

УДК 621.74.669.131.622

В. А. Кривошеев, канд. техн. наук, почетный проф., д-р философии, e-mail: vt.kalinin@gmail.com

В. Т. Калинин, д-р техн. наук, проф., e-mail: vt.kalinin@gmail.com

Е. В. Меняйло, канд. техн. наук, доц., e-mail: elena_nmetay@bigmir.net

В. Ю. Селиверстов, д-р техн. наук, проф., e-mail: seliverstovwy@gmail.com

Ю. В. Доценко, канд. техн. наук, доц., e-mail: yvd160574@gmail.com

И. О. Мусиенко, аспирант, e-mail: murka@ua.fm

Э. А. Фролов, магистр, e-mail: vt.kalinin@gmail.com

Национальная металлургическая академия Украины, Днепр

КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ОТЛИВОК МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Для установления возможности эффективного влияния на качество отливок на всех этапах их производства были исследованы и прошли опытно-промышленную проверку процессы рафинирования доменных чугунов, легирования и наномодифицирования литейных расплавов. Исследования проводили в лабораторных, опытно-промышленных и промышленных условиях при производстве ответственного литья в ряде учреждений и предприятий: НМетАУ, ИЧМ НАНУ, ПАО «МК «Азовсталь», ПАО «Днепропетровский завод прокатных валков», ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», Мелитопольском моторном и Харьковском машиностроительном заводах. Объектом исследований были выбраны наиболее ответственные отливки, широко применяемые в народном хозяйстве: коленчатые валы, цилиндрическое литье, автомобильные отливки из высокопрочного и серого чугунов, прокатные отбеленные и отбеленно-магниевого валки, чугунные сталеразливочные изложницы, мелющие шары и др. Установлены оптимальные параметры технологии производства отливок: применение в шихте низкосернистого чугуна марки ЛР7, легирование литейных расплавов 0,2 % Wили Nb, наномодифицирование карбонитридом титана Ti (CN) для отливок из белого чугуна и карбидом кремния (SiC) – для отливок из серого чугуна, применение паст и припылов, содержащих наноматериалы, для покрытия формы в местах возникновения «горячих трещин» для упрочнения поверхностного слоя кристаллизующейся отливки. Опытно-промышленная проверка комплексной технологии показала, что дополнительное легирование валкового чугуна положительно влияет на перекристаллизацию при 200–300 °С, снижая скорость превращения, что уменьшает вероятность возникновения «волосовидных трещин». При соблюдении рекомендуемых параметров комплексной технологии эксплуатационная стойкость сталеразливочных изложниц увеличилась на 30 %, мелющих шаров – на 20 %, брак валков снизился на 5 %, а брак коленчатых валков и поршней двигателей – на 20 %.

Ключевые слова: качество, чугун, рафинирование, модифицирование, прокатные валки, мелющие шары, заводы, нанодисперсные материалы, плавка, индукционная печь, эффективность.

Литейщики постоянно уделяют большое внимание вопросам повышения качества отливок, применяемых в различных областях промышленности. Для этих целей они используют традиционные и усовершенствованные технологии рафинирования литейных доменных чугунов и выплавленных на их основе расплавов, легирования и модифицирования.

Актуальность этих вопросов, особенно в машиностроении, обусловлена большим

количеством литых деталей (до 80 %), применяемых при производстве станков, тракторов, автомобилей и других агрегатов.

В статье авторы обобщили и представили в сокращенном виде результаты своих исследований, а также исследований литейщиков Приднепровского региона Украины, направленных на повышение качества и эксплуатационной стойкости отливок.

