

МОРФОЛОГИЯ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПОЛИКАРБИДНЫХ СВС-МЕХАНОКОМПОЗИТОВ ДЛЯ НАПЛАВКИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДОРОЖНОЙ ТЕХНИКИ

А. В. Собачкин, В. И. Яковлев, А. А. Ситников, М. В. Логинова, Н. И. Уваров
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

В работе исследована морфология наплавочной порошковой композиционной смеси, содержащей синтезированные с помощью СВС-реакции карбиды титана, кремния и вольфрама в никель-хромовой матрице, после механической активации в планетарной шаровой мельнице. Проведенный фазовый анализ показал, что в результате реакции синтезируются карбиды, а матрица остается инертной по отношению к исходным реагентам.

Ключевые слова: композиционный материал, самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), механоактивационная обработка, карбиды, электродуговая наплавка.

MORPHOLOGY AND PHASE COMPOSITION OF POLYCARBIDE SHS-MECHANOCOMPOSITES FOR MELTING OF WORKING BODIES OF ROAD TECHNIQS

A. V. Sobachkin, V. I. Yakovlev, A. A. Sitnikov, M. V. Loginova, N. I. Uvarov
Polzunov Altai State Technical University, Barnaul

We have studied the morphology of surfacing powder composition mixture, containing the titanium, silicon and tungsten carbides synthesized by the SHS reaction in a nickel-chromium matrix, after mechanical activation in a planetary ball mill. The carried out phase analysis showed that as a result of the reaction carbides are synthesized, and the matrix was inert towards the initial reagents.

Keywords: composite material, self-propagating high-temperature synthesis (SHS), mechanical activation treatment, carbides, electric arc surfacing.

Основным видом работ по ремонту и поддержанию дорожного полотна в хорошем состоянии является холодное фрезерование. Агрессивное воздействие, оказываемое на рабочие органы дорожно-строительных машин, приводит к изменению физико-механических характеристик материала, из которого изготовлены детали этих машин, к потере их прочностных характеристик и снижению износостойкости изделия и, как следствие, к ухудшению качества проводимых работ [1].

К рабочим поверхностям деталей дорожной техники в зависимости от условий их эксплуатации предъявляются определенные требования: изделия должны быть износостойкими, обладать коррозионной стойкостью и иметь необходимую прочность. Поверхностные слои изделия, требующие зачастую уникального комплекса физико-механических свойств, можно обеспечить путем образова-

ния покрытий [2]. Из многочисленных способов поверхностного упрочнения наиболее широко применяется электродуговая наплавка, которая отличается универсальностью, простотой применяемого оборудования и высокой производительностью [3].

Поскольку рабочие органы дорожной техники эксплуатируются в абразивной среде, испытывая значительные динамические нагрузки, то на их поверхностях необходимо формировать защитные покрытия, обладающие, помимо хороших износостойких свойств, высоким уровнем ударной вязкости. Указанными свойствами обладают сплавы, содержащие карбиды титана TiC, кремния SiC и вольфрама WC. В работах [4-6] показана перспективность применения в таких сплавах в качестве металлического связующего самораспространяющихся сплавов системы Ni-Cr-Si, препятствующих проявлению межкристал-

литной коррозии, вызываемой условиями работы деталей дорожных машин.

К числу материалов, обладающих высоким комплексом прочностных и триботехнических свойств и пригодных для получения износостойких покрытий деталей, могут быть отнесены материалы, полученные с использованием технологий механической активации и самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Применение механической активации исходных порошковых компонентов и их смесей позволяет синтезировать композиционные материалы, содержащие разнородные карбидные соединения.

Целью данной работы является изучение особенностей морфологии и фазового состояния порошковой композиционной смеси (на основе никель-хромового сплава с синтезированными разнородными карбидными включениями), предназначенной для электродуговой наплавки износостойких покрытий деталей дорожной техники.

Объекты и методы исследования

В качестве исходных материалов для получения порошковых наплавочных смесей использовали порошки титана, углерода, вольфрама и кремния. Функцию металлической связки выполнял самофлюсующийся наплавочный порошок на основе (Ni–Cr). Фракционный состав всех исходных порошковых компонентов находился в пределах (63...100) мкм.

Выбор отмеченной матрицы для создания наплавочных СВС-композитов обусловлен также инертностью ее состава по отношению к реагирующим компонентам (титан - углерод, вольфрам - углерод, кремний - углерод) и хорошими сварочно-технологическими свойствами при дуговой наплавке [7].

