

ИЗГОТОВЛЕНИЕ СТАЛЬНЫХ И ЧУГУННЫХ ДЕТАЛЕЙ С УПРОЧНЕННЫМ ПОВЕРХНОСТНЫМ СЛОЕМ ЛИТЬЕМ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

**М. А. Гурьев, О. А. Власова, А. М. Гурьев,
Д. С. Фильчаков, Н. Ю. Малькова**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

В процессе эксплуатации деталей машин и инструмента наиболее интенсивным внешним 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 единственно возможным. В тоже время широко используемая традиционная химико-термическая обработка хотя и повышает износостойкость инструмента, но кроме вышеперечисленных 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.

Указанных недостатков лишен способ поверхностного упрочнения, когда упрочнение поверхности и процесс изготовления изделия совмещены в единый процесс. Такая комбинация возможна 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.

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 эксплуатации. Наиболее перспективным в этом

ИЗГОТОВЛЕНИЕ СТАЛЬНЫХ И ЧУГУННЫХ ДЕТАЛЕЙ С УПРОЧНЕННЫМ ПОВЕРХНОСТНЫМ СЛОЕМ ЛИТЬЕМ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

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

Среди совмещенных высокотемпературных технологических процессов поверхностного упрочнения значительное внимание исследователей привлекает легирование поверхностного слоя отливок. В этом случае образование упрочненного слоя происходит в результате взаимодействия горячего материала отливки с легирующим облицовочным слоем, нанесенным на поверхность литейной формы.

Известные в настоящее время методы поверхностного легирования отливок можно подразделить на три группы в зависимости от того, как происходит упрочнение: 1) в результате сваривания легирующего материала с поверхностью отливки; 2) пропитки жидким металлическим сплавом облицовочного легирующего покрытия; 3) диффузии легирующих элементов из облицовочного слоя формы в отливку. В основе каждого из них лежит свой механизм упрочнения поверхности слоя.

В первом случае легирующая паста расплавляется за счет тепла жидкого металла и сваривается с кристаллизующейся поверхностью отливки, что позволяет получать сравнительно толстые слои с высоким содержанием легирующих элементов. Однако при этом возникают трудности в легировании тугоплавкими элементами. Недостатком метода является также и то, что вследствие растворения легирующей пасты не представляется возможным получить достаточно точные изделия с хорошим качеством поверхности.

Применение второго метода позволяет получить упрочненные слои значительной толщины. Для образования бездефектного слоя необходимо, чтобы жидкий металл пропитал легирующую пасту на всю толщину ее слоя. При этом значительную роль играет соотношение между толщиной слоя пасты, размерами отливки и температурой заливаемого сплава. Получение упрочненного слоя значительной протяженности возможно лишь, если температура в зоне касания выше температуры кристаллизации металла, а длительность фильтрации расплава в порах пасты больше продолжительности нагрева всего

материала до температуры смачивания и меньше времени охлаждения сплава до кристаллизации. Недостатком метода являются сложность определения оптимальной температуры заливки и поддержание ее на данном уровне в каждом конкретном случае. Кроме того, чрезвычайно затруднительно получение хорошего качества поверхности отливок.

В случае образования упрочненного слоя за счет диффузии легирующих элементов из облицовочного покрытия формы без его расплавления насыщение происходит как в процессе кристаллизации, так и в процессе последующего охлаждения затвердевших отливок. Такой механизм образования легированного слоя позволяет получать отливки со сравнительно хорошим качеством поверхности. В отличие от предыдущих методов диффузионные слои образуются даже при минимально возможных температурах заливки жидкого сплава. Именно этому методу поверхностного легирования в данной работе уделено первоочередное внимание.

Большой практический интерес представляет получение в процессе литья диффузионных слоев на основе боридов железа, обладающих, как известно, высокой твердостью и износостойкостью. Повышение работоспособности деталей машин и механизмов, 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 за счет комплексного диффузионного насыщения поверхностного слоя деталей бором и титаном в процессе литья на основе оптимизации состава насыщающих смесей и установления закономерностей структурообразования.

Литые образцы стали для исследования структуры и свойств упрочненного слоя получали литьем по газифицируемым моделям (размер образцов $\varnothing 40$ мм, длина 8 – 30 мм).

Плавку стали проводили в индукционной тигельной электропечи LHGW-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». Упрочнение проводили из обмазки, нанесенной на поверхность газифицируемой модели.

После проведения процессов диффузионного насыщения изучали структуру, фазовый и химический состав упрочненных бором и титаном слоев. Металлографическое исследование проводили на оптических микроскопах: МИМ-7, МИМ-10, 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-125К 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. Рентгеноструктурный фазовый анализ проводили с помощью дифрактометра ДРОН.

