

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТОНАЦИОННОГО НАПЫЛЕНИЯ НА СТРУКТУРУ ПОКРЫТИЙ Zr-AL-B И СТЕПЕНЬ ИХ АМОРФИЗАЦИИ

Определены технологические режимы, ответственные за получение аморфизированных покрытий, на базе теоретического анализа условий структурообразования покрытий, системы Zr-Al-B. Получен наиболее предпочтительный вариант максимально износостойкого покрытия, структура которого представлена аморфной матрицей с незначительными микрокристаллическими включениями твёрдых фаз.

Ключевые слова: износ, детонационные покрытия, Zr-Al-B, износостойкость, прочность, вторичные структуры.

ELENA VASILEVNA KHARCHENKO

National Aviation University, Kyiv

SERGEY STEPANOVICH BYS

Khmelnitsky National University

EFFECT OF PROCESS PARAMETERS OF DETONATION DEPOSITION OF COATINGS ON THE STRUCTURE Zr-AL-B AND THE DEGREE OF AMORPHIZATION

Abstract – Presented by the study of the influence of main technological parameters on the physical, mechanical and tribological properties of the coatings Zr-Al-B in a variety of test conditions.

On the basis of theoretical analysis of the conditions of structure surfaces of Zr-Al-B defined process conditions responsible for obtaining amorphous coatings. By changing the ratio of fuel gas and oxidant in the detonation mixture of neutral gas additives, the particle size of the sprayed powder, rate and length of the barrel unable to resuscitate ratio between amorphous and crystalline components in the coating. To cover the system Zr-Al-B justified amount of amorphous component at around 70 ... 80 %. Modes of detonation spraying to ensure minimization of dissolved gases in the coating, the corresponding increase in the amount of amorphous phases are, with the maximum strength of the adhesion of the coating corresponds to regimes under which ensures a maximal - its content.

Defined process conditions responsible for obtaining amorphous coatings on the basis of theoretical analysis of the conditions of structure coating system Zr-Al-B. In the results of the study of wear resistance of amorphous coatings found that the most preferred embodiment of the coating in terms of maximum wear resistance are covering, the structure of which is represented by an amorphous matrix with minor inclusions of microcrystalline solid phases.

Keywords: wear, detonation coatings, Zr-Al-B, wear resistance, strength, secondary structures.

Вступлення. Сегодня значительное научное внимание в промышленно развитых странах представляют технологии получения предельных неравновесных состояний, которые достигаются при больших скоростях охлаждения ($V_{\text{окл}} \geq V_{\text{кр}}$). При этом материалы приобретают метастабильную аморфизированную структуру, обладающую комплексом свойств, по уровню которых они во многом превосходят традиционно применяемые металлы и сплавы.

Использование импульсных концентрированных источников энергии, каковыми является детонационно-газовое напыление, позволяет получать аморфные и аморфно-кристаллические покрытия. Этому современному методу нанесения аморфизированных покрытий посвящено большое число публикаций, как в нашей стране, так и за рубежом, однако имеющиеся в них сведения о структуре, свойствах носят в основном иллюстративный характер, закономерности их структурообразования, триботехнические возможности практически не анализируются.

Цель работы. В связи с вышеизложенным, представлено исследование влияния основных технологических параметров на физико-механические и триботехнические свойства покрытий Zr-Al-B в различных условиях испытаний.

Методика исследований. В соответствии с теоретическими результатами аморфизации детонационных покрытий Zr-Al-B, изложенными в работе [1], обосновано экспериментальное изучение влияния основных технологических параметров процесса напыления, таких как:

- соотношение объёмных расходов горючего и окислителя в детонирующей смеси, обуславливающих скорости и химический состав продуктов детонации;
- количество добавляемого в детонационную смесь нейтрального газа с точки зрения изменения скорости и температуры напыляемых частиц порошка, а также степени их химического и диффузионного взаимодействия;
- количество фракций напыляемого материала как обуславливающих толщину затвердевающих частиц и, соответственно, их скорость охлаждения;
- соотношение объема детонирующей смеси и количества напыляемого порошкового материала как наиболее значимого с точки зрения тепловых процессов, в том числе нагрева напыляемого материала.

В качестве напыляемого материала использовался разработанный порошок системы $Zr_{55}Al_{30}B_{15}$, варьирование технологических параметров осуществляли путём изменения соотношения горючего газа и окислителя, количества добавок нейтрального газа, размера частиц порошка и объёма детонирующей смеси в условиях постоянного расхода напыляемого материала.

