

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСКОВ ДЕТАЛЕЙ В УЗЛАХ ТРЕНИЯ ИЗ СЕРОГО И ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНОВ С ТЕРМОДИФфуЗИОННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ ВАНАДИЕМ И ХРОМОМ

А.А. Веселовский

Исследованы предельные отклонения размеров чугунных деталей с термодиффузионными покрытиями ванадием и хромом в узлах трения машин и механизмов. Определены толщина покрытия и приращение линейных размеров упрочненных изделий из серого и высокопрочного чугунов.

Ключевые слова: термодиффузионные покрытия, термодиффузионное насыщение, серый чугун, высокопрочный чугун.

Введение

Термодиффузионные покрытия карбидообразующими элементами позволяют создать на поверхности деталей в узлах трения высокопрочные и износостойкие покрытия. Однако диффузия карбидообразующих элементов в чугун сопряжена с определенными трудностями.

Наличие углерода на поверхности чугуна способствует связыванию в карбиды адсорбированных диффузانتов, что значительно затрудняет их дальнейшую диффузию в глубь детали.

Теоретически диффузия в чугун таких химических элементов, как ванадий и хром, возможна только в начальный период насыщения, пока их содержание не достигло стехиометрического состава для карбидообразования. Однако, учитывая граничные условия первого рода, можно заключить, что диффузия этих элементов в глубь материала – не значительная.

В связи с этим создание термодиффузионного покрытия заданной толщины обеспечивается встречной диффузией углерода из глубинных слоев материала в зону реактивной диффузии.

Цель данной работы – установление пределов увеличения посадочных размеров и назначение предельных отклонений размеров изготавливаемых деталей с учетом последующего

термодиффузионного ванадирования и хромирования контактным способом с использованием порошковой смеси.

Оборудование, материалы и методика проведения экспериментов

Для экспериментов использовали образцы в виде колец с внутренним диаметром 20 и внешним 40 мм из серого СЧ 20 и высокопрочного ВЧ 60 чугунов.

Ванадирование проводили с использованием феррованадия марки ФВд50У03 (60 % по массе), инертного наполнителя – оксида алюминия (40 % по массе) и активатора NH_4Cl (4 % по массе), хромирование – с использованием феррохрома ФХ900 (50 % по массе), оксида алюминия (50 % по массе) и активатора (4 % по массе сверх 100 %).

Температура насыщения (упрочнения) составляла 1000–1020 °С, время упрочнения составляло 5 ч для процесса ванадирования и 10 ч для процесса хромирования. Процессы термодиффузионного насыщения проводили на установке (модернизированной муфельной печи типа СУОЛ), схема которой представлена на рис. 1.

