

ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА СТАЛЬНЫЕ ДЕТАЛИ

М.А. Гурьев, Д.С. Фильчаков, И.А. Гармаева, С.Г. Иванов,
А.М. Гурьев, Г.А. Околович

В статье рассматриваются структура поверхностных слоев и свойства стальных деталей, полученных поверхностным легированием при литье. Образование упрочненного слоя происходит в результате взаимодействия горячего материала отливки с легирующим облицовочным слоем, нанесенным на поверхность литейной формы. Описаны структура и фазовый состав диффузионных слоев, полученных в процессе изготовления отливки одновременным насыщением сталей бором совместно с хромом и бором совместно с титаном.

Ключевые слова: поверхностное легирование, структура, фазовый состав, сталь.

В процессе эксплуатации деталей машин и инструмента наиболее интенсивным воздействиям подвергаются их поверхностные слои, поэтому нередко структура и свойства именно поверхностных слоев оказывают определяющее влияние на работоспособность изделий в целом. Существует множество способов упрочнения поверхности: лазерное упрочнение, наплавка, накатка, применение различных технологий нанесения покрытий. Однако применение данных технологий требует использования сложного, часто уникального, дорогостоящего и энергоёмкого оборудования, дорогостоящих упрочняющих сплавов, высококвалифицированного персонала. Поэтому особый интерес представляет разработка новых высокоэффективных методов упрочнения деталей машин и инструмента за счет диффузионного насыщения поверхности металлов и сплавов различными химическими элементами, метод химико-термической обработки (ХТО). В отдельных случаях, когда требуется упрочнение не всей поверхности, а только отдельных участков деталей, метод упрочнения из насыщающих обмазок является практически единственным возможным. В тоже время широко используемая традиционная химико-термическая обработка хотя и повышает износостойкость инструмента, но кроме выше перечисленных достоинств, требует большого расхода электроэнергии в связи с длительностью высокотемпературных диффузионных процессов. Всё это приводит к повышению стоимости инструмента.

Исследования воздействия насыщающих сред в виде обмазок при ХТО показали, что использование соединений бора с хромом в качестве добавки к карбиду бора, зна-

чительно увеличивает срок службы инструмента. Борирование, хромирование, титанирование и совмещенные процессы (борохромирование и боротитанирование) эффективнее, чем традиционно используемые цементация, азотирование и др. практически по всем параметрам свойств поверхностных слоев материала. Боридные слои на сталях отличаются высокой износостойкостью, хромирование придает жаростойкость, а комбинированные покрытия совмещают в себе исходные свойства однокомпонентных. Работоспособность борохромированных слоев почти в два раза выше, чем борированных. Однако, известные методы получения таких упрочняющих покрытий несовершенны и достаточно трудоемки [1, 2].

Указанных недостатков лишен способ поверхностного упрочнения, когда упрочнение поверхности и процесс изготовления изделия совмещены в единый процесс. Такая комбинация возможно только при изготовлении деталей машин и инструмента методами литья. В этом случае образование упрочненного слоя происходит в результате взаимодействия горячего материала отливки с легирующим облицовочным слоем, нанесенным на поверхность литейной формы [3].

Изготовление инструмента различными методами литья приводит к сокращению расхода дорогостоящей инструментальной стали, снижению расходов на изготовление инструмента и повышению его стойкости. При использовании литейных технологий появляется возможность в широких пределах использовать дополнительное легирование, микролегирование и модифицирование стали для повышения работоспособности инструмента исходя из конкретных условий его экс-

платации. Наиболее перспективным в этом направлении является метод литья по газифицируемым моделям (ЛГМ), позволяющий получать высокоточные отливки с хорошей чистотой поверхности.

Метод литья по газифицируемым моделям основан на выгорании (деструкции или газификации) одноразовой не извлекаемой модели в форме при заполнении ее жидким расплавом [3, 5, 9].

Интересен способ, описанный в работе [4], где рассматривается возможность легирования требуемых участков заготовок, полученных методом ЛГМ.

