

## Обзор технологии производства высокопрочного чугуна и проектирование способов сфероидизирующего модифицирования для небольших литейных цехов

*С целью упрощения оборудования для подачи модификатора типа ФСМг в придонный слой расплава чугуна в ковше проведен обзор наиболее распространенных способов ковшевого модифицирования высокопрочного чугуна (ВЧ) и разработаны два способа его получения в ковшах емкостью до 200–300 кг, прежде всего основываясь на исследованиях ФТИМС НАН Украины.*

**Ключевые слова:** литье, высокопрочный чугун, модифицирование чугуна, лигатура, усвоение магния, модифицирование в ковше, сэндвич-процесс.

Сегодня объемы производства и применения отливок из высокопрочного чугуна (ВЧ) в промышленно-развитых странах стали своего рода индикатором выпуска современной высокотехнологичной промышленной продукции. Производство отливок из ВЧ в этих странах находится на уровне 25–30 % от общего выпуска отливок [1]. В последние годы ВЧ по росту объема производства и разнообразию сфер применения занимает лидирующие позиции среди других литых конструкционных материалов, что, естественно, отражается в значительном внимании к ВЧ в исследованиях, в частности, проводимых под руководством д. т. н., проф. Шинского О.И. по теме «Научные и технологические основы создания высокопроизводительных литейных процессов получения литых конструкций из железоуглеродистых и цветных сплавов».

Наибольшее распространение при литье высокопрочного чугуна (ВЧ) с шаровидным графитом, по данным д. т. н. Бубликова В.Б. [2], получили Mg-Si-Fe (ФСМг) лигатуры с 5–7 %мас. Mg. А сэндвич-процесс является чаще всего используемым при производстве ВЧ, но имеет тот недостаток, что модификатор на дне ковша, как правило, пригружают стальным или чугуном ломом, например, согласно патенту [3], либо чугуном стружкой, металлической плиткой с отверстиями и тому подобным.

Для расплавления этого груза необходим перегрев расплава исходного чугуна, контакт которого с модификатором снижает степень усвоения магния из-за увеличения скорости его парообразования и быстрого удаления из металла [4], при этом наблюдается достаточно сильный пироэффект и задымление воздуха цеха, растут энергозатраты и продолжительность выплавки исходного чугуна. По данным Волощенко С.М. [5], степень усвоения Mg при введении Mg-Si-Fe модификатора с 6 % Mg на дно ковша без пригрузки составляет 27 %, а с пригрузкой чугуном стружкой – 34 %. К разновидности сэндвич-процесса относят способ выпуска из печи расплава исходного чугуна в ковш с полостью или карманом (увеличивающим усвоения Mg) в днище для содержащего маг-

ний модификатора, сверху густо засыпанного перечисленным пригружаемым материалом. Кроме того, к затратам при этом относят стоимость и подготовку такого материала.

Для небольших цехов, изготавливающих отливки из различных сплавов и не имеющих регулярные заказы на литье ВЧ, отвод специального ковша для ВЧ сопровождается существенными затратами. Кроме того, различные грузы поверх модификатора создают различное влияние на химический состав конечного металла; толщина лома, его размеры (особенно для малых ковшей на 200–300 кг) и расположение в ковше, степень окисления или ржавчины, потеря температуры на его расплавление и т. п. являются факторами, ведущими к нестабильности процесса, неоднородной структуре и браку отливок. Это является одной из причин того, что в Украине доля отливок из ВЧ среди общего выпуска литья в несколько раз ниже, чем такая доля в мировом производстве литья.

Известно также устройство для легирования металла в ковше, при помощи которого осуществляют обработку расплава с перемешиванием жидкого металла продувкой инертным газом и введением в расплав легирующих элементов и раскислителей посредством трубы с огнеупорным покрытием [6]. На нижнем конце трубы закреплен блок реагентов в виде контейнера с отсеками, куда загружены реагенты. Недостатком являются значительные затраты инертного газа и необходимость оборудования для его подводки.

