

ОЦЕНКА ХРУПКОСТИ БОРИДНЫХ СЛОЕВ ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО БОРИРОВАНИЯ

Сизов И.Г.

Восточно-Сибирский государственный технологический университет
г. Улан-Удэ, Россия

ESTIMATION OF BRITTLENESS OF THE LAYERS BY ELECTRON-BEAM BORIDING

I.G. Sizov

Eastern Siberia State Technological University, Ulan-Ude, Russia

Одним из эффективных способов поверхностного упрочнения деталей машин и инструментов является борирование, позволяющее повысить твердость, износостойкость, коррозионную стойкость и т.д. Боридные слои имеют высокие характеристики. Микротвердость слоя достигает 2200 кг/мм^2 , причем эти значения микротвердости могут сохраняться до $T=600-700 \text{ }^\circ\text{C}$, что позволяет применять борирование для повышения износостойкости изделий, работающих при высоких температурах. Электросопротивление стали при борировании увеличивается в 2 раза. Некоторые узлы современных машин, работающие в условиях трения, подвергаются повышенным вибрациям. Процессы, приводящие к износу деталей в таких условиях эксплуатации называются фреттинг-коррозией. Борирование является эффективным методом борьбы с этим явлением. Следует отметить перспективы применения борирования в реакторостроении, т.к. бор имеет большую величину поперечного сечения захвата нейтронов. Боридные слои обладают также, в определенных условиях, достаточно высокой коррозионной стойкостью в водных растворах соляной, серной и фосфорной кислот.

Наряду с указанными высокими (механическими, коррозионными и др.) свойствами, боридные слои имеют и недостатки.

Главным недостатком боридных слоев является их повышенная хрупкость. Повышенная хрупкость и склонность к образованию трещин и сколов объясняется анизотропией теплового расширения боридных фаз (FeB и Fe_2B). Абсолютные значения коэффициентов теплового расширения фаз диффузионного слоя, основы и характер их изменения от температуры, влияют на величину и распределение по глубине слоя временных и остаточных напряжений.

Решение проблемы снижения хрупкости боридного слоя может осуществляться разными способами, в числе которых:

- снижение хрупкости боридного слоя за счет его легирования;
- снижение хрупкости за счет формирования диффузионных слоев с максимальным содержанием фазы Fe_2B , вплоть до формирования однофазных слоев.

В данной работе приводятся результаты исследований хрупкости слоев на основе боридов тугоплавких металлов (титана, ванадия, хрома и вольфрама). Формирование боридных слоев осуществляли методом синтеза боридов тугоплавких металлов из соответствующих оксидов в вакууме с помощью электронно-лучевого нагрева (электронно-лучевое борирование) [1,2].

Технология электронно-лучевого борирования заключается в следующем. На подготовленную поверхность образцов из углеродистых сталей наносили обмазку, в состав которой входили: оксиды ($\text{TiO}_2, \text{V}_2\text{O}_5, \text{Cr}_2\text{O}_3, \text{WO}_3$), карбид бора B_4C , углерод, а также органическое связующее – раствор (1:10) клея БФ-6 в ацетоне. Образцы обрабатывали в вакууме при давлении $P=2 \times 10^{-3} \text{ Па}$ электронным пучком с удельной мощностью $(2 \div 2,5) \times 10^3 \text{ Вт/см}^2$ в течение $2 \div 5$ минут (Обработку электронным пучком проводили в Отделе физических проблем БНЦ СО РАН).

Исследования микроструктуры слоев показали, что формирование боридных слоев возможно тремя механизмами: диффузионным, диффузионно-кристаллизационным и из жидкой фазы.

При формировании слоев по диффузионно-кристаллизационному механизму структуру слоя определяет количество жидкой фазы. При относительно малом количестве жидкой фазы в слое (не более 25 %), борированный слой состоит из отдельных дисперсных боридов, распределенных в мягком твердом растворе (псевдоэвтектический слой). При более высоком содержании жидкой фазы борированный слой имеет эвтектическую структуру.

Для оценки хрупкости слоев использовали напряжение скола и предельную деформацию.

Напряжение скола ($\sigma_{ск}$) является интегральной характеристикой хрупкости слоя, самопроизвольно учитывающей физико-механические свойства самих боридов (микротвердость, модуль упругости), фазовый состав, соотношение фаз, их дисперсность и взаимное расположение в слое и на поверхности, напряженное состояние слоя и его пластичность. Определяется $\sigma_{ск}$ по следующей формуле:

$$\sigma_{ск} = 0,174P / (2L^2 + CL) \quad (1)$$

где, P - нагрузка на индентор при измерении микротвердости; L – минимальное расстояние от центра отпечатка до края образца, при котором не происходит скалывание боридного слоя; C – диагональ отпечатка.

Предельная деформация ($\epsilon_{пред}$) является величиной предельной пластичности материала, учитывающей пластическую деформацию (диагональ отпечатка) и разрушение материала (длина трещины) и определяется по формуле (Скуднов В.А.):

$$\epsilon_{пред} = D_{отп} / L_{тр} \quad (2)$$

где, $D_{отп}$ - диагональ отпечатка; $L_{тр}$ – длина трещины между отпечатками.

Результаты приведены в таблице.

Анализ результатов показывает, что слои на основе боридов тугоплавких металлов имеют меньшую хрупкость по сравнению со слоями на основе боридов железа. Напряжение скола и величина предельной пластической деформации боридных слоев (FeB и Fe₂B) после твердофазного борирования (борирование в порошковой смеси (97% В₄С + 3% КВФ₄) в контейнере с плавким затвором) составляют 1,13 и 245, соответственно, а после комбинированного борирования (твердофазное борирование с последующей обработкой электронным пучком боридного слоя) составляет 1,38 и 414 [3].

№	Обработка	Марка материала	$\epsilon_{пред}$	$\sigma_{ск}$, МПа	Балл хрупкости
1	Электронно-лучевое боротитанирование	Ст3	1,24	390	2
2	Электронно-лучевое борованадирование	Ст3	1,72	490	2
3	Электронно-лучевое борвольфрамирование	Ст3	1,19	340	3
4	Электронно-лучевое борохромирование	Ст3	1,51	425	3

Вывод: Формирование в слое боридов тугоплавких металлов (титана, ванадия, хрома и вольфрама) позволяет снизить его хрупкость ($\sigma_{ск}$) и повысить пластичность ($\epsilon_{пред}$).

Литература.

- Сизов И.Г., Смирнягина Н.Н., Семенов А.П. Особенности электронно-лучевого борирования сталей // *Металловедение и термическая обработка металлов.* –1999. -№12. –С.8-11.
- О синтезе в вакууме боридов тугоплавких металлов / Н.Н. Смирнягина, И.Г. Сизов, Б.А. Прусаков и др. // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, Машиностроение.* –2001. -№2 (43). –С.53-56.
- Сизов И.Г. Мессбауэровская спектроскопия боридного слоя после электронно-лучевой обработки // *Металловедение и термическая обработка металлов.* –2003. -№9. –С.22-25.