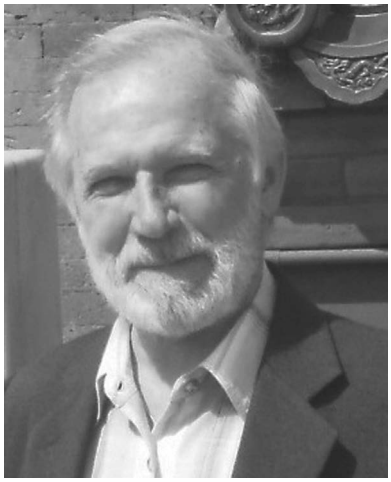
З 1992 р. і до сьогодні Ф.М. Котлярський беззмінно є відповідальним секретарем редакційної колегії журналу «Процеси лиття».

Франко Мар'янович завжди займав чітку громадянську позицію, за що і здобув повагу співробітників, ставлячись до доручених йому обов'язків з великою відповідальністю і душею. Так, протягом двох скликань він був на виборній посаді голови профкому ФТІМС НАН України.

Колектив ФТІМС НАН України щиро вітає Франка Мар'яновича з ювілеєм і бажає йому міцного здоров'я, щастя та подальших творчих успіхів!

80 лет

ЩЕГЛОВУ Владимиру Михайловичу



23 сентября 2019 г. исполняется 80 лет известному ученому в области металлургии стали и литейного производства, кандидату технических наук, старшему научному сотруднику отдела металловедения и фазово-структурных превращений сталей и сплавов Физико-технологического института металлов и сплавов НАН Украины **Владимиру Михайловичу Щеглову**.

После окончания школы В.М. Щеглов начал трудовой путь на Донецком заводе «Энергомаш», а в 1958 г. поступил на металлургический факультет Донецкого политехнического института, который окончил в 1963 г., получив специальность инженера сталеплавильного производства. После окончания института Владимир Михайлович был направлен на работу в Украинский институт металлов (г. Харьков), затем в 1966–1969 гг. учился в аспирантуре Института проблем литья АН УССР (ныне – ФТИМС НАН Украины), где его бессменным научным руководителем был директор Института и заведующий отделом литья стали, академик АН УССР В.А. Ефимов.

Основная научная деятельность В.М. Щеглова пришлась на период подъема популярности и авторитета Института, участвующего в беспрецедентной интенсификации процессов производства чугуна, стали и проката. Существующее оборудование и процессы разливки стали из большегрузных ковшей были наиболее «узким местом» в сталеплавильном производстве. Специалисты Института, в том числе и В.М. Щеглов, принимали активное участие в разработке и промышленном внедрении скоростной и сверхскоростной разливки кипящей, полуспокойной и спокойной стали в крупные слитки на многих металлургических заводах и комбинатах СССР – Мариуполь-ском им. Ильича, «Азовсталь», Череповецком, Западно-Сибирском и др.

Владимир Михайлович был непосредственным активным участником в разработке и внедрении революционной технологии скоростной разливки стали под шлаком и шлакообразующими смесями на заводах «Днепроспецсталь», «Запорожсталь», Донецком, Магнитогорском, Алчевском металлургических комбинатах и др. Эти работы легли в основу его кандидатской диссертации «Технология разливки стали сверху под жидким шлаком», которую он защитил в 1974 г. К этому времени была обеспечена практическая возможность разливки стали из большегрузных (350–480 т) ковшей в слитки (16–23 т) с увеличенными в 2–3 раза массовыми скоростями (до 12–15 т/мин), что практически решало поставленные перед металлургами задачи.

Во второй половине 70-х и начале 80-х годов коллективом специалистов Института во главе с академиком В.А. Ефимовым была разработана и прошла промышленное опробование технология и автоматизированный агрегат безнапорной разливки стали (БРС) в слитки массой 20–30 т с невиданными в то время скоростями разливки – 35-40 т/мин. С участием и под руководством сотрудников ИПЛ АН УССР (В.П. Осипова, В.М. Щеглова, Б.А. Узиенко, Л.И. Прокопенко и др.) на пилотной установке меткомбината им. Ильича было разлито около 7,5 тыс. т стали с получением качественных слитков и проката.

В.М. Щеглов был постоянным членом редакционно-издательской коллегии сборника «Проблемы стального слитка» и ученым секретарем комиссии по подготовке и проведению Всесоюзных конференций по этой тематике.

Активное участие В.М. Щеглов принимал в работах основного направления деятельности отдела литья стали – управление процессами кристаллизации за счет внешних воздействий. В частности, под руководством академика В.А. Ефимова, В.М. Щегловым были проведены работы по созданию оборудования и промышленных испытаний технологии эндогенно-инокуляционного воздействия на кинетику кристаллизации стальных слитков путем вибрационной обработки жидкого металла погружными виброактиваторами. Результаты работ имели особое значение при производстве крупнотоннажных слитков и ответственных поковок энергомашиностроения, в том числе для атомной энергетики (Невский завод им. Ленина, «Ижтяжбуммаш», Ижорский машиностроительный).

Большой научный и практический опыт В.М. Щеглова обеспечил успешное проведение контрактных работ с учеными Института исследования металлов Академии наук КНР и металлургическими компаниями КНР в течение 2010–2014 гг. За работы по крупному слитку научный и технический коллектив исполнителей, в том числе В.М. Щеглов, представлены в 2014 г. к правительственным наградам КНР.