Механические свойства определяли по стандартным методикам. Износостойкость определяли в лабораторных условиях на машине Амслера по ГОСТ 47421-73. ДюрOMETрические исследования производили на твердомере Роквелла ТР 5005 по шкале С согласно ГОСТ 9013-82 и на приборе ПМТ-3М по ГОСТ 9450-76.

При изучении влияния состава многокомпонентных насыщающих сред на толщину формирующихся в ходе литья по газифицируемым моделям покрытий на стали 35Л был применен метод математического планирования экспериментов (метод симплексных решеток) для построения математической модели и оптимизации состава насыщающей смеси.

Для исследования применяли насыщающие обмазки, включающие борид титана, карбид бора, и аморфный углерод, в качестве активатора использовали фторид натрия. Температура заливки – 1550 °С. Замеры толщины диффузионного слоя проводились на поперечных микрошлифах. Изучали микроструктуру и свойства упрочненного слоя и сердцевины металла. Микроструктура поверхностного слоя, полученного на данной стали представлена на рисунке 1 и 2.

Установлено, что диффузионный слой, полученный при литье, имеет на порядок большую толщину по сравнению с диффузионными слоями, полученными методами химико-термической обработки (ХТО). Строение диффузионного слоя при этом претерпевает значительные изменения: игольчатое строение, присущее боридным диффузионным слоям, полученным методами ХТО практически исчезает, образуется литая боридная эвтектика. Микротвердость диффузионных слоев, получаемых в процессе литья несколько ниже, чем у слоев, получаемых методами ХТО (11000 – 16000 МПа у литых и 16500 – 21000 МПа при ХТО), однако это компенсируется значительно возросшей их пластичностью, что дает возможность использовать литые диффузионно-упрочненные детали при повышенных ударных нагрузках без опасности скалывания слоя.

Износостойкость при абразивном износе о жестко закрепленные частицы диффузионных слоев, полученных поверхностным микролегированием в процессе литья по газифицируемым моделям представлена на рисунке 3.

На примере конструкционной стали с 0,3 % углерода показано влияние способа получения упрочняющего слоя на его микротвердость и износостойкость (рисунки 3, 4).

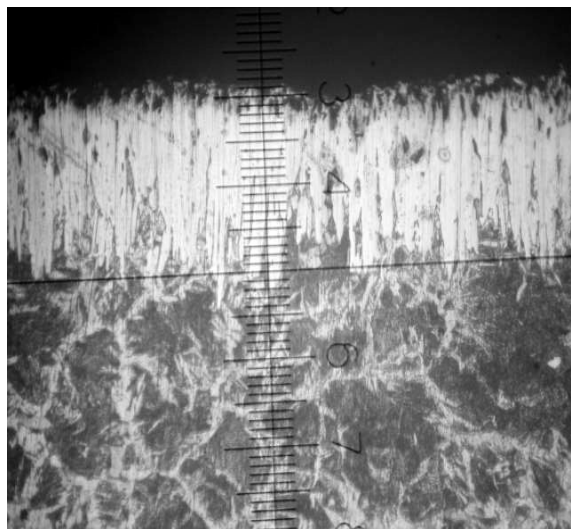


Рисунок 1 – Структура борированной Стали 30, цена деления шкалы 10 мкм

ИЗГОТОВЛЕНИЕ СТАЛЬНЫХ И ЧУГУННЫХ ДЕТАЛЕЙ С УПРОЧНЕННЫМ
ПОВЕРХНОСТНЫМ СЛОЕМ ЛИТЬЕМ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

