

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИФфуЗИОННОГО НАСЫЩЕНИЯ В СМЕСИ, СОДЕРЖАЩЕЙ ОКСИД ВАНАДИЯ И АЛЮМИНИЙ

В.А. Бутуханов; А.Д. Грешилов, Б.Д. Лыгденов, Галаа Отхонсо

*Исследован процесс химико-термической обработки с применением алюминиотермической смеси, содержащей оксид ванадия. Дан сравнительный анализ микроструктуры, химического состава и микротвердости диффузионных слоев, полученных на сталях различных марок.*

*Ключевые слова: алюминиотермия, ванадийалитирование, твердость, химический состав*

### **Введение**

Металлотермическими реакциями называют реакции получения металлов из их оксидов, сульфидов и других соединений путем взаимодействия этих соединений с металлами-восстановителями при высоких температурах [1]. Наиболее широкое распространение среди металлотермических процессов получила алюминиотермия. Алюминий является наиболее удобным элементом-восстановителем [2]. При применении алюминиотермических смесей в химико-термической обработке возможны два варианта проведения процессов насыщения: 1) совмещенный процесс. В этом случае насыщаемые детали находятся в алюминиотермической смеси во время прохождения в ней реакции восстановления; 2) отдельный процесс. Порошкообразную смесь готовят алюминиотермическим методом и затем в ней ведут химико-термическую обработку обычным способом.

В данной работе исследовался совмещенный процесс химико-термической обработки сталей различных марок с применением алюминиотермической смеси, содержащей оксид ванадия.

Совместное насыщение металлов и сплавов комплексом V+Al повышает их жаро- и коррозионную стойкость в ряде агрессивных сред. В настоящее время разработан лишь алюминиотермический способ ванадийалитирования [3].

### **Методика проведения исследований**

В качестве объектов исследования были выбраны стали 20, 45, У10 и Х12Ф1. В качестве поставщика активных атомов ванадия использовалась пятиокись ванадия ( $V_2O_5$ ), в качестве восстановителя – алюминий.

В работе использованы материалы: пятиокись ванадия марки «чда», ТУ 6-09-4093-

88; порошок алюминия марки ПА-4 (Al), ГОСТ 6058-73; фторид алюминия марки «ч», ТУ 6-09-05807960-112-94; оксид алюминия марки «чда», ГОСТ 30558-98.

Исследовали твердофазный способ ванадийалитирования в порошковой смеси при изотермической выдержке. Так как восстановление пятиокиси ванадия алюминием сопровождается значительным выделением тепла, то большую часть смеси составляет балластная добавка  $Al_2O_3$ , вводимая с целью предотвращения оплавления насыщаемых изделий. Ванадийалитирование стальных образцов осуществляли в насыщающей порошковой смеси 57%  $Al_2O_3$  + 38% (60% Al + 40%  $V_2O_5$ ) + 5%  $AlF_3$  в тигле с плавким затвором.

Процесс проводили при 1000 °С в течение 4 ч. После выдержки тигель охлаждали на воздухе.

В качестве нагревательного устройства использовали электропечь сопротивления СНОЛ 12/12-В.

Для изучения микроструктуры изготавливали поперечные шлифы. Толщину покрытий и микроструктуру сталей после ванадийалитирования исследовали на металлографическом микроскопе «НЕОФЛОТ-21».

Микротвердость измеряли на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 50 г.

Химический состав диффузионных слоев определяли на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-6510LV с системой микроанализа INCA Energy 350, Oxford Instruments при следующих параметрах. Химический анализ проводился в точках и по линии при увеличении  $\times 400$  в режиме получения вторичных электронов.

### **Результаты исследований и их обсуждение**

В результате ванадийалитирования на поверхности сталей получены диффузионные слои различной толщины. Наибольшая толщина диффузионного слоя составляет 160 мкм на стали 20. С увеличением содержания углерода толщина диффузионного слоя уменьшается до 80 мкм на стали У10. Данные о толщине диффузионных слоев представлены на рисунке 1.

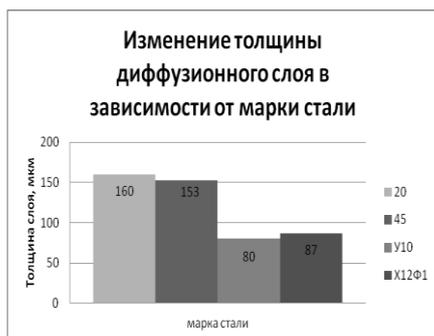


Рисунок 1 - Изменение толщины диффузионного слоя в зависимости от марки стали

Микроструктуры диффузионных слоев сталей 20, 45, У10, Х12Ф1 представлены на рисунках 2 – 5.

