

A. M. Lipanov, Member of RAS, Institute of Applied Mechanics UB RAS, Izhevsk  
N. V. Stepanova, Postgraduate Student, Institute of Applied Mechanics UB RAS, Izhevsk  
L. V. Shishkina, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

### Mathematical Modeling of Gas and Liquid Flow after Partial Dam Destruction. Part 1. Mathematical Problem

*The results of free water surface modeling after partial dam destruction, obtained by solving the Navier-Stokes equations using finite difference method are presented. The parameters that influence on the development process of an outburst wave formation are found.*

**Key words:** the Navier-Stokes equations, free-surface flow, surface wave effects.

УДК 621.9.048.4

**В. Б. Дементьев**, доктор технических наук, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

**П. Г. Овчаренко**, аспирант, Институт прикладной механики УрО РАН, Ижевск

**А. Ю. Лещёв**, Институт прикладной механики УрО РАН, Ижевск

## ЛЕГИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ОТЛИВОК ИЗ СТАЛЕЙ 45 И У8 НА ГЛУБИНУ ДО 10 ММ БОРИДАМИ ЖЕЛЕЗА ПРИ ЛИТЬЕ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

*Рассмотрен способ поверхностного легирования требуемых участков литых заготовок на заданную глубину. Способ осуществляется путем вставок тонких металлических пластин, предварительно подвергнутых борированию для увеличения их твердости, в модель из пенополистирола с постоянным шагом. При заливке моделей расплавом формируется легированный слой заданной глубины, обладающий высокой твердостью, обусловленной наличием в нем боридов железа.*

**Ключевые слова:** легирование, борид железа, литье по газифицируемым моделям.

Развитие техники предъявляет все новые требования для обеспечения повышенных эксплуатационных свойств материалов на основе железа. Существуют различные способы получения заданных свойств стальных деталей, наиболее широко применяемые в промышленности, – способы химико-термической, термомеханической, электрофизической и других видов обработки [1, 2]. При изготовлении деталей различными способами литья широко применяются способы модифицирования [3] и объемного легирования расплавов для придания им требуемых свойств.

Особое место при получении стальных литых деталей занимают способы поверхностного и объемного легирования при литье по газифицируемым моделям. Способы поверхностного легирования осуществляются путем нанесения легирующих элементов в виде краски, пасты или пудры на поверхность модели из пенополистирола [4] либо введением легирующих элементов в состав антипригарного покрытия [5]. Способы объемного легирования сводятся к вдуванию порошкообразных легирующих элементов совместно с гранулами пенополистирола в пресс-форму на стадии изготовления моделей. У данных способов существуют неоспоримые преимущества, заключающиеся в том, что литые детали можно изготавливать высокой точности с обеспечением заданных свойств требуемым участкам поверхности либо объема отливок в зависимости от предъявляемых требований. Увеличение глубины легированных

слоев позволит существенно расширить номенклатуру изготавливаемых данными способами деталей, иметь гарантированный припуск на механическую обработку деталей, снизить расходы легирующих элементов и использовать более доступные и дешевые марки сталей, не уступающих по эксплуатационным характеристикам высоколегированным.

В данной работе исследуется возможность обеспечения повышенной твердости требуемым участкам поверхности литых стальных заготовок из различных марок стали на глубину до 10 мм с применением технологии литья по газифицируемым моделям.

### Описание предлагаемого способа

Способ поверхностного легирования требуемых участков литых стальных заготовок на необходимую глубину при литье по газифицируемым моделям заключается в том, что в поверхность модели из пенополистирола вставляют тонкие (толщиной до 1 мм) металлические пластины, обладающие требуемыми свойствами, например, после соответствующей химико-термической обработки. В настоящей работе металлические пластины толщиной 0,2 мм предварительно подвергались борированию для увеличения их твердости. Толщина пластин подбиралась таким образом, чтобы за требуемое время борирования (6–8 часов) вся пластина приобрела высокую твердость и ее структуру составляли в основном бориды железа. Далее металлические пластины заданного размера вставляли в торец модели из пенополистирола, где были изготовлены пазы на глубину 10 мм от

поверхности. Пазы в модели выполнены с заданным шагом 2 мм для обеспечения распределения фаз из металлических борированных пластин в поверхностный слой расплава при заливке моделей. Для обеспечения более надежной фиксации на металлические пластины перед их вставкой в модель был нанесен тонкий слой клея для пенополистирола. После вставки пластин и сушки клеевого слоя к моделям приклеивались элементы литниковой системы, и производилось окрашивание модельных блоков антипригарным покрытием с дальнейшей сушкой слоя. Далее модельные блоки помещали в опоку, засыпали песком, герметизировали, вакуумировали и производили заливку железуглеродистыми расплавами.