Исследования проводились в лабораторных, опытно-промышленных и промышленных условиях при производстве ответственного литья в ряде учреждений и предприятий: НМетАУ, ИЧМ НАНУ, ПАО «МК «Азовсталь», ПАО «Днепропетровский завод прокатных валков», ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», Мелитопольском моторном, Харьковском машиностроительном и Волжском автомобильном заводах. Объектом исследований были выбраны наиболее ответственные отливки, широко применяемые в народном хозяйстве: коленчатые валы, цилиндрическое литье, автомобильные отливки из высокопрочного и серого чугунов, прокатные отбеленные и отбеленно-магниевого валки, чугунные сталеразливочные изложницы, мелющие шары и др. [2–5, 7].

При производстве литой продукции качество отливок формируется в процессе подбора чушкового шихтового чугуна, разработки рациональных режимов проведения плавки, легирования и модифицирования литейных расплавов в печи, ковше или в форме. Для установления возможности эффективного влияния на качество отливок на всех этапах их производства были исследованы и прошли опытно-промышленную проверку процессы рафинирования доменных чушковых чугунов, легирования, модифицирования их расплавов.

Выбрана нижеуказанная методика проведения исследований и промышленной проверки предлагаемой комплексной технологии при производстве ответственного машиностроительного и металлургического литья, включающая следующие этапы:

- применение литейного чушкового рафинированного магния чугуна производства МК «Азовсталь» и Мариупольского металлургического комбината им. «Ильича» по технологии Института черной металлургии НАНУ и исследование его качества [1–2];

- опытно-промышленная проверка технологии применения доменного рафинированного чугуна в шихте при производстве отливок для машиностроения и металлургии: деталей тракторов и автомобилей, прокатных валков, изложниц, мелющих шаров и др. [2–7];

- дополнительное легирование промышленных хромоникелевых валковых расплавов ниобия, вольфрама и исследование их влияния на процессы перекристаллизации чугуна при температурах 300–500 °С (в температурной зоне зарождения «холодных» трещин) [3–4];

- обоснование термодинамической возможности зарождения и развития центров кристаллизации при наномодифицировании литейных расплавов для производства отливок;

- модифицирование чугунных расплавов брикетированными тугоплавкими нанодисперсными порошками на основе TiCN, SiC и других для создания дополнительно искусственных центров кристаллизации при затвердевании отливок в формах [5–6];

- определение влияния процессов рафинирования доменных чушковых чугунов, легирования и наномодифицирования их литейных расплавов на качество и эксплуатационные свойства отливок.

На первом технологическом этапе решался вопрос приобретения качественного доменного рафинированного магния литейного чугуна на МК «Азовсталь» и ММК им. Ильича, который выплавляли из железорудного сырья Криворожского месторождения. Низкое содержание серы ($\leq 0,005\%$) в этом чугуне и чистота по неметаллическим включениям делает его перспективным материалом для применения в шихте при производстве отливок из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, а также ответственных отливок из серого чугуна, чувствительных к наследственным свойствам доменного чугуна [2]. Технические условия предусматривают поставку рафинированного чугуна с повышенными требованиями [2]: содержание серы не более 0,01%; гарантированное содержание углерода, пониженное на 0,1 % против

ГОСТА; отсутствие спели и низкое содержание микропримесей, %: Cr до 0,04; Ti до 0,05; сумма Cr, Ti, V, Al и Pb не более 0,15.

На втором технологическом этапе исследовали влияние рафинированного чугуна на качество отливок машиностроительного и металлургического назначения.

Такой чугун, благодаря высокой чистоте по сере, газам, спели и другим неметаллическим включениям, обеспечивает хорошую отбеливаемость чушек и может быть использован в вальцелитейном производстве. Опробование его было проведено авторами на Днепропетровском и Лутугинском заводах прокатных валков при выплавке металла для отбеленных и отбеленно-магниевого прокатных валков [3–4]. В опытных плавках шихта состояла из низкокремнистого рафинированного магнием чугуна и лома валков. Все отлитые валки имели требуемую глубину и хорошее качество отбеленного рабочего слоя, брак отбеленно-магниевого валков по «черным пятнам» снизился на 5,0 %.

