

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ДИФФУЗИОННОГО СЛОЯ ПРИ НАСЫЩЕНИИ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ 40Х БОРОМ И МЕДЬЮ

Лысых С.А.¹, Хараев Ю.П.¹, Корнопольцев В.Н.²

¹*Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,*

²*Байкальский институт природопользования СО РАН, г. Улан-Удэ*

Ключевые слова: химико-термическая обработка, насыщающая среда, микротвердость, диффузионный слой, медь, бор.

Аннотация. В работе представлены исследования по получению диффузионных слоев с применением в качестве легирующих элементов бора и меди. Проведены исследования полученных диффузионных слоев на стали 40Х после комплексного насыщения поверхности бором и медью. Установлено, что с увеличением содержания меди в составе насыщающей среды происходит увеличение толщины диффузионного слоя. Проведен анализ влияния количества меди в составе насыщающей среды на микротвердость.

Введение

Совершенствование современной техники сопровождается возрастанием скоростей движения деталей машин и соответственно увеличением нагрузок на контактные поверхности. В этой связи, поиск путей повышения физико-механических свойств рабочих поверхностей деталей машин является весьма актуальной задачей. Одним из наиболее эффективных способов воздействия на поверхность стальных изделий является химико-термическая обработка (ХТО) [1]. В настоящее время достаточно широко исследованы методы однокомпонентного (борирование, хромирование, цементация, азотирование и др.) и многокомпонентного (борохромирование, боросилицирование, хромосилицирование, хромованадирование и др.) насыщения поверхности различных железоуглеродистых сплавов [2,3]. В тоже время недостаточно сведений о влиянии меди на процесс диффузионного насыщения поверхности стальных изделий, в частности, при совместном насыщении бором и медью поверхности легированных сталей [4,5]. Целью данной работы является исследование формирования диффузионного слоя при одновременном насыщении поверхности стали 40Х бором и медью.

Методика и материалы исследования

Термодиффузионное насыщение поверхности проводилось на образцах из конструкционной легированной стали 40Х в порошковой насыщающей среде. Насыщающая среда включала в себя наличие шихты, карбид бора в малых количествах для поддержания активной способности насыщающей среды. Главным носителем легирующих элементов бора и меди выступали гранулы, изготовленные по технологии [6]. Использование гранул позволяет получить активные атомы бора из борной кислоты и восполнить насыщающую способность отработанных составов. Подготовленные образцы упаковывали в герметичные контейнеры, заполненные определенным составом насыщающей

среды, приведенные в (табл. 1). Контейнеры закрывали легкоплавким затвором для обеспечения герметизации от попадания кислорода. Температура насыщения выбрана из литературных данных и составила 950°C, длительность процесса составила 4 часа. После образцы извлекались, очищались от остатков насыщающей среды и подготавливались для дальнейших исследований. Для повторного использования проводилось восполнение составов гранулами. Гранулы засыпались в отработанные составы и проводился повторный процесс насыщения.

Исследование строения и микроструктуры образцов выполнено на оптическом микроскопе Neophot-21». Микротвердость определена на микротвердомере ПМТ-3. Рентгеноспектральный анализ провели на сканирующем электронном микроскопе с элементным дисперсионным анализом Jeol JSM-6000.

Табл. 1. Составы насыщающей среды для боромеднения

Номер состава	Содержание CuO, %
1	24
2	30

Результаты и обсуждение исследований

В результате проведения термодиффузионного насыщения образцов из стали 40Х были получены диффузионные слои с различной микроструктурой (рис.1). При использовании состава №1 формируется диффузионный слой, толщина которого составляет 120 мкм, а микротвердость 17500МПа со снижением до 10000МПа к основанию (рис. 3). Боридные слои имеют игольчатое строение и основными фазами слоев являются FeB и Fe₂B с твердостью ~21500МПа и ~16000МПа, соответственно. Впрочем, структура слоев, характер распределения фаз в слое и распределение твердости во многом зависит от технологии получения. Толщина фазы FeB составляет 40мкм, а Fe₂B-80 мкм, так как снижение микротвердости до 16000 МПа наблюдается на глубине 40 мкм (рис.3). На (рис. 1 а), прослеживается фрагментированная структура боридов. При повторном насыщении составом №1 (рис.1 б) происходит увеличение толщины боридного слоя равной 200 мкм и незначительное изменение микротвердости до 18500МПа. Фрагментированная структура теряет выраженный вид, наблюдается преобладание сплошной структуры. При насыщении составом №2 толщина слоя составила 250-270 мкм (рис.1 в), микротвердость 20000МПа-14000МПа (рис 3). Граница слой-основа сплошная, игольчатая структура отсутствует. На границе слоя с основой металла наблюдается резкое снижение микротвердости до 5000-3000Мпа. Присутствие в приповерхностном слое пор размером 10-30 мкм может объясняется недостаточной герметизацией контейнера и быстрой истощаемостью рабочей смеси. С другой стороны, можно предположить, что в реальных условиях трения, в присутствии смазочного материала, такая структура будет является предпочтительной с точки зрения износостойкости, так как поры могут играть роль маслоудерживающих карманов. Повторный процесс использования состава №2 показал снижение толщины слоя до 170-180 мкм (рис.1 г), снижение