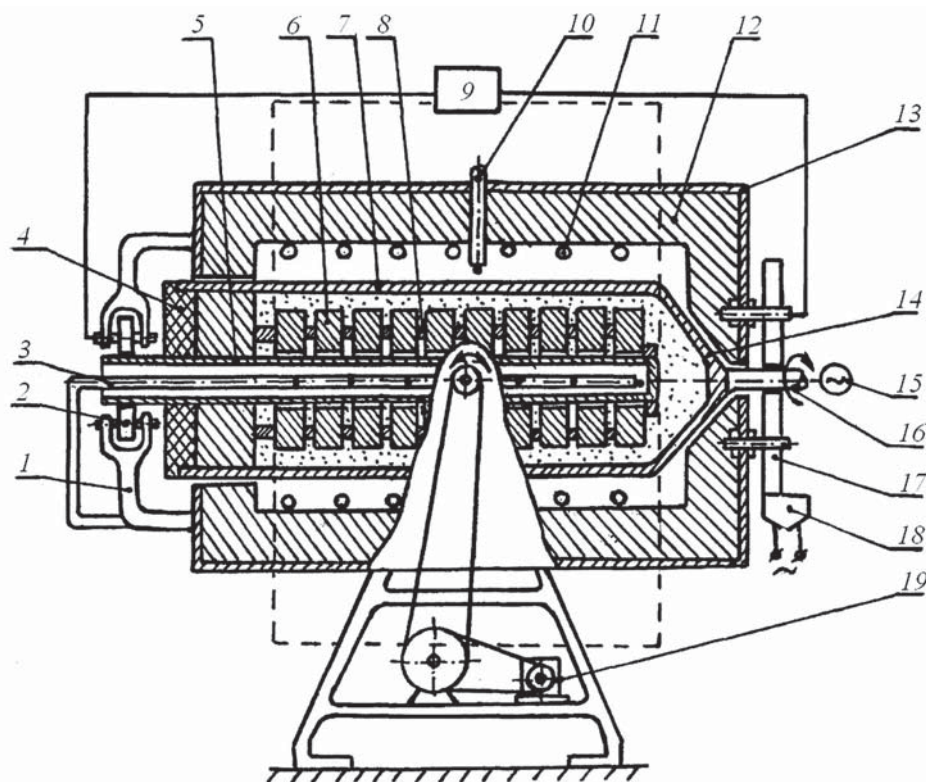


Рис. 1. Конструктивная схема установки для термодиффузионного насыщения

Установка работает следующим образом. Камера нагрева 13 с цилиндрическим муфелем 12, электронагревателем 11 и датчиком температуры 10 с помощью механизма поворота 19 устанавливается в вертикальное положение (на рис. 1 показана пунктирной линией) при расположении реторты 7 передней крышкой вниз (при снятой задней крышке 4). На глухондную гильзу 5 надеваются кольцевые детали 6 (образцы из серого или высокопрочного чугунов) вплотную друг к другу или через промежуточные вставки 8, позволяющие защитить часть элементов деталей от будущего покрытия, с одной стороны, и обеспечить равномерность нанесения покрытий – с другой.

Реторта 7 сверху заполняется рабочей смесью (шихтой). Затем ее сверху герметично закрывают задней крышкой 4 с насаженными на глухондную гильзу 5 деталями 6. Камера нагрева 13 с помощью механизма поворота 19 приводится в горизонтальное положение. Вал 16 фиксируется передними катками 17, а глухондная гильза 5 – задними катками 2, изолированными от камеры нагрева 13 электроизоляторами 1. Вал 16 реторты 7 приводится во вращательное движение приводом 15. Частота вращения вала составляет 3–10 об/мин.

Внешний нагрев реторты 7 осуществляется от муфеля 12 электронагревателем 11.

Контроль температурного режима обработки проводится датчиками температуры 10, установленными на муфеле 12 камеры нагрева 13, и дополнительными датчиками температуры 3, размещенными в глухондной гильзе 5 и стационарно закрепленными на камере нагрева 13. Такой контроль температуры обеспечивает равномерный нагрев по длине и сечению реторты, что гарантирует повышение качества обработки деталей.

При наложении низкочастотных колебаний от вибратора 18 на реторту 7 через передние катки или их оси в ней, дополнительно к перемешиванию при вращении, возникает виброкипящий слой.

По истечении времени насыщения реторту вынимали из печи и охлаждали на воздухе до температуры окружающей среды и только после этого извлекали из нее образцы.

Обсуждение результатов

В результате проведенных экспериментов по созданию термодиффузионных слоев на серых и высокопрочных чугунах были получены ванадиевые покрытия (рис. 2), микротвердость которых достигала 26 000–28 000 МПа.

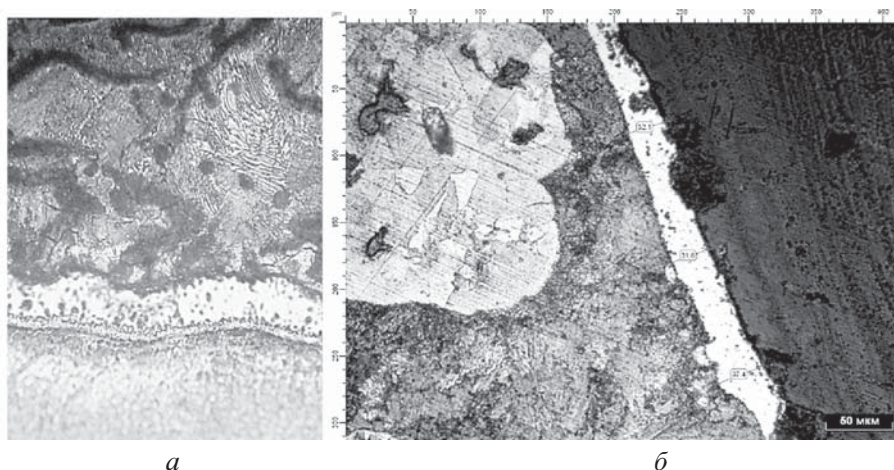


Рис. 2. Микроструктура ванадиевого покрытия ($\times 500$): на сером (а) и высокопрочном (б) чугунах