Подобно предыдущему, имеется способ введения порошкообразного или гранулированного материала в расплавленный чугун для десульфуризации и сфероидизации с применением трубы из огнеупорного материала, как правило, из графита, с продувкой инертного газа, действующего как носитель. В некоторых случаях вводят карбид кальция, чтобы уменьшить уровень серы, а затем выполняют сфероидизацию сплава. Таким методом также вводят металлический магний [7]. Хотя два последних способа позволяют получать ВЧ в открытом ковше без

специальных карманов и пригрузок модификатора, их недостатками являются затраты инертного газа, необходимость специального оборудования для его подвода и погружения трубы на определенную глубину в расплав металла, а также склонность таких способов к забиванию трубы шлаком.

В обзоре патентной информации о трубчатых дозаторах имеется описание дозатора, устройство которого имеет (трубчатый) цилиндр с расположенным в нем поршнем с использованием для выдачи в тару текучего или сыпучего продукта методом выталкивания порционного количества материала поршнем из трубы [8]. Но применение такого способа в информации о производстве ВЧ найти не удалось.

С целью упрощения оборудования для подачи модификатора типа ФСМг в придонный слой расплава чугуна в ковше разработаны три варианта способа вытеснения поршнем со штоком измельченного модификатора из трубы путем движения поршня относительно трубы, после чего трубу с поршнем и штоком удаляют из ковша. Согласно первому варианту, трубу с модификатором и закрепленным к ней штоком поршня после опускания в ковш с расплавом исходного чугуна подвешивают вертикально на коромысле ковша, раскрепляют шток поршня от трубы и вводят модификатор в расплав чугуна движением поршня под весом поршня со штоком, или с добавлением веса крюка (крюкоблока) подъемного крана, которым опускают трубу в ковш и на который могут дополнительно навешивать соответствующие грузы для удобного движения поршня вниз.

По второму варианту трубу с модификатором и закрепленным к ней поршнем со штоком после опускания в ковш с расплавом исходного чугуна ставят вертикально на дно ковша, шток поршня закрепляют на коромысле ковша (упорами снизу коромысла), или на коромысле и транспортной скобе коромысла, раскрепляют поршень от трубы и удаляют модификатор в расплав чугуна движением (подъемом крана) трубы вверх относительно неподвижного поршня.

По третьему варианту трубу с модификатором и закрепленным к ней штоком поршня опускают в пустой ковш, а движение поршня и трубы, относительно друг друга, с предварительными операциями закрепления-раскрепления, согласно двум предыдущим случаям, выполняют после заполнения ковша расплавом чугуна, подлежащего модифицированию.

Упрощение оборудования для подачи легковесного модификатора типа ФСМг в придонный слой расплава в ковше достигают применением обычного поворотного ковша с коромыслом, крана или кран-балки, типичных для цеха, и несложного устройства трубы с поршнем для выталкивания модификатора в расплав. Часть трубы из стали, контактирующей с металлом, покрывают огнеупорной краской или футеровкой, либо трубу изготавливают из графита или шамота.

К трубе хомутом или сваркой крепят два крючка для навешивания на коромысло ковша и поворотные крючки для прикрепления к штоку при удалении пустой (опустошенной от модификатора) трубы из ковша. Также труба (с модификатором) и шток имеют соосные отверстия (проушины) для крепления их между

собой с помощью горизонтального штыря. Еще труба и шток имеют скобы или проушины для транспортировки краном пустой от модификатора трубы, и шток имеет упоры о верхний торец трубы, чтобы поршень закрывал нижнее отверстие и не выпадал из трубы при транспортировке. Таким образом, выполняются простейшие способы крепления штока (связанного с поршнем) к трубе: в верхнем положении (с модификатором) и в нижнем положении (без модификатора). Эти крепления (замки или щеколды) между трубой и штоком могут для фиксирования подвижности–неподвижности между ними быть видоизменены для конкретного цеха, главное их свойство – простота и безопасность использования, чтобы литейщик мог их замкнуть–разомкнуть на расстоянии, например, длинным проволочным крюком или с использованием крюков строп крана.

