

## Учредители

- Институт машиноведения им. А.А. Благонравова  
Российской академии наук
- Московский государственный индустриальный университет

## Издатель

Московский государственный индустриальный университет

Журнал зарегистрирован 30 декабря 2004 г. Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-19294

# МАШИНОСТРОЕНИЕ И ИНЖЕНЕРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

## № 2`2011

Выходит 4 раза в год

ISSN 1815-1051

## В номере

### РЕДКОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА

#### ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Ганиев Р.Ф.**, академик РАН, директор Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ) РАН

#### ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР

**Скопинский В.Н.**, д.т.н., профессор (МГИУ)

#### ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

**Баранов Ю.В.**, д.т.н., проф. (ИМАШ РАН)

**Овчинников В.В.**, д.т.н., проф. (ФГУП «РСК МИГ»)

#### ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ

**Алешин Н.П.**, академик РАН, д.т.н., проф. (Москва)

**Асташев В.К.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Беляков Г.П.**, д.э.н., проф. (Красноярск)

**Бобровницкий Ю.И.**, д.ф.-м.н., проф. (Москва)

**Вайсберг Л.А.**, д.т.н., проф. (Санкт-Петербург)

**Горкунов Э.С.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Екатеринбург)

**Григорян В.А.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Дроздов Ю.Н.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Индейцев Д.А.**, член-корр. РАН, д.ф.-м.н., проф. (Санкт-Петербург)

**Колесников А.Г.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Кошелев О.С.**, д.т.н., проф. (Н. Новгород)

**Лунев А.Н.**, д.т.н., проф. (Казань)

**Махутов Н.А.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Москва)

**Пановко Г.Я.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Перминов М.Д.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Петров А.П.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Полилов А.Н.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Поникаров С.И.**, д.т.н., проф. (Казань)

**Приходько В.М.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Москва)

**Резчиков А.Ф.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Саратов)

**Рототаев Д.А.**, д.т.н., проф., акад. РАРАН (Москва)

**Теряев Е.Д.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Москва)

**Федоров М.П.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Санкт-Петербург)

**Чаплыгин Ю.А.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Москва)

**Шляпин А.Д.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Штриков Б.Л.**, д.т.н., проф. (Самара)

### ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

**Ю.Г. Гуревич, В.Е. Овсянников, В.А. Фролов**

Диффузионное хромирование деталей

из ферритно-перлитного серого чугуна ..... 2

### АНАЛИЗ И СИНТЕЗ МАШИН

**С.В. Хейло, В.А. Глазунов, Р.Ю. Сухоруков**

Решение задачи кинематики

поступательно-направляющего манипулятора ..... 11

### М.А. Ширинкин

Структурный анализ пространственных механизмов

параллельной структуры с четырьмя

и шестью степенями свободы ..... 17

### МАШИНЫ И СИСТЕМЫ МАШИН

**И.В. Кузнецов, В.И. Бажанов**

Улучшение показателей двигателя внутреннего сгорания

с керамическим покрытием на рабочей

поверхности цилиндра ..... 22

### КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**О.В. Алехин, В.П. Алехин**

Особенности пластического течения поверхностно

упрочненных образцов из молибдена и железа ..... 27

**О.В. Семендеева, Н.В. Учеваткина, В.В. Овчинников**

Анализ особенностей имплантации титановых сплавов ..... 36

**А.Д. Шляпин, Д.А. Иванов, А.Ю. Омаров**

Свойства гидроксида сплава алюминия, получаемого

при производстве водорода ..... 48

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ МАШИН И СИСТЕМ

**К.А. Агахи, В.Н. Кузнецов, А.М. Локощенко,**

**В.К. Ковальков, Л.В. Фомин**

Моделирование процесса ползучести на основе

аппроксимации экспериментальных данных ..... 52

**Д.Ю. Богомолов, В.В. Порошин, В.Ю. Радыгин**

Мезоскопическое моделирование течения сплошной среды

в узких каналах с учетом шероховатости их поверхностей ..... 58

## ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ!

Подписка на журнал

«Машиностроение и инженерное образование»  
проводится в издательстве МГИУ

Тел.: (495) 620-39-92.