Соотношение Ti и C в термореагирующей смеси «Ti + C + (Ni–Cr)» выбиралось эквимольным, чтобы в результате последующей СВС-реакции был синтезирован карбид титана стехиометрического состава.

Исходные реагенты (порошки титана / кремния / вольфрама, порошок углерода и матрица) смешивались в определенном соотношении, и полученная порошковая смесь подвергалась механической активации. Выбор данного способа воздействия на порошки обусловлен необходимостью создания механокомпозитов, в микрообъемах которых должна быть реализована реакция СВС [8]. Механическую активацию реакционных смесей выполняли в планетарной шаровой мельнице АГО-2С.

Реакционные смеси после механической активации, продукты СВС, а также продукты СВС после дополнительной механоактивации исследовались с использованием методов рентгенофазового анализа, растровой электронной микроскопии и микрорентгеноспектрального анализа. Рентгенофазовый анализ образцов выполняли с использованием дифрактометра ДРОН-6. Для исследования применялась стандартная рентгеновская трубка с Cu K α -излучением (длина волны $\lambda=1,5418$ Å). Дифрактограммы снимались с шагом сканирования 0,05 градуса и временем экспозиции в каждой точке равным 3 секунды. Обработку и анализ экспериментальных данных осуществляли с использованием пакета программ PDWin, предназначенного для автоматизации процесса обработки рентгенограмм. Электронно-микроскопические исследования проведено на микроскопе Carl Zeiss EVO 50, снабженном микроанализатором EDS X-Act (Oxford Instruments) с Si-drift детектором.

Результаты и их обсуждение

Исследования особенностей строения порошковой смеси проводили в несколько этапов. На первой стадии механоактивации (соответствует времени 30 с) происходит «раскатывание» крупных частиц порошка в плоские образования, в поверхность которых вдавливаются более мелкие частицы. Получение подобных плоских образований сопровождается их растрескиванием, иногда разрушением. Наблюдается четкая граница между частицами различных фаз [9].

После механоактивации в течение 150 с наблюдается образование механокомпозитов. Поверхность композитов становится менее рыхлой. На торце разрушенного механокомпозита хорошо видно его слоистое строение. При этих временах активации происходит уже совместная интенсивная пластическая деформация всех исходных порошковых реагентов.

Увеличение времени механоактивации до 180 с приводит к уплотнению композитов (рисунок 1). Одновременно происходит их дробление на более мелкие частицы, многие из которых имеют четко выраженную пластинчатую форму. Дальнейшее увеличение времени механоактивационной обработки к качественному изменению реакционной способности порошковых компонентов не приводит.

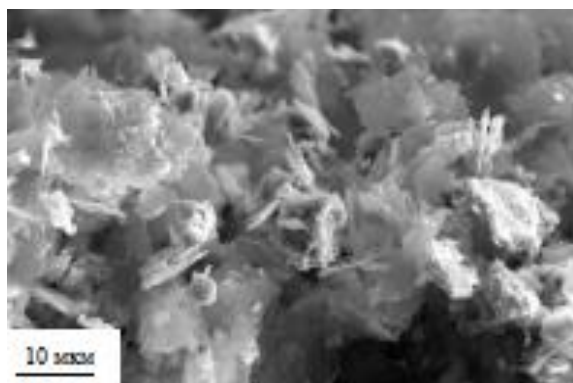


Рисунок 1 – Морфология порошковой смеси «Ti + C + (Ni-Cr)» после 180 с механоактивационной обработки

На следующей стадии в полученной смеси [«Ti + C» (70 % масс.) + (Ni-Cr) (30 % масс.)] реализуется процесс самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, обеспечивающий формирование карбида титана в инертной (Ni-Cr) матрице.

Подобный синтез осуществлялся в режиме фронтального послойного горения без создания дополнительных условий его протекания. В результате реакции синтезируется композит типа «TiC + (Ni-Cr)-матрица». На рисунке 2 и в таблице 1 представлены результаты исследования данной системы методами растровой электронной микроскопии и энергодисперсионного анализа.

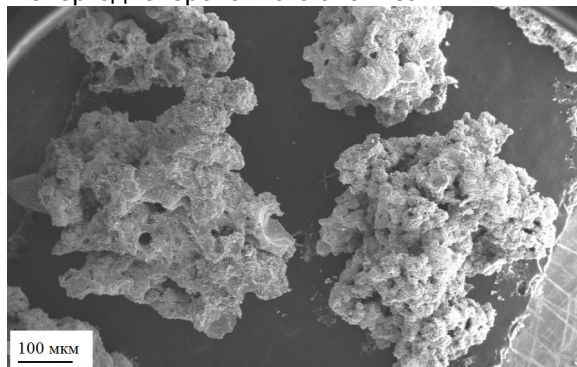


Рисунок 2 – Морфология композита «TiC + (Ni-Cr) (30 % масс.)»

