

# 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 алундовый 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 алундовый 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.

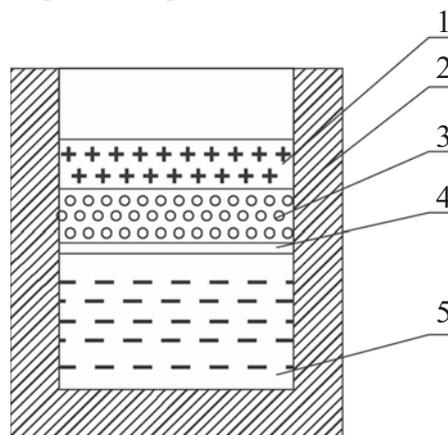


Рис. 1. Схема расположения в тигле исследуемых материалов: 1 – графит; 2 – тигель; 3 – глинозем; 4 – бумага; 5 – смесь

Таблица 1  
Содержание в стали углерода, марганца  
и кремния в зависимости  
от времени выдержки

$\tau$ , ч	C, %	Mn, %	Si, %
2	1,05	-	-
4	0,87	0,56	1,80
8	0,15	0,49	1,40

Таким образом, экспериментально была доказана возможность окисления оксидом хрома углерода основы ферритно-перлитного серого чугуна, причем оксид хрома не может окислить графит чугуна.

Известно, что содержание хрома в чугуне увеличивает его закаливаемость и прокаливаемость [1]. Установлено также, что содержание хрома в основе серого чугуна значительно уменьшает количество структурно свободного феррита в его основе и способствует получению перлита высокой степени дисперсности [10]. Кроме того, содержание хрома в основе чугуна может существенно повысить твердость и износостойкость материала.

Таким образом, диффузионное хромирование ферритно-перлитного серого чугуна взаимодействием с оксидом хрома должно способствовать значительному упрочнению поверхности деталей из этого чугуна после закалки.

В печь сопротивления с селитовыми нагревателями помещали образец, внутренняя поверхность которого контактировала с оксидом хрома  $Cr_2O_3$ , а наружная – с воздушной атмосферой. Образец выдерживали 8 ч при температуре 1373 К и охлаждали вместе с печью. Толщина окисленного слоя внутренней поверх-



а

ности составила 1,08 мм, а толщина слоя наружной поверхности, окисленного кислородом воздуха, – 1,26 мм.

На рис. 2 показана микроструктура окисленного (диффузионного) слоя образца до закалки на нетравленном шлифе. В окисленной зоне наблюдались точечные включения графита, при этом зона была достаточно однородной и без наличия дефектов, отмечалась четкая граница между чугуном и окисленным слоем. Зона термического влияния не образовывалась.

Если после окисления оксидом хрома структура основы чугуна становилась полностью перлитной с точечными включениями графита (рис. 3, а), то после окисления воздухом в структуре чугуна оставались феррит и графит (рис. 3, б). На всех образцах после окисления оксидом хрома перед перлитом была обнаружена ферритная кайма, толщина которой при температуре диффузионного хромирования 1273–1373 К может достигать 50–80 мкм.

После закалки внутренний диффузионный слой имел структуру мелкоигольчатого мартен-

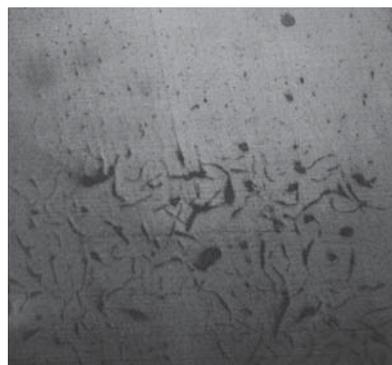
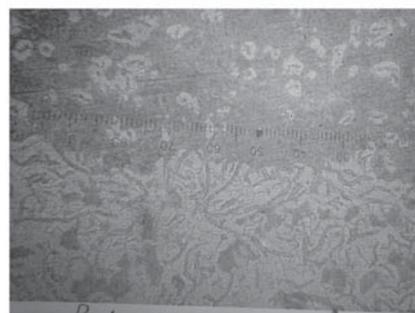