E-mail: mio@msiu.ru

Подписной индекс Роспечати 36942

### Уважаемые читатели!

*Журнал «Машиностроение и инженерное образование» входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора или кандидата наук.*

# ДИФфуЗИОННОЕ ХРОМИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ФЕРРИТНО-ПЕРЛИТНОГО СЕРОГО ЧУГУНА

Ю.Г. Гуревич, В.Е. Овсянников, В.А. Фролов

*В статье представлена разработанная технология диффузионного хромирования деталей из ферритно-перлитного серого чугуна с целью повышения их износостойкости. Экспериментально было установлено, что такой способ хромирования деталей из чугуна с последующей поверхностной закалкой обеспечивает твердость поверхностного слоя, соизмеримую с лазерной закалкой высокопрочного чугуна, а абразивный износ, сопоставимый с этим показателем хромистого чугуна.*

**Ключевые слова:** серый чугун, поверхностное упрочнение, диффузионное хромирование, закалка.

## Введение

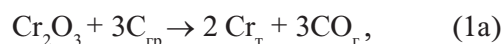
В машиностроении для изготовления деталей машин очень часто используется ферритно-перлитный серый чугун марок СЧ15, СЧ20. Однако более широкое его внедрение в производство связано с проблемами, возникающими при его упрочнении. Поверхностная закалка токами высокой частоты (ТВЧ) не применяется для серых чугунов из-за длительности процесса превращения феррита в аустенит, а объемная закалка приводит только к образованию перлитных структур [1–3]. Традиционные методы диффузионного хромирования чугуна позволяют получить лишь небольшую толщину упрочненного слоя (10–40 мкм) из-за образования карбидов [4].

В настоящее время наиболее часто для упрочнения деталей из серого чугуна используются достаточно трудоемкие и энергоемкие методы, такие как электролитическое хромирование и лазерная закалка [5], которые позволяют получить сравнительно небольшую толщину упрочненного слоя (до 0,25 мм).

Целью настоящей работы являлась разработка простой, надежной и экономически выгодной технологии поверхностного упрочнения деталей из ферритно-перлитного серого чугуна, состоящей в диффузионном хромировании поверхности путем взаимодействия с оксидом хрома и последующей поверхностной закалке детали.

## Теоретическое обоснование метода диффузионного хромирования

Известно, что поверхность железа является хорошим катализатором для диссоциации хлоридов и закиси железа (FeO), чему способствует его поверхностная энергия. Произведем термодинамический расчет для реакции



где  $\text{C}_{\text{гп}}$  – углерод, содержащийся в графите; индексы «г» и «т» означают газообразную и твердую фазы.

На основе известных данных [6] получим выражение для определения энергии Гиббса в зависимости от температуры:

$$\Delta G_{1a} = 188401,42 - 123,06T, \quad (1b)$$

где  $\Delta G_{1a}$  – энергия Гиббса, Дж;  $T$  – температура, К.

Энергия Гиббса  $\Delta G_{1a}$  для реакции (1a) при температуре 1173–1373 К имеет значения, приведенные ниже.

$T, \text{ К}$	1173	1273	1373
$\Delta G_{1a}, \text{ Дж}$	$1,82 \cdot 10^5$	$1,32 \cdot 10^5$	$7,87 \cdot 10^4$

Таким образом, термодинамический расчет показал, что реакция (1a) при температуре 1173–1373 К протекать не может, что было подтверждено экспериментально [7].

### Материалы и методы исследования

В ходе экспериментов проводили исследования взаимодействия оксида хрома с элементами основы чугуна, изучали влияние технологических факторов (температуры и времени выдержки) на толщину диффузионного слоя, также изучали структуру, химический состав и физико-механические свойства диффузионного слоя.