Шток, в случае удаления модификатора при подъеме трубы, имеет упоры о коромысло против движения штока вверх. Типичное коромысло ковша представляет собой две вертикальные тяги, соединенные горизонтальной балкой с транспортной скобой посередине с верхней стороны балки. К этой балке коромысла и скобе предложено крепить (сверху или снизу крюками или упорами) одну из деталей трубного устройства, которая удерживается неподвижно во время движения второй детали при выдавливании модификатора из этого устройства в расплав путем движения деталей (трубы и поршня) относительно друг друга.

Рассмотрим последовательность операций при применении этого способа. Вначале дробленый модификатор помещают в трубу, которую со стороны выходного отверстия закрывают фольгой или жестью одним или более слоями, или другими немассивными крышками. Модификатор в трубе подпирают поршнем со штоком, который фиксируют на трубе (в ее подвешенном состоянии вертикально на кране) горизонтальным штырем через соосные отверстия проушин для крепления трубы и штока между собой. В первом варианте трубу с модификатором перевозят за скобу на штоке и подвешивают ее на коромысле на двух крючках с расстоянием до дна ковша 40–60 мм в зависимости от емкости ковша. Затем вынимают горизонтальный штырь – раскрепляют шток от трубы, и в неподвижной трубе движением крана опускают шток, пока поршень не выдавит весь модификатор в расплав и упоры штока не упрутся о торец трубы. На эти упоры набрасывают поворотные крючки от трубы (или используют опять метод фиксации – продевания штырем соосных отверстий в штоке и трубе) и удаляют краном зафиксированную к штоку трубу с поршнем из расплава. Если веса поршня со штоком недостаточно (для выталкивания модификатора), то их пригружают крюком крана, на который могут навешивать дополнительные грузы, чтобы уменьшить вес трубы с поршнем и штоком, предупреждая возможность их всплытия в жидком металле.

Во втором варианте трубу с модификатором перевозят за скобу на трубе и ставят на дно ковша с расплавом. Затем два упора на штоке заводят снизу под коромысло и (или) под верхнюю дужку транспортной скобы коромысла (для его фиксирования против

движения вверх) и поднимают краном трубу вдоль закрепленного таким образом штока. При этом поршень в зазор между ним и дном ковша выдавливает модификатор. Во время этой операции возможна дополнительная фиксация – прижимание литейщиком штока к коромыслу вручную длинным крючком. Движение поршня или трубы регулируют скоростью движения крана, избегая бурной реакции модификатора и используя приспособление вытяжной вентиляции для удаления образованных газов. Поршень также может выполняться как подвижной контейнер с нижней и верхней полками, между которыми кладут модификатор, в варианте удаления его подъемом трубы при неподвижном поршне.

В третьем варианте трубу с модификатором и закрепленным к ней штоком поршня опускают в пустой ковш, а движение поршня относительно трубы или трубы относительно поршня, с операциями закрепления–раскрепления, согласно первому и второму варианту, выполняют сразу после заполнения ковша расплавом исходного чугуна. При этом для второго варианта шток без упоров о коромысло может предварительно крепиться к коромыслу тонкой проволокой, прочности которой достаточно, чтобы двигать краном вверх трубу вдоль закрепленного проволокой штока и, чтобы после удаления в расплав модификатора при движении трубы вверх без остановки этого движения не порваться при удалении из ковша трубы со штоком и поршнем.

В некоторых случаях трубу устройства для модифицирования можно не крепить на коромысле ковша, а подвешивать на крюке крана с дополнительно подвешенной на этом же крюке талью. Тогда талью можно вручную двигать шток поршня вдоль трубы, которую можно опускать в печь и проводить там модифицирование или обессеривание расплава чугуна, опуская (заглубляя) конец трубы с лигатурой ниже зеркала металла.