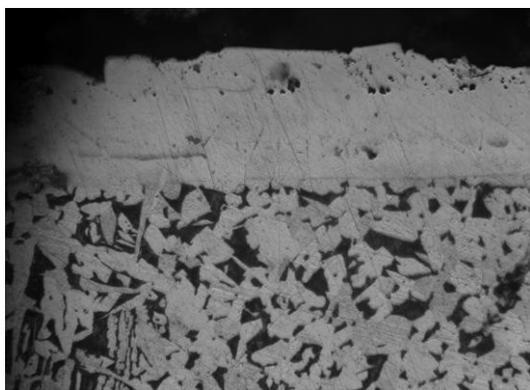


Рисунок 2 - Микроструктура диффузионного слоя на стали 20, ×200

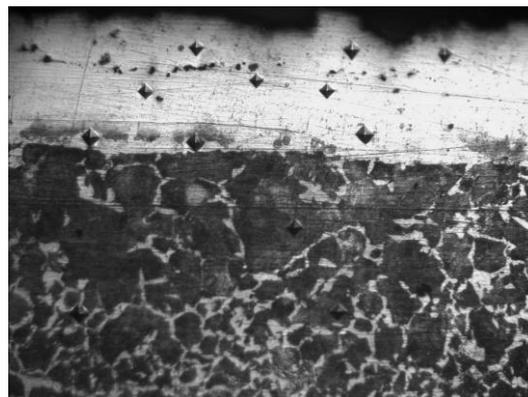


Рисунок 3 - Микроструктура диффузионного слоя на стали 45, ×200



Рисунок 4 - Микроструктура диффузионного слоя на стали У10, ×200



Рисунок 5 - Микроструктура диффузионного слоя на стали Х12Ф1, ×200

Микротвердость диффузионного слоя стали 20 колеблется в пределах 1180 – 2320 МПа. С повышением содержания углерода в стали микротвердость диффузионных слоев увеличивается. Наибольшую микротвердость

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИФфуЗИОННОГО НАСЫЩЕНИЯ В СМЕСИ, СОДЕРЖАЩЕЙ ОКСИД ВАНАДИЯ И АЛЮМИНИЙ

имеет диффузионный слой стали X12Ф1 на глубине 73 мкм и достигает 4120 МПа. Данные о распределении микротвердости в исследуемых сталях представлены на рис.6.

Для установления влияния ванадия и алюминия на микротвердость диффузионных слоев был выполнен анализ на химический состав. Точки набора спектров соответствуют точкам отпечатков микротвердости.

Наиболее высокое содержание ванадия наблюдается в стали X12Ф1 на расстоянии

70 мкм от поверхности и составляет 6,03 вес.%. Самое высокое содержание алюминия в диффузионном слое среди исследуемых сталей отмечено на стали 20 и составляет 38,31 вес.%. Микроструктуры диффузионных слоев исследуемых сталей с точками набора спектров представлены на рис. 7, 9, 11, 13. Содержания ванадия и алюминия в вес.% в диффузионных слоях исследуемых сталей представлены на рис. 8,10, 12, 14.

