

## АНТИФРИКЦИОННЫЕ СВС-ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ ДЕТОНАЦИОННЫМ МЕТОДОМ НАПЫЛЕНИЯ

**В.Д. Гончаров, П.В. Ламов**

*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова*

Исследования процессов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) доказали возможность прогнозирования и управления структурой соединений, образующихся во время данного физико-химического взаимодействия. В настоящее время поверхностные слои тел описываются в механике разрушения как структуры, состоящие из элементов с известными характеристиками.

Детонационный метод позволяет наносить функциональные покрытия при относительно малых температурах нагрева напыляемых частиц, так что характеристики элементов покрытия соответствуют элементам структуры материала, полученного при реакции СВС.

В проводившихся испытаниях на абразивную износостойкость проводился анализ влияния состояния структуры поверхностного слоя на протекание процессов накопления повреждений и износа. Разрушение поверхностного слоя в процессе трения заключается в образовании и развитии поверхностных трещин, сколе берегов трещины и выносе частиц износа из зоны контакта. В эксперименте рассматривалось пять структур: образцы из чугуна ВЧ45 без термообработки, из чугуна ВЧ 45 с закалкой в масле после нагрева до 900 °С, из чугуна ВЧ45 после электронно-лучевой закалки в вакууме, детонационное покрытие из СВС - никелида алюминия и детонационное покрытие из композита диборида титана в никелевой матрице, полученного также методом СВС.

Поверхностный слой образца без термообработки представляет собой троостит, имеющий включения шаровидного графита. Структура вблизи поверхности образца прошедшего нагрев и закалку в масле включает белый слой мартенсита толщиной 0,07 мм, далее мелкоигльчатый мартенсит, плавно переходящий в сердцевину, состоящую из пластинчатого перлита и глобулярного графита. Образец, подвергнутый закалке электронным лучом, обладает поверхностным слоем в виде белого мартенсита с включениями графита глобулярной формы толщиной 0,15 мм и, глубже, мелкоигльчатый мар-

тенсит, переходящий в сердцевину. Состав никель-алюминиевого СВС – покрытия включает аустенит, упрочненный большим количеством алюминидных дисперсных частиц NiAl, Al<sub>3</sub>Ni и Al<sub>3</sub>Ni<sub>2</sub>, выделяющихся когерентно с аустенитом. Детонационное покрытие из СВС – композита TiB<sub>2</sub>-Ni состоит из пластичной никелевой основы с включениями дисперсного упрочнителя – диборида титана, имеющими повышенную твердость.

Толщина покрытий из никелида алюминия и TiB<sub>2</sub>-Ni составляла соответственно 0,13 и 0,1 мм, твердости покрытий, измеренные прибором ПМТ-3, имели значения 11 ГПа и 10 ГПа. Диски из чугуна без термической обработки, закаленный в масле и прошедший электронно-лучевую закалку обладали твердостью соответственно 3 ГПа, 5 ГПа и 8,7 ГПа.

В эксперименте образцам сообщалась нагрузка – удельное давление  $P_{уд} = 0,75$  МПа и скорость скольжения  $v_{ск} = 0,25$  м/с без смазки по монолитному абразиву твердостью 20 ГПа.

Обработка результатов эксперимента, проводившегося на машине трения 2168 УМТ была существенно облегчена благодаря подключению ЭВМ к электронному блоку управления, сбора и обработки данных УМТ.

Расчеты показали показали увеличение коэффициента трения после прохождения пути 1 км у незакаленного чугунного образца с 0,5 до 0,75; у закаленного в масле постоянство коэффициента трения; коэффициент трения образца после электронно-лучевой закалки также не изменялся и соответственно составил 0,3 и 0,25. Коэффициент трения, рассчитанный у никель-алюминиевого покрытия не изменялся в процессе трения и имел величину 0,35, у композиционного покрытия после прохождения пути трения 2 км, такого же как у образца из сплава, коэффициент трения 0,35 снизился до 0,2, что можно объяснить произошедшим механическим упрочнением.

Изучение поверхности образцов под микроскопом МБС-10 после снятия нагрузки выявило у неупрочненного чугунного диска глубокие борозды по направлению скольжения и сильно развитую, охватывающую весь

## АНТИФРИКЦИОННЫЕ СВС-ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ ДЕТОНАЦИОННЫМ МЕТОДОМ НАПЫЛЕНИЯ

образец сеть трещин. Сетку трещин, хотя и не столь сильно развитую имела поверхность образца, прошедшего закалку в масле. На поверхности упрочнённого электронным лучом диска имелось большое количество трещин, но не связанных друг с другом и незначительного размера.