значений микротвердости 18000МПа-12000Мпа (рис.3). Диффузионный слой, наряду со сплошной структурой приобретает вид выраженного «классического» слоя. Боридные иглы на концах имеют скругленную форму.

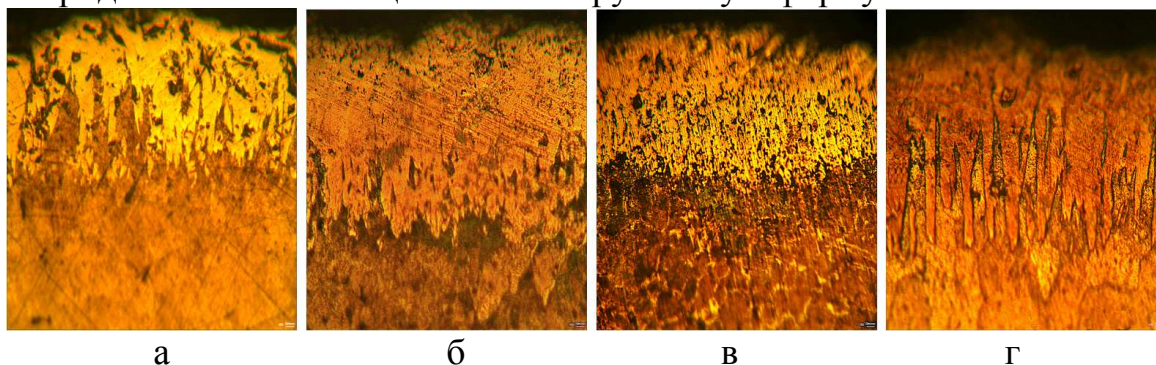


Рис. 1. Микроструктура диффузионных слоев на стали 40X после обработки: а-состав №1, б-повторное насыщение составом №1; в-состав №2, г-повторное насыщение составом №2