Рис. 2. Микроструктура границы окисленного (диффузионного) слоя образца после взаимодействия чугуна с оксидом хрома на нетравленном шлифе ( $\times 400$ )



б

Рис. 3. Микроструктура окисленного (диффузионного) слоя образца после взаимодействия основы чугуна с  $Cr_2O_3$  (а) и кислородом воздуха (б) на травленных шлифах по сравнению со структурой ферритно-перлитного чугуна ( $\times 400$ )

сита, а окисленный воздухом наружный слой – сорбитную структуру (рис. 4).

На рис. 5 приведена поверхность отклика эксперимента по исследованию зависимости толщины окисленного оксидом хрома слоя  $g$  от времени выдержки  $\tau$  и температуры  $T$ .

По результатам математической обработки экспериментальных данных было получено уравнение регрессии для определения зависимости толщины диффузионного слоя от темпе-



а



б

Рис. 4. Микроструктура диффузионного слоя после закалки на травленых шлифах ( $\times 400$ ): а – структура мелкоигльчатого мартенсита после окисления оксидом хрома; б – структура сорбита после окисления кислородом воздуха

ратуры и времени выдержки:

$$g = 3,4344 - 0,0074T - 0,1078\tau + 3,7333 \cdot 10^{-6} T^2 - 0,0046\tau^2 + 0,0002T\tau \text{ (мм)}.$$

Для определения химического состава диффузионного слоя из чугуна СЧ20 были изготовлены полые цилиндрические образцы с толщиной стенки 1,6 и 1,2 мм. Цилиндры окисляли снаружи и внутри оксидом хрома при температуре 1373 и 1273 К и выдерживали при этой температуре 8 ч. Микроструктура поперечного сечения обоих цилиндров оказалась перлитной с ферритной каймой толщиной  $\approx 80$  мкм, что свидетельствовало о полном окислении поперечного сечения образцов. После удаления ферритной каймы образцы подвергали химическому анализу традиционными методами. Результаты анализа цилиндров в сравнении с таким же цилиндром, окисленным окалиной (FeO), представлены в табл. 2.

Результаты послойного рентгеноспектрального анализа диффузионного слоя образца представлены в табл. 3. Как следует из приведенных

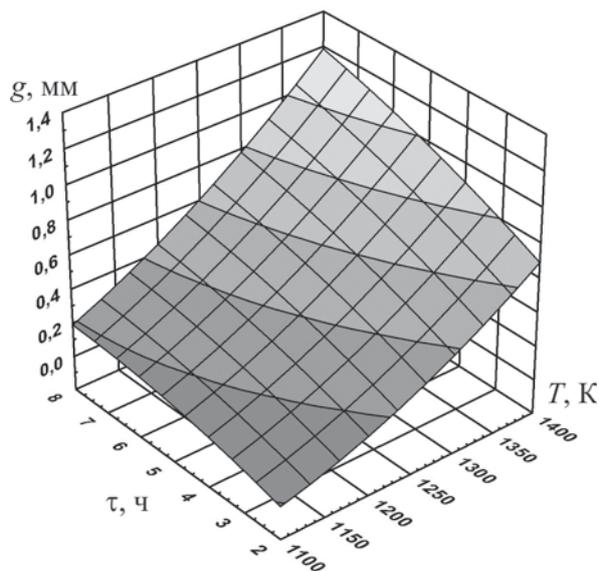


Рис. 5. Поверхность отклика эксперимента по исследованию зависимости толщины диффузионного слоя от технологических факторов

Таблица 2

Химический состав диффузионного слоя после 8-часового взаимодействия  $Cr_2O_3$  и FeO с основой ферритно-перлитного серого чугуна

Окислитель	$T, K$	$C, \%$	$Cr, \%$	$Mn, \%$	$Si, \%$
$Cr_2O_3$	1273	0,95	3,44	1,12	2,32
	1373	0,72	4,93	0,90	2,38
FeO	1273	0,18	0,21	0,90	2,36
	1373	0,15	0,18	0,82	2,32

данных, марганец практически не окисляется. Это объясняется тем, что скорость его диффузии в аустените намного меньше скорости диффузии углерода.