Труба расширяется при нагревании расплавом чугуна и упрощает движение поршня, уменьшая силы трения его и модификатора о ее стенки. Для торможения выхода модификатора возможно приваривание коротких штырей (уступов) на трубе у края или торца для выхода модификатора. Для уплотнения зазора поршня с трубой во избежание попадания в канал трубы расплава металла использовали мулито-кремнеземистое волокно, производства отечественного завода ЗАО Северский доломит (Изосэв), несколько слоев которого зажимали на штоке при изготовлении поршня. Для огнеупорного покрытия трубы, как правило, достаточно покрытия из нескольких слоев краски с добавлением порошков муллита, шамота или дистен-силлиманита. Кратковременный контакт трубы с расплавом практически не нуждается в его перегреве, что экономит время при производстве ВЧ и энергозатраты. Не перегретый металл способствует лучшему усвоению магния и уменьшает пирозэффект при модифицировании.

Простое оборудование для подачи модификатора в придонный слой чугуна в ковше с применением типовых поворотных ковшей и движения крана для транспортировки и выдавливания модификатора из трубы в ковш при отработке несложных операций

управляются машинистом крана и (или) литейщиком с пола с помощью подвешенного кнопочного пульта. Такие операции не ухудшают условия техники безопасности в работе плавильщиков или заливщиков металла. Привод крана или тали может быть электрическим, гидравлическим, пневматическим, механическим, ручным и т. п.; а зацепления указанных устройств: крюков, упоров и т. п. к коромыслу или его скобе удобно выполнять переносным крючком на длинной ручке.

Для крупных ковшей разрабатываются способы помещения хладагентов в трубу на поршне с противоположной стороны от модификатора, которые охлаждают трубу путем плавления или испарения при движении поршня. Изготовление массивного металлического поршня, который служит утяжелителем против всплывания под давлением на него снизу расплава металла в канале трубы, также одновременно дает возможность использовать его как металлический холодильник для трубы.

Рассмотрим второй способ введения содержащего магний модификатора в расплав чугуна, который устраняет следующие две основные причины невысокой степени усвоения магния в различных видах сэндвич-процесса. Плотность модификатора типа ФСМг по ТУ14-5-134-86 примерно в 1,5 раза ниже плотности расплава, заливаемого в ковш, и, благодаря выталкивающей силе по закону Архимеда, измельченный модификатор быстро всплывает на поверхность расплава и нагретый чугуном окисляется на воздухе. Также из-за выделения паров магния еще до заполнения ковша металлом только в контакте с его струей происходит быстрое окисление магния без прохождения его паров сквозь весь металл в ковше. Технология наполнения ковша при таком модифицировании влияет на стабильность протекания обработки – струя металла не должна падать непосредственно на модификатор, вымывать его на поверхность металла в ковше, а ковш должен заполняться как можно быстрее без каких-либо остановок и задержек. Это не всегда удается для небольших ковшей и печей, что, по сути, относится к субъективным дестабилизирующим факторам.

Предложенный способ удобен для цехов, где применяют вакуумирование, например, при литье по газифицируемому моделям (ЛГМ) или при вакуумно-пленочной формовке (ВПФ). Чтобы обойтись без груза над измельченным модификатором, расположенным на дне ковша, модификатор герметизируют путем упаковки в фольгу из металла, или покрытием такой фольгой, и вакуумируют через металлическую трубу при заливке исходного чугуна в ковш. При этом технология упаковки измельченного модификатора аналогична изготовлению песчаного стержня методом ВПФ с тем отличием, что вместо традиционной синтетической пленки, покрывающей поверхность песчаного стержня из песка без связующего, применяют металлическую фольгу.