При выполнении мероприятий по повышению качества доменного чугуна необходимо уделять должное внимание вопросам присутствия его наследственных свойств. Доменные печи работают на различных рудах, агломерате, коксе и поэтому чугуны имеют различное содержание микропримесей, газов, спели и других неметаллических включений, неконтролируемых обычным химическим анализом. При низкотемпературном переплаве шихты в литейных цехах примеси в значительной степени сохраняются и создают сравнительно устойчивую зародышевую фазу, оказывающую определенное влияние на кристаллизацию и структурообразование чугуна отливок (наследственные свойства).

По данным Вороновой Н. А. и других авторов [2], литейный рафинированный доменный чугун существенно чище обычного и имеет благоприятные наследственные свойства. Этот чугун был опробован на машиностроительных заводах: Харьковском машиностроительном заводе при производстве коленчатых валов тракторных двигателей, что снизило брак на 25 %, на заводе «Русский дизель» при производстве крупных поршней – снижение брака отливок после механической обработки; на Мелитопольском моторном и ВАЗе при производстве деталей из серого чугуна также дало положительный результат.

В последние годы в литейных цехах осуществлена замена вагранок и пламенных печей на индукционные и дуговые электрические печи, в которых технологически возможен процесс рафинирования жидкого чугуна до нужного уровня качества, поэтому вопрос о необходимости сохранения исходных наследственных свойств доменного шихтового чугуна остается актуальным и подкрепляется более новыми технологическими процессами легирования редкими металлами и модифицирования расплавов нанодисперсными порошками на основе тугоплавких соединений. Это позволяет эффективно воздействовать на процессы кристаллизации и перекристаллизации чугуна для повышения качества отливок.

Вопросы легирования чугуновых расплавов для отливки деталей металлургического оборудования, в том числе для прокатных валков, освещены в работах авторов [7, 10, 11]. Исследовано влияние таких легирующих элементов, как ниобий, вольфрам, и других. Однако, в связи с применением для валков текущего производства Cr–Ni чугунов, имеющих высокопрочную структуру бейнитно-мартенситного класса, повышение механических характеристик было незначительным, поэтому основное внимание было уделено исследованию процессов перекристаллизации, в частности, определению температур начала и скорости превращений в области 600–200 °С. При этих температурах во время охлаждения отливки в форме возможно зарождение и развитие так называемых «волосовидных трещин», что может привести к браку отливок. Полученные данные о влиянии перечисленных легирующих элементов на кинетику перекристаллизации могут позволить корректировать эти процессы путем легирования с целью повышения температуры начала и уменьшения скорости превращения, происходящего с приростом объема металла. Рекомендовано легирование валков 0,2W или 0,2 % Nb, способствующих протеканию спокойного процесса перекристаллизации и уменьшают опасность возникновения трещин. Однако, дополнительное

легирование увеличивает себестоимость отливки, что обусловило необходимость проведения исследований по поиску новых технологий для эффективного воздействия на качество отливок. С этой целью исследовано влияние нанодисперсных модификаторов на основе тугоплавких соединений типа TiCN, SiC на процессы зарождения и формирования структуры расплавов чугуна при затвердевании.

Введенные в расплав тугоплавкие наночастицы (< 100 нм) могут рассматриваться как центры кристаллизации, если на их поверхности происходит зарождение первичной фазы, зависящей от размеров и свойств частицы, а также от ее взаимодействия с расплавом. Такое образование (частица – твердая фаза – расплав) будет устойчиво только в том случае, если свободная энергия системы уменьшается или же зависимость $\Delta F = f(r_0)$ имеет минимум, где r_0 – радиус наноболочки твердой фазы вокруг частицы.