Результаты рентгенофазового анализа композита TiC + (Ni-Cr) (30 % масс.) представлены на рисунке 3.

Таким образом, экспериментально было установлено, что в системе «Ti + C» синтез в твердофазном режиме принципиально возможен даже при наличии инертной добавки порошка сплава никель-хром при предварительной механоактивации трехкомпонентной смеси. Рентгенофазовый анализ показал, что соединения на основе (Ti – Ni) в системе после СВ-синтеза отсутствуют.

Таблица 1 – Химический состав композита типа TiC + (Ni-Cr)

Элемент	Весовой %
C	38,4
Ti	37,7
Cr	6,3
Fe	3,6
Ni	10,2

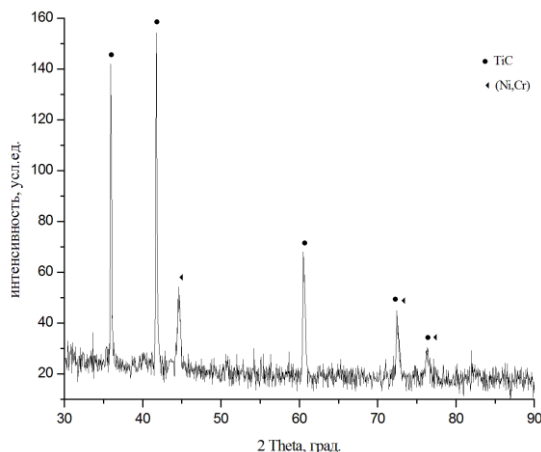


Рисунок 3 – Дифрактограмма композита TiC + (Ni-Cr) (30 % масс.)

Аналогичный анализ продуктов СВ-синтеза шихты, в состав которой входили вольфрам и кремний, показал, что в данных системах происходит также формирование карбидов (WC и SiC).

Экспериментальным путем было установлено, что для обеспечения сварочно-технологических свойств порошкового электрода при электродуговой наплавке износостойких покрытий содержание упрочняющей фазы в электродной шихте может достигать 30 % масс. [10]. Для уменьшения доли карбидной фазы в наплавочной смеси проводится вторая механическая активация полученного композита и дополнительного количества (Ni-Cr)-матрицы. Кроме того, использование повторной механической активации позволяет равномерно распределить частицы упрочняющей фазы по объему наплавочной шихты. В результате такой двухступенчатой технологии механоактивации и СВС образуется порошковая смесь, которую использовали для операции дуговой наплавки. Для дальнейших исследований использовали наплавочные смеси следующего состава [11]:

- 15 % TiC + 5 % SiC + (Ni-Cr);
- 15 % TiC + 5 % WC + (Ni-Cr);
- 15 % TiC + 5 % SiC + 5 % WC + (Ni-Cr).

МОРФОЛОГИЯ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПОЛИКАРБИДНЫХ СВС-МЕХАНОКОМПОЗИТОВ ДЛЯ НАПЛАВКИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДОРОЖНОЙ ТЕХНИКИ

Структурное исследование наплавочных смесей с использованием растрового электронного микроскопа показали, что в результате механической активации формируется порошковая смесь, состоящая из мелких частиц субмикронных размеров с ярко выраженной осколочной формой и конгломераты округлой формы размером (150...200) мкм (рисунок 4).

