

ВНЕВАКУУМНАЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ НАПЛАВКА ВАНАДИЯ, ТИТАНА И ГРАФИТА НА СТАЛИ

Д.О. Муль, Д.С. Кривеженко, М.С. Королева

Научный руководитель: д. т. н., проф. Батаев А.А.

«Новосибирский государственный технический университет»,

г. Новосибирск

ddariol@ya.ru

Проведены исследования структуры и триботехнических свойств покрытий, сформированных на стали 40Х вневакуумной электронно-лучевой наплавкой порошковых смесей ванадия, титана и графита. Увеличение содержания ванадия в наплавочной смеси приводит к изменению формы карбидных выделений и их росту в структуре наплавленного слоя. В условиях трения нежестко закрепленными абразивными частицами покрытия с данной структурой имеют максимальную стойкость к изнашиванию.

Введение.

Известно, что карбид титана обладает высокой твердостью. В сталях карбид титана выполняет роль упрочняющих частиц и способствует измельчению зерна. Благодаря этому его часто добавляют в сталь в процессе литья с целью повышения триботехнических и дюрометрических свойств готового материала. Однако с повышением твердости и износостойкости таких сталей возрастает и их хрупкость. Поверхностное упрочнение позволяет повысить стойкость к износу и сохранить пластичность стальных крупногабаритных деталей. В последнее время для поверхностного упрочнения металлических материалов представляет интерес вневакуумная электронно-лучевая наплавка порошковых смесей. Эта технология обладает рядом преимуществ: высокая производительность, высокая мощность оборудования, возможность обрабатывать крупногабаритные заготовки. В процессе наплавки выделяется большое количество энергии, достаточное для полного расплавления поверхностного слоя металлической основы и порошковых материалов, нанесенных на заготовку. Таким образом появляется возможность синтезировать карбиды в расплаве.

В литературе описаны результаты исследований структуры и триботехнических свойств поверхностных слоев сталей, полученных наплавкой в процессе обработки электронным пучком, выведенным в воздушную атмосферу, порошковых смесей следующих составов: карбид титана, титан с углеродом, титан с карбидом кремния [1, 2]. Износостойкость полученных поверхностных слоев выше в несколько раз по сравнению с материалом основы. Исследования показали, что при наплавке смеси, содержащей титан и углерод, в покрытиях выделился карбид титана преимущественно в виде отдельных частиц размером 3,3 мкм, в то время как в покрытии, сформированном наплавкой карбида титана, карбид титана

присутствовал в основном в виде агломератов. Максимальный размер образованных агломератов достиг 1 мм. В результате негативного влияния неравномерного распределения упрочняющей фазы в покрытиях на триботехнические свойства износостойкость материала, содержащего большое количество агломератов TiC, ниже по сравнению с покрытиями, в котором агломератов меньше. Введение карбида кремния в титансодержащую наплавочную смесь, привело к формированию поверхностного слоя без агломератов. Объемная доля первичных карбидов титана в таком типе покрытий максимальная. Таким образом, можно предположить, что кремний в ванне расплава играет роль смачивающей составляющей, способствующей равномерному распределению атомов титана в расплаве.

В представленной работе проведены исследования структуры и триботехнических свойств поверхностных слоев, полученных в результате наплавки порошковых смесей, содержащих титан, графит и ванадий, на среднеуглеродистые стали 40X с использованием энергии высокоэнергетического электронного пучка.

Материалы и методы исследования

Покрытия на сталях были получены методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковой смеси на установке ЭЛВ-6. В качестве наплавляемых порошков, использовали графит с размером частиц равным 30-80 мкм, титан (50-90 мкм) и ванадий (1-30 мкм) (таблица 1). Для защиты расплава от окисления в наплавляемую смесь вводили флюс MgF₂ в количестве 40 масс. %. Основа под наплавку представляла собой пластину из стали 40X размерами 12x50x100 мм. Режимы, по которым проводилась наплавка, также отражены в таблице 1.

Таблица 1 – Режимы наплавки

Тип покрытия		А	Б	В
Состав наплавляемой смеси, г	титан	5,654	4,2968	2,974
	графит	1,202	1,258	1,248
	ванадий	3,044	4,3448	5,678
Плотность насыпки, г/см ²		0,33		
Энергия электронов, МэВ		1,4		
Ток пучка, мА		27	26	24
Частота сканирования, Гц		50		
Диаметр пучка, мм		12		
Скорость перемещения столика относительно выпускного устройства, мм/с		10		

Металлографический анализ наплавленных слоев проводили с использованием оптического микроскопа типа CarlZeissAxioObserver Z1m и растрового электронного микроскопа типа CarlZeiss EVO 50 XVP. Рентгенофазовый анализ выполняли на дифрактометре ARL X'TRA.

Триботехнические испытания были проведены в условиях трения о нежестко закрепленные частицы абразива. Абразивом служил речной песок, средний размер частиц которого составлял 200 мкм.

Результаты их обсуждения

В результате наплавки на стальные заготовки порошковых композиций типа «А», «Б» и «В» сформировались покрытия толщиной 1,9, 2,3 и 2,0 мм соответственно. Взаимодействие титана с ванадием и углеродом привело к образованию карбидов. Карбидные частицы по глубине наплавленного слоя распределены равномерно. На рисунке 1 представлена световая микроскопия легированных слоев. С увеличением содержания ванадия в покрытиях размер карбидных частиц увеличивается, частицы вытягиваются и приобретают дендритную форму. Энергодисперсионный анализ, проведенный на растровом электронном микроскопе, выявил в покрытии «А» наличие пиков титана, углерода и ванадия в карбидных выделениях. В металлической матрице имеется железо, хром, ванадий, титан и кремний. В покрытии «Б» наблюдался аналогичный характер распределения элементов. Установлено, что уменьшение количества титана в наплавочной смеси при формировании покрытия по режиму «В» приводит к неравномерному распределению титана и ванадия в карбидных выделениях. В центре карбидных частиц преимущественно располагается титан с углеродом, по мере удаления от центра к периферии частиц ванадий начинает замещать титан, а по границам зафиксирован только ванадий с углеродом.