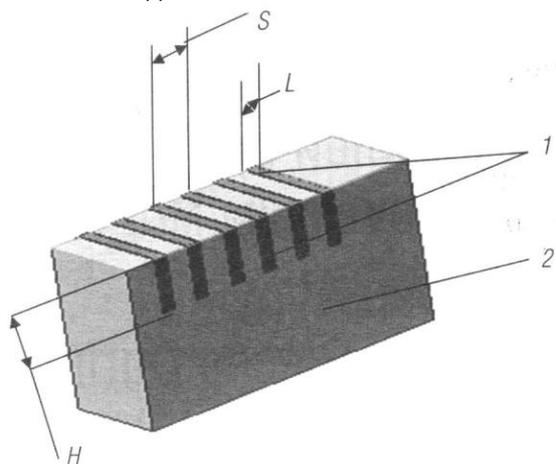


Рисунок 1 – Схема установки металлических пластин 1 в модель 2 из пенополистирола

Способ осуществляется размещением вставок в виде тонких (толщиной до 1 мм) металлических пластин или игл диаметром до 2 мм, заданного состава, для увеличения эксплуатационных характеристик отливок, в модель из полистирола (рисунок 1). При заливке моделей расплавом формируется легированный слой заданной глубины. Однако предлагаемый способ помимо несомненных преимуществ имеет и ряд недостатков, основным из которых является сложность изготовления модели и необходимость изготовления пластин или игл заданных размеров и химического состава. Все это значительно усложняет технологический процесс получения готовых отливок и приводит к его удорожанию, что делает его малопривлекательным для серийного производства.

Большой практический интерес представляет получение в процессе литья диффузионных слоев на основе боридов железа, обладающих, как известно, высокой твердостью и износостойкостью [6 – 8]. Повышение работоспособности деталей машин и меха-

низмов, инструмента и технической оснастки, их надежности и долговечности обеспечивается в определенной мере оптимизацией технологии нанесения борсодержащих покрытий, и химическим составом насыщающей смеси.

Целью работы являлось повышение износостойкости деталей машин и инструмента за счет комплексного диффузионного насыщения поверхностного слоя деталей из железоуглеродистых сплавов в процессе литья по газифицируемым моделям на основе оптимизации состава насыщающих смесей и установления закономерностей структурообразования.

В работе применялся способ ЛГМ в формах из песка с применением вакуума, применяемого в единичном, серийном и массовом производстве отливок из черных и цветных сплавов массой по чугуну до 2000кг.

В качестве исследуемых материалов использовали стали различного назначения (25Л, 30Л, 35Л, 45Л, 25ГЛ, 110Г13Л), а также чугун СЧ15 и СЧ20.

Литые образцы стали для исследования структуры и свойств упрочненного слоя получали двумя способами:

1 – литьем по газифицируемым моделям (размер образцов для стали $\varnothing 40$ мм, длина 8–30 мм, для чугуна – $90 \times 45 \times 20$ мм);

2 – в форму из стержневой смеси (холоднотвердеющая смесь (ХТС), состоящая из кварцевого песка марки $4K_2O_2O_2$, кислоты ортофосфорной и смолы БС–40). Размер образцов: $\varnothing 25$ мм, длина 40 мм.

Насыщающую обмазку наносили на поверхность модели. На схеме (рисунок 2) показан способ нанесения упрочняющей обмазки. Обмазка (позиция 2 на рисунке 2) наносится на упрочняемую поверхность в виде сметанообразной пасты толщиной от 0,2 до 2 мм.

Из рисунка видно, что в случае литья в песчано-глинистые формы необходимо учитывать влияние толщины наносимой обмазки на размеры получаемой отливки. Полость 3 уменьшается на величину равную толщине обмазки, а увеличение толщины слоя обмазки ведет к уменьшению размеров отливки. Поэтому в случае литья в форму необходимо корректировать размеры формы в местах нанесения упрочняемой отливки. В случае ЛГМ насыщающая обмазка наносится на поверхность модели, что не влияет на размерную точность получаемой отливки и никакой корректировки размеров модели не требуется (рисунок 2 б).

ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА СТАЛЬНЫЕ ДЕТАЛИ

Модель из пенополистирола с литниковой системой с нанесенным на ее поверхность огнеупорным покрытием устанавливается в контейнер и засыпается сухим песком, который затем уплотняется вибрацией. Верх контейнера закрывается полиэтиленовой пленкой и в форме создается вакуум порядка 0,045-0,05 МПа, после чего форма заливается металлом.

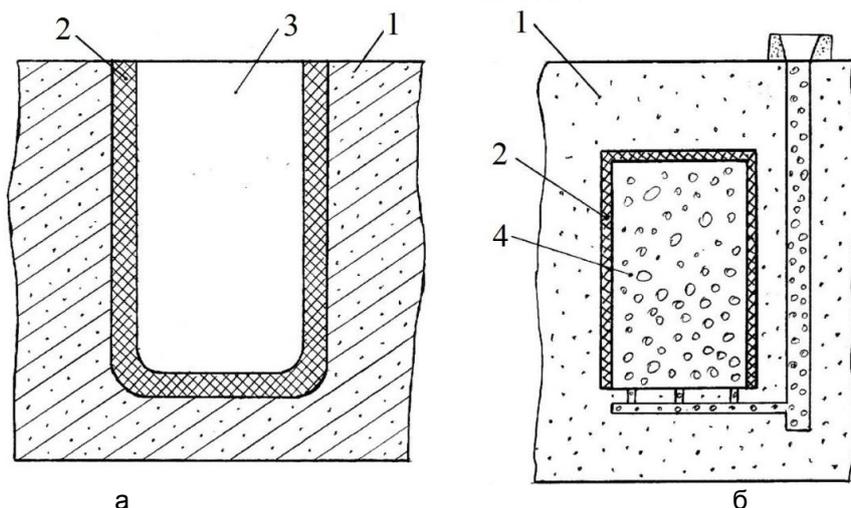


Рисунок 2 – Нанесение обмазки: а – литье в песчано-глинистые формы, б – литье по газифицируемым моделям (1 – литейная форма, 2 – насыщающая обмазка, 3 – полость формы, 4 – модель из пенополистирола)

Упрочнение проводили из обмазки, нанесенной на поверхность газифицируемой модели и на поверхность полости формы из ХТС.

После проведения процессов диффузионного насыщения изучали структуру, фазовый и химический состав боридных слоев. Металлографическое исследование проводили на оптическом микроскопе Neophot-21 и методами растровой электронной микроскопии (РЭМ) на электронном растровом микроскопе JSM-6510 LV JEOL с системой микроанализа INCA Energy 350, Oxford Instruments, просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) на электронном микроскопе ЭМ-125K и атомно-силовой микроскопии (АСМ) на микроскопе «FEMTOSKAN» в режиме сканирования рельефа поверхности. Для просмотра в оптическом микроскопе шлифы готовились методами химического и электрохимического травления.

Механические свойства определяли по стандартным методикам. Износостойкость определяли в лабораторных условиях на машине Амслера по ГОСТ 47421-73. ДюрOMETрические исследования производили на твердомере Роквелла TR 5005 по шкале С согласно ГОСТ 9013-82 и на приборе ПМТ-

Плавку стали проводили в индукционной тигельной электропечи LHW-0,5/ISM мощностью $W=500$ кВт, а заливку осуществляли ковшем чайникового типа емкостью $V=250$ кг. Температуру расплава измеряли при помощи инфракрасного термометра Кельвин 1800П. Химический анализ исследуемых сплавов определяли на спектрометрах «Аргон-5» и «МСА II».

ЗМ по ГОСТ 9450-76.

На сталях различного химического состава были получены упрочняющие диффузионные слои (рисунок 3), распределение значений микротвердости в слоях после упрочнения бором совместно с другими элементами (Cr, Ni, Ti и W) при литье представлено на рисунке 4.