Чем больше термодинамическая устойчивость инокулирующего наномодификатора и чем больше разница температур плавления частиц и чугуна, тем выше эффективность модифицирования. Также имеет значение электронное сродство модификатора и расплава, то есть нерастворимые тугоплавкие частицы должны обладать металлическим типом проводимости. В обобщенном виде для эффективного наномодифицирования необходимы такие тугоплавкие соединения, которые имеют следующие свойства [5,6]: энтальпия образования модифицирующих соединений должна превышать энтальпию образования расплава; температура плавления частиц должна быть выше температуры плавления чугуна; наночастицы должны быть нерастворимы в расплаве и иметь металлический тип проводимости; тугоплавкие частицы должны быть соразмерны с величиной центров кристаллизации; параметры решетки тугоплавких частиц [8] должны соответствовать параметрам решетки кристаллизующейся фазы.

Наиболее удовлетворяют этим требованиям тугоплавкие соединения карбонида титана – TiCN. Карбид кремния (SiC) относится к разлагаемым соединениям ($\text{SiC} + \text{Fe} \rightarrow \text{FeSi} + \text{C}$) и может быть использован как графитизирующий модификатор либо самостоятельно, либо в комплексе с инокулирующими добавками.

В области нанодисперсного диапазона (10–100 нм) удельная поверхностная энергия нанодисперсной системы (НДС) максимальна, частицы обладают высокой адсорбционной активностью и зарождение кристаллизующейся фазы (наноболочки) на их поверхности имеет высокую вероятность.

Зарождение первичной фазы на наночастицах идет с уменьшением суммарной свободной энергии за счет изменения соотношения объемной и поверхностной составляющей свободной энергии, в то время как образование зародыша в немодифицированном расплаве требует затрат энергии, и только после достижения критического размера рост твердой фазы становится энергетически выгодным. Наличие большой удельной поверхности наночастицы делает процесс зарождения твердой фазы термодинамически выгодным: он идет с выделением энергии (скрытой теплоты кристаллизации).

Твердая фаза, образовавшаяся в расплаве на поверхности частицы, находится в энергетически выгодном состоянии и условие к распаду у таких образований (наноболочек) отсутствует. Такие участки твердой фазы при дальнейшем охлаждении выигрывают в конкурентной борьбе у спонтанно или гетерогенно возникших зародышей. Эти образования достаточно большие, чтобы поглощать друг друга, поэтому размер дендритов (зерен) в отливке из модифицированного наносоединениями сплава определяется количеством частиц: чем их больше, тем мельче дендриты первичного аустенита [8, 9]. Установлено, что размер частицы критических зародышей аустенита при переохлаждении расплава на 10–40 °С составляет 40–10, а для графита – 305–55 нм.

В модифицированном наносоединениями чугуне образование оболочки твердой фазы на наночастице, имеющей большую удельную поверхность, высокую адсорбционную активность и обладающей качествами тугоплавкого модификатора, облегчено и идет с уменьшением суммарной свободной энергии за счет изменения соотношения объемной и поверхностной энергии в пользу объемной. Следовательно, роль на-

ночастиц сводится к созданию при кристаллизации расплава, кроме естественных, дополнительно искусственных центров кристаллизации. Они должны быть соразмерными с критическими зародышами, параметры их решетки должны соответствовать параметрам кристаллической решетки кристаллизующейся фазы и их должно быть достаточное количество для получения в отливке субмикроскопической структуры.

Положительное влияние наномодифицирования на качество отливок было установлено при проведении опытно-промышленных проверок. Показано, что наномодифицирование чугуна способствует ускорению процесса кристаллизации, особенно в поверхностной части отливок, способствует получению мелкозернистой структуры, уменьшению транскристалличности, рассредоточению усадочных дефектов и, как следствие, повышению качества и эксплуатационной стойкости отливок. Эти показатели качества были реализованы при производстве фасонных отливок.

В процессе кристаллизации отливок часто возникает дефект литой структуры «горячая трещина», которая формируется на поверхности отливки в интервале температур ликвидус-солидус в твердожидкой части отливки.