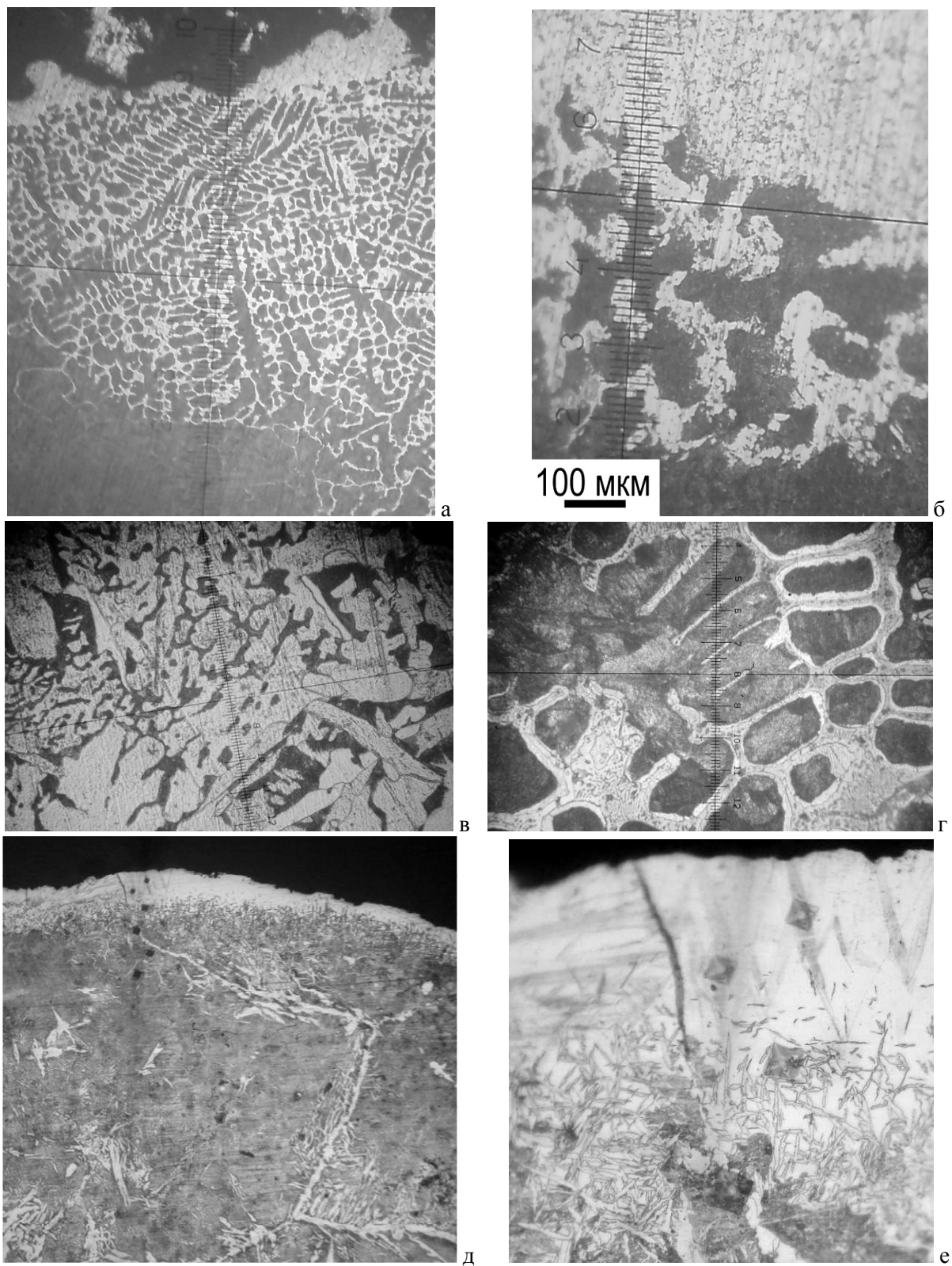


Рисунок 2 – Микроструктура диффузионного слоя на стали 30Л, полученного при литье по газифицируемым моделям (а, б, в, г) и в жидкостекольную песчано-глинистую форму с предварительно нанесенной обмазкой (д, е), цена деления шкалы 10 мкм

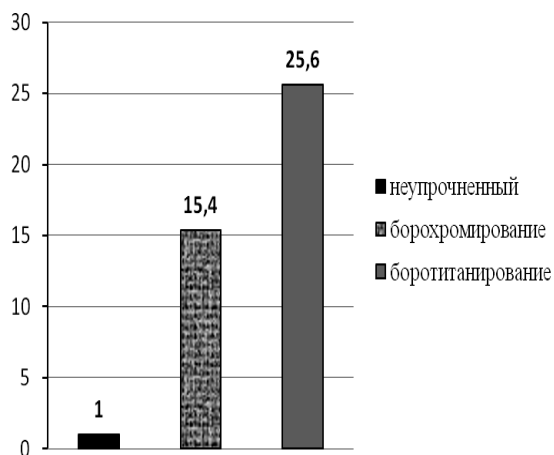


Рисунок 3 – Относительная износостойкость при абразивном износе, полученных диффузионных слоев на стали 30Л при литье по газифицируемым моделям

Из рисунков видно, что диффузионный боридный слой на стали 30Л, полученный поверхностным легированием имеет на порядок большую толщину (2,5 мм) и меньшую микротвердость (до 16000 МПа) по сравнению с диффузионными слоями, полученными методами химико-термической обработки (0,25 мм с микротвердостью до 30000 МПа, см. рисунок 1). Абразивная износостойкость диффузионных слоев, полученных на литой стали возрастает в 25 раз, тогда как износостойкость борированных в процессе, совмещенном с нагревом под закалку возрастает в 7 раз по сравнению с эталоном (сталь У8 с твердостью 51–52 HRC). Диффузионный слой на стали 30 имеет небольшую толщину и высокую хрупкость, поэтому при высоких нагрузках (выше 0,40 МПа) он быстрее разрушается, а при длительных испытаниях истирается значительно раньше, чем слой на стали 30Л.