На рисунке 4 приведены средние значения по результатам 10 измерений толщины диффузионного слоя. Видно, что состав стали не оказывает значительного влияния на толщину получаемого упрочненного слоя, сформировавшегося в процессе поверхностного легирования стали при литье. На всех сталях получены слои толщиной от 0,9 до 1,2 мм при толщине стенки отливки 10 мм и времени выдержки в форме 5 минут. Основное влияние на образование диффузионного слоя оказывает длительность процесса кристаллизации и охлаждения в аустенитном состоянии, что определяется толщиной стенки отливки и временем выдержки отливки при температуре выше 800°C . Микротвердость изменяется в значительных пределах от 7500 МПа при борохромировании и до 14000 МПа при боротитанировании. Данные на рисунке 3 приведены для образцов толщиной 10 мм и

времени выдержки в форме 5 минут.

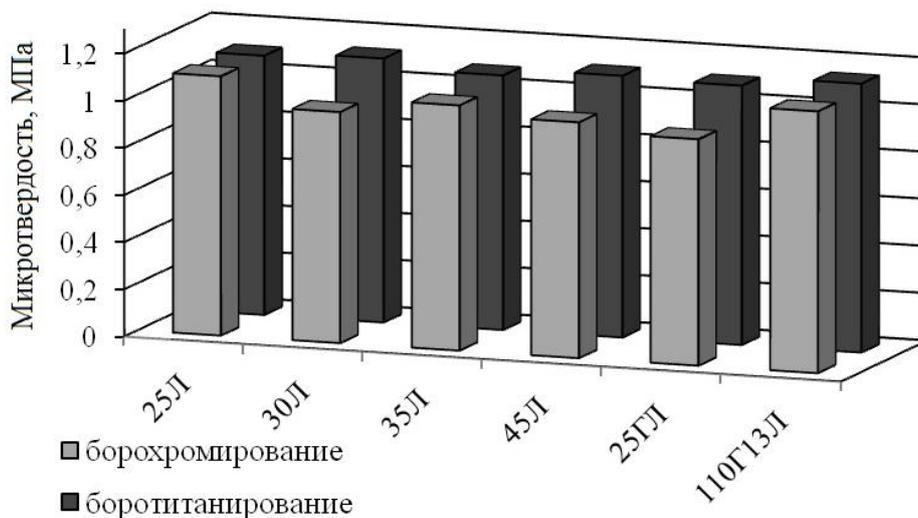


Рисунок 3 – Толщина упрочненного слоя, полученного на сталях различного состава после борохромирования и боротитанирования.

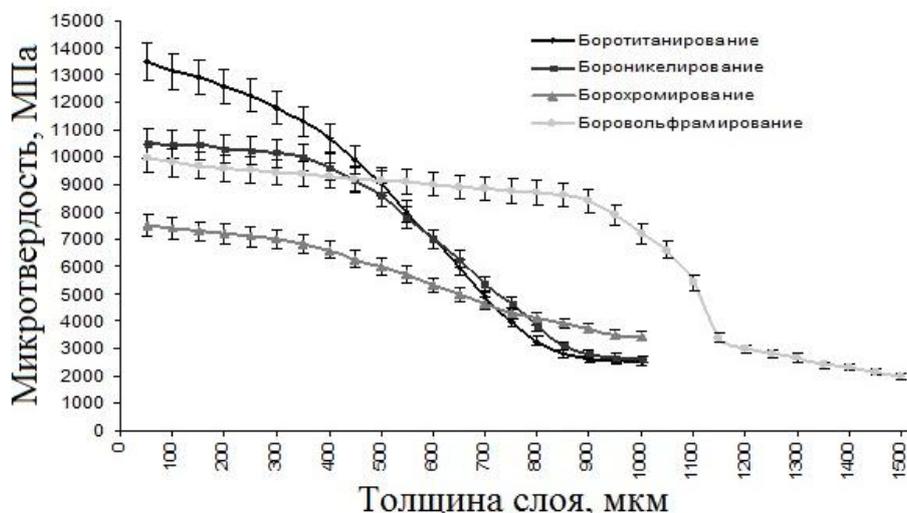


Рисунок 4 – Распределение значений микротвердости в упрочненном слое стали 45Л после упрочнения бором совместно с другими элементами (Cr, Ni, Ti и W)

Микроструктура полученного диффузионного борохромированного слоя представлена на рисунке 5. Сформировавшиеся взамен игольчатых диффузионные слои толщиной более 1 мм имеют структуру боридной эвтектики с крупными включениями перлита (до 30 мкм), где эвтектика представляет собой мелкодисперсную механическую смесь боридов и перлита.