В.М. Щеглов является автором более 185 научных публикаций, в том числе 59 авторских свидетельств и патентов на изобретения.

Редколлегия журнала «Металл и литье Украины», друзья, единомышленники и коллеги желают Владимиру Михайловичу дальнейшей успешной работы, жизнелюбия, оптимизма, счастья и крепкого здоровья!



80 лет

МОИСЕЕВУ
Юрию Васильевичу



23 октября 2019 г. исполняется 80 лет доктору технических наук, ведущему научному сотруднику Физико-технологического института металлов и сплавов НАН Украины **Юрию Васильевичу Моисееву**.

Ю.В. Моисеев родился в 1939 г. в селе 1-е Парголово Ленинградской обл. После окончания в 1956 г. средней школы г. Алма-Ата проработал год бетонщиком строительно-монтажного управления. С 1957 по 1962 г. был студентом механико-металлургического факультета Харьковского политехнического института, где получил квалификацию инженера-механика по специальности «Машины и технологии литейного производства». По окончании института Юрий Васильевич был направлен на работу в Институт литейного производства АН УССР (ныне – Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины), в котором работает по настоящее время. Последовательно занимал должности инженера, старшего инженера, ведущего инженера, главного конструктора, младшего, старшего научного сотрудника, заведующего отделом специальных способов литья СКТБ ИПЛ АН УССР, а с 1984 г. возглавлял отдел автоматизации ФТИМС НАН Украины. В настоящее время Ю.В. Моисеев – ведущий научный сотрудник отдела плавки и рафинирования сплавов Физико-технологического института металлов и сплавов НАН Украины.

В 1969 г. Ю.В. Моисеев защитил кандидатскую, а в 1987 г. – докторскую диссертации по специальности «Литейное производство».

Спектр научных исследований, выполняемых Ю.В. Моисеевым, охватывает широкий круг проблем литейного производства. В их числе – изучение строения и механизма образования шаровидного графита в чугунах, исследование реологических свойств литейных сплавов и влияния физического воздействия на литейные процессы в интервале кристаллизации сплавов. Особое место в его деятельности занимают исследования, направленные на создание автоматизированных процессов и оборудования для изготовления отливок специальными способами литья.

При его участии создан типоразмерный ряд оборудования для литья под низким давлением, центробежного литья, литья с направленной кристаллизацией, литья под электромагнитным давлением. Это оборудование стало составной частью организованных на машиностроительных предприятиях страны промышленных участков и цехов литья под давлением.

В последние годы под руководством Ю.В. Моисеева в результате выполнения цикла работ по неразрушающей структуроскопии литейных сплавов созданы образцы малогабаритных приборов для оперативной оценки структурного состояния отливок с использованием акустического, магнитного, токовихревого и термоэлектрического методов.

По результатам исследований Ю.В. Моисеевым опубликовано более 180-ти научных работ, в том числе 2 монографии, получено более 80 авторских свидетельств и патентов на изобретения.

Ю.В. Моисеева отличает активная научно-организационная деятельность как члена ученого совета ФТИМС НАН Украины, члена специализированного совета по защите диссертаций ФТИМС НАН Украины и НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского». Юрий Васильевич был также членом экспертного совета ВАК Украины по металлургии. Ю.В. Моисеев завоевал в коллективе прочный авторитет благодаря своей целеустремленности, аналитическому уму, принципиальности, порядочности, а также благожелательности и готовности помочь людям.

Коллектив Физико-технологического института металлов и сплавов НАН Украины и редакционная коллегия журнала «Металл и литье Украины» сердечно поздравляют Юрия Васильевича Моисеева с 80-летием и желают ему крепкого здоровья, счастья, семейного благополучия и новых творческих успехов!



80 ЛЕТ

МАЗУРУ Валерию Леонидовичу

28 октября 2019 г. исполняется 80 лет известному ученому в области листопрокатного производства, члену-корреспонденту НАН Украины, доктору технических наук, профессору, главному научному сотруднику ФТИМС НАН Украины **Валерию Леонидовичу Мазуру**.

В.Л. Мазур – потомственный металлург. В 1961 г. окончил Днепропетровский металлургический институт по специальности «Обработка металлов давлением». Работал на разных научных должностях в Украинском (позднее – Всесоюзном) научно-исследовательском трубном институте, с 1966 по 1993 г. – в Институте черной металлургии (г. Днепропетровск, ныне – г. Днепр) Министерства черной металлургии СССР, который теперь входит в состав Национальной академии наук Украины. Здесь он сформировался как достойный продолжатель и руководитель общепризнанной Днепропетровской школы ученых-прокатчиков, пройдя путь от старшего инженера до заведующего отделом производства тонкого листа. В Министерстве черной металлургии СССР В.Л. Мазур возглавлял научно-техническое направление «Производство горячекатаной и холоднокатаной тонколистовой стали». В 1970 г. он защитил кандидатскую диссертацию, а в 1982 г. – докторскую на тему «Теория и технология листовой прокатки с учетом эффектов микрогеометрии поверхностей валков и деформируемого металла».