Причиной этого может быть торможение линейной (объемной) усадки или меньшая толщина затвердевшего слоя металла на выступающей части литейной формы по сравнению с остальной частью отливки. Последнее обусловлено замедлением теплоотвода через выступающую часть литейной формы. Кроме того, острый угол является концентратором напряжений. Поэтому во всех отливках технологи выполняют радиусы скругления, но устранить образование горячих трещин не всегда удается. Для предупреждения формирования горячей трещины выступающую часть формы выполняют из хромомagneзитовой формовочной смеси, которая имеет большую теплоаккумулирующую способность по сравнению с песчано-глинистой сухой формой. Вероятность образования горячих трещин снижается, но полностью устранить этот вид брака не удается.

Поэтому для предупреждения возникновения горячих трещин на выступающей части литейной формы необходимо создавать мелкозернистую макроструктуру сплава только в поверхностном слое этой части литого изделия. Достаточно использовать поверхностное внутриформенное модифицирование ультрадисперсными частицами, применяя для этого пасты и припылы рабочих поверхностей формы, на которых возможно появление горячих трещин в отливках. Несмотря на меньшую толщину затвердевшего металла у выступающей части литейной формы, мелкозернистая макроструктура будет иметь большую прочность по сравнению с участком отливки, который затвердел на плоской поверхности и имеет большую толщину. Учитывая высокую стоимость ультрадисперсных модификаторов, которые производятся в высокочастотных плазмохимических установках, минимальный их расход при нанесении в виде припыла на поверхность формы позволяет внедрить эту технологию при производстве фасонных отливок.

Опытно-промышленная проверка комплексных технологических мероприятий для повышения качества доменного литейного чугуна и его расплавов при производстве отливок машиностроительного и металлургического назначения показала, что эксплуатационная стойкость сталеразливочных изложниц повышается на 30 %, мелющих шаров – на 20 %, брак валков по «черным пятнам» уменьшился на 5 %, брак коленчатых валов, поршней двигателей и других отливок для автомобилей снизился на 25 %.

Таким образом, рафинирование доменного чугуна позволяет получать его высокую чистоту по сере, газам, спели и другим неметаллическим включениям, что делает его перспективным шихтовым материалом при производстве качественных литейных расплавов и отливок.

Установлена целесообразность воздействия на расплавы легирующих и наномодифицирующих компонентов с целью управления процессами кристаллизации и структурообразования, позволяющими улучшать качество материала отливок и их эксплуатационные свойства.

Выводы

- Показатели качества чушкового литейного чугуна производства МК «Азовсталь» по технологии Института черной металлургии НАН Украины дают основание для использования его при производстве ответственных отливок машиностроительного и

металлургического назначения. Брак коленчатых валов, поршней двигателей, отливок для автомобилей и багерных насосов снизился на 25 %, прокатных отбеленно-магние-вых валков – на 5 %, сталеразливочных изложниц на 20 %, мелющих шаров на 25 %.

- Рекомендовано улучшение качества литейных расплавов и отливок из этого чугуна путем легирования 0,2 Nb или 0,2 % W и модифицирования нанодисперсными частицами на основе тугоплавких соединений TiCN и SiC в количестве 0,005–0,015 %.

- Легирование прокатных хромоникелевых валков 0,2 % Nb или W способствует протеканию спокойного процесса перекристаллизации при температурах 400–500 °С, что ускоряет процесс релаксации возникающих в отливке при охлаждении напряжений и снижает опасность образования «волосовидных трещин».

- Определена роль наномодифицирования железоуглеродистых сплавов в создании при кристаллизации, кроме естественных, дополнительно искусственных центров зарождения первичной фазы.

- Рекомендовано для устранения опасности возникновения «горячих трещин» в отливке у выступающей части литейной формы наносить припылы и пасты из ультрадисперсных или наночастиц, которые обеспечат формирование мелкозернистой структуры и повышение прочности отливок только в поверхностном слое этой части литого изделия, по сравнению с участком отливки, который затвердел на плоской поверхности и имеет большую толщину.