Микроструктура полученного диффузионного боротитанированного слоя приведена на рисунке 6. Диффузионный слой имеет структуру боридной эвтектики с крупными включениями боридов (до 70 мкм) и твердо-

стью до 14000 МПа. Эвтектика представляет собой мелкодисперсную механическую смесь боридов и перлита.

Таким образом установлена возможность получения упрочненной поверхности на конструкционном феррито-перлитном и перлитном чугунах, среднеуглеродистых сталях и износостойкой высокомарганцевистой аустенитной стали методом литья в отрывную форму из стержневой смеси и литьем по газифицируемым моделям из пенополистирола. Показано, что диффузионный боридный слой на стали 30Л, полученный при литье имеет на порядок большую толщину (до 5 мм) и не-

ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА СТАЛЬНЫЕ ДЕТАЛИ

сколько меньшую микротвердость (11000–16000 МПа) по сравнению с диффузионными слоями, полученными методами химико-термической обработки (до 0,25 мм с микро-

твердостью 16500–25000 МПа).

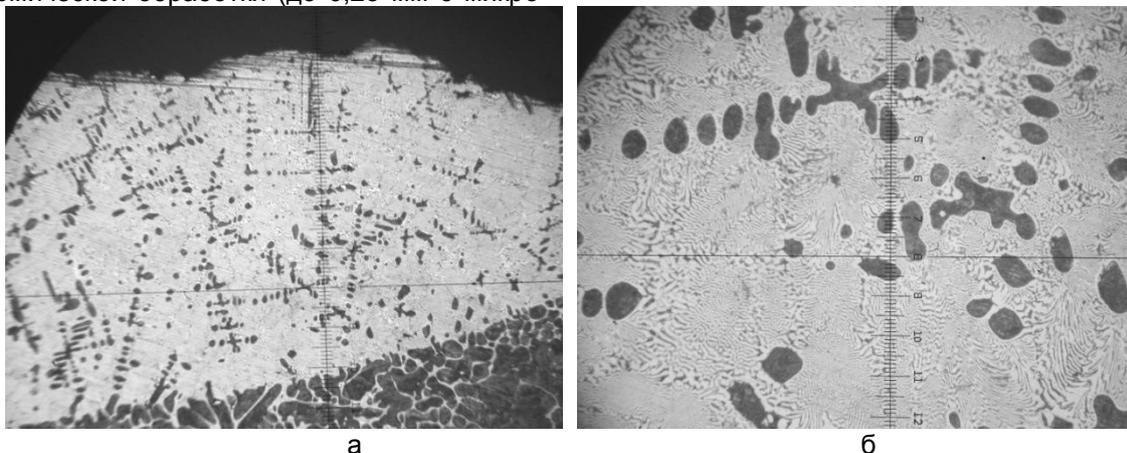


Рисунок 5 – Микроструктура диффузионного борхромированного слоя на стали 45Л, полученного при литье, а – цена деления шкалы 10 мкм, б – цена деления шкалы 2,5 мкм