На поверхности образцов с напыленными покрытиями после совершённого пути трения обнаружено малое количество трещин незначительных размеров, расположенных независимо друг от друга.

Абразивный износ чугунных образцов после 1 км пути, в весовом эквиваленте, соответственно был 11 г, 0,95 г и 0,09 г. Композиционное и никель-алюминиевое покрытия, проделавшие путь трения 2 км были изношены на 0,04 г и 0,05 г. Увеличение износостойкости композиционного покрытия, несмотря на худшие по сравнению с никель-алюминиевым показатели твёрдости связано с повышенной устойчивостью пластичной основы композита к накоплению усталостных повреждений.

Весовой износ образцов определялся на весах ВЛР-200 имеющих точность 0,0005 г.

В проблемной лаборатории СВС-материаловедения разработана технология нанесения детонационных СВС-покрытий на поверхность деталей типа опорная шейка распределительного вала двигателя. Ряд оборудования, обеспечивающего выполнение данной технологии, включает: устройство для приготовления многокомпонентных реакционных смесей, сконструированное специалистами АлтГТУ (рисунок 1); разработанную учеными АлтГТУ установку для получения заготовок СВ-синтезом (рисунок 2).

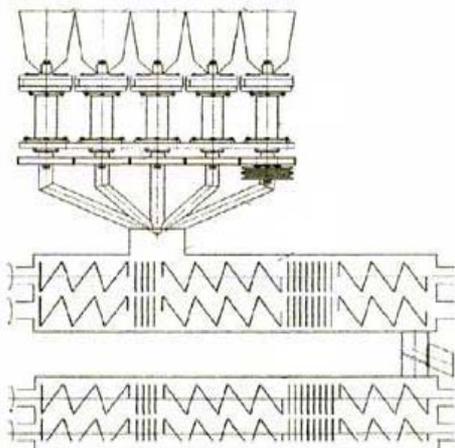


Рисунок 1 – Смеситель универсальный

Особенностью смесителя является наличие двух секций смешивания, причем в за-

висимости от необходимой траектории смешения (определяемой соотношением частиц компонентов, их истинных плотностей и концентраций в шихте) может использоваться либо одна секция либо обе. Изменение длины траектории смешения осуществляется с помощью поворотной заслонки.

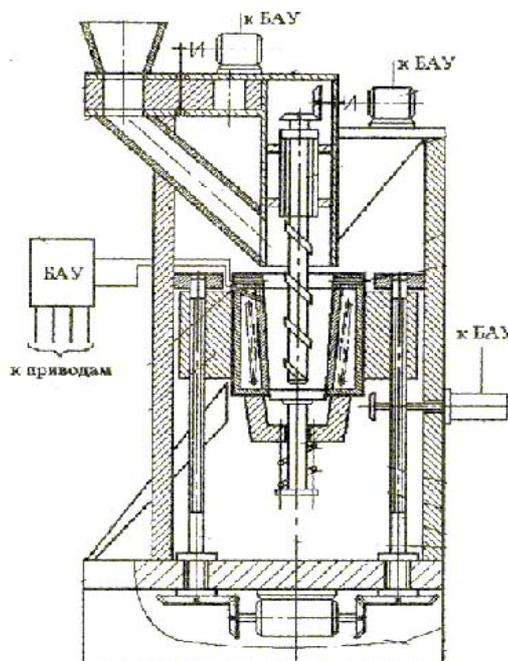


Рисунок 2 – Реактор для получения заготовок СВ-синтезом

Для предварительного дробления применяли щековую дробилку ДС-160-90-1 (рисунок 3);

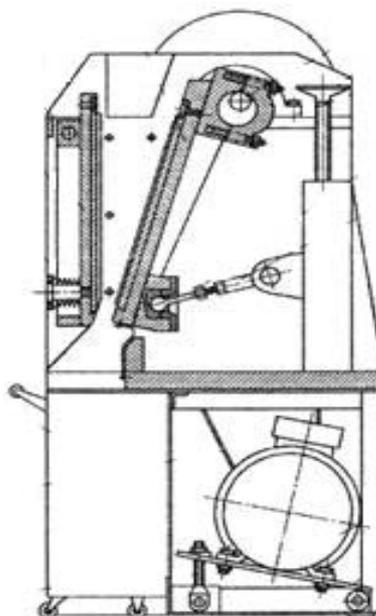


Рисунок 3 – Конструктивная схема щековой дробилки типа ДС-160-90-1

конусную инерционную дробилку КИД-100-1,0, адаптированную применительно к дезинтеграции гетерофазных СВС-материалов (рисунок 4).