При вакуумировании упакованного в фольгу дробленого модификатора с поддержанием остаточного газового давления 30–70 кПа в его пористой среде достигают того, что извне фольги действует атмосфер-

ное давление – около 100 кПа. Это создает прессующий перепад давления на фольгу, уплотняет пакет с модификатором и упрочняет его до камнеподобного состояния путем увеличения внутреннего трения частиц при зацеплении одних частиц за другие. Вакуум в порах между ними позволяет при помощи атмосферного давления всесторонне спрессовывать этот пакет, который становится стержнем-модификатором (СМ). Именно такое же газовое давление 30–70 кПа в песчаной среде литейных форм является типовым отработанным давлением для литья в вакуумируемые песчаные формы и применяется в сотнях литейных цехов. Таким образом, технология формообразования таких пакетов реакционных зарядов из зернистого модификатора – СМ аналогична вакуумной упаковке в пакет из фольги.

По технической терминологии фольгой называют тонкий и гибкий металлический лист, например, из алюминия, стали, никеля и т. п., что позволяет фольге быть пластичной и принимать различные формы. Часто для фольги из железа применяют слово «жесть». В частности, Уральский литейно-прокатный завод (Россия, Свердловская обл., г. Михайловский), согласно ГОСТ 618-2014, выпускает алюминиевую фольгу для технических нужд толщиной до 0,2 мм, а также 0,5 мм с шириной в рулоне 500–1200 мм. Пакет с модификатором или СМ, упакованный в фольгу, удерживается на металлической трубе при вакуумировании, а для транспортировки с трубой без вакуумирования его следует обматывать синтетической пленкой сверху фольги, чтобы модификатор не высыпался из пакета.

Способ замедления интенсивного реагирования модификатора с металлом, который заполняет ковш, и удержания вакуумированного пакета без существенного разрушения на дне ковша основывается на исследованиях [9]. Они объясняют, что при модифицировании чугуна содержащими магнием модификаторами сначала на поверхности частиц модификатора происходит «намерзание» чугуна, затем расплавление чугунной корки, после чего плавится модификатор. Аналогичное мнение о положительной роли специального покрытия – пленки на поверхности частиц или кусков, например, чистого магния, для технологии модифицирования исходного чугуна имеет д. т. н. Бубликов В.Б.

Поскольку вакуумированный модификатор в виде СМ выступает аналогично монолиту в пакете, спрессованном перепадом газового давления и давления металла (исходного чугуна), покрывающего СМ в ковше, то в контакте с фольгой или, частично расплавив фольгу, этот металл «намерзает» на поверхности СМ чугунной коркой, которая присасывается вакуумом и охлаждается массивом модификатора. Времени задержки реагирования модификатора достаточно для заполнения ковша металлом. Затем вакуумирование отключают, трубу удаляют, а модификатор расплавляется и растворяется в заполненном металлом ковше.

Отсутствие металлического расплавляемого груза позволяет снизить температуру заливки исходного чугуна, что ведет к повышению степени усвоения магния при замедлении его парообразования

и удаления из металла. Эксперименты показывают наиболее медленное расплавление модификаторов ЖКМК-4Р и ФСМг4, а наиболее быстрое – никель-магниевого лигатуры. Таким образом, создаваемая на поверхности СМ твердая корка чугуна (сплошной затвердевший слой) при помощи вакуума, который присасывает эту корку к СМ, защищает модификатор от преждевременного контакта с расплавом до момента заполнения ковша.

Вакуумируют СМ сквозь стальную трубу, которая входит в фольгу СМ и имеет на конце огнеупорный газопроницаемый (вакуумный) фильтр, который не пропускает мелкую фракцию модификатора и расплав металла. СМ удерживается на этой трубе, выходящей за пределы ковша, а после отключения вакуумирования трубы можно вручную пошатать ее в расплаве и удалить из него.