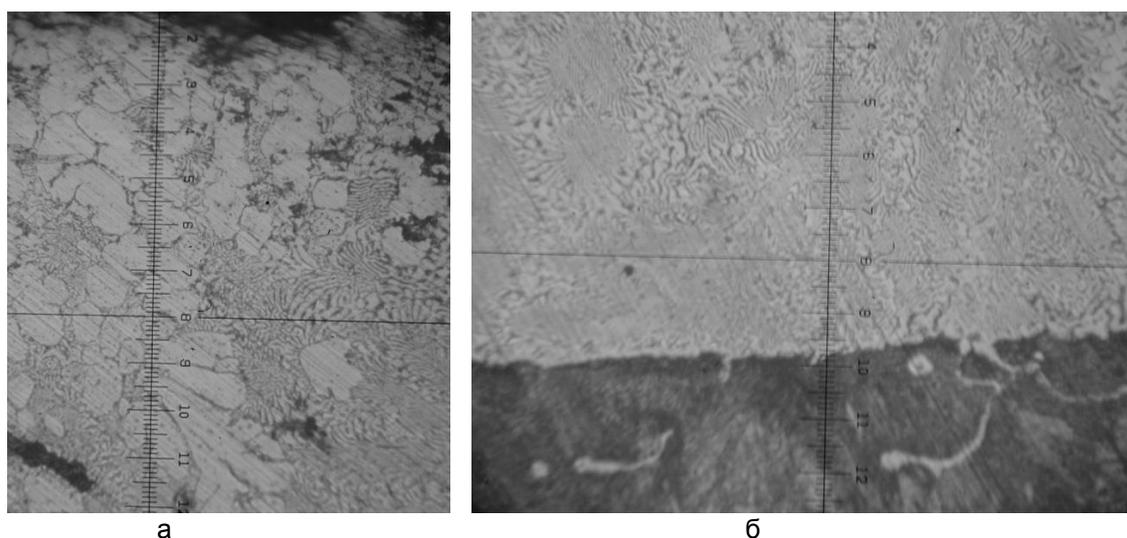


Рисунок 6 – Микроструктура диффузионного боротитанированного слоя на стали 45Л, полученного при литье, а – цена деления шкалы 10 мкм, б – цена деления шкалы 2,5 мкм

В работе также исследованы и описаны структуры и фазовый состав диффузионных слоев, полученных в процессе изготовления отливки одновременным насыщением сталей 25Л, 30Л, 35Л, 45Л, 25ГЛ и 110Г13Л бором совместно с хромом и бором совместно с титаном. Установлены условия проведения процесса поверхностного легирования, в которых возникает возможность образования боридной эвтектики, боридов, карбидов, карборидов, твердых растворов на основе α -железа.

Определено [10] оптимальное сочетание компонентов насыщающей среды для по-

верхностного упрочнения сталей при получении деталей машин и инструмента методом литья (борид хрома (CrB_2), карбид бора (B_4C), графит, бентонит, фтористый натрий (NaF)).

Установлены аналитические зависимости, связывающие компоненты состава насыщающей смеси (борид хрома (CrB_2), карбид бора (B_4C), графит, бентонит, фтористый натрий (NaF)) с эксплуатационными и физико-механическими свойствами сталей (микротвердость, износостойкость, толщина диффузионного слоя) после упрочнения в процессе получения отливки методом литья по газифицируемым моделям.

Исследование насыщающей способности представленных насыщающих сред показало, что соединения бора с хромом (диборид хрома, феррохром), используемые как компоненты насыщающей обмазки, эффективны и как поставщики бора, так и как поставщики хрома. Разработан новый состав насыщающей среды для поверхностного упрочнения литых сталей одновременным насыщением бором и титаном, содержащий: B_4C – 40–80 масс.%, TiB_2 – 10–30 масс.%, графит – 10–20 масс.%, NH_4F – 5–10 масс.%, бентонит – 2–5 масс.%. Для разработанного состава рекомендованы оптимальные температурно-временные режимы обработки [11].