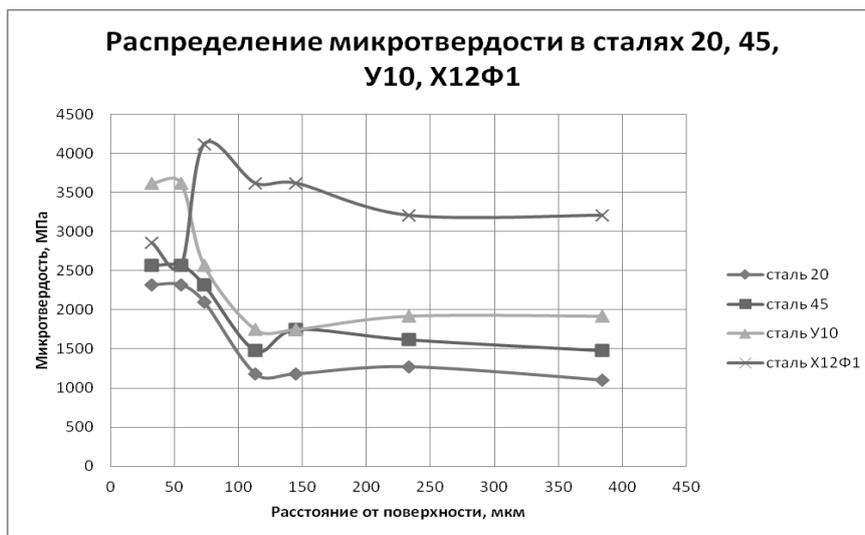


Рисунок 6 - Распределение микротвердости в сталях 20, 45, У10, Х12Ф1

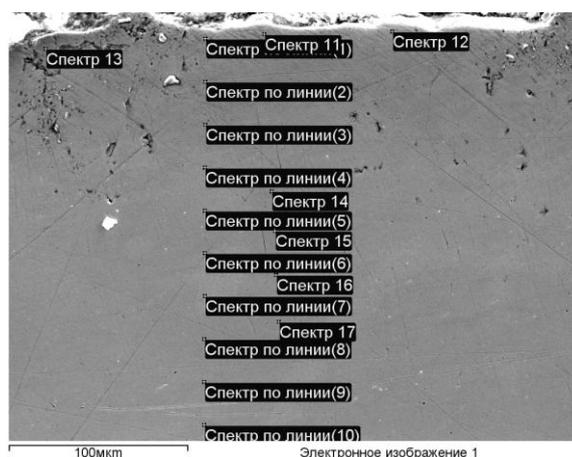


Рисунок 7 - Микроструктура диффузионного слоя стали 20 с точками набора спектров ×400

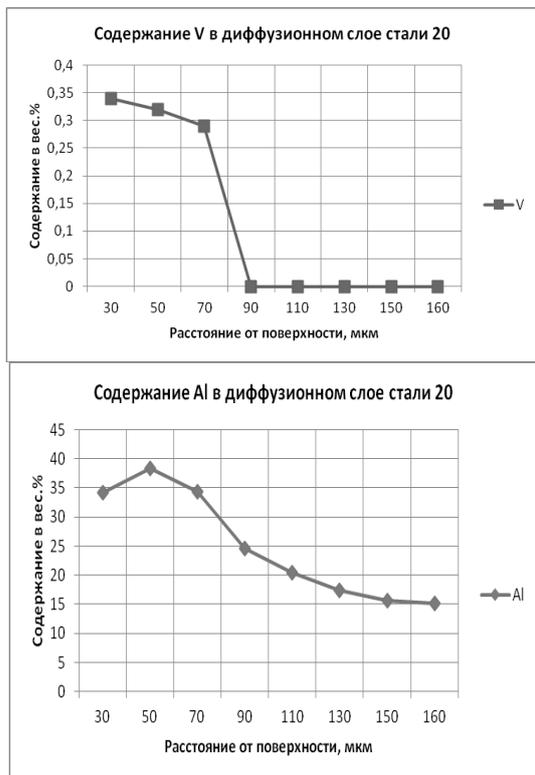


Рисунок 8 - Содержание ванадия и алюминия в диффузионном слое стали 20, в вес. %

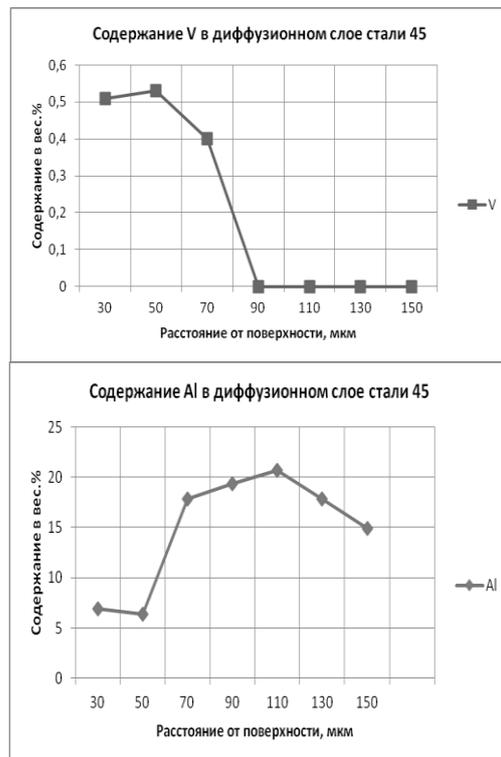


Рисунок 10 - Содержание ванадия и алюминия в диффузионном слое стали 45, в вес. %

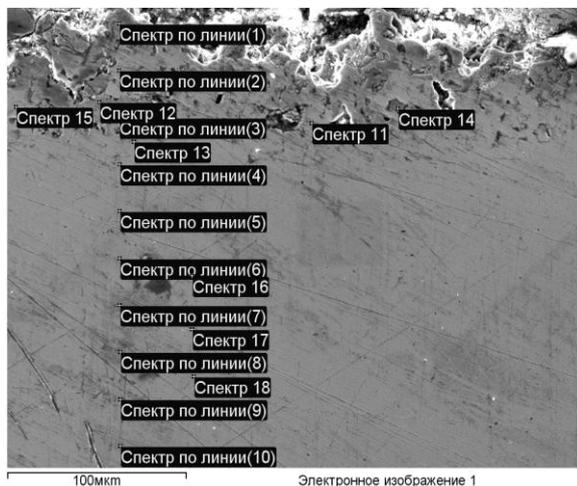


Рисунок 9 - Микроструктура диффузионного слоя стали 45 с точками набора спектров ×400