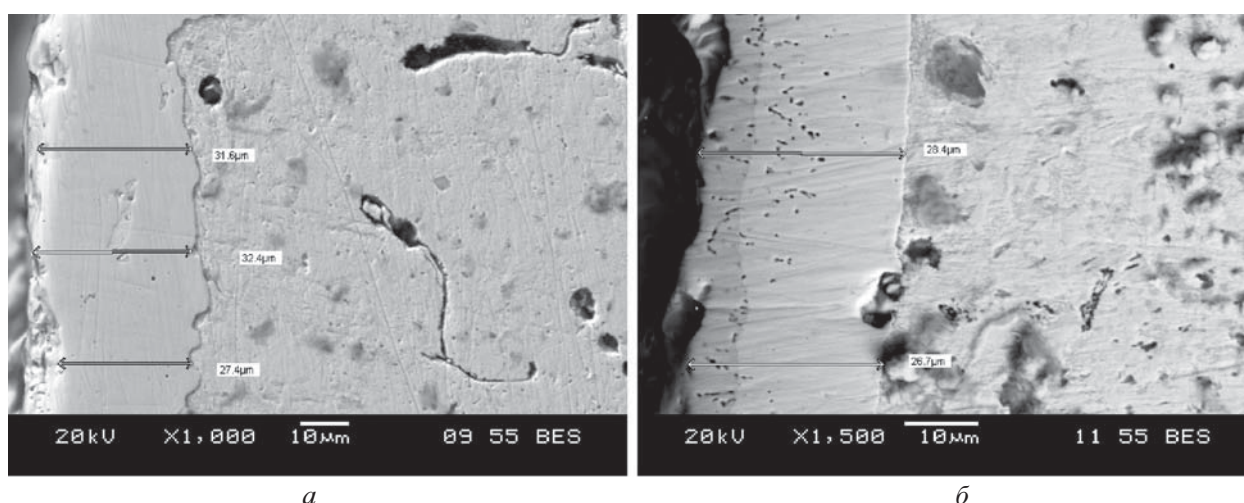


Рис. 3. Микроструктура хромового покрытия на сером ($\times 1000$) (а) и высокопрочном ($\times 1500$) (б) чугунах

Микроструктура покрытий, полученных после хромирования образцов, представлена на рис. 3.

Механизм формирования термодиффузионного ванадиевого покрытия можно пояснить, используя схему, представленную на рис. 4.

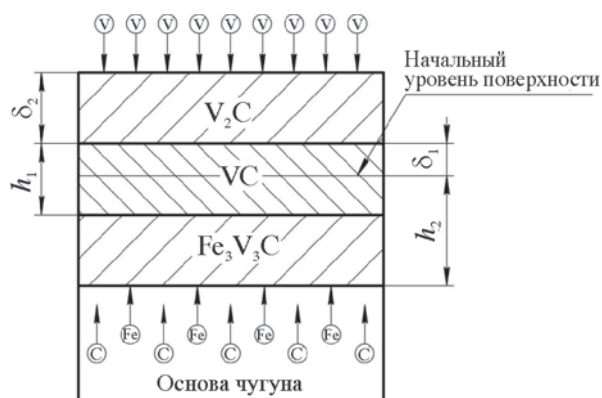


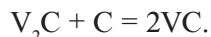
Рис. 4. Схема образования диффузионного ванадиевого покрытия

Высокая концентрация ванадия на поверхности чугунной детали низкая концентрация в этой зоне углерода, с одной стороны, и более низкий термодинамический потенциал – с другой, создают благоприятные условия для формирования карбида ванадия V_2C .

Карбид ванадия VC имеет более высокий термодинамический потенциал, чем карбид ванадия V_2C [2].

Образование карбидной фазы замедляет диффузию ванадия с поверхности в глубь детали, так как подвижность его атомов в химическом соединении мала и недостаточна для разрыва образовавшихся связей и перемещения атомов ванадия в глубь детали. По этой же причине замедляется и диффузия железа из чугуна в зону реактивной диффузии. В результате этого в поверхностном слое детали образуется диффузионный карбидный слой толщиной h_2 и внешняя граница слоя (см. рис. 4) перемещается в сторону поверхности на величину δ_1 .

В результате встречной диффузии углерода карбид ванадия V_2C постепенно превращается в карбид ванадия VC :



Замедление процесса отвода насыщающего элемента от поверхностных слоев в глубь детали приведет к увеличению его содержания на поверхности детали. В результате встречной диффузии углерода и осаждения упрочняющего элемента на поверхности детали образуется карбидный слой толщиной h_1 и его внешняя граница перемещается на величину δ_2 [1].

Перемещение внешней границы диффузионного слоя на величину δ_2 будет зависеть от глубины диффузии упрочняющего химического элемента в материал детали h_2 , разности параметров кристаллических решеток железа и образующихся химических соединений – карбидов.