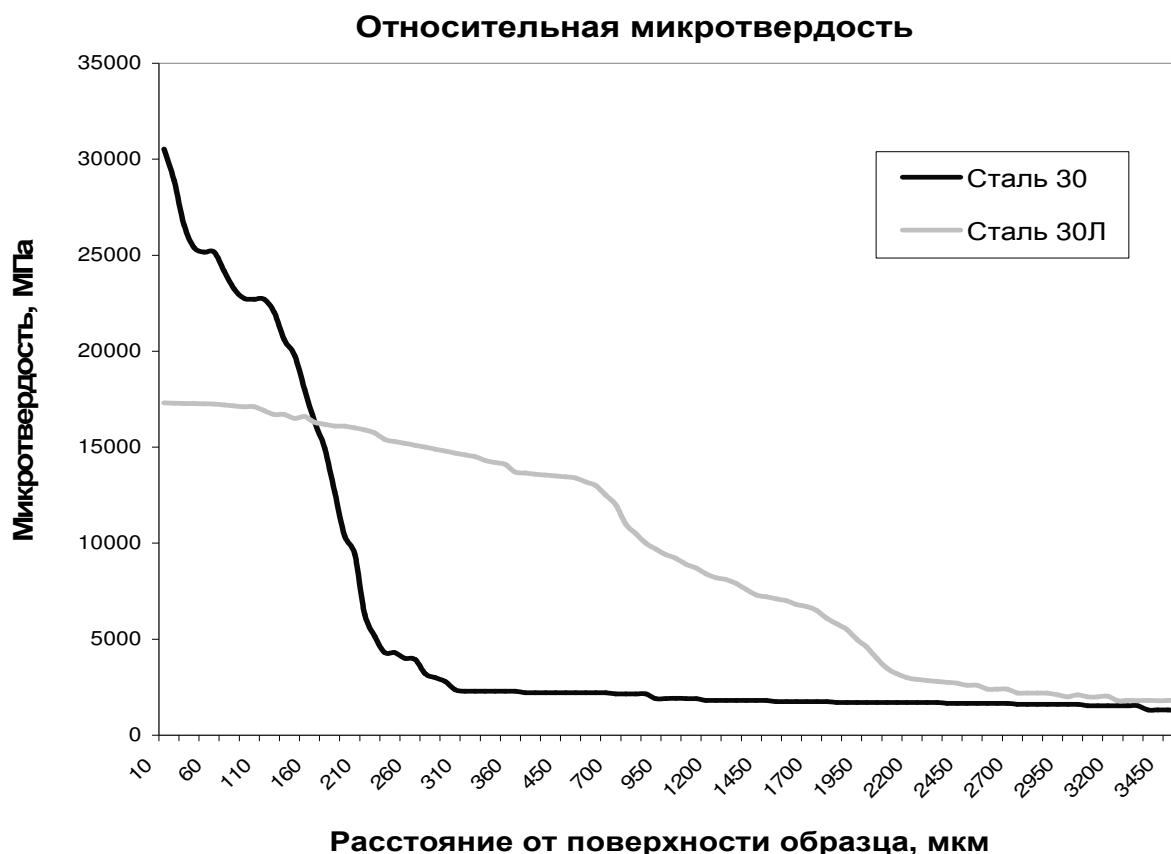


Рисунок 4 – Распределение значений микротвердости в углеродистой стали: сталь 30 – твердофазное борирование из обмазки, сталь 30Л – насыщение поверхности бором при ЛГМ

ИЗГОТОВЛЕНИЕ СТАЛЬНЫХ И ЧУГУННЫХ ДЕТАЛЕЙ С УПРОЧНЕННЫМ ПОВЕРХНОСТНЫМ СЛОЕМ ЛИТЬЕМ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Процессы многокомпонентного насыщения позволяют сформировать многофазную структуру поверхностного слоя, обладающего комплексом полезных свойств. Многокомпонентное насыщение разными элементами наружной и внутренней поверхности изделия дает возможность создавать многослойные композиционные материалы с уникальными свойствами. Более того, поверхностным легированием можно получать такое сочетание свойств упрочненного изделия, которое другими методами получить невозможно. В этом случае поверхностное упрочнение можно рассматривать не как определенную операцию изготовления детали, а как метод получения принципиально нового конструкционного материала.