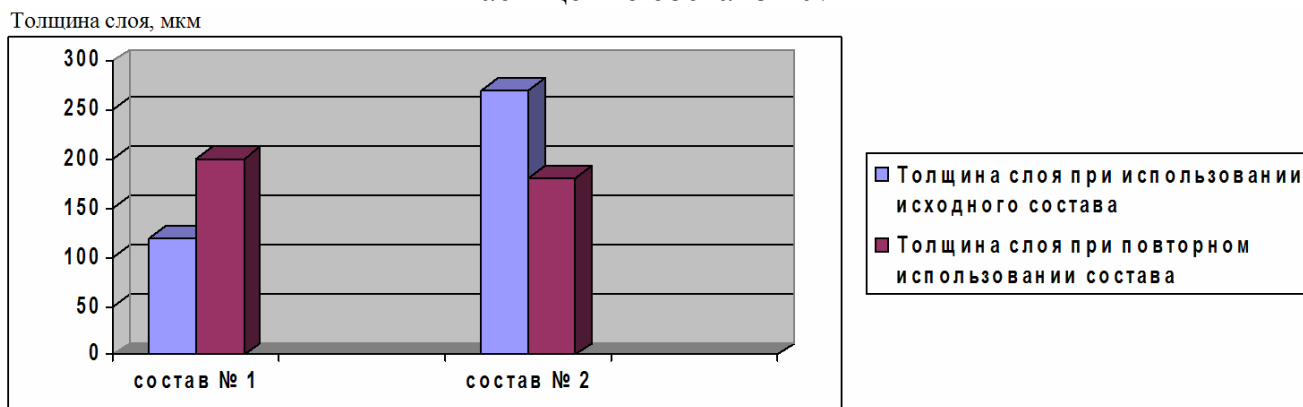


Рис. 2. Толщина диффузионного слоя в зависимости от состава насыщающей среды

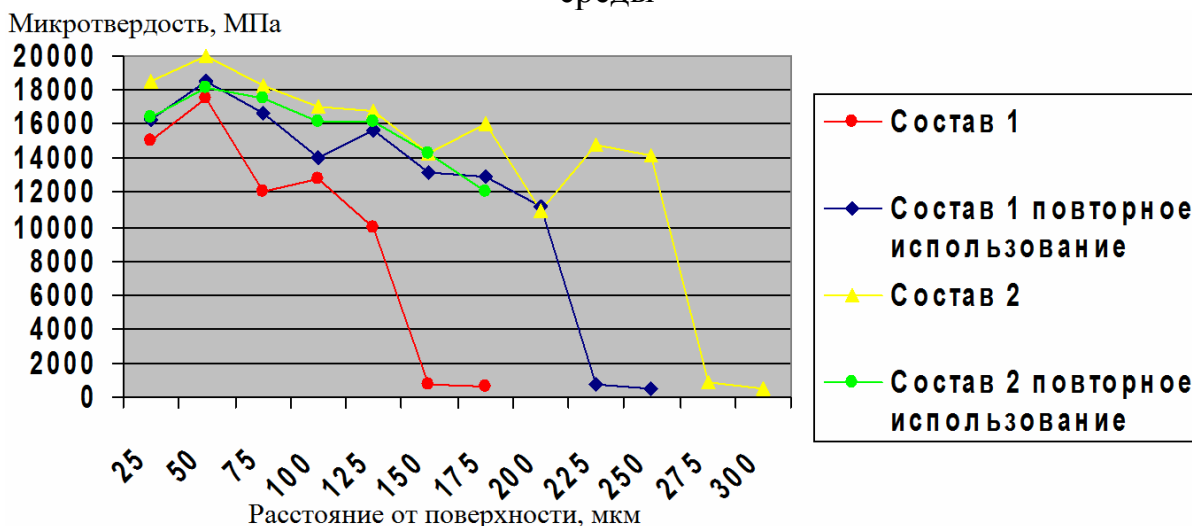


Рис. 3. Распределение микротвердости по глубине диффузионного слоя

На рисунке 2 показано, что с увеличением концентрации меди в составе насыщающей среды, повышается и толщина диффузионного слоя. Структура слоя носит неоднородный характер, трансформация наблюдается при применении обоих составов. Существует возможность получения как «классического» игольчатого строения, так и сплошного. Постепенное снижение микротвердости боридов связано с рассасыванием высокобористой и более

твердой фазы FeB. Наблюдается притупление игл боридов и увеличение их толщины. Как известно, подобная морфология боридных игл влияет на снижение хрупкости и повышение пластичности диффузионного слоя [7].

Рентгеноспектральный анализ показал (табл. 2) наличие меди на поверхности и непосредственно под диффузионным слоем. Известно, что в состав стали 40X входит 0.3 процента содержания меди, после проведения процесса насыщения, количество меди увеличилось в 3-4 раза. На глубине 120 мкм содержание бора менее 10%, что указывает на присутствие борида железа Fe₂B.

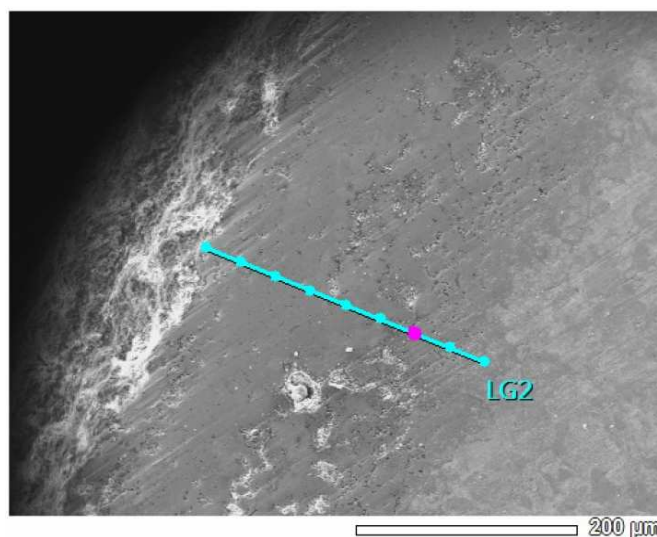


Рис. 4. Микроструктура диффузионного слоя на стали 40X после обработки составом №1 с точками набора