В разные периоды жизни В.Л. Мазур был руководителем, исполнителем и участником многих научно-исследовательских проектов по совершенствованию производства и улучшению качества листопрокатной продукции, выполняемых на металлургических комбинатах «Запорожсталь», Мариупольском им. Ильича, Магнитогорском, Череповецком, Новолипецком, Карагандинском. Валерий Леонидович руководил научно-исследовательскими работами по введению в эксплуатацию крупных металлургических комплексов на предприятиях Украины, России, Казахстана.

С 1993 по 2001 г. В.Л. Мазур работал в 6 составах Правительства Украины – заместителем Министра промышленности, Министром промышленности, первым заместителем Министра промышленной политики, советником Президента Украины. Курировал работу металлургической и горнорудной отрасли, машиностроительной, химической, горно-химической, деревообрабатывающей, мебельной и легкой промышленности Украины.

В настоящее время Валерий Леонидович – главный научный сотрудник Физико-технологического института металлов и сплавов НАН Украины. Основное направление его научных интересов – развитие теории прокатки на базе современных возможностей вычислительной техники, разработка и реализация энергосберегающих технологий в металлургии, проблемы повышения эффективности производства и улучшения качества листопрокатной продукции, теория трения при обработке металлов давлением.

В.Л. Мазур – лауреат Государственной премии Совета Министров СССР (1990 г.), Государственной премии Украины в области науки и техники (2000 г.), премии имени З.И. Некрасова НАН Украины за выдающиеся научные работы в металлургии (2012 г.), Заслуженный деятель науки и техники УССР (1989 г.), Член-корреспондент НАН Украины (1997 г.). Награжден: «Почесною відзнакою Президента України» (1996 г.), Орденом Ярослава Мудрого V степени (2010 г.), Орденом «За заслуги» II степени (2014 г.).

В творческом активе В.Л. Мазура более 400 научных статей, 23 монографии, более 160 авторских свидетельств и патентов на изобретения. Наиболее известные книги: «Отделка поверхности листа» (1975 г.); «Производство автомобильного листа» (1979 г.); «Производство листа с высококачественной поверхностью» (1982 г.); «Теория прокатки (гидродинамические эффекты смазки)» (1989 г.); «Управление качеством тонколистового проката» (1997 г.); «Теория и технология тонколистовой прокатки (численный анализ и технические приложения)» (2010 г.); «Theory and Technology of Sheet Rolling. Numerical Analysis and Applications», CRC Press (2019 г.). Среди его учеников более 30 кандидатов и докторов наук.

Коллеги и редакционная коллегия журнала «Металл и литье Украины» сердечно поздравляют Валерия Леонидовича Мазура с юбилеем и желают ему крепкого здоровья, счастья и новых творческих успехов!

90 РОКІВ

Кафедрі технології конструкційних матеріалів і матеріалознавства

ФАКУЛЬТЕТУ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

У 1929 р. за рішенням спільного засідання колегії Наркомату освіти і Наркомзему в Київському сільськогосподарському інституті було відкрито факультет «Механізація сільського господарства», до складу якого ввійшла кафедра «Технології металів і деревини». У 1954 р. при організації Української сільськогосподарської академії на базі кафедр Технологія металів і деревини Київського сільськогосподарського інституту і Технологія металів Київського лісогосподарського інституту була організована кафедра «Технологія металів і металознавства», яка після об'єднання у 1972 р. з кафедрою «Надійності і довговічності сільськогосподарських машин отримала назву «Технологія металів, надійності і довговічності машин», а у 1987 р. була перейменована в кафедру «Технології конструкційних матеріалів і матеріалознавства».

На кафедру було покладено завдання підготовки фахівців для вітчизняного сільськогосподарського машинобудування, а також проведення наукових досліджень у напрямках матеріалознавства, технології виготовлення матеріалів та їх обробки.

У вересні 1955 р. на посаду завідувача кафедри було обрано доктора технічних наук, професора Брауна Михайла Петровича. Заслужений діяч науки і техніки УРСР Браун М.П. був засновником Київської наукової школи металознавства і термічного оброблення металів та протягом багатьох років (1961–1977 рр.) керував Київським науково-технічним товариством машинобудівної промисловості (НТТ «Машпром»). Під його керівництвом і за безпосередньої участі розроблялись основи комплексного легування сталей і створення нових економно-легованих сталей з підвищеною прожарюваністю, малою чутливістю до перегріву та з високими механічними властивостями, а результати досліджень викладено у наукових монографіях: «Комплесно-леговані конструкційні сталі», «Економно-леговані сталі для машинобудування», «Жароміцна сталь», «Мікролегування литих жароміцних сталей». Широкі дослідження завідувача кафедри були також присвячені теорії комплексного легування сталі, фрактографії металів і сплавів, мікролегуванню. Понад 40 авторських свідоцтв та патентів професора Брауна М.П. пов'язані з ливарним виробництвом, отриманням низьколегованих сталей, технології оброблення крупних заготовок в умовах машинобудівних заводів. Брауном М.П. у співавторстві видано понад 400 наукових статей і 20 монографій. Ним підготовлено 35 кандидатів технічних наук, із яких сім захистили докторські дисертації. Представники наукової школи проф. Брауна М.П. внесли значний вклад у розвиток металознавства в Україні, а результати досліджень використовувались при виробництві техніки, що експлуатується в складних умовах, починаючи від сільськогосподарського виробництва і закінчуючи морським флотом і космосом.

