УДК 621.762.4.04

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-11-258-55-60

*А. В. Крохалев, д-р. техн. наук, В. О. Харламов, канд. техн. наук, Д. Р. Черников, аспирант,
А. С. Балагуров, магистрант, С. В. Кузьмин, д-р техн. наук, В. И. Лысак, академик РАН*

ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ИЗ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ НА РАБОЧИЕ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ УЗЛОВ ТРЕНИЯ

Волгоградский государственный технический университет, weld@vstu.ru

Разработана технология нанесения взрывом на поверхность деталей центробежных насосов для перекачки перегретого дистиллята в условиях АЭС покрытий из порошковых твердых сплавов системы $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-Ti}$, обеспечивающая высокую твердость покрытий и прочность их соединения с покрываемой поверхностью, и существенно лучшие по сравнению с существующими материалами триботехнические характеристики при трении по силицированному графиту в воде.

Ключевые слова: карбид хрома, титан, взрывное прессование, покрытие, износ, трение

A. V. Krokhalev, V. O. Kharlamov, D. R. Chernikov, A. S. Balagurov, S. V. Kuz'min, V. I. Lysak

TECHNOLOGY OF DEPOSITION OF COATINGS FROM HARD ALLOYS ON THE WORKING SURFACES OF FRICTION UNITS

Volgograd State Technical University, weld@vstu.ru

A technology has been developed for applying explosively to the surface of centrifugal pump parts for pumping overheated distillate under NPP conditions of hard alloy coatings of the $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-Ti}$ system, which ensures high hardness of the coatings and the strength of their connection with the surface to be coated, and the best tribotechnical materials in comparison with existing materials friction characteristics against siliconized graphite in water.

Keywords: chromium carbide, titanium, explosive pressing, coating, wear, friction

В настоящее время в насосах для перекачки перегретого до 280°C дистиллята при давлении 160 бар используются пары трения из самосмазывающегося материала – силицированного графита. Повышение ресурса их работы является актуальной задачей, т. к. может обеспечить увеличение длительности межремонтного периода соответствующего оборудования.

Силицированный графит получают пропиткой пористого графита расплавленным кремнием. Его основу составляет жесткий каркас, состоящий из SiC и не связанного углеродом кремния, в промежутках которого располагается свободный графит, выполняющий роль твердой смазки.

Авторы работы [1] констатировали тот факт, что для успешной работы узла трения вовсе не обязательно, чтобы оба элемента пары трения содержали в своем составе твердую смазку. Как показали дальнейшие

исследования [2], лучшие триботехнические характеристики достигаются при использовании в качестве элементов пары трения материалов, существенно отличающихся друг от друга по твердости.

Исходя из этого, задача повышения ресурса работы рассматриваемых пар трения может быть решена путем замены материала одного из ее элементов другим, менее твердым износостойким материалом.

Наилучшим комплексом свойств необходимым для эффективной работы в условиях трения преимущественно по карбиду кремния в воде обладают твердые сплавы на основе карбида хрома Cr_3C_2 , оптимально сочетающего высокое сопротивление схватыванию с достаточно низкой температурой перехода в пластичное состояние [3, 4].

Изготовление деталей узлов трения целиком из твердых сплавов представляет собой достаточно сложную технологическую

задачу (прежде всего вследствие их сравнительно больших размеров). Это делает предпочтительным нанесение подобных материалов на рабочие поверхности деталей в виде покрытий.

Замена одного из трущихся элементов пары трения «силицированный графит по силицированному графиту» на стальную деталь с покрытием из карбидохромового твердого сплава весьма перспективна с точки зрения расширения номенклатуры узлов трения, в которых может быть использован силицированный графит. Это связано с тем, что в ряде случаев длительная эксплуатация подвижного элемента пары, изготовленного из него невозможна вследствие недостаточной стойкости силицированного графита к хрупкому разрушению под воздействием вибраций.

Для получения достаточно толстых практически беспористых композиционных покрытий «карбид хрома – металлическая связка» наиболее перспективным является

взрывной способ. При его использовании наилучшие результаты могут быть достигнуты в случае применения в качестве связки сплава такого металла, как титан [5]. Взрывной способ получения твердых сплавов позволяет в довольно широких пределах изменять их состав, и прежде всего соотношение между карбидной и металлической составляющими материала [6].