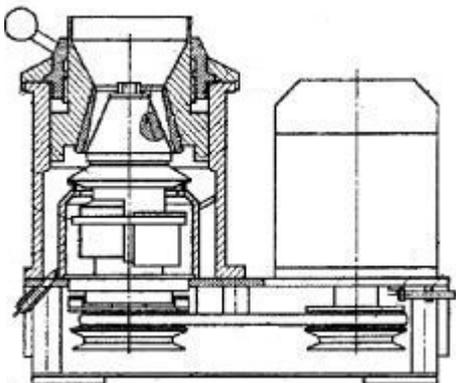


Рисунок 4 – Конструктивная схема конусной инерционной дробилки типа КИД-100

Дезинтеграция проводится по наиболее эффективной схеме в два этапа, на первом из которых осуществляется предварительное дробление слёка, на втором – тонкое измельчение с получением достаточно узкой требуемой фракции.

В лаборатории был разработан виброклассификатор непрерывного действия для получения СВС-порошка требуемой фракции (рисунок 5).

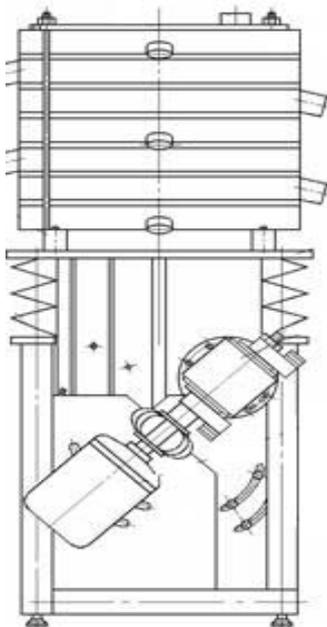


Рисунок 5 – Конструктивная схема виброклассификатора

Подлежащий обработке материал подается на верхнее сито через приемный штуцер. В процессе обработки материал транспортируется по ситам, одновременно совершая колебания в вертикальном направлении. При этом происходит рассев материала – частицы крупностью меньше отверстий (ячеек) сита просыпаются на нижнее сито, имеющее отверстия меньшего размера. Непрошедший сквозь сито материал непрерывно удаляется через штуцер. Аналогичный процесс происходит на каждом сите. Частицы самой тонкой фракции, пройдя сквозь весь комплект сит, попадают в поддон.

Устройство для напыления представляет собой установку для детонационно-газового напыления Катунь-М (рисунок 6), имеющую цилиндрическую камеру сгорания диаметром 20 мм, длиной 0,5 м.

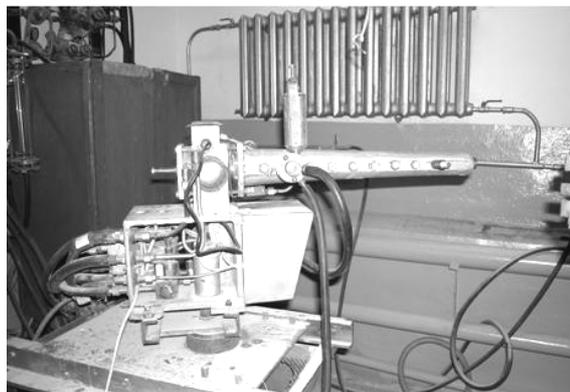


Рисунок 6 – Детонационно-газовая установка «Катунь-М»

Требуемая шероховатость поверхности  $R_a=0,16-0,4$  мкм была достигнута шлифованием в несколько проходов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бартенев С.С., Федько Ю.П., Григоров А.И. Детонационные покрытия в машиностроении. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1982. – 215 с., ил.
2. Интегральные технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза // В.В. Евстигнеев, Б.М. Вольпе, И.В. Милюкова, Г.В. Сайгутин. – М.: Высшая школа, 1996. – 274 с.