З травня 1972 р. завідувачем кафедри було призначено професора Костецького Бориса Івановича. Наукова школа під його керівництвом здійснила вагомий внесок у розвиток вітчизняної науки і техніки, особливо з проблем підвищення надійності сільськогосподарської техніки. Професором Костецьким Б.І. підготовлено понад 150 кандидатів технічних наук, із яких 18 захистили докторські дисертації. Науковий доробок включає понад 500 наукових статей, 15 наукових монографій і брошур, а також понад 160 авторських свідоцтв та патентів на винаходи. Проф. Костецьким Б.І. вперше було розроблено сучасну класифікацію видів зношування деталей машин в умовах експлуатації; обґрунтована теорія поверхневої міцності матеріалів в умовах тертя та зношування; розроблено основи теорії окисного зношування.

З 2015 р. завідувачем кафедри працює доктор технічних наук, професор Афтанділянц Євгеній Григорович, який організував та розвинув викладання на сучасному рівні дисциплін англійською мовою та активізував міжнародну діяльність кафедри.

Викладачі та наукові співробітники кафедри опублікували в збірниках і науково-технічних журналах більше 1400 статей, отримали більше 400 авторських свідоцтв та патентів, написали більше 40 наукових монографій, підручників і посібників. На кафедрі пройшли підготовку 102 аспіранта та здобувача.

За довгі роки існування, починаючи з 60-х років минулого століття, стрімко розвивалась плідна співпраця кафедри з Інститутом проблем лиття АН УРСР (нині – Фізико-технологічний інститут металів та сплавів

НАН України). Багато співробітників інституту передавали свій досвід та знання студентам машинобудівних спеціальностей та проводили спільні дослідження з колегами кафедри.

Колектив Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України бажає кафедрі технології конструкційних матеріалів і матеріалознавства НУБіП України завжди бути серед лідерів вітчизняного машинобудування та продовжувати плідну підготовку спеціалістів сучасного рівня!



80 ЛЕТ

со дня рождения

ШУМИХИНА Владимира Сергеевича



30 августа 2019 года должно было исполниться 80 лет известному ученому в области материаловедения, технологии получения и обработки высокопрочных и специальных сплавов, Заслуженному деятелю науки и техники Украины, доктору технических наук, профессору **Шумихину Владимиру Сергеевичу**.

Свою научную деятельность Владимир Сергеевич начал в аспирантуре Института проблем литья АН УССР (с 1996 года − Физико-технологический институт металлов и сплавов Национальной академии наук Украины). Дальнейшая творческая деятельность В.С. Шумихина тесно связана с этим институтом, в котором проявились его способности как талантливого ученого и руководителя научного коллектива. Он работал на научных должностях, был ученым секретарем Института, заместителем директора по научной работе, внес значительный вклад в становление и развитие научной тематики Института. Являясь руководителем научной школы физико-химических основ технологии металлов, более 20 лет возглавлял отдел физико-химии сплавов. Под его руководством исследованы термодинамические и кинетические особенности процессов плавки и кристаллизации многокомпонентных металлических систем, созданы и внедрены технологии плавки в индукционных печах синтетического чугуна, технологии непрерывного литья, технологии получения изделий спецтехники с особыми функциональными свойствами и многие другие.

В.С. Шумихиным опубликовано более 300 научных работ, в том числе 4 монографии и один учебник. Среди его учеников – 5 докторов и 13 кандидатов наук. Он дважды лауреат премии Совета министров СССР, награжден орденами Трудового Красного Знамени, «За заслуги» III ст., медалями, Почетной Грамотой Кабинета Министров Украины, ему присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки и техники Украины».

Многогранный талант Владимира Сергеевича также ярко проявился в спорте. Мастер спорта СССР по лыжному спорту, Мастер спорта СССР по альпинизму, Мастер спорта СССР по спортивному ориентированию, КМС по скалолазанию, инструктор-методист по альпинизму, чемпион и призер чемпионатов СССР по альпинизму, многократный чемпион и призер Украины по указанным видам спорта − это далеко не полный перечень спортивных достижений В.С. Шумихина.

Светлая память о Владимире Сергеевиче Шумихине навсегда сохранится в сердцах тех, кому посчастливилось оказаться в числе его друзей и сотрудников.

Дирекция ФТИМС НАН Украины,
Редакция журнала «Металл и литье Украины»

ЗМІСТ

ВИРОБНИЦТВО ЧАВУНУ ТА СТАЛІ

Семірягін С.В., Осипенко В.В., Бубунець Ю.В.
Суха очистка доменних газів як елемент енергоефективності технології виробництва чавуну. 5

РОЗЛИВАННЯ СТАЛІ У ЗЛИВКИ

Біктагіров Ф.К., Шаповалов В.О., Гнатушенко О.В., Качан Р.Ю.
Комп'ютерне моделювання формування 50-тонного листового злитка. 14

ПРОЦЕСИ БЕЗПЕРЕРВНОГО РОЗЛИВАННЯ СТАЛІ

Смірнов О.М., Ухін В.Є., Верзілов О.П.
Дослідження особливостей формування кристалічної структури безперервнолитої заготовки під час примусового перемішування її рідкої серцевини. 21

ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА І ПРОЦЕСИ ЛИТТЯ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ

Стригун В.О., Волошин Н.М., Гнилоскуренко С.В., Чаплигіна Л.С.
Наукові дослідження в стандартизації ливарного виробництва України. 28

ПРОЦЕСИ, ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕРІАЛИ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Дорошенко В.С., Калюжний П.Б.
Концепції охолодження виливків за допомогою кріотехнології, нових сипучих матеріалів і способів лиття. 33

Безуглий В.А., Губинський М.В., Коверя А.С., Коноваленко В.П., Кондратенко П.В.
Експериментальне дослідження питомого електричного опору насипного шару термоантрациту. 40

ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ

Мазур В.Л.
Теорія і технологія прокатки: невирішені задачі та аспекти розвитку. 48

ВОГНЕТРИВКІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ У МЕТАЛУРГІЇ

Немсадзе Г.Г., Смірнов О.М., Джоджуа Р.А., Шарандін К.М., Рябий Д.М.
Вдосконалення технології гарячого ремонту футерівки конвертера з використанням розробленої магнезіальної маси марки «GIR-RB-X». 56

Немсадзе Г.Г., Тонкушин А.Ф.
Сучасні тенденції виробництва вогнетривів на основі кварцу для коксових печей. 64

Бублей В.В.
Української асоціації вторинних металів – 20 років. Виклики українського ринку металобрухту. 71

Вітаємо!
80 років Котлярському Франку Мар'яновичу. 76

80 років Щеглову Володимиру Михайловичу. 77

80 років Моісеєву Юрію Васильовичу. 79

80 років Мазуру Валерію Леонідовичу. 80

90 років Кафедрі технології конструкційних матеріалів і матеріалознавства факультету конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України 81

Пам'ятаємо
80 років від дня народження Шуміхіна Володимира Сергійовича. 83

CONTENTS

PRODUCTION OF IRON AND STEEL

Semiriagin S.V., Osipenko V.V., Bubunets Yu.V.
Dry purification system of blast furnace gases as an element of energy efficiency of cast iron production technology 5

STEEL POURING AS INGOT

Biktagirov F.K., Shapovalov V.A., Gnatushenko A.V., Kachan R.Yu.
Computer modelling of 50-ton sheet ingot forming process. 14

CONTINUOUS CASTING OF STEEL

Smirnov A.N., Ukhin V.E., Verzilov A.P.
Investigation of billet crystal structure formation features during forced stirring of its liquid core. 21

TECHNOLOGIES AND PROCESSES OF CASTING METALS AND ALLOYS

Strygun V.A., Voloshin N.M., Gnyloskurenko S.V., Chaplygina L.S.
Research on the standardization in foundry of Ukraine. 28

PROCESSES, TECHNOLOGIES AND MATERIALS IN FOUNDRY

Doroshenko V.S., Kaliuzhnyi P.B.
Concepts of cooling castings using cryotechnology, new bulk materials and casting methods. 33

Bezugly V.A., Gubynskyi M.V., Koveria A.S., Konovalenko V.P., Kondratenko P.V.
Experimental study of the specific electrical resistance of the thermoanthracite bulk layer. 40

METAL PROCESSING BY DEFORMATION

Mazur V.L.
Theory and rolling technology: unsolved problems and development aspects. 48

REFRACTORY MATERIALS AND PRODUCTS IN METALLURGY

Nemsadze G.G., Smirnov A.N., Dzhodzhua R.A., Sharandin K.N., Ryabyi D.V.
Improvement of the technology of the hot repair of the converter lining with the use of the developed magnesium mass “GIR-RB-X”. 56

Nemsadze G.G., Tonkushin A.F.
Current trends in the production of refractories based on quartz for coke ovens. 64

Bubley V.V.
Ukrainian Metal Scrap Association is 20 years. Challenges of the Ukrainian scrap metal market. 71

Congratulations!
Kotlarsky Franko Maryanovich is 80 years old. 76

Shcheglov Vladimir Mikhailovich is 80 years old. 77

Moiseev Yuriy Vasil’evich is 80 years old. 79

Mazur Valeriy Leonidovich is 80 years old. 80

90 years of the Department of Structural Materials’ Technology and Materials Science of the Faculty of Design and Engineering of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine 81

Remember
80 years from V.S. Shumihin’s birthday. 83

XVIII МІЖНАРОДНИЙ ПРОМИСЛОВИЙ ФОРУМ – 2019

МІЖНАРОДНІ СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ВИСТАВКИ

- МЕТАЛООБРОБКА
- УКРЗВАРЮВАННЯ
- УКРВТОРТЕХ
- УКРПРОМ АВТОМАТИЗАЦІЯ
- БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА
- ГІДРАВЛІКА ПНЕВМАТИКА
- ПІДШИПНИКИ
- УКРЛИТВО
- ЗРАЗКИ, СТАНДАРТИ ЕТАЛОНИ, ПРИЛАДИ
- ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНЕ СКЛАДСЬКЕ ОБЛАДНАННЯ



ufi Approved Event

ОРГАНІЗАТОР:
Міжнародний виставковий центр

Генеральний інформаційний партнер: Оборудование и инструмент для профессионалов

Ексклюзивний медіа партнер: ЖУРНАЛ ГОЛОВНОГО ІНЖЕНЕРА

Технічний партнер: RentMedia

19–22 ЛИСТОПАДА

+38 044 201-11-65, 201-11-56, 201-11-58
e-mail: alexk@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua, www.мвц.укр
www.tech-expo.com.ua

МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР
Україна, Київ, Броварський пр-т, 15
Ⓜ "Лівобережна"

ГОЛОВНА ПОДІЯ ЛАБОРАТОРНОЇ ІНДУСТРІЇ

LAB ComplEX

XII МІЖНАРОДНА ВИСТАВКА LABComplEX

АНАЛІТИКА ЛАБОРАТОРІЯ БІОТЕХНОЛОГІЇ HI-TECH

За підтримки: Комітетів Верховної Ради України
Міністерств та відомств
Профільних асоціацій та об'єднань

Організатори: Національна академія наук України; LMT Corporation

УВАГА! НОВЕ МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ

ACCO international since 1992

Виставковий центр ACCO International
Україна, м. Київ, пр-т Перемоги, 40-Б, ст. метро «Шулявська»

МІЖНАРОДНА ВИСТАВКА КОМПЛЕКСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЛАБОРАТОРІЙ

АНАЛІТИЧНЕ, ЛАБОРАТОРНЕ, ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

КОМПЛЕКСНІ РІШЕННЯ ТА ПОСЛУГИ ДЛЯ ЛАБОРАТОРІЙ

ТОРГОВИХ МАРОК, СВІТОВИХ БРЕНДІВ	270	35	НАУКОВО-ПРАКТИЧНИХ ЗАХОДІВ
ВІДВІДУВАЧІВ	6 500	300	ДОПОВІДАЧІВ

25-27 ВЕРЕСНЯ 2019

МІЖНАРОДНА УЧАСТЬ ТА ВІДВІДУВАННЯ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНІ ТА БІЗНЕС ПРОГРАМИ,
МАЙСТЕР-КЛАСИ НА ДІЮЧОМУ ОБЛАДНАННІ

З питань участі у виставці:
+380 (44) 206-10-16
lab@lmt.kiev.ua
lab_2@lmt.kiev.ua

З питань участі у науково-практичній програмі:
+380 (44) 206-10-99
info@labcomplex.com

www.labcomplex.com



ПОСТ-РЕЛІЗ

XII Міжнародної виставки LABComplEX. Аналітика. Лабораторія. Біотехнології. HI-TECH
25-27 вересня 2019 року, ВЦ «ACCO International», Київ, Україна

2600 м² виставкової площі
112 компаній та представлених торгових марок з Австрії, Білорусі, Великобританії, Данії, Естонії, Ізраїлю, Індії, Іспанії, Італії, Канади, Китаю, Латвії, Литви, Німеччини, Польщі, Росії, Румунії, Сербії, Словенії, США, Угорщини, України, Фінляндії, Франції, Чехії, Швейцарії, Швеції, Японії.
4576 зареєстрованих фахівців з усіх регіонів України та зарубіжжя
15 конференцій та семінарів
20 майстер-класів
160 доповідачів – експертів галузі

Організатори – Національна академія наук України, Група компаній LMT, ТОВ «Експофорум».

Захід отримав підтримку комітетів Верховної Ради України, міністерств та відомств, профільних асоціацій та об'єднань.

Партнери та учасники — АЛТ Україна, ВСМ «Україна.», Cole-Parmer, IKA-Werke GmbH & Co. KG, Intertech Corporation, LGC Standards Sp. z o.o., NETZSCH, SIMVOLT, Snibe, GmbH, АЛСІ ЛТД, Алсі Хром, Аналітек, АТОМКОМПЛЕКСПРИЛАД, Бест Діагностік, БІО ТЕСТ МЕД, Біола, Біомед, ВСМ Україна, ВЕГА МЕДІКА, Вектор-Бест-Україна, Вента Лаб, Волес, Глобал Біомаркетинг Груп, Групотест, ДІАЛАБСЕРВІС, Діалог Діагностікс, ДКТБ ТЕП, ЕКСІМКАРГОТРЕЙД, Експерт, Ерба Діагностикс Україна, ІДЕАЛАБ, Інтегрейтед медікал груп, Інтермедика, Кітмет, Лабвіта, Лабікс, Лаб-Універсум, МАКРОЛАБ ЛТД, Медігран Україна, Міжнародна школа технічного законодавства та управління якістю, МК Квертімед-Україна, Реагент, СКАЙ МЕДІКА, Склоприлад, Смарт Мед, СОК ТРЕЙД, СХІДНО-УКРАЇНСЬКА ТОРГІВЕЛЬНА КОМПАНІЯ, ТерраЛаб Ай Ті, Терра-Мед, Укрбіо, Укроргсинтез, ХіМек, ХЛР, ШимЮкрейн та багато інших.

25-27 вересня 2019 року у сучасному виставковому центрі «ACCO International» (м. Київ, пр-т Перемоги, 40-Б) вже 12-й раз поспіль відбулася міжнародна виставка LABComplEX. Аналітика. Лабораторія. Біотехнології.

HI-TECH. Захід, який невипадково вважається головною профільною подією року в Україні, об'єднав провідних фахівців у галузі лабораторної індустрії.

Під час виставки було презентовано нове обладнання, сучасні технології, спеціалізовані меблі, витратні матеріали. Також фахівцям надавалася інформація про послуги щодо створення, оснащення й модернізації лабораторій.