Табл. 2 Элементный состав диффузионного слоя в точках (вес. %)

Точка	B	C	Al	Cr	Fe	Cu
1		4.06	11.35	26,104	57.55	0,936
2		24.76	0.85	16,75	57.2	0,44
3		39.9	0.2	13.45	46.42	0.03
4		32.72	0.2	15.29	51.79	
5	6.78	40.26	0.15	6.61	46.2	
6	6.03	16.37	0.19	5.61	71.8	
7		21.65	0.2	18,284	59.13	0,736
8	8.63	22.27	0.2	9.27	59.47	0.16
9	5,87	36,05	0,12	7,96	48,8	1,27

Работа выполнена на оборудовании ЦКП «Научные приборы» Бурятского государственного университета.

Выводы

Показано, что с повышением концентрации меди в составе насыщающей среды, увеличивается величина диффузионного слоя, боридные иглы приобретают закругленный вид. Установлено, что при комплексном насыщении поверхности стали 40X бором и медью, наибольшая толщина диффузионного слоя достигается при использовании насыщающего состава №2, а также

установлено наличие меди на границе диффузионного слоя с основой металла и вокруг боридных игл.

Список литературы

1. Ворошнин Л.Г., Менделеева О.Л., Сметкин В.А. Теория и технология химико-термической обработки. – Минск: Новое издание, 2010.
2. Лыгденев Б.Д., Грешилов А.Д., Хараев Ю.П., Гурьев М.А., Долгоров А.А. Исследование фазового состава и дефектного состояния градиентных структур борированной стали 45 // Фундаментальные проблемы современного материаловедение. – 2010. – № 1. – С. 79-83
3. Гурьев А.М., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Черных Е.В., Лыгденев Б.Д., Хараев Ю.П. - Мэй Шун Чи, Иванова Т.Г. Формирование диффузионного слоя на углеродистых и легированных сталях при многокомпонентном насыщении бором, хромом, и титаном // XI International congress machines, technologies, materials 2014. September 17 – 2014, Varna, Bulgaria, Vol. 3. – Section „Materials”. – P. 76-78.
4. Похмурский В.И., Вагула Р.Г., Грибовский Я.С., Замиховский В.С. Влияние боромеднения на прочность и износостойкость среднеуглеродистой стали // Защитные покрытия на металлах. – Киев: Наукова думка, 1971. – Вып. 5, 172 с.
5. Лысых С.А., Хараев Ю.П., Корнопольцев В.Н., Бутуханов В.А. Исследование формирования диффузионных слоев на стали 20 при одновременном насыщении бором и медью // Современные наукоемкие технологии. – 2018. – №9. – С. 56-60.
6. Патент № 2477337 РФ, МПК С12С 8/70. Способ получения боридных покрытий из борной кислоты / В.Н. Корнопольцев – Заявитель и патентообладатель: Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук (БИП СО РАН), Общество с ограниченной ответственностью "Малое инновационное предприятие "МЕГАРЕСУРС" (ООО "МИП "МЕГАРЕСУРС"). – Заявл. 24.05.2011; опубл. 10.03.2013.
7. Крукович М.Г., Ключков Н.П., Савельева А.С., Бирюков В.П. Структурная модификация боридных слоев // Новые материалы и технологии в машиностроении. – 2014. – №19. – С. 65-71.

Сведения об авторах:

Лысых Степан Алексеевич – аспирант ВСГУТУ, г. Улан-Удэ;

Хараев Юрий Петрович – д.т.н., профессор, декан ЭТФ, ВСГУТУ, Улан-Удэ;

Корнопольцев Василий Николаевич – к.т.н., научный сотрудник, ФГБУН БИП СО РАН, Улан-Удэ.

STUDY OF THE FEATURES OF THE FORMATION OF A DIFFUSION LAYER DURING A SATURATION OF THE SURFACE OF STEEL 40X BORON AND COPPER

Lysykh S.A., Kharaev Yu.P., Kornopol'tsev V.N.

Keywords: saturating medium, microhardness, diffusion layer, chemical-thermal treatment, copper, boron.

Abstract: This paper presents studies on the production of diffusion layers using boron and copper as alloying elements. The obtained diffusion layers were studied on steel 40X after complex surface saturation with boron and copper. It has been established that with an increase in the copper content in the composition of the saturating medium, the thickness of the diffusion layer increases. The effect of the amount of copper in the saturating medium on the microhardness was analyzed.