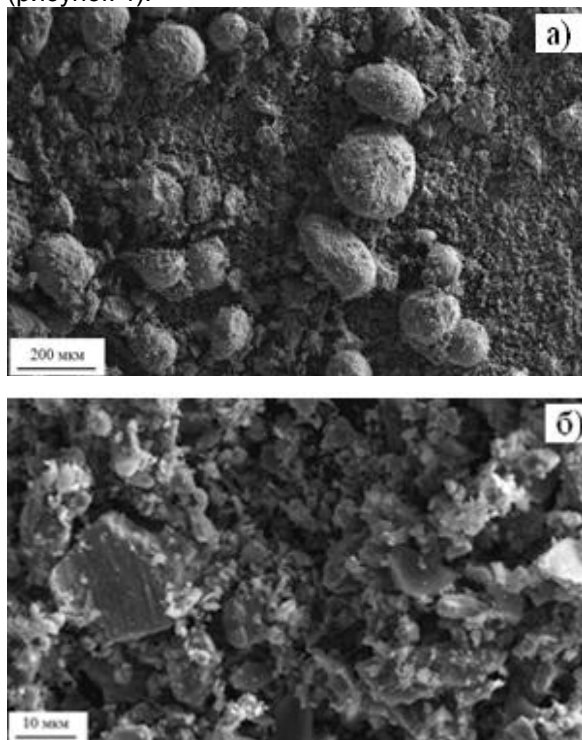


Рисунок 4 – Строение наплавочной смеси состава 15 % TiC + 5 % SiC + (Ni–Cr): а) – общий вид наплавочной смеси; б) – морфология поверхности конгломерата

В таблице 2 приведены результаты исследования элементного состава поликарбидной наплавочной смеси. Элементный анализ выполнялся по площади порошковой смеси. Рентгенофазовый анализ многокомпонентных наплавочных смесей подтвердил наличие в их составе синтезированных упрочняющих частиц – карбидов титана, а также карбидов кремния и/или вольфрама и основных компонентов матрицы (Ni–Cr).

Результаты фазового анализа одной из наплавочных смесей приведены на рисунке 5.

Таблица 2 – Химический состав многокомпонентных наплавочных механокомпозитов

Состав 15 % TiC + 5 % SiC + (Ni–Cr)	Состав 15 % TiC + 5 % WC + (Ni–Cr)	Состав 15 % TiC + 5 % SiC + 5 % WC + (Ni–Cr)

Элемент	Весовой %	Элемент	Весовой %	Элемент	Весовой %
C	19.1	C	21.7	C	14.6
Si	11.1	Si	0.7	Si	10.7
Ti	21.6	Ti	23.9	Ti	21.1
Cr	12.1	Cr	12.3	Cr	11.9
Fe	7.5	Fe	5.0	Fe	6.8
Ni	27.2	Ni	28.5	Ni	27.7
		W	5.9	W	5.9

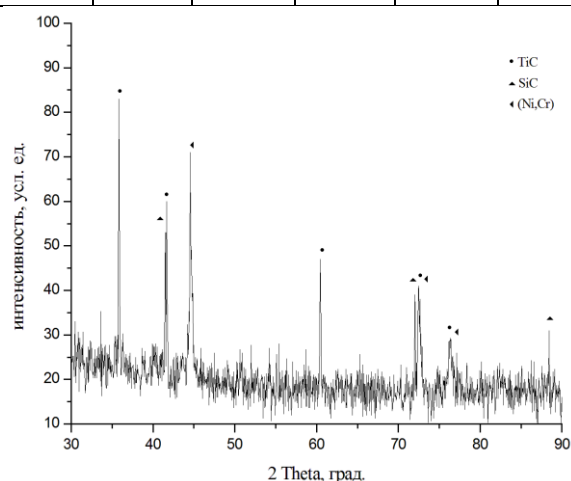


Рисунок 5 – Дифрактограмма наплавочной смеси состава 15 % TiC + 5 % SiC + (Ni–Cr)

Выводы

1. В системе «металл + углерод» синтез карбидов в твердофазном режиме принципиально возможен даже при наличии инертной добавки порошка на основе никеля при предварительной механоактивации трехкомпонентной смеси. В процессе синтеза ведущей стадией является образование карбидов титана, вольфрама и кремния; соединений на основе (металл – никель) в системе не обнаружено.

2. Для получения наплавочной смеси следует использовать технологическую схему, включающую три последовательных этапа: механическую активацию порошковой смеси исходных реагентов «металл + C + (Ni–Cr) (30 % масс.)»; проведение СВС-реакции; механическую активацию синтезированного композита «металл + C + (Ni–Cr) (30 % масс.)» и дополнительного количества матричного материала (Ni–Cr).

3. В результате выполнения этих технологических операций формируется качественная поликарбидная наплавочная смесь, содержащая от 15 до 25 % упрочняющих частиц. Использование этих смесей для электродуговой наплавки обеспечивает формирование износостойкого слоя, позволяющего

повысить долговечность рабочих органов дорожной техники [12-14].

