Синтез и формирование слоев боридов ванадия (VB , V_3B_4 , VB_2) на легированных штамповых сталях под воздействием электронных пучков в вакууме

А.С. Милонов, Б.А. Данжеев, Н.Н. Смирнягина

Институт физического материаловедения СО РАН
670047 Улан-Удэ, Россия
e-mail: terwer81@mail.ru

DOI 10.31554/978-5-7925-0524-7-2018-185-188

В работе исследованы особенности формирования боридов ванадия (VB , V_3B_4 , VB_2) на поверхности штамповых сталей под воздействием интенсивных электронных пучков в непрерывном и импульсном режимах.

Введение

В обеспечении прочности и эксплуатационных характеристик изделия ведущая роль принадлежит свойствам его поверхности. Получение поверхности с высокими функциональными параметрами требует, как правило, дополнительной обработки с использованием комбинированного энергетического и физико-химического воздействия [1].

Одним из способов изменения химического состава поверхностных слоев металла является химико-термическая обработка (ХТО), частным видом которой является борирование. Диффузионное насыщение металлов и сплавов бором достаточно подробно описано в научно-технической литературе. В зависимости от агрегатного состояния исходного борсодержащего вещества различают газофазный, жидкофазный и твердофазный способы борирования. У каждого из этих способов есть свои достоинства и недостатки. К числу общих недостатков следует отнести высокие температурно-временные параметры обработки, т. е. для получения диффузионного слоя достаточной толщины необходимы высокие температуры борирования и длительные выдержки. Образующиеся при борировании диффузионные слои состоят из боридов железа FeB с микротвердостью 20200–21500 МПа и Fe_2B с микротвердостью 14000–15000 МПа. Такая высокая микротвердость обеспечивает борированным изделиям высокую износостойкость, но одновременно повышает хрупкость покрытий [2].

Использование электронного нагрева позволяет снизить хрупкость и повысить пластичность. После электронно-лучевого борирования слои более пластичны, чем после твердофазного. Кроме того, слои после электронно-лучевого борирования имеют гетерогенную структуру, сочетающую твердые (хрупкие) и более пластичные структурные составляющие.

Бориды переходных металлов обладают высокими температурами плавления (свыше 2000°C) и значениями твердости, достаточно устойчивы к окислению, поэтому представляют особый интерес для формирования покрытий на их основе. Боридные слои имеют высокие физико-механические характеристики. Микротвердость слоев достигает 20000 МПа, причем эти значения могут сохраняться до температур ~ 600-700°C, что позволяет применять борирование для повышения износостойкости изделий из штамповой стали X12МФ, работающих при высоких температурах.

Материалы и методы исследования

X12МФ - штамповая сталь холодного деформирования с повышенным содержанием хрома и включениями молибдена (ср.0,5%) и ванадия (ср.0,2%). Сталь X12МФ обладает хорошей теплостойкостью и прочностью, высокой прокаливаемостью, закаливаемостью и износостойкостью. Микротвердость стали X12МФ 2560 МПа. Также эта сталь технологична, хорошо обрабатывается резанием и давлением, удовлетворительно шлифуется.

Исследования проводили на образцах,

диаметром $\varnothing 15$ мм и высотой 7 мм, выполненных из штамповой стали X12МФ. Использовали насыщающие или реакционные обмазки. Насыщающие обмазки содержали борировующий компонент (аморфный бор или карбид бора) и органическое связующие. В состав реакционных обмазок входили стехиометрические смеси оксид V_2O_5 , бора/карбида бора и углерода и органического связующего. В качестве исходных материалов использовали оксиды квалификации «хч», бор аморфный квалификации «технический» и карбид бора «ч», березовый уголь. В состав обмазок входили борировующие компоненты и органическое связующие в соотношении 1:1 по объему. В качестве органического связующего применяли раствор 1:10 клея БФ-6 в ацетоне.

Нагрев образцов осуществляли электронным пучком в импульсном режиме с параметрами: ускоряющее напряжение - $U=24$ кВ; ток пучка - $I_r=63$ А. Обработку проводили с длительностью одного импульса - $t=20$ мкс; количество импульсов - $N=1800$; частота следования импульсов тока пучка - $f=6$ Гц. Давление в вакуумной камере 5×10^{-2} Па. [3,4]

Электронный нагрев непрерывным пучком в течение 2-5 минут при удельной мощности $W= 5,7 \times 10^2$ Вт/мм² (диаметр

электронного луча $d=1$ мм). Остаточное давление в вакуумной камере не превышало 2×10^{-3} Па [5].

Рентгенофазовый анализ (РФА) осуществляли на дифрактометре Phaser 2D Bruker (Cu $K\alpha_1$ – излучение).

Микротвердость измеряли на микротвердомере ПМТ-3М. Микротвердомер укомплектован адаптором с цифровой камерой и программой обработки изображений отпечатков NEXSYS ImageExpert MicroHardness 2 (ГОСТ 9450-76).