Основное изменение размеров слоя δ_2 происходит вследствие [1] образования активного ванадия или хрома на поверхности детали и, следовательно, зависит от коэффициента массопереноса насыщаемого химического элемента из реакционного пространства к поверхности детали, а также вследствие встречной диффузии углерода чугуна в диффузионный слой и образования карбидной фазы.

Таким образом, приращение линейных размеров детали можно определить по формуле

$$\Delta d = \delta_1 + \delta_2.$$

Располагающийся под покрытием слой представляет собой легированный ванадием цементит – Fe_3V_3C [3]. Содержание углерода достигает стехиометрического состава для образования цементита. Ванадий, увеличивая склонность чугуна к отбелу, способствует образованию

отбела в пограничной к покрытию зоне и частично растворяется в нем.

Последовательность образования фаз при хромировании, в результате которых наблюдается увеличение допусков посадочных размеров, представлена на рис. 5.

С целью установления оптимального времени и температуры процессов ванадирования и хромирования серого и высокопрочного чугунов были построены температурно-временные зависимости, представленные на рис. 6 и 7.

Как видно из рис. 6 и 7, на всем временном отрезке толщина упрочненного слоя непрерывно увеличивается. Однако для ванадиевых покрытий увеличение времени упрочнения свыше 6 ч приводит к растрескиванию и отслаиванию покрытия. Для хромовых покрытий увеличение времени упрочнения свыше 10 ч приводит к значительному уменьшению скорости образования покрытия и незначительному увеличению толщины последнего.

С целью выявления изменения посадочных размеров детали в результате термодиффузии и определения допусков к номинальным толщинам покрытия были проведены эксперименты.

Приращение линейных размеров определяли посредством сравнения размеров, измеренных микрометром до термодиффузионного насыщения и после него (рис. 8).

Сопоставляя полученные результаты (см рис. 6 и 7) с результатами, приведенными на рис. 8, можно заключить, что приращение линейных размеров упрочненных чугунных образцов при ванадировании и хромировании приблизительно равно толщине созданных покрытий.

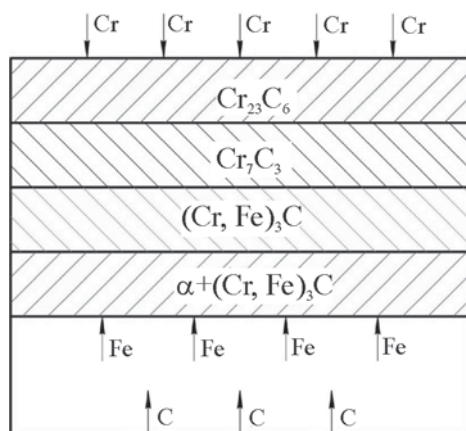


Рис. 5. Фазы, образующиеся при термодиффузионном насыщении хромом серого и высокопрочного чугунов

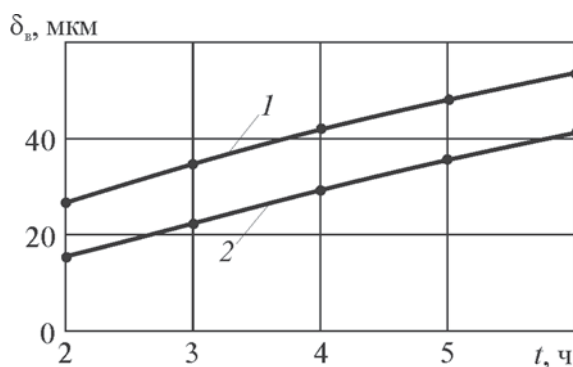


Рис. 6. Зависимость толщины упрочненного ванадиевого покрытия δ_v от времени упрочнения t (температура 1000–1020 °C):

1 – серый чугун ($y = 10,474x^{0,7531}$);

2 – высокопрочный чугун ($y = 18,163x^{0,649}$)

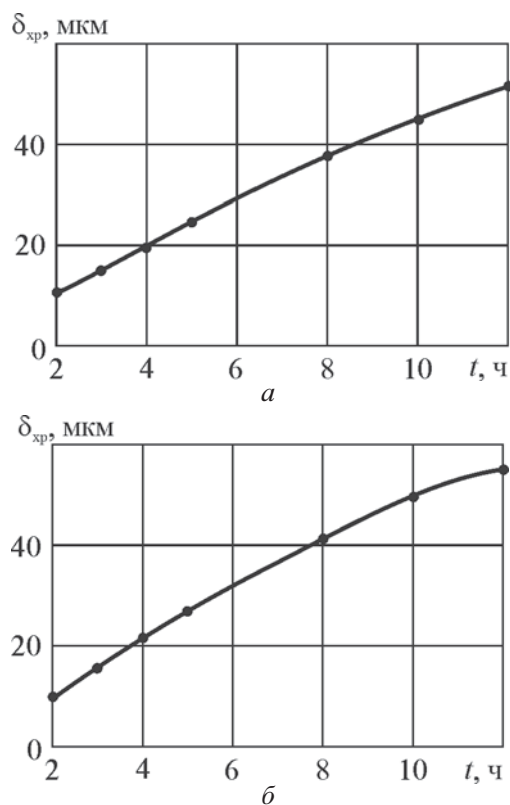


Рис. 7. Зависимость толщины хромового покрытия $\delta_{\text{хр}}$ от времени упрочнения t (температура 1000–1020 °С):