После взаимодействия оксида хрома с основой серого чугуна изменение содержания хрома по толщине слоя подчиняется параболическому закону (рис. 6).

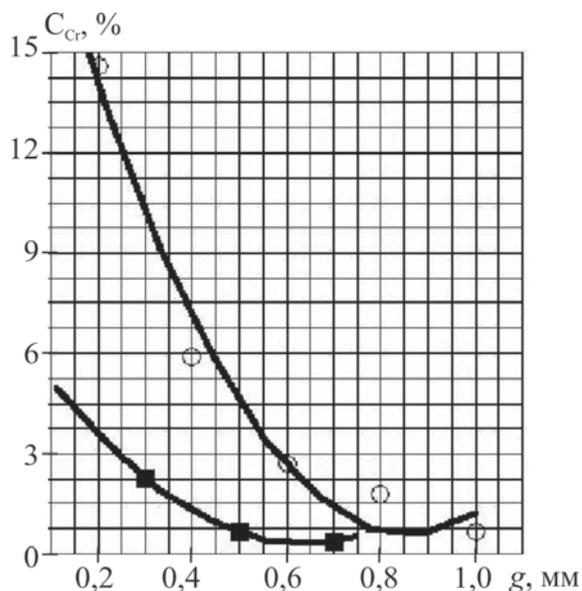


Рис. 6. Изменение содержания хрома по толщине диффузионного слоя после закалки:  
○ – при  $T=1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; ■ – при  $T=1100\text{ }^{\circ}\text{C}$

### Механизм диффузии

После адсорбции хрома и кислорода на поверхности основы чугуна должна происходить диффузия кислорода и хрома вглубь металла, при этом кислород должен окислять углерод, марганец и кремний, а хром, взаимодействуя с углеродом, должен образовывать карбид. Однако эти реакции могут происходить только во внешнем слое материала, поскольку, с одной стороны, оксид углерода CO и оксиды марганца и кремния в глубине сплава образовываться не могут, а с другой – образующиеся карбиды хрома, как известно, препятствуют его дальнейшей диффузии. В связи с этим была исследована ферритная кайма толщиной  $\approx 80$  мкм, образующаяся при диффузионном хромировании при температуре 1373 К и выдержке при этой температуре в течение 8 ч.

На рис. 7, где представлена микроструктура ферритной каймы на травленных шлифах при большом увеличении, на поверхности феррита видны поры, выходящие наружу. В этой зоне происходило окисление углерода и карбида хрома, и только здесь образовавшийся газ (оксид углерода) может выходить наружу. В ферритной кайме наблюдаются очень мелкие включения оксидов. Вероятнее всего это оксиды хрома, так как в ферритной кайме одновременно возможно протекание следующих реакций

Таблица 3

Распределение хрома и марганца по толщине  $g$  диффузионного слоя исследуемого образца после 8-часового взаимодействия с  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{FeO}$

Окислитель	$T, \text{K}$	$g, \text{мм}$	Cr, %	Mn, %
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	1273	0,3	2,25	1,00
		0,5	0,64	0,92
		0,7	0,35	0,98
	1373	0,2	14,60	–
		0,4	5,90	1,20
		0,6	2,70	1,30
$\text{FeO}$	1273	0,8	1,80	1,05
		1,0	0,66	–
		0,3	0,20	0,98
	1373	0,5	0,20	–
		0,7	0,20	–
		0,2	0,20	1,10
		0,4	0,20	–
		0,6	0,20	–
		0,8	0,20	–
1,0	–	–		