Микроструктура поперечных шлифов образцов исследована на металлографическом микроскопе METAM PB-21, укомплектованным цифровой камерой VEC-335 и программным комплексом NEXSYS ImageExpert Pro 3.0 для количественного металлографического анализа.

Результаты и их обсуждение

Металлографическим анализом установлено, что структуры поверхностных слоев, полученных в результате борирования импульсным и непрерывным электронными пучками на стали X12МФ отличаются (рис.1).

После ЭЛБ переходной зоны нет, видна чёткая граница между слоем и основным металлом. Слой состоит из округлых кри-

Рис. 1. Структура слоев на стали X12МФ

сталлов, располагающихся на поверхности или в объеме и эвтектики (рис.1). Толщина слоя составляет: после борирования импульсным электронным пучком 20-30 мкм, а после непрерывного пучка достигает 250-300 мкм. Малая толщина слоя после борирования импульсным электронным пучком объясняется тем, что пучок выбивает получившиеся СВС продукты до оплавления поверхности стали Х12МФ.

Термодинамические расчеты показали, что образование боридов ванадия сложный физико-химический процесс. Образование всех боридов проходит через стадию формирования борида V_3B_4 . VB_2 образуется в результате взаимодействия V_3B_4 и оксида B_2O_3 . Борид VB образуется при более высоких температурах в результате превращений $V_2O_3 \rightarrow VC \rightarrow V_3B_4 \rightarrow VO \rightarrow VB$.

Рис. 2. Микротвердость слоев на стали Х12МФ

При измерении микротвердости слоев боридов ванадия с шагом 30-50 мкм обнаружено неравномерное распределение ее по толщине (Рис. 2). Однако, во всех исследованных образцах наблюдалось закономерное распределение микротвердости в зависимости от толщины слоя. Отдельные очень редкие включения имеют $HV \approx 20000$ МПа и располагаются в приповерхностных зонах слоя. Слои характеризуются наиболее сложной неупорядоченной структурой. Увеличение микротвердости основы до $HV \approx 5000$ МПа объясняется тем что, она прошла закалку электронным пучком.

Следует отметить, что в слоях VB наблюдаются самые низкие значения микротвердости. Слои характеризуются наиболее сложной неупорядоченной структурой. Вероятно, это можно попытаться объяснить

тем, что этого борид претерпевает самые сложные фазовые превращения при образовании.

Выводы

Исследования позволяют сделать вывод об использовании ЭЛБ для упрочнения режущих инструментов и др., испытывающих разогрев в процессе работы до высоких температур без существенного снижения эксплуатационных свойств.

Известно, что наряду с высокой твердостью и износостойкостью, боридные слои обладают и существенным недостатком – повышенной хрупкостью. Проведенные исследования показали, что использование электронного нагрева позволяет снизить хрупкость и повысить пластичность. После электронно-лучевого борирования слои бо-

лее пластичны, чем после твердофазного. Кроме того, слои после электронно-лучевого борирования имеют гетерогенную структуру, сочетающую твёрдые (хрупкие) и более пластичные структурные составляющие. Такое сочетание отчасти объясняет отсутствие термических трещин при нагреве боридных слоёв до высоких температур.

Работа выполнена в рамках проекта программ фундаментальных исследований СО РАН № 0336-2016-0005 «№ II 9.3.1. разработка пучковых и плазменных вакуумных неравновесных процессов получения наноструктурированных материалов полифункционального назначения, моделирование структурных и фазовых превращений»

Литература

[1] Г.А. Воробьева, Е.Е. Складнова, А.Ф. Леонов, В.К. Ерофеев. Инструментальные стали. СПб: Политехника, 2005. – 268 с.

[2] Бурнышев И.Н., Валиахметова О.М., Мутагарова С.А. К вопросу борирования сталей // Вестник Ижевского государственного технического университета. 2007. - № 4 - С. 124-127.

[3] Коваль Н.Н., Щанин П.М, Винтизенко Л.Г., Толкачев В.С. Установка для обработки поверхности металлов электронным пучком //ПТЭ. 2005.- №1. -С.135-140

[4] Коваль Н.Н., Девятков В.Н., Григорьев С.В., Сочугов Н.Ч. Плазменный источник электронов «Соло» //Труды II международного крейнделевского семинара «Плазменная эмиссионная электроника» (г.Улан-Удэ, 17-24 июня 2006 г.), С.79-85.

[5] A S Milonov, B A Danzheev, N N Smirnyagina, D E Dasheev, T B Kim and A P Semenov 2015 Synthesis of transition metal borides layers under pulsed electron-beams treatment in a vacuum for surface hardening of instrumental steels // J. of Physics: Conf. Ser., vol. 652 012010 DOI (<http://iopscience.iop.org/1742-6596/652/1/012010>).