Список литературы

1. Казакова, Ю.Д. Исследование износостойкости рабочих органов строительных и дорожных машин в различных условиях эксплуатации / Ю.Д. Казакова, С.И. Вахрушев // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2016. – Т. 1. – С. 310–319.
2. Sobachkin, A.V. Evaluation of wear resistance of products on the basis of mechanically activated materials / A.V. Sobachkin, A.A. Sitnikov, A.P. Sviridov // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Т. 698. – Р. 374–377.
3. Слинко, Д.Б. Опыт восстановления деталей гусеничных машин электродуговой наплавкой / Д.Б. Слинко, Э.Д. Персов, М.Н. Горохова // Труды ГОСНИТИ. – 2011. – Т. 107. – № 2. – С. 58–60.
4. Собачкин, А.В. Применение методов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и механоактивационной обработки для создания новых наплавочных материалов / А.В. Собачкин, В.И. Яковлев, А.А. Ситников // Заготовительные производства в машиностроении. – 2012. – № 9. – С. 17–22.
5. Собачкин, А.В. Применение метода механостимулированного самораспространяющегося высокотемпературного синтеза для создания многокомпонентных композиционных наплавочных материалов / А.В. Собачкин, В.И. Яковлев, А.А. Ситников // Инновации в машиностроении : труды 4-й Международной научно-практической конференции. – 2013. – С. 287–291.
6. Собачкин, А.В. Особенности морфологии покрытий из многокарбидных предварительно механоактивированных СВС-композитов / А.В. Собачкин, В.И. Яковлев, А.А. Ситников // Ползуновский альманах. – 2012. – № 1. – С. 41–44.
7. Sobachkin, A.V. Electric surfacing of wear resistant shs-powder coating of working bodies of agricultural machines / A.V. Sobachkin, V.I. Yakovlev, M.V. Loginova, Ya. Dong, A.M. Guriev // Effect of external influences on the strength and plasticity of metals and alloys : Book of the International seminar articles. – 2015. – Р. 104
8. Логинова, М.В. Влияние γ -облучения в малых дозах на структурное состояние механоактивированной смеси порошка состава Ti+Al / М.В. Логинова, В.И. Яковлев, А.А. Ситников, С.Г. Иванов, А.В. Собачкин, А.З. Негодяев, А.В. Градобоев // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2015. – № 4 (69). – С. 93–101.
9. Собачкин, А.В. Особенности защитных покрытий из многокарбидных СВС-механокомпозитов / А.В. Собачкин, В.И. Яковлев, А.А. Ситников // Расчет, диагностика и повышение надежности УДК 621.43.068.4

элементов машин : межвузовский сборник научных трудов. – Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 2013. – С. 16–22.

10. Собачкин, А.В. Морфология покрытий из многокомпонентных предварительно механоактивированных порошков СВС-композитов / А.В. Собачкин, И.В. Назаров, В.И. Яковлев, А.А. Ситников, П.С. Ярцев // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2012. – № 3. – С. 141–144.

11. Собачкин, А.В. Некоторые особенности структуры покрытий из многокарбидных СВС-механокомпозитов / А.В. Собачкин, А.А. Ситников, В.И. Яковлев // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе : материалы 11-ой Всероссийской научно-практической конференции. – Новосибирский государственный технический университет. – 2013. – С. 277–281.

12. Яковлев, В.И. Триботехнические свойства покрытий, полученных при электродуговой наплавке механоактивированных СВС-материалов / В.И. Яковлев, А.В. Собачкин, А.А. Ситников // Инновационные технологии и экономика в машиностроении. – Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – 2014. – С. 318–320.

13. Собачкин, А.В. Повышение износостойкости рабочих органов сельскохозяйственных машин электродуговой наплавкой порошковым электродом / А.В. Собачкин, А.А. Ситников, В.И. Яковлев, М.Е. Татаркин, М.В. Логинова, М.Н. Сейдуров // Ползуновский альманах. – 2011. – № 4-2. – С. 133.

14. Собачкин, А.В. Оценка износостойкости изделий на основе механоактивированных материалов / А.В. Собачкин, А.А. Ситников, А.П. Свиридов // Электротехника. Энергетика. Машиностроение : сборник научных трудов I Международной научной конференции молодых ученых. – Новосибирск, 2014. – С. 249–252.

Собачкин Алексей Викторович – к.т.н., с.н.с. ПНИЛ СВС, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: anicpt@rambler.ru;

Яковлев Владимир Иванович – к.т.н., доцент кафедры НТТС, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: anicpt@rambler.ru;

Ситников Александр Андреевич – д.т.н., профессор, директор ИТЦ, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: sitalan@mail.ru;

Логинова Марина Владимировна – к.т.н., с.н.с. ПНИЛ СВС, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: anicpt@rambler.ru;

Уваров Никита Иванович – магистрант, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: anicpt@rambler.ru