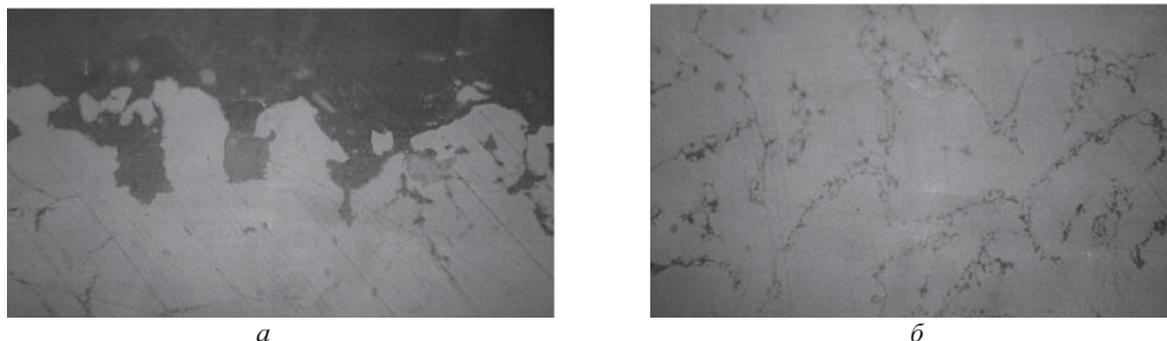
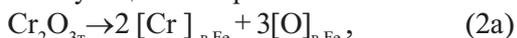


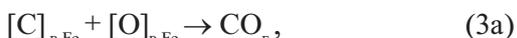
Рис. 7. Микроструктура ферритной каймы на травленых шлифах:

а – поры в ферритной кайме, выходящие наружу (×500); б – включения оксидов (×1000)

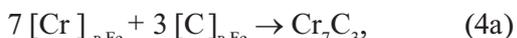
с соответствующими энергиями Гиббса:



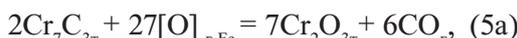
$$\Delta G_{2a} = 270\,510,60 - 61,35T; \quad (2б)$$



$$\Delta G_{3a} = -27\,169,94 - 20,57T; \quad (3б)$$



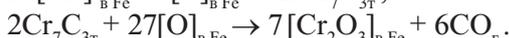
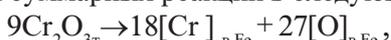
$$\Delta G_{4a} = -416,55 - 6,19T; \quad (4б)$$



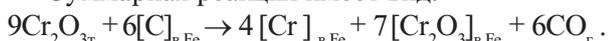
$$\Delta G_{5a} = -1\,973\,906,62 + 349,16T; \quad (5б)$$

В табл. 4 представлены значения энергии Гиббса для реакций (2a), (3a) и (5a). При всех температурах энергия Гиббса для реакции (5a) положительна. Это значит, что реакция самопроизвольно протекать не может.

Учитывая, что хром обладает наибольшим сродством к кислороду, можно записать выражения суммарных реакций в следующем виде:



Суммарная реакция имеет вид:



Выделяющийся в феррите оксид хрома  $[\text{Cr}_2\text{O}_{3\text{T}}]_{\text{в Fe}}$  не может диссоциировать и взаимодействовать с углеродом основы чугуна. Он остается в феррите в виде включений.

Известно, что при использовании ТВЧ для сокращения времени диффузионного хромирования с 6–8 ч до 10–15 мин микротвердость диффузионного слоя на стали У10 составляла всего 578 HV<sub>50</sub>. Низкая микротвердость диф-

фузионного слоя объясняется процессом интенсивного обезуглероживания поверхности стали в результате окисления карбидов хрома.

Скопление оксидов хрома в поверхностной зоне ферритной каймы подтверждается рентгено-спектральным анализом и микротвердостью ферритной каймы на толщине 10–70 мкм (табл. 5).

Косвенным подтверждением того, что реакция окисления углерода происходит в ферритной кайме, является и то обстоятельство, что кремний и марганец, скорость диффузии которых в аустените во много раз меньше, чем скорость диффузии углерода, не окисляются.