Список литературы

1. Шевченко А. Ф. Изучение закономерностей вдувания гранулированного магния в жидкий чугун через фурмы погружения с различным профилем канала / А. Ф. Шевченко, А. Н. Мальков, В. А. Кривошеев // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1982. – № 31. – С. 11–12.
2. Воронова Н. А. Качество доменного литейного чугуна и пути его повышения / Н. А. Воронова, О. А. Могилевцев, Г. Н. Штейн. – Киев: УНИИ НТИ. – 1972.
3. Рудницкий Л. С. Рациональное использование доменных чугунов при литье прокатных валков / Л. С. Рудницкий, В. А. Кривошеев, В. Т. Калинин, А. Н. Филипчик // *Литейное производство*. – 1990. – № 8. – С. 3–4.
4. Кривошеев В. А. Сравнительное исследование качественных показателей специальных доменных чугунов, используемых в вальцелитейном производстве / В. А. Кривошеев, Л. С. Рудницкий, В. Т. Калинин, Г. С. Петров // *Теория и практика металлургии*. – 2000. – № 6. – С. 24–25.
5. Калинин В. Т. Перспективы применения ультра- и нанодисперсных модификаторов для повышения качества чугунного литья / В. Т. Калинин, В. Е. Хрычиков, В. А. Кривошеев // *Процессы литья*. – Киев: ФТИМС НАН Украины. – 2005. – № 1. – С. 29–33.
6. Калинин В. Т. Прогрессивные технологии комплексного легирования и модифицирования чугунов для литья деталей горно-металлургического оборудования / В. Т. Калинин, В. Е. Хрычиков, В. А. Кривошеев, В. Ю. Селиверстов, Ю. В. Доценко, А. А. Кондрат // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – № 1. – С. 51–54.
7. Кривошеев В. А. Влияние легирующих элементов на кинетику превращения аустенита в хромоникелевых валковых чугунах / В. А. Кривошеев, В. Т. Калинин, Л. Т. Калинина, А. Н. Филипчик // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 1984. – № 7. – С. 58–60.
8. Котельников Р. Б. Особо тугоплавкие элементы и соединения / Р. Б. Котельников, С. Н. Башлыков. – М.: Металлургия, 1989. – 410 с.
9. Гаврилин И. В. Плавление и кристаллизация металлов и сплавов / И. В. Гаврилин. – Владимир: Владимирский гос. ун-т, 2000. – 260 с.
10. Хрычиков В. Е. Повышение эксплуатационной стойкости мелющих шаров при модифицировании исходного расплава чугуна брикетированными наномодификаторами / В. Е. Хрычиков, В. Т. Калинин, Н. В. Сусло, В. А. Кривошеев, Е. В. Меняйло // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2016. – № 1. – С. 53–56.
11. Кривошеев В. А. Технологические особенности производства отливок металлургического назначения повышенной эксплуатационной стойкости с использованием рафинированного доменного чугуна и наномодификаторов / В. А. Кривошеев, В. Т. Калинин, Е. В. Меняйло, В. Е. Хрычиков // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2017. – № 3. – С. 37–41.