а – высокопрочный чугун ($y = 6,0571x^{0,8739}$);

б – серый чугун ($y = 5,3485x^{0,9789}$)

Заключение

В результате проведенных экспериментов по созданию термодиффузионных ванадиевых и хромовых покрытий были получены равномерные по толщине карбидные покрытия, микротвердость которых достигала 26 000–28 000 МПа при ванадировании и 13 000–16 000 МПа при хромировании. Кроме того, наблюдался прирост габаритных размеров упрочняемых деталей после упрочнения относительно исходных размеров (до упрочнения). Механизм такого упрочнения теоретически обоснован. В связи с этим при назначении предельных отклонений допусков размеров чугунных деталей, подвергающихся термодиффузионному насыщению ванадием и хромом, необходимо учитывать приращение размеров на сторону деталей на величину создаваемого покрытия: 40–60 мкм для процесса ванадирования и 45–60 мкм для процесса хромирования.

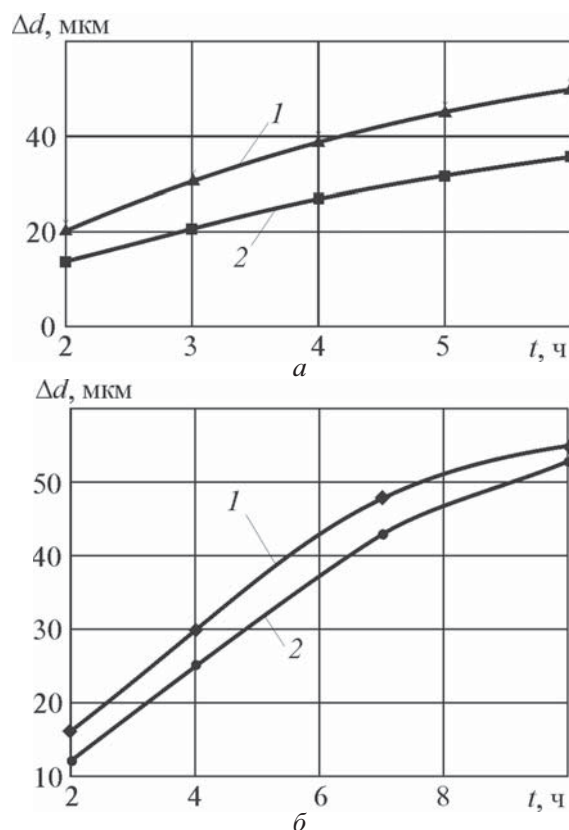


Рис. 8. Зависимость приращения линейных размеров (на сторону) Δd от времени упрочнения t при ванадировании (а) и хромировании (б) (температура 1000–1020 °С):

1 – серый чугун ($y = 8,174x^{0,883}$);

2 – высокопрочный чугун ($y = 6,3703x^{0,9473}$)

Список литературы

1. Ильин В.К. Восстановление и упрочнение деталей сельскохозяйственной техники методами термодиффузионного насыщения: Дис. ... д-ра техн. наук. – Казань, 2004. – 290 с.
2. Веселовский А.А., Ячиков И.М. Повышение срока службы деталей из серого чугуна для телескопических и поршневых гидроцилиндров: монография. – Магнитогорск: Изд-во МГТУ, 2009. – 118 с.
3. Веселовский А.А., Завалищин А.Н. Исследование микротвердости алюмованадированных слоев на серых чугунах, полученных термодиффузионным упрочнением // Упрочняющие технологии и покрытия. 2007. № 5. С. 18–21.

Материал поступил в редакцию 10.11.2011

ВЕСЕЛОВСКИЙ

Александр

Александрович

E-mail: a_a-ves@mail.ru

Тел.: 8 987 883-32-86

Кандидат технических наук, доцент Новотроицкого филиала МИСиС. Сфера научных интересов – термодиффузионные противоизносные покрытия на серых и высокопрочных чугунах. Автор 30 публикаций, монографии, патента на полезную модель.