LABCOMPLEX. АНАЛІТИКА. ЛАБОРАТОРІЯ. БІОТЕХНОЛОГІЇ. HI-TECH: ЯК ЦЕ БУЛО

Щороку на цьому майданчику для обміну досвідом, професійного діалогу і налагодження ділових зв'язків зустрічаються провідні фахівці лабораторної індустрії: представники бізнесу, керівники та співробітники профільних установ і контрольно-інспекційних органів, підприємств різних галузей промисловості, науково-дослідного сектору та медицини.

Найпотужніша на вітчизняних теренах виставка лабораторного обладнання та різнопланова науково-практична програма, що включає конференції, семінари, майстер-класи, — саме ці дві складові вкотре

забезпечили успіх LABComplEX та привабили відвідувачів з усіх куточків України та зарубіжжя.

На 2600 м2 експозиційної площі розташувалися стенди з аналітичним обладнанням, лабораторними контрольно-вимірювальними приладами, загальнолабораторним обладнанням, мобільними лабораторіями, лабораторними меблями й посудом, інструментами та витратними матеріалами, реагентами, індикаторами, тест-системами та реактивами, засобами індивідуального захисту, спецодягом і ін. Приємно відзначити, що на рівних із закордонними виробниками заявили про себе і вітчизняні бренди.

Із року в рік виставка розширює свою географію і вдосконалюється — інформаційно, візуально, практично. Яскраве свідчення того, що це вірний шлях — зростання популярності заходу серед професійної спільноти.

У 2019 році до нас долучилося 20 нових учасників. Вітаємо з дебютом на нашому майданчику такі компанії: Borosil Glass Works LTD, Eljunga, Innovative Pharma Baltics, InSoft, LAB TTA, Zhongke Meiling Cryogenics Co. LTD, АЙ ВІ СЕТ, Альбамед, Віва Юкрейн, Діамедіх Імпех, ДНК-ТЕХНОЛОГІЯ Україна, Еквітестлаб, Літопласт-Мед, МЕД-ТІСКОМ, ПРОСТО ПРИЛАД, РЕАЛАБ, СЕЛТОК ФОТОНІКС, СНОЛ Україна, Текса, Sympatec.

ЗАРЯДЖАЄМО НЕ ТІЛЬКИ ВРАЖЕННЯМИ, А Й ЗНАННЯМИ!

У цьому році тематика програми виставки охопила такі напрями: забезпечення лабораторій для харчової промисловості та аграрного сектору, ветеринарна медицина, лабораторна медицина, наука та освіта і була адаптована до сучасних реалій.

В рамках виставки відбулося **15 науково-практичних заходів** та **20 майстер-класів** для фахівців різних галузей промисловості, науково-дослідної сфери та медицини. Спікерами стали 160 експертів галузі.

На заходах напряму **«ХАРЧОВА ПРОМИСЛОВОСТЬ ТА АГРАРНИЙ СЕКТОР»** були розглянуті такі важливі питання як: законодавство України для харчових підприємств, реформування системи технічного регулювання, система HACCP, технологічні експертизи та безпека харчової продукції, економічні аспекти функціонування підприємств АПК в сучасних умовах, проведення технологічної експертизи та безпеки харчової продукції у відповідності до сучасних вимог, сучасні рішення для контролю якості продукції в лабораторіях та багато інших. Організаторами заходів виступили: Одеська національна академія харчових технологій, Всеукраїнська асоціація пекарів, ТОВ «ХЛР», Quality laboratory.

Ключовою подією напряму **«ЛАБОРАТОРНА МЕДИЦИНА»** стала науково-практична конференція з міжнародною участю **«Досвід впровадження системи управління якістю в медичних лабораторіях України»**, організаторами якої стали НМАПО імені П. Л. Шупика та Всеукраїнська асоціація клінічної хімії та лабораторної медицини. Експерти обговорили етапи впровадження та забезпечення функціонування системи менеджменту якості в медичній лабораторії, поділилися досвідом підготовки медичної лабораторії до акредитації та проходження акредитації на відповідність вимогам ДСТУ ISO15189:2015, розглянули новий Регламент ЄС 2017/746 і Ради Європи по виробам для in vitro діагностики, поговорили про сучасні тенденції розвитку лабораторної медицини та багато інших актуальних питань.

Гамірно, з цікавими дискусіями та оригінальними практичними заняттями проходила дводенна **УКРАЇНСЬКА ЛАБОРАТОРНА ШКОЛА**. Усі бажаючі взяли участь у майстер-класах на діючому обладнанні з можливістю персонального тестування, здобули нові навички, отримали кваліфіковані консультації експертів, дізналися багато нового та корисного. Організатори – НАМН України, Лабораторна та метрологічна служба НАМН України; Міжінститутський Референтний лабораторний центр НАМН України, ДУ «Національний науковий центр «Інститут кардіології ім. акад. М.Д. Стражеска НАМН України», Група компаній «LMT», ТОВ «Експофорум» та компанії-учасники.

Повний зал фахівців з лабораторної медицини зібрала науково-практична конференція **«Системні рішення менеджменту медичних лабораторій відповідно до вимог ДСТУ EN ISO 15189:2015 і органу акредитації»** від організатора ТОВ «Навчально-методичний центр «Міжнародна школа технічного законодавства і управління якістю» (ISTL).