Поступила 13.02.2019

References

1. *Shevchenko, A. F., Malkov, A. N., Krivosheev, V. A.* (1982) Study of the patterns of injection of granulated magnesium into liquid iron through lance tuyeres with a different channel profile. *Metallurgical and mining industry*, no. 31, pp. 11–12 [in Russian].
2. *Voronova, N. A., Mogilevtsev, O. A., Shteyn, G. N.* (1972) Quality of blast furnace cast iron and ways to increase it. K.: UNII NTI [in Russian].
3. *Rudnitsky, L. S., Krivosheev, V. A., Kalinin, V. T., Filipchik, A. N.* (1990) Rational use of blast furnaces in casting rolls. *Foundry*, no. 8, pp. 3–4 [in Russian].
4. *Krivosheev, V. A., Rudnitsky, L. S., Kalinin, V. T., Petrov, G. S.* (2000) Comparative study of the quality indicators of special domain cast irons used in valceliteyny production. *Theory and Practice Metallurgist*, no. 6, pp. 24–25 [in Russian].
5. *Kalinin, V. T., Khrychikov, V. Ye., Krivosheev, V. A.* (2005) Prospects for the use of ultra- and nanodispersed modifiers to improve the quality of iron casting. *Casting processes*, no. 1, pp. 29–33 [in Russian].
6. *Kalinin, V. T., Khrychikov, V. E., Krivosheev, V. A., Seliverstov, V. Yu., Dotsenko, Yu. V., Kondrat, A. A.* (2010) Advanced technologies of complex doping and modification of cast irons for casting parts of mining and smelting equipment. *Metallurgical and mining industry*, no. 1, pp. 51–54 [in Russian].
7. *Krivosheev, V. A., Kalinin, V. T., Kalinina, L. T., Filipchik, A. N.* (1984) Influence of alloying elements on the kinetics of austenite transformation into nickel-chrome rolling iron. *Metallurgy and heat treatment of metals*, no. 7, pp. 58–60 [in Russian].
8. *Kotelnikov, R. B., Bashlykov, S. N.* (1989) Particularly refractory elements and compounds. Moscow: Metallurgy, 410p. [in Russian].
9. *Gavrilin, I. V.* (2000) Melting and crystallization of metals and alloys. Vladimir: Vladimir State. un-t, 260p. [in Russian].
10. *Khrychikov, V. E., Kalinin, V. T., Suslo, N. V., Krivosheev, V. A., Menailo, E. V.* (2016) Improving the operational durability of grinding balls when modifying the initial cast iron melt with briquetted nanomodifiers. *Metallurgical and mining industry*, no. 1, pp. 53–56 [in Russian].
11. *Krivosheev, V. A., Kalinin, V. T., Menailo, E. V., Khrychikov, V. E.* (2017) Technological features of the production of castings for metallurgical purposes with enhanced operational durability using refined blast-iron and nanomodifiers. *Metallurgical and mining industry*, no. 3, pp. 37–41 [in Russian].

Received 13.02.2019

В. А. Кривошеєв, канд. техн. наук., почесний проф., д-р філософії,
e-mail: vt.kalinin@gmail.com

В. Т. Калінін, д-р техн. наук, проф., e-mail: vt.kalinin@gmail.com

О. В. Меньяїло, канд. техн. наук, доц., e-mail: elena_nmetay@bigmir.net

В. Ю. Селіверстов, д-р техн. наук, проф., e-mail: seliverstowy@gmail.com

Ю. В. Доценко, канд. техн. наук, доц., e-mail: yvd160574@gmail.com

І. О Мусієнко, аспірант, e-mail: murka@ua.fm

Е. А. Фролов, магістр, e-mail: vt.kalinin@gmail.com

Національна металургійна академія України, Дніпро

КОМПЛЕКСНА ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ ЯКІСНИХ ВИЛИВКІВ МАШИНОБУДІВНОГО І МЕТАЛУРГІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Для встановлення можливості ефективного впливу на якість виливків на всіх етапах їх виробництва були досліджені і пройшли дослідно-промислово перевірку процеси рафінування доменних чавунів, легування і наномодифікування ливарних сплавів. Дослідження проводили в лабораторних, дослідно-промислових і промислових умовах при виробництві відповідального литва в низці установ і підприємств: НМетАУ, ІЧМ НАНУ, ПАТ «МК «Азовсталь», ПАТ «Дніпропетровський завод прокатних валків», ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»,