Таким образом, основные реакции диффузионного хромирования протекают в ферритной зоне, куда диффундирует углерод из основы чугуна по мере его окисления. Образовавшийся слой карбидов хрома препятствует диффузии хрома вглубь сплава, однако по мере окисления карбидов часть хрома успевает диффундировать вглубь диффузионного слоя. Наиболее важную роль в этом процессе играет диффузия углерода, поскольку его окисление возможно только в ферритной зоне.

Полученные данные позволяют сформулировать следующие стадии процесса взаимодействия оксида хрома с основой ферритно-перлитного серого чугуна:

- диссоциация оксида на поверхности основы чугуна;
- диффузия кислорода и хрома в железоуглеродистый сплав;
- окисление поверхности сплава и образова-

Таблица 4

Энергии Гиббса диссоциации оксида хрома, окисления углерода чугуна и карбида хрома

T, К	– ΔG <sub>2a</sub> , Дж	– ΔG <sub>3a</sub> , Дж	– ΔG <sub>5a</sub> , Дж
1173	1,42·10 <sup>6</sup>	2,17·10 <sup>5</sup>	6,46·10 <sup>6</sup>
1273	1,43·10 <sup>6</sup>	2,22·10 <sup>5</sup>	6,29·10 <sup>6</sup>
1373	1,47·10 <sup>6</sup>	2,31·10 <sup>5</sup>	6,17·10 <sup>6</sup>

Таблица 5

Содержание Cr и HV<sub>50</sub> ферритной каймы после диффузионного хромирования при температуре 1373 К продолжительностью 8 ч

g, мкм	Cr, %		HV <sub>50</sub> , МПа	
	в слое	среднее	в слое	средняя
10–30	24,4	26,1	2626	3195
	26,8		3234	
	27,2		3097	
	–		3832	
30–50	20,7	21,8	1774	2078
	20,7		1980	
	23,9		2421	
	–		2136	
50–70	19,8	18,7	1882	1891
	16,6		1940	
	18,4		1774	
	–		1980	

ние ферритной каймы;

- превращение феррита основы чугуна в перлит и затем в аустенит;
- диффузия углерода в аустените к поверхности основы чугуна;
- окисление углерода и удаление оксида углерода CO;
- окисление карбида хрома и выделение Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в ферритной кайме;
- диффузия графита в аустенит.

#### Оценка износостойкости диффузионного слоя после закалки

Механические свойства диффузионного слоя изучали после удаления ферритной каймы.

С целью сравнения влияния диффузионного хромирования на физико-механические свойства чугуна СЧ20 с другим современным методом обработки была выбрана закалка лазером высокопрочного чугуна ВЧ40. На рис. 8 показано распределение микротвердости по толщине закаленного слоя чугуна СЧ20 и чугуна ВЧ40 [5]. По мере увеличения толщины закаленного слоя чугуна СЧ20 возрастает его микротвердость, что объясняется увеличением содержания углерода в закаленном слое.

Как следует из приведенных данных, предлагаемая сравнительно простая технология диффузионного хромирования и последующей поверхностной закалки серого чугуна обеспечивает твердость поверхностного слоя, соизмеримую с твердостью при лазерной обработке более

прочного чугуна, и образует закаленный слой почти в 2 раза большей толщины, чем при обработке лазером. Следует отметить, что благодаря диффузионному механизму протекания процесса наблюдается плавное изменение свойств упрочненного слоя, которое не вызывает роста напряжений между упрочненным слоем и исходным материалом. Микротвердость упрочненного слоя после диффузионного хромирования и закалки соизмерима с микротвердостью хромистого чугуна (ЧХ12), содержащего 12–14 % хрома [11, 12].

На основе испытаний образцов на абразивный износ была рассчитана удельная работа абразивного износа упрочненного слоя серого чугуна (табл. 6), значение которой оказалось близко к аналогичному показателю хромистого чугуна, содержащего 2,8 % С и 14,7 % Cr [13] и прошедшего лазерную закалку, и более чем в 35 раз выше данного параметра исходного металла.