С целью проверки выработанных рекомендаций по подбору составов твердых сплавов на основе карбида хрома и назначению режимов их взрывного нагружения порошковые смеси карбида хрома с титановой связкой в количестве 30 и 50% по объему (22 и 40% по массе) наносились на поверхность трения подвижного кольца разгрузки (рис. 1) механизма осевого уравнивания ротора многоступенчатого секционного центробежного насоса для перекачки перегретого дистиллята в условиях АЭС.

Для осуществления взрывного нагружения применялась схема, представленная на

Рис. 1. Кольцо разгрузки многоступенчатого секционного центробежного насоса

Рис. 2. Схема нанесения покрытий на поверхность трения заготовки кольца разгрузки:

1 – электродетонатор; 2 – детонирующий шнур; 3 – заряд ВВ; 4 – промежуточная прокладка; 5 – порошковая смесь карбида хрома и титана; 6 – плакируемая заготовка; 7 – песчаная подушка; 8 – порошок титана; 9 – стальная плита

рис. 2. В качестве плакируемой основы в схеме использовалась плоская стальная заготовка диаметром $\varnothing 255$ мм с отверстием $\varnothing 100$ мм в центре и выступающей торцевой рабочей поверхностью шириной 40 мм по ее наружному краю. Применение для осуществления ударно-волновой обработки нагружения плоской нормально падающей детонационной волной позволило обойтись без использования каких-либо дополнительных мер по предотвращению «сноса» покрытий в процессе их нанесения.

С целью увеличения прочности соединения покрытий со стальным основанием перед засыпкой порошковой смеси карбида хрома с титаном на поверхности последней

размещался подслои порошка титана толщиной 1 мм. Для уменьшения коробления заготовок использовался заряд взрывчатого вещества в форме кольца с отверстием в центре, а в основании схемы дополнительно устанавливалась заглубленная в песчаную подушку стальная плита толщиной 40 мм.

Параметры взрывного нагружения, использованные для плакирования, а также механические свойства полученных покрытий приведены в табл. 1

Механическая обработка полученных взрывом заготовок проводилась на базе ПО «Баррикады» (г. Волгоград) и не потребовала использования какого-либо нестандартного оборудования. Внешний вид заготовок

Таблица 1 – Параметры технологии изготовления опытных заготовок

Материал покрытия	Содержание связки, об. %	Параметры нагружения				Свойства покрытий	
		Толщина слоя порошковой смеси, мм	Высота заряда, мм	Взрывчатое вещество	Толщина промежуточной прокладки, мм	Твердость покрытия, HV	Прочность соединения покрытия с основой на срез, МПа
КХТ-22	30	6	130	Аммонит № 6ЖВ	0,75	1120	69
КХТ-40	50					640	81

Рис. 3. Внешний вид заготовки кольца разгрузки после взрывного плакирования и предварительной механической обработки

после предварительной механической обработки приведен на рис. 3.

С целью решения вопроса о целесообразности практического использования разработанных износостойких твердых сплавов были проведены триботехнические испытания некоторых уже известных антифрикционных материалов, применяемых в рассматриваемых узлах трения: силицированного

графита СГП-0,5 и твердого сплава карбида хрома с никелем КХН-20, получаемых традиционными методами. Результаты экспериментов приведены в табл. 2.

Как видно из приведенных данных (рис. 4, а), коэффициенты трения материалов на основе карбида хрома с титановой связкой при любых режимах трения несколько превышают коэффициент трения силициро-

Таблица 2 – Результаты испытаний материалов опытных деталей осевых подшипников в сравнении с традиционными

Свойство материала	Разработанные материалы		Традиционные материалы	
	КХТ-30	КХТ-50	СГП-0,5	КХН-20
Минимальный коэффициент преимущественно жидкостного трения $k_{\min}$	0,089	0,093	0,054	0,123
Предельная нагрузка устойчивого преимущественно жидкостного трения $P_{\text{ж}}$, МПа	3,3	1,9	1,4	2,6
Коэффициент трения при граничной смазке $k_{\text{гр}}$	0,100	0,129	0,076	0,152
Предельная нагрузка схватывания $P_{\text{с}}$, МПа	11,5	6,9	3,5	5,2
Коэффициент трения в режиме схватывания, $k_{\text{с}}$	0,110	0,140	0,080	0,154
Износ штифта $\Delta V_{\text{ш}}$, мм ³	0,2	0,6	0,9	0,7
Износ кольца из силицированного графита, мг	1	10	34	18
Объемный износ кольца $\Delta V_{\text{к}}$, мм ³	0,4	0,2	14,2	7,5
Суммарный износ пары трения, $\Sigma \Delta V$, мм ³	0,6	0,8	15,1	8,2
Минимальный коэффициент преимущественно жидкостного трения $k_{\min}$	0,089	0,093	0,054	0,123

ванного графита по силицированному графиту, но все-таки остаются ниже, чем коэффициенты трения известного карбидохромового материала КХН-20 по силицированному графиту, что указывает на допустимость использования разработанных антифрикционных материалов в рассматриваемых условиях эксплуатации. Предельная нагрузка преимущественно жидкостного трения (рис. 4, б) для сплавов карбида хрома с 30 об. % титана оказывается выше, чем у пары трения «СГП-0,5 по СГП-0,5», а также пары трения «КХН-20 по СГП-0,5».