**Полученные результаты и их обсуждение**

В качестве железуглеродистых сплавов в настоящей работе выбраны две марки стали с различным содержанием углерода – сталь 45 и сталь У8 – для определения влияния углерода в расплаве на структуру и свойства легированного поверхностного слоя. От полученных отливок на эрозионном станке вырезаны сегменты для проведения рентгеноструктурного анализа и металлографических исследований. Рентгеноструктурный анализ исходных металлических пластин после борирования (рис. 1) показал, что основной фазой в них является борид железа FeB и незначительное количество карбида хрома Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>·M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>. Наличие в борированных пластинах карбида хрома объясняется тем, что материал пластин – низкоуглеродистая нержавеющая сталь, в состав которой входит хром, а насыщающая среда при борировании – твердый карбид бора. При температуре борирования (900 °С) бор вступает во взаимодействие с железом с образованием боридов, а углерод взаимодействует с хромом, образуя карбид. Твердость пластин после борирования составила HV<sub>0,05</sub> 1163...1247 (71...72 HRC). Данные металлографических исследований отлитых образцов приведены в таблице.

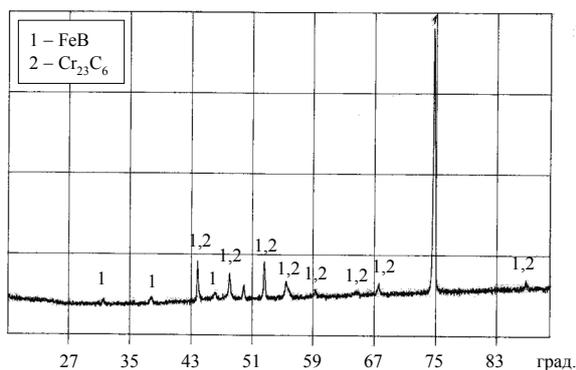


Рис. 1. Дифрактограмма стальных пластин после борирования

Из результатов металлографических исследований видно, что легированная поверхность обладает повышенной твердостью по сравнению с основным

металлом. Данные рентгеноструктурного анализа отлитых образцов также свидетельствуют о наличии в легированном поверхностном слое боридов железа FeB, придающего высокую твердость (рис. 2). Легированный поверхностный слой на отлитых образцах представлен на рис. 3. Как видно из рис. 3, после литья с применением предлагаемого способа легирования на отливках получается равномерный легированный слой, обогащенный боридом железа.

**Металлографические исследования отлитых образцов**

Марка стали	Твердость, HV (HRC) и микроструктура сердцевины	Твердость, HV (HRC) и микроструктура легированного поверхностного слоя
Сталь 45	Троостит, мартенсит 9 балла, HV5 412...423 (42...43 HRC)	Микроструктура дендритная: 2-фазная составляющая с микротвердостью HV 797...954 (64...68 HRC)
Сталь У8	Троостит, балл зерна 4...5, HV 368...378 (37...38 HRC)	Микроструктура дендритная: 2-фазная составляющая с микротвердостью HV 797...845 (64...66 HRC)

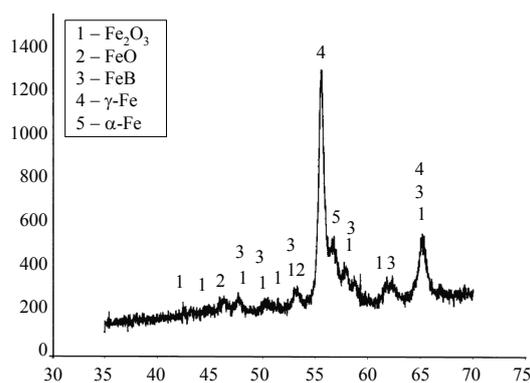


Рис. 2. Дифрактограмма отлитых образцов со вставленными пластинами

За счет растворения пластин в расплаве при заливке моделей и последующего распределения боридов железа в основу полученный легированный слой оказывается прочно связанным с основным металлом, что положительным образом должно сказаться на эксплуатационных характеристиках литых деталей.

Механизм образования легированного слоя заданной глубины при использовании данного способа сводится в начальный момент к частичному или полному (в зависимости от состава и толщины пластин) растворению пластин в железуглеродистом расплаве при заливке моделей, а теплота дальнейшей кристаллизации способствует перераспределению и диффузии фаз и легирующих элементов из пластин в металл. Данный механизм обеспечивает получение прочно связанного с основным металлом равномерного легированного слоя требуемой глубины, обладающего высокой твердостью за счет наличия боридов железа FeB.