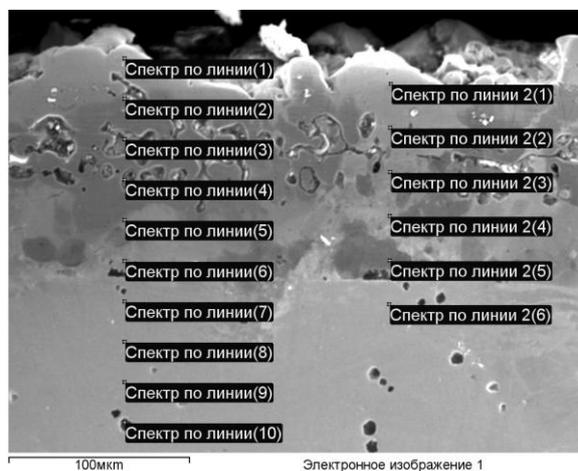


Рисунок 11 - Микроструктура диффузионного слоя стали У10 с точками набора спектров ×400

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИФфуЗИОННОГО НАСЫЩЕНИЯ В СМЕСИ, СОДЕРЖАЩЕЙ ОКСИД ВАНАДИЯ И АЛЮМИНИЙ



Рисунок 12- Содержание ванадия и алюминия в диффузионном слое стали У10, в вес. %

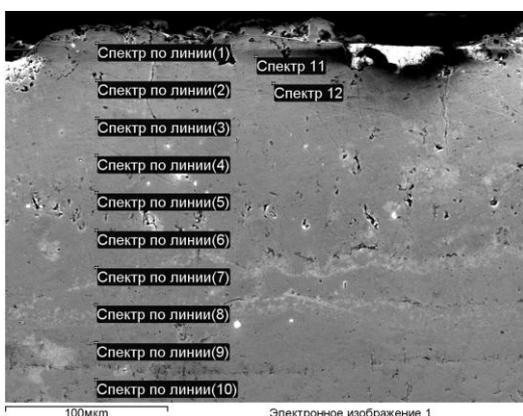


Рисунок 13 - Микроструктура диффузионного слоя стали Х12Ф1 с точками набора спектров  $\times 400$

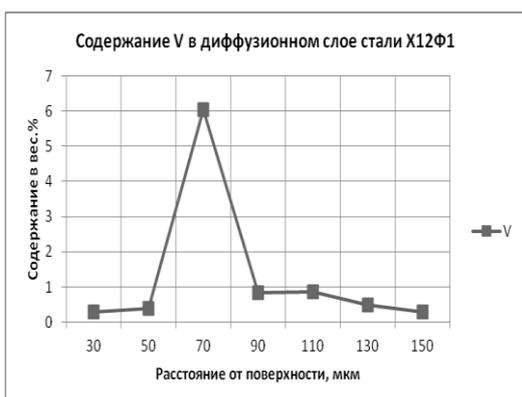


Рисунок 14 - Содержание ванадия и алюминия в диффузионном слое стали Х12Ф1, в вес. %

1. Наибольшая толщина диффузионного слоя (160 мкм) зафиксирована на стали 20. С увеличением содержания углерода в стали толщина диффузионного слоя снижается. На основании проведенного анализа химического состава можно утверждать, что происходит преимущественно алитирование.

2. Установлено, что при ванадийалитировании микротвердость диффузионного слоя увеличивается с повышением содержания в нем ванадия.

3. Наибольшая микротвердость диффузионного слоя достигается для стали Х12Ф1 и составляет 4120 МПа. Это связано, предположительно, с взаимной диффузией ванадия из сердцевины образца.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Н.Г. Ключников. Руководство по неорганическому синтезу. – М.: Химия, 1965, стр. 19.
2. Ю.Л. Плинер, Г.Ф. Игнатенко. Восстановление окислов металлов алюминием. – М.: Металлургия, 1967, стр. 7.
3. Л.С. Ляхович и др. Многокомпонентные диффузионные покрытия. - Минск, «Наука и техника» 1974, стр. 138.

**В.А. Бутуханов;**

**А.Д. Грешилов, к.т.н., доцент;**

**Б.Д. Лызденов, д.т.н., доцент,**

ФГБОУ ВПО "Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления", г. Улан-Удэ,

**Галаа Отхонсо, Монгольский государственный университет науки и технологии, г. Улан-Батор**