Таблица 6

#### Удельная работа абразивного износа

Материал	Удельная работа абразивного износа, Дж/мг
Серый чугун	0,15 ± 0,17
Серый чугун с упрочненным слоем после диффузионного хромирования и закалки	5,57 ± 0,16
Хромистый чугун	6,83 ± 0,24

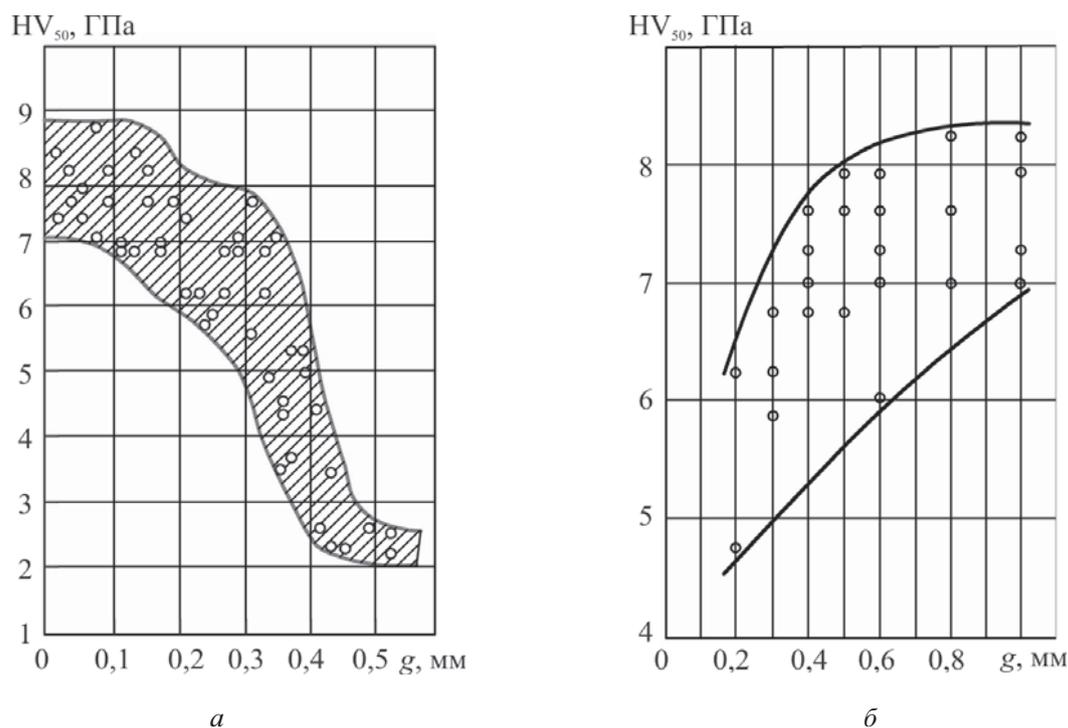


Рис. 8. Распределение микротвердостей по толщине диффузионного слоя:  
 а – после диффузионного хромирования и закалки чугуна СЧ20;  
 б – после закалки лазером чугуна ВЧ40

Данные показывают, что диффузионное хромирование и закалка серого чугуна позволили сформировать упрочненный слой, по показателям износостойкости сравнимый с высокопрочным чугуном после лазерной закалки.

### Заключение

Обоснованное теоретически и доказанное экспериментально каталитическое действие железа на диссоциацию молекул оксида хрома позволило реализовать принципиально новую технологию поверхностного упрочнения деталей из серого чугуна, которая позволяет повысить твердость поверхностного слоя более чем в 3 раза и увеличить износостойкость деталей более чем в 35 раз. В качестве перспективного направления дальнейших исследований можно выделить изучение взаимодействия чугуна с оксидами других элементов (титана, вольфрама, молибдена и т.д.), присутствие которых позволит придать диффузионному слою специальные свойства (повышенную ударную вязкость, коррозионную стойкость и т.д.).