По результатам проведенных исследований разработан новый способ упрочнения поверхностей деталей машин и инструмента. Получено 4 патента РФ на изобретение.

Разработан новый состав насыщающей среды для поверхностного упрочнения при получении литых деталей из серого чугуна, углеродистых и легированных сталей одно-временным насыщением бором и хромом, содержащий борид хрома (CrB_2), карбид бора (B_4C), графит, бентонит, фтористый натрий (NaF) (50–60 масс. % B_4C + 20–25 масс. % CrB_2 + 2–3 масс. % NaF + 5–15 масс. % мелкодисперсного графита + 5–7 масс. % бентонита). Применение разработанной технологии упрочнения позволяет улучшить эксплуатационные свойства, в частности, износостойкость деталей машин и инструмента до 25 раз (в сравнении с ранее используемыми способами), а также уменьшить трудоемкость процесса упрочнения до 3,5 раз.

Применение упрочняющих диффузионных покрытий позволяет существенно снизить затраты на изготовление и улучшить эксплуатационные свойства создаваемых изделий.

Список литературы:

1. Технология литейного производства: Специальные виды литья / Э.Ч. Гини, А.М. Зарубин, В.А. Рыбкин; Под ред. В.А. Рыбкина. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 352 с.
2. Шуляк В.С. Литье по газифицируемым моделям. – СПб.: НПО «Профессионал», 2007. – 408 с.
3. Ворошнин Л. Г. Борирование промышленных сталей и чугунов. Минск: Беларусь, 1981.- 205с.
4. Гурьев М. А., Власова О. А., Гурьев А. М. Упрочнение литых деталей поверхностным легированием // Современные металлические материалы и технологии (СММТ, 2009): Труды международной научно-технической конференции.- СПб.: Изд-во СПб. Политехн. ун-та. 2009. - С.163-166.
5. Гурьев, А.М. Совершенствование технологии химико-термической обработки инструментальных сталей [Текст] / А.М. Гурьев, Б.Д. Лыгденов, О.А. Власова // Обработка металлов.- №1, 2009.- С.14-16.
6. Гурьев М. А., Иванов С. Г., Гурьев А. М. Поверхностное легирование бором и титаном литой стали 110Г13// XIX Петербургские чтения по проблемам прочности, посвященные 130-летию со дня рождения академика АН УССР Н. Н. Давиденкова 13–15 апреля 2010 г., Санкт-Петербург, Изд-во СПб. Политехн. ун-та. 2010. - С.180-182.
7. Гурьев М.А., Иванов С.Г., Кошелева Е.А., Иванов А.Г., Грешилов А. Д., Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Околович Г.А. Комплексное диффузионное упрочнение тяжело нагруженных деталей машин и инструмента // Ползуновский вестник, №1, 2010.- С. 76-84.
8. Способ упрочнения деталей из конструкционных и инструментальных сталей [Текст]: пат. 2345175 Рос. Федерация: / А.М. Гурьев, С.Г. Иванов, Б.Д. Лыгденов, С.А. Земляков, О.А. Власова, Е.А. Кошелева, М.А. Гурьев - № 2007112368/02: заявл. 03.04.2007: опубл. 27.01.2009. Бюл. №3.
9. Способ упрочнения стальных деталей [Текст]: Патент РФ №2381299 на изобретение.-, заявка №2008118705/ 02 // Гурьев А.М., Иванов С.Г., Власова О.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А., Лыгденов Б.Д. Опубликовано 10.02.2010, бюл. №4.
10. Способ изготовления и упрочнения деталей из чугунов и сталей [Текст]: Патент на изобретение №2440869 / А. М. Гурьев, С.Г. Иванов, М.А. Гурьев, С.А. Земляков, Грешилов А.Д.,Иванов А.Г. Дата подачи заявки №2010145915/ 02(066190): 10.11.2010 Опубликовано: 27.01.2012 Бюл.№3
11. Способ изготовления стальных и чугунных деталей с упрочненным поверхностным слоем литьем по газифицируемым моделям [Текст]: решение о выдаче патента на изобретение / М.А. Гурьев, С.Г. Иванов, Гурьев А.М., Д.С. Фильчаков.- №2012123120/02: заявл. 04.06.2012. Реш. 09.10.2013.
12. М. А. Гурьев, Д. С. Фильчаков, С. Г. Иванов, А. М. Гурьев, В. Б. Деев Технология упрочнения стальных изделий в процессе литья // Литейщик России, 2013, №6.- С. 36-38.