Износостойкость покрытий в условиях трения скольжения изучали на универсальной машине УМТ-1,

имитируя работу реальной трибопары. Толщина покрытий после шлифовальной обработки составляла 200–250 мкм.

Исследования поверхностного слоя, в котором протекают процессы активирования, определяющие ведущий вид износа, осуществлялись методами зондовой растровой электронной микроскопии на установке «Самскан» (ускоряющее напряжение 25 кВт, ток пучка 200 мА). Для химического анализа поверхностных структур, зон локализации их составляющих, использовалась программа ZAF-L/FLS.

Результаты исследований и их обсуждение. Было установлено, что изменение принципа подачи порошкового материала в ствол установки позволяет достигать увеличения количества аморфной фазы в структуре покрытия до 40%. Полученный результат, по нашему мнению, обусловлен изменениями взаимного термического влияния напыляемых частиц в процессе формирования детонационных покрытий, так при продольной подаче порошка обеспечивается более высокая степень аморфизации структуры материала, чем при поперечной, что в общем-то, согласуется с данными [1].

Технологические параметры режимов напыления покрытий с аморфизированной структурой представлены в таблице 1.

Таблица 1

Режимы напыления покрытий Zr-Al-B.

№ режима напыления	Размер частиц, напыляемого материала, мкм	Соотношение расходов детонационных газов		
		C ₂ H ₂	O ₂	N ₂
1	5...40	0,5	0,5	0,5
2	5...40	0,5	0,1	0,5
3	5...40	1,0	1,0	1,0
4	5...70	1,0	1,0	0,5
5	5...70	0,5	0,5	0,5
6	5...150	0,5	0,5	0,5

Как видно из таблицы, в процессе напыления варьировались объемные соотношения компонентов детонирующей смеси, размер частиц порошкового материала. Так, в первых двух режимах изменяли, содержание кислорода в смеси при фиксированных количествах ацетилена и азота, в последующих двух режимах при постоянных расходах ацетилена и кислорода изменяли концентрацию азота. Содержание ацетилена и кислорода при фиксированной подаче азота изменяли в четвертом и пятом режимах, отношение объема смеси к количеству порошка и гранулометрический состав напыляемых частиц изменяли соответственно в первом, втором и в первом, пятом, шестом режимах.

Результаты исследований влияния технологических режимов напыления на характеристики детонационных покрытий Zr-Al-B сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Влияние технологических режимов на характеристики покрытий

№ режима напыления	Количество аморфной фазы, %	Количество растворенных газов		Твёрдость HV, МПа	Прочность сцепления с основой, МПа
		[O ₂], %	[N ₂], %		
1	70	0,25	0,55	760	78
2	57	1,5	3,5	670	64
3	82	0,3	0,8	895	87
4	75	0,8	1,5	810	81
5	67	0,2	0,4	785	66
6	52	0,15	0,35	655	61

Анализ полученных экспериментальных результатов указывает на сложный характер влияния технологических режимов на формирование структуры и свойств аморфно-кристаллических покрытий в условиях детонационного напыления. При этом представляется возможным определение оптимальных условий разработки технологических режимов получения аморфных покрытий, а также покрытий с заданным соотношением аморфной и кристаллической фаз при детонационном напылении[2].

Повышение скоростного напора продуктов детонации способствует общему улучшению качества покрытий, в частности пористости, микротвёрдости, росту количества аморфной фазы, подтверждением чего служат данные технологических режимов напыления, приведённые в таблице 2. Режимы детонационного напыления, обеспечивающие минимизацию содержания растворенных газов в покрытии, также соответствуют повышению количества аморфной фазы.

Снижение степени химической активности детонирующей среды достигается путём ввода в смесь нейтральных газовых компонентов и повышения содержания горючих компонентов в смеси. Ввод нейтральных газовых добавок снижает концентрацию химически активных соединений на единицу объема продуктов детонации. Повышение содержания горючего компонента в смеси, обеспечивает более эффективную нейтрализацию окислительной составляющей детонации.