Для материалов на основе Cr_3C_2 , содержащих 50 об. % титана, величина этой нагрузки несколько меньше, чем для сплава с 30 об. % титановой связки, и даже ниже

чем для сплава КХН-20, но она всё-таки оказывается более высокой, чем для силицированного графита, что так же указывает на возможность использования разработанных порошковых сплавов. Тем более, что предельная нагрузка схватывания этих материалов существенно выше, чем для базового и альтернативного вариантов.

Еще более явно видно преимущество разработанных материалов по данным об их износе в паре трения с силицированным графитом (рис. 4.9, в): износ образцов, содержащих 30 и 50 об. % титана и износ контртела для них существенно ниже, чем для известных вариантов исполнения пары трения.

Таким образом, проведенные исследова-

а

б

в

Рис. 4. Антифрикционные свойства и износостойкость новых материалов в сравнении с традиционными:

а – коэффициенты различных условий трения; б – предельные нагрузки режимов трения; в – износ образцов

Новые материалы:

КХТ-30 КХТ-50

Традиционные:

СГП-0,5 КХН-20

ния показывают, что замена одного из элементов пары трения «силицированный графит по силицированному графиту» на деталь с покрытием из твердого сплава на основе карбида хрома с титановой связкой может существенно повысить долговечность узла трения за счет снижения суммарного износа пары трения. При этом можно добиться различного распределения износа между элементами пары трения: при использовании сплава с 30 об. % титановой связки меньше изнашиваться будет деталь с покрытием, а применение сплава с 50 об. % титана обеспечит более высокую износостойкость элемента, выполненного из силицированного графита.

Вывод

Разработанная технология нанесения покрытий из твердых сплавов карбида хрома с титаном на рабочие поверхности деталей узлов трения приведет также к существенному улучшению реакции узла трения на ужесточение условий работы (предельные нагрузки преимущественно жидкостного трения и схватывания возрастут). Некоторое повышение коэффициентов трения при различных режимах смазки при этом не превысит допустимой величины, способной существенно повлиять на эксплуатационные характеристики узла трения.

Все это указывает на целесообразность осуществления подобной замены и ее оправданность не только с точки зрения снижения вероятности поломки узла трения в результате хрупкого разрушения, но и с точки зрения улучшения антифрикционных характеристик и износостойкости (а, следовательно, и долговечности работы) пары трения.

Библиографический список

1. Fedorchenko, I. M. Composite sintered antifriction materials / I. M. Fedorchenko, L. I. Pugina. – Kiev: Naukovaya dumka Publ., 1980. – 404 p.
2. Zum Gahr, K.-H. Microstructure and Wear of Materials / K.-H. Zum Gahr. – Amsterdam: Elsevier, 1987. – 559 p.
3. Synthesis of Cr₃C₂ coatings for tribological applications / D.-Y. Wang, K.-W. Weng, C.-L. Chang, W.-Y. Ho // Surface and Coatings Technology. – 1990. Vol. 120. – Pp. 622–628.
4. Tribological properties of plasma-sprayed coatings under water-lubricated sliding / J.-F. Li, J.-Q. Huang, Y.-F. Zhang, C.-X. Ding // J Inorganic Materials. – 1998. – Vol. 13(4). – Pp. 514–520.
5. Features for formation of solid alloys of chromium carbide and titanium powder mixtures by explosion energy / A. V. Krokhalev, V. O. Kharlamov, S. V. Kuz'min, V. I. Lysak // Russian J Non-Ferrous Metals. – 2013. – Vol. 54. – Pp. 522–526.
6. Explosive coating with hard alloys / A. V. Krokhalev, O. A. Avdeyuk, K. V. Prihod'kov, A. N. Savkin, S. V. Kuz'min, V. I. Lysak // Russian Engineering Research. – 2014. – Vol. 34. – Pp. 85–88.