Не менш цікавим був науково-практичний семінар **«Прикладні аспекти в мікробіологічній практиці»** від ТОВ «Укрбіо», що отримав безліч схвальних відгуків, а фахівці компанії ТОВ «Вектор-Бест-Україна» на семінарі **«Біологічні особливості та можливість діагностики інфекційних агентів»** розглянули су-

часну діагностику мікозів із визначенням чутливості до антимікотичних препаратів та діагностику сифілісу.

На навчально-практичному семінарі **«Передтрансфузійні лабораторні дослідження»**, організованому Департаментом охорони здоров'я виконавчого органу Київської міської ради (КМДА); КНП «Київський міський центр крові» виконавчого органу Київської міської ради (КМДА); Кафедрою гематології та трансфузіології НМАПО імені П. Л. Шупика; ДУ «Науково-практичний медичний центр дитячої кардіології та кардіохірургії МОЗ України»; Клінічною лікарнею «Феофанія» ДУС, було розглянуто трансфузійні ускладнення, клінічні трансфузійні процеси, організаційні засади трансфузіологічної допомоги в закладі охорони здоров'я, поділилися досвідом використання донорських еритроцитів різних груп крові у пацієнтів зі складним трансфузійним анамнезом, складнощах при визначенні групової належності та невідкладних станах.

Неабиякий інтерес викликав семінар-практикум **«Школа менеджера з якості»**, що зібрав повний зал керівників і співробітників відділів контролю якості медичних лабораторій. Організатор семінару – журнал «Лабораторна справа».

Керівників і фахівців діагностичних лабораторій ветеринарної медицини всіх форм власності зацікавив напрям «**ВЕТЕРИНАРНА МЕДИЦИНА»,** в рамках якого відбулися VIII науково-практична конференція **«Лабораторні дослідження як інструмент забезпечення епізоотичного благополуччя та безпеки харчових продуктів»** (організатори – Державний науково-дослідний інститут з лабораторної діагностики та ветеринарно-санітарної експертизи та Державний науково-контрольний інститут біотехнології і штамів мікроорганізмів) та семінар **«Антибіотикорезистентні мікроорганізми в об'єктах харчового ланцюга»** (організатор – кафедра мікробіології, вірусології та біотехнології НУБіП України).

Дослідно-конструкторські розробки, які найближчим часом можуть бути впроваджені в новітні наукові прилади було презентовано на науково-практичній конференції від Національної академії наук України за напрямом **«НАУКА ТА ОСВІТА»**.

Різноманітна спеціалізована експозиція, майстер-класи на діючому обладнанні, відомі експерти галузі, доповіді на актуальні теми, переповнені конференц-зали – все це ще раз підтверджує високий рівень виставки та зацікавленість фахівців до новинок лабораторної індустрії.

Щиро дякуємо учасникам, партнерам і гостям заходу за довіру та підтримку!
Запрошуємо на XIII Міжнародну виставку LABCompIEX. Аналітика. Лабораторія. Біотехнології. Hi-TECH,
що відбудеться 23-25 вересня 2020 року у м. Києві, виставковому центрі ACCO International, проспект Перемоги, 40-Б, станція метро «Шулявська», парк імені О.С. Пушкіна.

Детальна інформація:
Тел.: +380 (44) 206-10-99
info@labcomplex.com
www.labcomplex.com
www.facebook.com/labcomplex

СОГЛАШЕНИЕ
О ПЕРЕДАЧЕ АВТОРАМИ
ПРАВА НА ОПУБЛИКОВАНИЕ РУКОПИСИ

Мы, нижеподписавшиеся, авторы_____

_____

_____

рукописи_____

_____ (язык – русский)

передаем без оплаты учредителям и редколлегии журнала _____

_____ право опубликовать эту рукопись.

Мы подтверждаем, что эта публикация: не нарушает авторских прав других лиц или организаций; не была ранее опубликована (за исключением публикации в виде резюме, части опубликованной лекции, тезисов, обзора или диссертации); не передана в другие издательства для публикации; одобрена для публикации всеми соавторами, а также организацией (институтом, вузом, заводом или ответственным учреждением), в которой она выполнена; не содержит коммерческой либо государственной тайны.

Передача права на опубликование статьи охватывает исключительное право на воспроизведение и распространение статьи, включая оттиски, переводы, электронные формы (он- и офлайн) или любые иные подобные формы воспроизведения как на территории Украины, так и в странах ближнего и дальнего зарубежья.

После принятия рукописи к печати (при условии согласования всех замечаний рецензента) обязуемся опубликовать статью в течение 6-ти месяцев.

В случае необоснованной задержки публикации статьи автор (авторы) оставляет за собой право отозвать рукопись из редакции, при этом редакция теряет право на публикацию данной рукописи.

Подписи авторов

(ФИО, организация, адрес, контактный тел., email)

_____

_____

_____

_____

_____

Зав. ред.-изд. сектором

_____

(подпись)

адреса редакції та друкарні

Україна, 03142, м. Київ, бул. Акад. Вернадського, 34/1
Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України
Телефон: (044) 424-04-10, факс (044) 424-35-15, e-mail: mlu@ptima.kiev.ua
Інформація про журнал на сайті: www.steelcast.com.ua
Надруковано ТОВ «Про формат», вул. Маршала Жукова, 45 Б.