В качестве образца была взята цилиндрическая деталь с внешним диаметром 50 мм и внутренним диаметром 30 мм, длиной 15 мм, из ферритно-перлитного серого чугуна СЧ20 составом (мас. %): 3,4 С; 2,2 Si; 0,8 Mn;  $P \leq 0,2$ ;  $S \leq 0,15$ . Твердость чугуна 131 НВ. Исходная структура – ферритно-перлитная (90 % : 10 %), в основе содержался равномерно распределенный пластинчатый графит. Площадь, занятая графитом, составляла 8–12 %.

Порошок оксида хрома получали разложением дихромата аммония  $(NH_4)_2Cr_2O_7$  при температуре 473–573 К [8]:



При необходимости порошки оксида хрома и графита, а также порошки оксида хрома и серого чугуна смешивали в смесителе типа «пьяная бочка» в течение 40–60 мин.

Нагрев образца в контакте с порошком оксида хрома осуществляли в открытом контейнере до температуры 1273–1373 К и выдерживали при ней в течение 2, 4 и 8 ч. Затем образец нагревали под закалку до 1676 К и охлаждали в воде. Поверхностную закалку производили непосредственно после диффузионного хромирования, помещая образец в горячем состоянии в воду комнатной температуры. После закалки деталь подвергали низкому отпуску с выдержкой 1 ч на каждые 25 мм стенки [1].

Структуру поверхностно упрочненного слоя образцов исследовали с помощью микроскопа *Neophot-21*, для определения микротвердости структурных составляющих использовали прибор ПМТ-3. В ходе анализа результатов определяли ширину неупрочненных и упрочненных зон, измеряли микротвердость поверхностного слоя и производили металлографический анализ диффузионного слоя. Химический состав диффузионного слоя определяли с помощью рентгенофлуоресцентного анализатора *Inspector-2000 GT*.

Абразивный износ образцов исследовали на установке для испытания материалов на износ, разработанной в Челябинском политехническом институте. Критерием износа являлась удельная работа абразивного износа ( $a$ , Дж/мг) упрочненного слоя серого чугуна [9].

### Диффузионное хромирование исследуемых образцов

Смесь порошков графита и оксида хрома помещали в алуноводый тигель (рис. 1), нагревали до температуры 1373 К и выдерживали при этой температуре 8 ч. Никаких газовых выделений в течение выдержки замечено не было, прокладка из бумаги не сгорела, следов металлического хрома в тигле обнаружено не было.

Проверяли предположение о том, что поверхностной энергии железа будет достаточно для разрыва молекулярных связей  $Cr_2O_3$ , и молекула оксида хрома будет диссоциировать на поверхности основы серого чугуна, что приведет к окислению углерода.

С этой целью в аналогичных условиях была исследована возможность взаимодействия оксида хрома  $Cr_2O_3$  с углеродом основы ферритно-перлитного серого чугуна. Для этого готовили смесь из порошков чугуна и оксида хрома (с размером частиц менее 63 мкм) и помещали в алуноводый тигель (см. рис. 1). Смесь нагревали до температуры 1273 К и выдерживали при этой температуре в течение 2, 4 и 8 ч. После взаимодействия чугуна с оксидом хрома структура сплава соответствовала стали с содержанием углерода, марганца и кремния, приведенным в табл. 1.

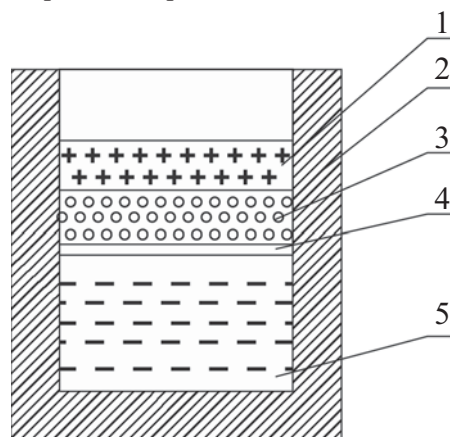


Рис. 1. Схема расположения в тигле исследуемых материалов:  
1 – графит; 2 – тигель; 3 – глинозем;  
4 – бумага; 5 – смесь