### Список литературы

1. Чугун: справочник / А.Д. Шерман, А.А. Жуков, И.О. Абдуллаев и др. – М.: Metallurgy, 1991. – 575 с.
2. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. – М.: Metallurgy, 1993. – 447 с.
3. Дубинин Г.Н, Аврамов Ю.С. Авиационное материаловедение. – М.: Машиностроение, 1988. – 320 с.
4. Ковенский И.М., Поветкин В.В. Металловедение покрытий. – М.: СП «Интермет Инжиниринг», 1999. – 286 с.
5. Майоров В.С., Майоров С.В. Закалка чугунных деталей излучением твердотелого лазера // МиТОМ. 2009. № 3. С. 6–8.
6. Легирование железа через газовую хлоридную фазу / Ю.Г. Гуревич, В.Я. Буланов, Н.В. Германюк и др. – Свердловск: АН СССР. Уральское отделение, 1992. – 190 с.
7. Разработка инновационной технологии поверхностного упрочнения деталей из серого чугуна / Ю.Г. Гуревич, В.Е. Овсянников, В.А. Фролов // Инновационные технологии

- в автоматизированном машиностроении и арматуростроении: Материалы Международной научно-технической конференции. Курган, 8–10 декабря 2010 г. – Курган: Курганский гос. ун-т, 2010. – С. 195–201.
8. *Степин Б.Д., Цветков А.А.* Неорганическая химия. М.: Высшая школа, 1994. – 607 с.
  9. *Серебряков В.Е., Соколова Н.М., Гулякова С.С.* Установка для испытания металлов и сплавов на износ // Совершенствование машиностроительных материалов, конструкций машин и методов обработки деталей: тематический сб. научн. тр. – Челябинск: ЧПИ, 1988. С. 14–17.
  10. *Попов П.И., Сизов И.Г.* Влияние легирующих элементов на структуру и свойства чугуна с вермикулярным графитом // МиТОМ. 2006. № 6. С. 41–43.
  11. *Яковлев С.И.* О превращениях при индукционном нагреве чугуна с шаровидным графитом и ферритно-перлитной основы // МиТОМ. 1986. № 6. С. 2–5.
  12. *Рожкова Е.В., Романов О.М., Козлов Л.Я.* Влияние металлической основы на износостойкость хромистых чугунов // МиТОМ. 1986. № 6. С. 30–32.
  13. Износостойкие композиционные материалы / *Ю.Г. Гуревич, В.И. Анциферов, Л.М. Савиных и др.* – Екатеринбург: РАН. Уральское отделение, 2005. – 216 с.

Материал поступил в редакцию 03.02.2011

**ГУРЕВИЧ**  
**Юрий Григорьевич**

E-mail: [panz12@rambler.ru](mailto:panz12@rambler.ru)  
Тел. +7 (3522) 41-10-12

Доктор технических наук, профессор. Профессор кафедры инноватики и менеджмента качества Курганского государственного университета. Сфера научных интересов – материаловедение, порошковая металлургия, трение и износ. Автор 380 научных работ, 85 патентов и 35 методических пособий.

**ОВСЯННИКОВ**  
**Виктор Евгеньевич**

E-mail: [panz12@rambler.ru](mailto:panz12@rambler.ru)  
Тел. +7 (3522) 41-10-12

Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры инноватики и менеджмента качества Курганского государственного университета. Сфера научных интересов – технология машиностроения, трение и износ, динамика и прочность. Автор 130 научных публикаций и 2 методических пособий.

**ФРОЛОВ**  
**Виктор**  
**Александрович**

E-mail: [panz12@rambler.ru](mailto:panz12@rambler.ru)  
Тел. +7 (3522) 23-20-95

Кандидат технических наук, руководитель учебно-вспомогательного персонала кафедры автомобилей Курганского государственного университета. Сфера научных интересов – технология машиностроения, трение и износ, динамика и прочность. Автор 31 научной публикации, 1 патента и 1 методического пособия.