Применение разработанной технологии упрочнения позволяет улучшить эксплуатационные свойства, в частности абразивная износостойкость полученных на стали 35Л диффузионных слоев возрастает в 15,4 при борохромировании и в 25,6 раз после боротитанирования. Испытания фильера для пресования древесных отходов в брикеты из стали 45Л, упрочненных с помощью разработанной технологии, показали, что их стойкость повышается более чем в 4,5 раза по сравнению с ранее применяемыми из стали ХВГ упрочненные карбозотированием, а использование разработанной технологии упрочнения позволяет уменьшить затраты на изготовление данной детали в 1,5 раза [6–12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ворошнин, Л. Г. Борирование промышленных сталей и чугунов [Текст] / Л. Г. Ворошнин. - Минск: Беларусь, 1981. – 205 с.
2. Гурьев, М. А. Комплексное диффузионное упрочнение тяжело нагруженных деталей машин и инструмента [Текст] / М. А. Гурьев, С. Г. Иванов, Е.А. Кошелева, А. Г. Иванов, А. Д. Грешилов, А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, Г. А.Околович // Ползуновский вестник. – 2010. – №1. – С.114–121.
3. Шуляк, В. С. Литые по газифицируемым моделям. – СПб.: НПО «Профессионал», 2007. – 408с.
4. Дементьев, В.Б. О глубинном легировании стальных деталей при литье по газифицируемым моделям [Текст] / В. Б. Дементьев, Овчаренко П. Г., Лещев А. Ю. // Литейное производство – №8.– 2011, С. 29–31.
5. Гурьев М.А., Упрочнение литых деталей поверхностным легированием [Текст] / М. А. Гурьев, О. А Власова. А. М.Гурьев // Международная научно–техническая конференция «Современные металлические материалы и технологии (СММТ, 2009)» / СПбГПУ. – Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та. 2009. – С. 163–166.

6. Guriev, M. A. Surface alloying of steel [Текст] / М. А. Guriev , S. G. Ivanov, A. M. Guriev / 17 international conference production and management in the steel industry, Poland, Zakopane, 25–27.06.2009. P.12–14.

7. Гурьев, М.А. Поверхностное легирование стали бором [Текст] / М. А.Гурьев, С. Г. Иванов, А. М. Гурьев // Международный симпозиум «Перспективные материалы и технологии» / Витебск, Беларусь 25–29 мая 2009 г.: издательский отдел ЦИТ ВГТУ УО "Витебский государственный технологический университет". – С. 195.

8. Гурьев, М. А. Упрочнение литых деталей поверхностным легированием на основе бора [Текст] / М. А. Гурьев // Ползуновский альманах–№2.– 2009.–С.46–47.

9. Гурьев, М.А. Поверхностное упрочнение стальных деталей при литье по газифицируемым моделям [Текст] / М. А. Гурьев, Г. А. Околович // Ползуновский альманах – №1.– 2010.– С.102–106.

10. Гурьев, М.А. Оптимизация состава многокомпонентной насыщающей смеси на основе бора и хрома для поверхностного легирования сталей [Текст] / М. А. Гурьев, Е. А. Кошелева, С.Г Иванов // Ползуновский альманах – №1.– 2010.– С.131–135.

11. Гурьев, М. А. Упрочнение литых сталей поверхностным легированием из борсодержащих обмазок [Текст] / М. А. Гурьев, А. Г. Иванов, С. Г. Иванов, А. М. Гурьев // Успехи современного естествознания – №3.– 2010.– С.123–124.

12. Гурьев, М. А. Анализ влияния природы легирующих элементов в высоколегированных сталях на процессы комплексного многокомпонентного диффузионного борирования [Текст] / М. А. Гурьев, А. М. Гурьев А. Г. Иванов, С. Г. Иванов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований – №5.– 2010. – С. 155–157

Гурьев М.А., к.т.н., главный металлург
ООО «ЛитПром», г. Барнаул,
e-mail: gurievma@mail.ru

Фильчаков Д.С., ст. преподаватель,
ФБГОУ ВПО «Восточно-Сибирский государственный университет технологии и управления», г. Улан-Удэ

Гармаева И.А., к.т.н., докторант
Иванов С.Г., к.т.н., инженер-электроник 1 категории кафедры «Общая физика», e-mail: serg225582@mail.ru,

Гурьев А.М., д.т.н., профессор, зав. кафедрой НГиГ, e-mail: gurievam@mail.ru,

Околович Г.А., д.т.н., профессор, зав. кафедрой МТнО,
ФБГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».