Для присасывания (прижимания вакуумом) СМ ко дну ковша в период контакта его с заливаемым исходным чугуном разработаны два варианта размещения модификатора в ковше. При упаковке СМ в фольгу и размещении (установке) его на дне ковша с трубой без вакуумирования уплотняют стык фольги с поверхностью стенки и дна ковша путем легкого трамбования или приглаживания фольги деревянной или металлической трамбовкой, для чего пригодна металлическая ложка на длинной ручке для отбора проб металла. Проверяют пробным вакуумированием, чтобы не было щелей со значительным местным подсосом воздуха по стыку фольги с поверхностью ковша, а в месте ее стыковки (прилегания) к поверхности ковша выполняют газопроницаемые отверстия в фольге, например, расширением щели стыка листа фольги снизу и т. п. Эти отверстия при транспортировке СМ закрывают синтетической пленкой, которая затем плавится или сгорает в нагретом ковше, который, как правило, нагревают до температуры около 500 °С перед заливкой расплава. Сыпучий измельченный модификатор СМ при помещении в ковш легко обтекает дно, прилегающие стенки ковша и принимает его форму, а податливая фольга этому не мешает.

В другом варианте на дно ковша ставят трубу с вакуумным фильтром, насыпают измельченный модификатор, покрывают сверху фольгой и, аналогично первому варианту, уплотняют вручную легким трамбованием (прижатием) или приглаживанием стыка фольги к стенкам или дну ковша. Также возможна проверка упрочнения или «отверждения» СМ с относительно мягкого сыпучего состояния до твердого, соответственно, без вакуумирования или при вакуумировании СМ. Такими операциями создают СМ, значительная нижняя часть поверхности которого при вакуумировании герметизируется поверхностью (футеровки) ковша, а другая часть – фольгой. Стыковка (примыкания) вакуумированного «тела» СМ к ковшу тем самым создает присасывания к нему. Например, на каждый элемент площади контакта  $10 \times 10 = 100 (\text{см}^2)$  при остаточном давлении в порах СМ 50 кПа и разницей с атмосферным давлением  $100 - 50 = 50 (\text{кПа})$ , что соответствует около  $0,5 \text{ кгс см}^2$ , сила присасывания (аналогично действию пригружения) будет достигать не менее 50 кгс.

После заполнения ковша расплавом с вакуумируемым СМ и прекращением вакуумирования трубу вынимают из ковша, подрывая чугунную корку вокруг модификатора, чем интенсифицируют реагирование модификатора с расплавом. При этом постепенно частицы модификатора могут всплывать в металле, так как контакт нижних частиц с более холодным, чем металл, ковшом будет приводить к созданию на них корки.

Этот способ получения ВЧ наиболее удобен для цехов со средствами вакуумирования, при литье из небольших ковшей с массой ВЧ в ковше не более 200–300 кг. Трубу подключают гибким трубопроводом к трубопроводной системе с вакуумным насосом для вакуумирования литейных песчаных форм или специально для этого установленным. Обычно в таких цехах мелкосерийного производства из одних и тех же традиционных ковшей удобно лить и серый чугун, и модифицированный ВЧ.

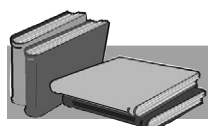
Способ модифицирования чугуна с применением вакуума для регулирования процесса реагирования модификатора с расплавом снижает перегрев исходного чугуна за счет отсутствия массивного покровного материала, сокращает продолжительность плавки, затраты энергии и способствует повышению уровня усвоения сфероидизирующих графитовые включения элементов, при этом уменьшая пирозэффект и задымление воздуха.

Для упаковки СМ пригодна алюминиевая фольга для технических нужд (ГОСТ 618-2014) толщиной до 0,2 мм. Расчетное количество модификатора ФСМг5, измельченного до фракции около 2 мм, рекомендуется в количестве 1,6 % от массы исходного чугуна около 150 кг с температурой 1360–1380 °С в открытом ковше для получения массовой доли остаточного магния 0,03–0,05 % с его усвоением не ниже 41–49 %.