Мелітопольському моторному і Харківському машинобудівному заводах. Об'єктом досліджень було обрано найбільш відповідальні виливки, що широко застосовуються в народному господарстві: колінчаті вали, циліндрове литво, автомобільні виливки з високоміцного і сірого чавунів, прокатні відбілені і відбілені магнієві валки, чавунні сталерозливні виливниці, кулі, що мелють, та ін. Встановлено оптимальні параметри технології виробництва виливків: застосування в шихті низькосірчистого чавуну марки ЛР7, легування ливарних розплавів 0,2 % W або Nb, наномодифікування карбонітридом титану Ti (CN) для виливків з білого чавуну і карбідом кремнію (SiC) – для виливків з сірого чавуну, застосування паст і припилив, що містять наноматеріали, для покриття форми в місцях виникнення «гарячих тріщин» для зміцнення поверхневого шару у процесі кристалізації виливка. Дослідно-промислова перевірка комплексної технології показала, що додаткове легування валкового чавуну позитивно впливає на перекристалізацію при 200–300 °С, зменшення швидкості перетворення, що зменшує ймовірність виникнення «волосоподібних тріщин». При дотриманні рекомендованих параметрів комплексної технології експлуатаційна стійкість сталерозливних виливниць збільшилася на 30 %, куль, що мелють – на 20 %, брак валків знизився на 5 %, а брак колінчастих валів і поршнів двигунів – на 20 %.

Ключові слова: якість, чавун, рафінування, модифікування, прокатні валки, кулі, що мелють, заводи, нанодисперсні матеріали, плавка, індукційна піч, ефективність.

V. A. Krivosheev, Candidate of Engineering Sciences, Honorary Professor, Ph.D.,
e-mail: vt.kalinin@gmail.com

V. T. Kalinin, Doctor of Engineering Sciences, Professor,
e-mail: vt.kalinin@gmail.com

E. V. Menyaylo, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
e-mail: elena_nmetay@bigmir.net

V. Yu. Seliverstov, Doctor of Engineering Sciences, Professor,
e-mail: seliverstovvy@gmail.com

Y. V. Dotsenko, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
e-mail: yvd160574@gmail.com

I. O. Musiienko, Postgraduate Student, e-mail: murka@ua.fm

E. A. Frolov, Master, e-mail: vt.kalinin@gmail.com

National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro

COMPLEX TECHNOLOGY OF OBTAINING QUALITATIVE CASTINGS OF MACHINE-BUILDING AND METALLURGICAL PURPOSE

To establish the possibility of an effective influence on the quality of castings at all stages of their production, the processes of blast furnace casting, alloying and nano-modification of casting melts were examined and tested. Investigation of a number of institutions and enterprises: NMetAU, IFM NASU, PJSC MK Azovstal, PJSC Dnipropetrovsk Rolling Roll Plant, PJSC ArcelorMittal Kryvyi Rig, Melitopol Motor and Kharkov machine-building plants. The most responsible castings were widely used in the national economy: crankshafts, cylinder castings, automotive castings of high-strength and gray cast iron, rolled chilled and chilled-magnesium rolls, cast-iron casting molds, grinding balls etc. The optimal parameters of the casting production technology were established: use in the mixture of low-sulfur iron brand ЛР7, alloying of casting melts with 0.2 % W or Nb, nano-modification with titanium carbonitride Ti(CN) for white iron castings and silicon carbide (SiC) – for gray iron castings, applying paste and highly dispersed material, containing nanomaterials, to cover the form in the places of occurrence of «hot cracks» for hardening the surface layer of the crystallized casting. An experimental industrial verification of complex technologies shows that during recrystallization at 200–300 °С, the rate of transformation decreases, which reduces the likelihood of «hair-like cracks». At observance of the recommended parameters of the integrated technology, operational durability is increased by 30 %, small balls – by 20 %, roll rejects decreased by 5 %, crankshaft and piston engines reject – by 20 %.

Keywords: quality, cast iron, refining, modification, mill rolls, grinding balls, plants, nanodispersed materials, smelting, induction furnace, efficiency.