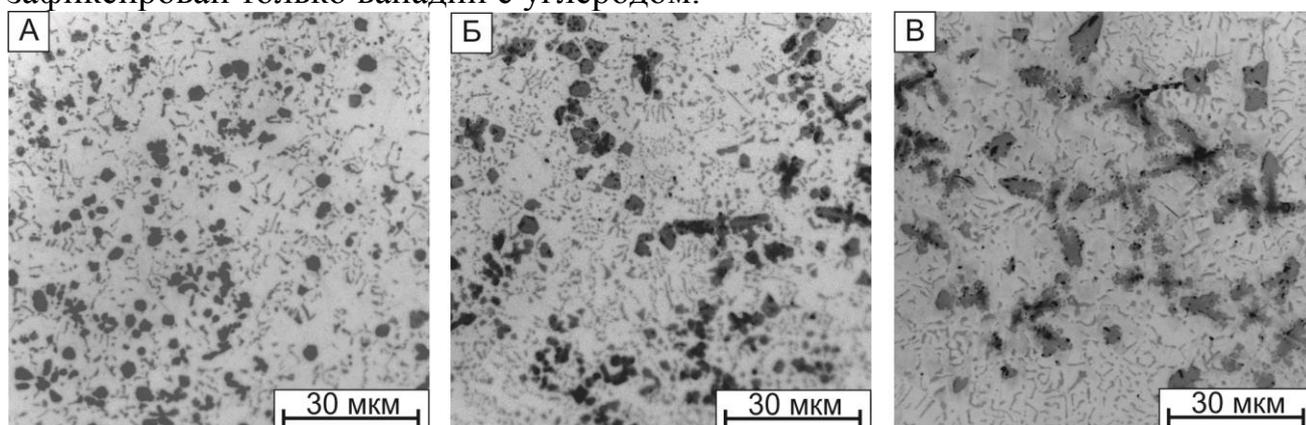


Рис. 1. Структура слоев в нетравленном состоянии, наплавленных по режиму А (А), Б (Б), В (В). Световая микроскопия

Результаты триботехнических испытаний приведены на рисунке 2. Износостойкость наплавленных слоев выше износостойкости материала основы в отожженном и закаленном состоянии. Среди упрочненных покрытий наиболее стойким к износу оказалось покрытие, полученное вневакуумной электронно-лучевой наплавкой порошковой смеси, содержащей 2,97 г титана, 1,25 г углерода и 5,68 г ванадия, на сталь 40Х.

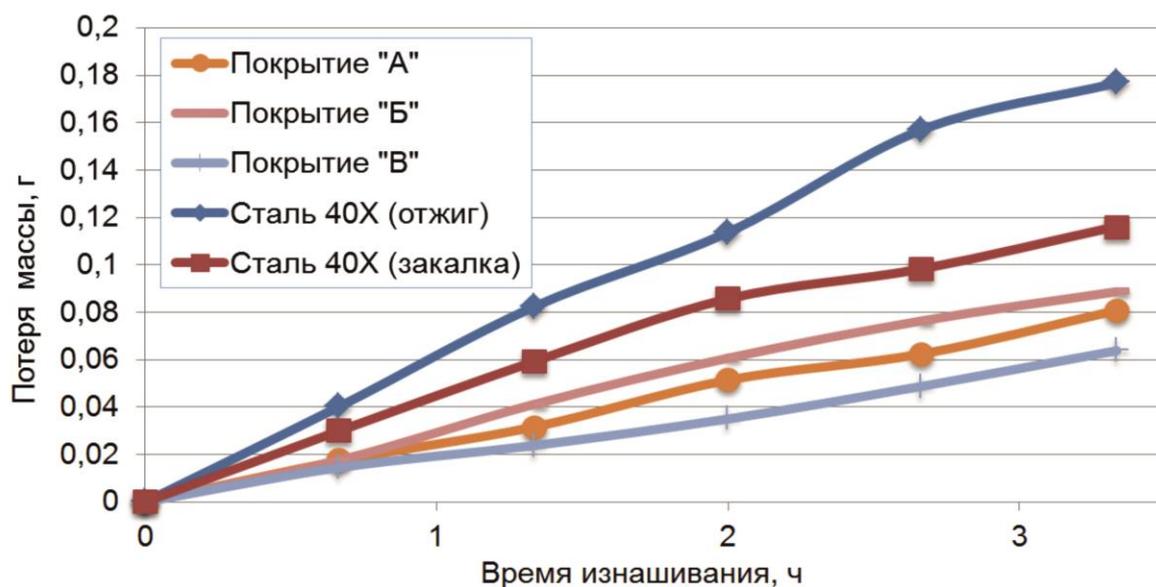


Рис. 2. Потеря массы образцов при трении о нежестко закрепленные частицы абразива

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. E. Yun, Y.C. Kim, S. Lee, N.J. Kim, Correlation of microstructure with hardness and wear resistance in (TiC,SiC)/stainless steel surface composites fabricated by high-energy electron-beam irradiation. Metall. Mater. Trans. A 35(13) (2004) 1029-1038.

2. J. Lee, K. Euh, J.C. Oh, S. Lee, Microstructure and hardness improvement of TiC/stainless steel surface composites fabricated by high-energy electron beam irradiation, Mater. Sci. Eng., A. 323(1-2) (2002) 251-259.