

УДК 621.793.79

**И. Д. Кучумова<sup>1,2\*</sup>, И. С. Батраев<sup>2</sup>, Н. Ю. Черкасова<sup>1</sup>, Д. К. Рыбин<sup>2</sup>,  
А. В. Ухина<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

<sup>2</sup> Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск

<sup>3</sup> Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск

\* *ivannakz@mail.ru*

## СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ НА АБРАЗИВНЫЙ ИЗНОС ДЕТОНАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ СПЛАВА $Fe_{66}Cr_{10}Nb_5B_{19}$ И СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

В работе представлены результаты сравнительных испытаний на износ о нежестко закрепленные частицы в соответствии со стандартом ASTM G65 детонационных покрытий с аморфной структурой из порошка многокомпонентного сплава  $Fe_{66}Cr_{10}Nb_5B_{19}$ , стали 20ХГР после цементации и нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Износостойкость аморфных покрытий находится на уровне цементированной стали.

*Ключевые слова:* абразивная износостойкость, порошок, аморфная фаза, многокомпонентный сплав, фазовый состав, шероховатость

**I. D. Kuchumova, I. S. Batraev, N. Y. Cherkasova, D. K. Rybin, A. V. Ukhina**

## COMPARATIVE WEAR TESTS ACCORDING TO THE ASTM G65 STANDARD OF DETONATION AMORPHOUS COATINGS AND STEELS AFTER THERMOCHEMICAL TREATMENT

The work presents the results of comparative wear tests according to the ASTM G65 standard of detonation coatings with an amorphous structure, steel after cementation and stainless steel, which was used as a substrate for spraying the coating. The wear resistance of amorphous coatings is at the level of cemented steel.

*Keywords:* wear resistance, powder, amorphous phase, multicomponent alloy, phase composition, roughness

Разработка и формирование функциональных покрытий являются одним из основных направлений в современном машиностроении. Покрытия, имеющие высокие показатели абразивной стойкости, позволяют повысить срок эксплуатации изделий без значительного увеличения их стоимости. В данном отношении особый интерес представляют газотермические покрытия с аморфной структурой из порошка многокомпонентных сплавов на основе железа, имеющие высокую износостойкость [1; 2]. Детонационное напыление позволяет получать более качественные покрытия с аморфной структурой по сравнению с другими методами газотермического напыления [3].

Целью работы являлось проведение сравнительных испытаний детонационных покрытий из многокомпонентного сплава  $\text{Fe}_{66}\text{Cr}_{10}\text{Nb}_5\text{B}_{19}$ , стали 12Х18Н10Т, которая использовалась в качестве подложки для напыления, и стали 20ХГР после цементации.

Напыление покрытий проводилось на детонационном комплексе ССДС2000 [4]. При напылении использовался двухсоставной ствол с коническим переходом между камерой сгорания  $\text{Ø}20$  мм и длиной 700 мм и разгонной секцией (соплом)  $\text{Ø}16$  мм и длиной 300 мм. Дистанция напыления составляла 200 мм. Использовали ацетиленокислородную взрывчатую смесь эквимолярного состава (О/С  $\approx 1$ ). Объем взрывчатой смеси варьировали в диапазоне 50–70 % от общего объема ствола установки с шагом в 10 %. Ранее проведенные исследования показали, что данные параметры позволяют получать качественные покрытия с высокой степенью аморфизации, высокой адгезией, низкой пористостью и высокой твердостью [5]. Цементация пластин из стали 20ХГР проводилась в твердом карбюризаторе (ГОСТ 2407–51) при температуре 950 °С с выдержкой в течение пяти часов с последующей закалкой (850 °С) в масло и отпуском (200 °С).

Показатели относительной износостойкости ( $K_{\text{и}}$ ) образцов оценивали в соответствии со стандартом ASTM G65, являющимся одним из наиболее распространенных стандартов для определения абразивной стойкости газотермических покрытий. В качестве образца-эталона использовалась сталь 12Х18Н10Т. Измерение шероховатости и исследование топографии поверхности износа проводили на комплексе «Zygo New View 7300».

Экспериментальные результаты относительной износостойкости исследуемых образцов представлены на рис. Износостойкость покры-

тий из сплава  $\text{Fe}_{66}\text{Cr}_{10}\text{Nb}_5\text{B}_{19}$  находится на уровне стали 20ХГР после цементации и на 30 % больше, чем у нержавеющей стали.

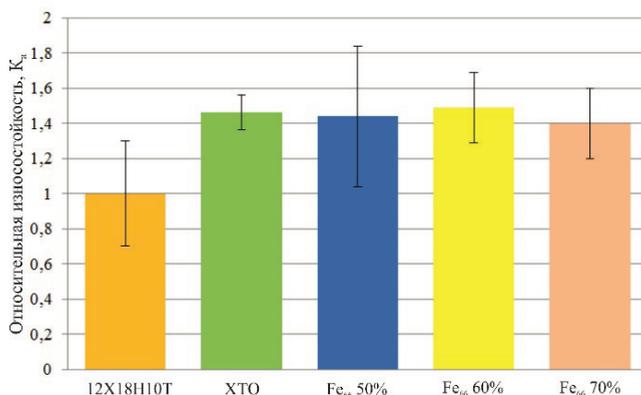


Рис. Относительная износостойкость исследуемых образцов в условиях воздействия частиц абразива

Наименьшую шероховатость поверхности износа имеет покрытие, полученное при заряде 60 % ( $Ra = 0,386$  мкм). У образца цементированной стали данный показатель самый высокий ( $Ra = 0,518$  мкм). Исследование топографии поверхности износа показало, что при абразивном износе материала детонационных покрытий на поверхности отсутствуют следы отслоения и выкрашивания частиц, формирующих покрытия, что говорит о достаточно высокой когезии покрытий. У цементированной стали поверхность износа имеет множественные глубокие царапины, указывающие на низкое сопротивление износу упрочненного слоя.

*Исследование выполняется по гранту при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области в рамках проекта № 19-43-543034.*

### Литература

1. Microstructural investigation of Fe–Cr–Nb–B amorphous/nanocrystalline coating produced by HVOF / Y. Guo [et al.] // MATERIALS & DESIGN. 2016. V. 111. P. 608–615.
2. Liu L., Zhang C. Fe-based amorphous coatings: Structures and properties // Thin Solid Films. 2014. V. 561. P. 70–86.

3. Formation of metallic glass coatings by detonation spraying of a  $\text{Fe}_{66}\text{Cr}_{10}\text{Nb}_5\text{B}_{19}$  powder / I. Kuchumova [et al.] // *Metals*. 2019. V. 9. P. 846–858.

4. Comparison of Microstructure and Tribological Properties of Plasma, High Velocity Oxy-Fuel and Detonation Sprayed Coatings from an Iron-Based Powder / L. Xie [et al.] // *Materials Transactions*. 2018. V. 59. P. 1591–1595.

5. Ульяницкий В. Ю. CCDS2000 — оборудование нового поколения для детонационного напыления // *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2013. № 10. С. 36–41.