Применение мелкой фракции лигатуры обычно снижает расход модификатора, уменьшает пирозэффект и повышает стабильность процесса. Для вакуумирования возможно использование водопроводной стальной трубы диаметром  $\frac{3}{4}$  дюйма. Аналогично первому способу, ее красили огнеупорной краской на основе муллита с добавлением графита. Краску наносят в несколько слоев и подбирают в зависимости от массы модифицируемого чугуна.

Обычно заливка исходного чугуна в открытый ковш из индукционной электропечи ИСТ 016 длится не более 30 с. Сразу после его заполнения следует отключить вакуумирование и после пошатывания трубы удалить ее из ковша. За это время она не успевает нагреться до получения признаков разрушения, и после проверки качества фильтра из газопроницаемой песчаной смеси и качества покрытия может быть пригодной для повторного применения. Ковш после получения и разливки ВЧ пригоден для литья других железоуглеродистых сплавов.

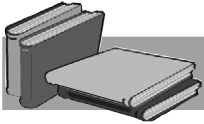
Схематичность описания приведенных в статье способов получения ВЧ на уровне патентных заявок объясняется их новизной, и промышленное их использование доступно для отработки в условиях конкретного цеха. Способы обладают сравнительной простотой, преследуют цель повышения уровня усвоения магния из распространенных недорогих легко-весных модификаторов типа ФСМг при изготовлении чугуна в открытом ковше. Дополнение ими краткого обзора наиболее распространенных методов ковшевого модифицирования расширит технологическую «палитру» получения ВЧ для оптимального выбора, совершенствования литейщиками этих процессов и наращивания объемов литья из высокотехнологичного сплава – ВЧ с еще не полностью раскрытым потенциалом.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Бех Н.И., Александров Н.Н., Нуралиев Ф.А. Высокопрочный чугун сейчас и в будущем // *Литейное производство*. – 2018. – № 5. – С. 2–5.
2. Бубликов В.Б., Берчук Д.Н. Повышение степени модифицирования высокопрочного чугуна // *Металлургия машиностроения*. – 2006. – № 5. – С. 31–35.
3. Патент 75815 Україна, С21С 1/00, С22С 33/00. Спосіб одержання високоміцного чавуну для виливків холодильних плит доменних печей / О.Ф. Бринза, В.В. Харченко, А.М. Лещенко, О.Л. Рудницький, В.Л. Придорогін; опубл. 15.05.2006, Бюл. № 5.
4. Ващенко К.И., Софрони Л. Магнийевый чугун. – Киев: Машгиз, 1960. – 485 с.
5. Волощенко С.М. Створення наукових засад структуроутворення в високоміцному чавуні для підвищення зносостійкості змінних деталей сільгосптехніки та транспорту: дис. докт. техн. наук: спеціальність 05.02.01. – Київ, 2018. – 290 с.
6. Патент 2082765 РФ, С21С7/06. Способ легирования металла в ковше и устройство для его осуществления / Б.А. Копылов, Г.А. Копылов, Р.С. Айзатулов, В.А. Буймов, В.В. Соколов, И.Б. Сельский, Ю.Н. Борисов, С.С. Бродский, А.В. Протасов, Л.М. Учитель; опубл. 27.06.1997, Бюл. № 18.
7. Sukomal Ghosh. Production aspects of spheroidal graphite iron. *Special Metal Casting and Forming Processes // CAFP*, 2008. – P. 38–51. URL: <http://eprints.nmlindia.org/5869/1/38-51.PDF>.
8. Патент 44521 А Україна, G01F11/00. Дозатор / С.П. Авраменко, Я.В. Латишев, І.Е. Мамутов; опубл. 15.02.2002, Бюл. № 2.
9. Суменкова В.В., Корниец И.В. Исследование процесса растворения сфероидизирующих лигатур в чугуне // *Процессы литья*. – 1993. – № 4. – С. 10–14.