Повышение скоростного напора продуктов детонации достигается путём повышения объема детонирующей смеси (или степени заполнения ствола детонационной установки), что в момент детонации соответствует снижению удельного объема продуктов детонации и повышению их скорости. В результате изменения технологических параметров имеют место покрытия с различным соотношением аморфной и

кристаллической составляющих. Представляет интерес исследование влияния структурного состояния аморфизированных покрытий на триботехнические характеристики. По результатам эксперимента установлено, что степень химической активности детонирующей среды наряду с дисперсностью напыляемого порошка, оказывая существенное влияние на структуру формируемого слоя, позволяет изменять триботехнические характеристики покрытий. Исследования влияния структурного состояния аморфизированных покрытий приведено в таблице 3.

Результаты триботехнических испытаний представлены на рис.1

Зависимость износостойкости покрытия от количества аморфной фазы в исследуемых пределах носит монотонный характер. При этом имеется корреляционная зависимость между кинетическими параметрами процесса формирования аморфизированного слоя и его физико-механическими свойствами (твёрдость, пористость, износостойкость). Установлено, что режимы напыления, приводящие к увеличению количества аморфной фазы в покрытии, соответствуют повышению его износостойкости. При этом, режимы напыления, повышающие объемное содержание аморфной фазы в детонационных покрытиях Zr-Al-B приводит к улучшению триботехнических характеристик.

Таблица 3

Режимы напыления №	Фазовый состав, %				Содержание газов, %	
	аморфные	Zr ₂ Al	Zr ₃₅ Al ₁₅ B ₅	α-Zr	O ₂	N ₂
C ₂ H ₂ :O ₂ +1:1,0	69	7,1	4,3	3,5	0,5	1,0
C ₂ H ₂ :O ₂ +1:1,4	81	10,2	4,8	1,8	0,35	0,55
C ₂ H ₂ :O ₂ +1:1,6	45	6,4	3,0	38,8	1,55	3,5

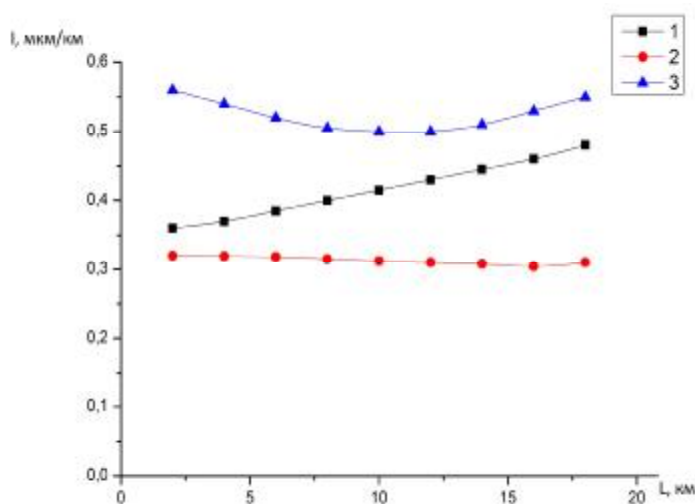


Рис. 1. Интенсивность изнашивания аморфизированных покрытий Zr-Al-B в зависимости от режимов напыления: 1 – с соотношением C₂H₂:O₂ как 1:1; 2 – с соотношением C₂H₂:O₂ как 1:1,4; 3 – с соотношением C₂H₂:O₂ как 1:1,6 (при V = 0,5 м/с, P = 5,0 МПа)

покрытия соответствует режимам, при которых обеспечивается максимальное его содержание.

Таким образом, в результате исследования износостойкости аморфизированных покрытий установлено, что наиболее предпочтительным вариантом покрытия с точки зрения обеспечения максимальной износостойкости являются покрытия, структура которых представлена аморфной матрицей с незначительными микрокристаллическими включениями твёрдых фаз.

Литература

1. Харченко Е.В. Технологические факторы формирования аморфных детонационных покрытий системы Zr-Al-B / Е.В. Харченко // МНТК «Авиа-2009». – К. : НАУ, 2010. – С. 45–48.
2. Вопросы формирования метастабильных структур сплавов / [под ред. И.С. Мирошниченко]. – Днепропетровск : ДГУ, 2008. – 228 с.

References

1. Kharchenko EV Technological factors of detonation coatings of amorphous Zr-Al-B. IRTC "Avia-2009". K.: NAU, 2010. p. 45–48.
2. Issues of formation of metastable structures of alloys / Under red. I.S. Miroshnichenko. Dnepropetrovsk: DGU. 2008. 228 p.

Рецензія/Peer review : 25.7.2013 р.

Надрукована/Printed : 26.9.2013 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Гордєєв А.І.