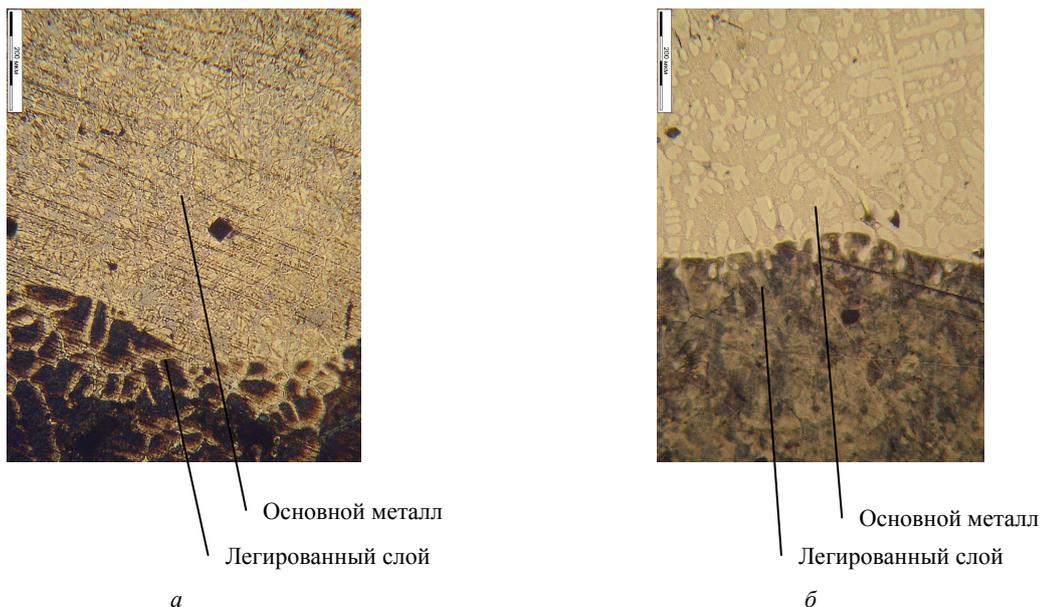


Рис. 3. Структура отлитых образцов: а – отлитый образец из стали 45; б – отлитый образец из стали У8

#### Выводы

1. Использование предлагаемого способа поверхностного легирования требуемых участков литых деталей на заданную глубину позволяет получать равномерный по глубине и обладающий необходимыми свойствами в зависимости от материала пластин легированный слой, прочно связанный с основным металлом.

2. Применение борированных металлических пластин толщиной 0,2 мм, вставленных в модель с интервалом 2 мм, обеспечивает получение легированного слоя, обладающего повышенной твердостью.

3. Легированный слой заданной глубины обогащен боридом железа FeB, который перераспределился из металлических пластин в поверхностный слой

при заливке моделей железоуглеродистыми расплавами.

4. Содержание углерода в железоуглеродистых расплавах не оказывает влияния на фазовый состав легированного слоя и на его твердость.

#### Библиографические ссылки

1. Райцес В. Б., Литвин В. М. Химико-термическая обработка деталей. – Киев : Техника, 1980. – 152 с.
2. Попилов Л. Я. Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов. – М. : Машиностроение, 1982. – 400 с.
3. Крещановский Н. С., Сидоренко М. Ф. Модифицирование стали. – М. : Metallurgy, 1970. – 296 с.
4. Патент РФ № 2391177, кл. B22C3/00, 2008 г.
5. А. с. СССР № 697244, кл. B22C3/00, 1979 г.

V. B. Dementiev, Doctor of Technical Sciences, Institute of Applied Mechanics UB RAS, Izhevsk

P. G. Ovcharenko, Postgraduate Student, Institute of Applied Mechanics UB RAS, Izhevsk

A. Yu. Leshchev, Institute of Applied Mechanics UB RAS, Izhevsk

#### Alloying up to 10 mm Depth of Cast Surface of Steels 45 and U8 with Ferrum Boride at Consumable Patterns Casting

*A method of surface alloying of required area of cast section to a specified depth is considered. The method is carried out by inserting thin metal plates borided for increasing their hardness, into a expanded polystyrene mold with a constant pitch. During melt loading, the alloyed layer with given depth, which has high hardness due to ferrum boride presence, is formed.*

**Key words:** alloying, ferrum boride, consumable pattern casting.