Поступила 21.09.2018



## REFERENCES

1. Bekh, N.I., Aleksandrov, N.N., Nuraliev, F.A. (2018). High-duty cast iron now and in the future. *Liteinoe proizvodstvo*, no. 5, pp. 2–5 [in Russian].
2. Bublikov, V.B., Berchuk, D.N. (2006). Raising the inoculation degree of high-strength cast iron. *Metallurgija mashinostroeniia*, no. 5, pp. 31–35 [in Russian].
3. Patent 75815 Ukraine, C21C 1/00, C22C 33/00. A method for producing high-strength pig-iron for castings of blast furnace refrigeration plates. O.F. Brinza, V.V. Kharchenko, A.M. Leshchenko, O.L. Rudnyts'kui, V.L. Prydorogin. Published 15.05.2006, Biul. no. 5 [in Ukrainian].
4. Vashchenko, K.I., Sofroni, L. (1960). Magnesium cast iron. Kiev: Mashgiz, 485 p. [in Russian].
5. Voloshchenko, S.M. (2018). Creation of scientific foundations of structure formation in high-resistant pig-iron for increasing endurance and durability of replaceable parts of agricultural equipment and transport: Doctor's thesis: specialty 05.02.01, Kyiv, 290 p. [in Ukrainian].
6. Patent 2082765 RU, C21C7 / 06. A method for alloying a metal in a ladle and a device for its implementation. B.A. Kopylov, G.A. Kopylov, R.S. Aisatillov, V.A. Buimov, V.V. Sokolov, I.B. Sel'skii, Yu.N. Borisov, S.S. Brodskii, A.V. Protasov, L.M. Uchitel'. Published 27.06.1997, Biul. no. 18 [in Russian].
7. Sukomal Ghosh (2008). Production aspects of spheroidal graphite iron. Special Metal Casting and Forming Processes. CAFPP, pp. 38–51. URL: <http://eprints.nmlindia.org/5869/1/38-51.PDF> [in English].
8. Patent 44521 A Ukraine, GO1F11/OO. Dosator / Ye.P. Avramenko, Ya.V. Latyshev, I.E. Mamutov. Published 15.02.2002, Biul. no. 2 [in Ukrainian].
9. Sumenkova, V.V., Korniets, I.V. (1993). Investigation of the process of dissolution of spheroidizing ligature in cast iron. *Casting processes*, no. 4, pp. 10–14 [in Russian].

Received 21.09.2018

### Анотація

**В.С. Дорошенко**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.,  
e-mail: doro55v@gmail.com

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

## Огляд технології виробництва високоміцного чавуну і проектування способів сфероїдізуючого модифікування для невеликих ливарних цехів

З метою спрощення обладнання для подачі модифікатора типу ФСМг в придонний шар розплаву чавуну в ковші проведено огляд найбільш поширених способів ковшового модифікування високоміцного чавуну (ВЧ) і розроблено два способи його отримання в ковшах ємністю до 200–300 кг, насамперед ґрунтуючись на дослідженнях ФТІМС НАН України.

### Ключові слова

*Лиття, високоміцний чавун, модифікування чавуну, лігатура, засвоєння магнію, модифікування в ковші, сендвіч-процес.*

### Summary

**V.S. Doroshenko**, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher,  
e-mail: doro55v@gmail.com

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

## Overview of technology for the production of high-strength cast iron and design methods of spheroidizing modification for small foundries

*In order to simplify the equipment for feeding a modifier of the type FSMg into the bottom layer of the pig iron melt in the ladle, an overview of the most common methods of ladle modification of the high-strength cast iron has been made and two methods for its obtaining in buckets with a capacity of up to 200–300 kg have been developed, primarily based on the research of PTIMA NAS of Ukraine.*

### Keywords

*Metal casting, high-strength cast iron, pig iron modification, ligature, magnesium assimilation, bucket modification, sandwich process.*