

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ДИФфуЗИОННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ИЗ ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ СТАЛЕЙ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА

Пантелеенко Ф.И., Оковитый В.А., Пантелеенко А.Ф.  
*Белорусский национальный технический университет*

**Аннотация.** Представлены экспериментальные исследования композиционных материалов для газотермического напыления, полученных методом диффузионного легирования из порошков на основе сталей аустенитного класса. Исследовано изменения дисперсного состава порошков в процессе их химико–термической обработки. С целью выявления способности порошков к самофлюсованию провели наплавку газопламенным методом порошка ПР–Х18Н15. Анализ влияния температурно–временных параметров химико–термической обработки показал, что лучшей флюсуемостью порошок ПР–Х18Н15 обладает после обработки при 850°С–900°С в течение одного часа. Такой режим обработки, как было установлено обеспечивает получение однофазного Fe<sub>2</sub>V покрытия на порошке. Лучшая самофлюсуемость порошка с однофазным покрытием объясняется более низкой температурой эвтектического плавления инконгруэнтно плавящейся фазы Fe<sub>2</sub>V.

**Введение.** Для формирования износостойких газотермических покрытий широкое применение получили самофлюсующиеся порошки на никелевой основе системы Ni–Cr–B–Si–C и их смеси. Самофлюсующиеся сплавы на никелевой основе обладают высоким комплексом свойств. Они имеют невысокую температуру плавления, технологичны, хорошо флюсуются и наплавляются на воздухе, обладают высокой износостойкостью. Покрытия из самофлюсующихся сплавов в зависимости от марки сплава могут иметь твердость от 180 НВ до 65 HRC. Наряду с неоспоримыми преимуществами самофлюсующимся сплавам на никелевой основе присущ ряд серьезных недостатков, значительно снижающих эффективность данной технологии:

1. Высокая чувствительность к технологическим режимам напыления покрытия. Требуемый комплекс свойств покрытия сохраняется только при сохранении однородной мелкодисперсной структуры исходного порошка. Даже незначительный перегрев резко снижает качества покрытия.

2. Низкая трещиностойкость при нанесении самофлюсующихся сплавов на никелевой основе на стальные детали обусловлена высоким коэффициентом линейного расширения при нагреве  $(14,4-16,2) \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ .

3. Высокая стоимость, обусловленная применением дорогостоящего металла основы–никеля. Высокий комплекс защитных свойств покрытий зачастую является избыточным. Их использование оправданно только для условий одновременного воздействия изнашивания, агрессивных сред и высоких температур. Когда определяющим ресурс детали является только изнашивание, никелевые порошки надо заменять на более дешевые, в том числе порошки на базе железа.

4. Трудоемкость последующей механической обработки.

5. Высокий коэффициент трения в условиях сухого трения скольжения, покрытия склонны к схватыванию и задирам.

Таким образом структура, хрупкость, трещиностойкость, износостойкость, обрабатываемость, экономические факторы часто ограничивают применение материалов на никелевой основе. Когда определяющим ресурс детали является только изнашивание, никелевые порошки надо заменять на более дешевые порошки на железной основе, в том числе порошки на базе аустенитных сталей, являющиеся наиболее массовым полупродуктом порошковой металлургии.

Анализ состояния вопроса получения и применения самофлюсующихся порошковых материалов позволили предложить принципиально новую концепцию создания самофлюсующихся порошков на основе сталей аустенитного класса [1-5].

1. Элементы бор и кремний или только бор вводятся в поверхностный слой каждой частицы диффузионным путем на определенную глубину, в определенных

количествах и с условием обеспечения требуемого фазового состава, благодаря чему должны быть обеспечены:

а) реализация эффекта контактного эвтектического плавления между бор содержащей поверхностью частицы и наплавляемым изделием, между поверхностью частицы и ядром;

б) самофлюсуемость, высокая технологичность порошка и повышенная прочность сцепления с наплавляемым изделием;

в) исключение угара легирующих элементов при получении порошка;

г) образующиеся боридные и карбоборидные фазы должны повышать триботехнические характеристики наплавленных покрытий.

2. В качестве исходных используются дешевые порошки на основе сталей аустенитного класса или отходы механической обработки, что позволяет получить в 3–5 раз более дешевые самофлюсующиеся порошки по сравнению с никелевыми.

3. Обеспечивается в 1,5–2 раза лучшая механическая обрабатываемость наплавленных покрытий, чем у покрытий из никелевых сплавов.

#### Технологические свойства композиционных материалов

Весьма важными характеристиками порошковых материалов являются технологические свойства (текучесть, насыпная плотность и др.). В зависимости от назначения порошковых материалов и предъявляемых к ним требованиям отдельные технологические свойства приобретают особую значимость. Так, для порошков, наплавляемых в окислительной атмосфере, наиболее важными технологическими свойствами, определяющими качество и эксплуатационные характеристики наплавленного покрытия, является текучесть, плотность, флюсуемость. Одной из важнейших характеристик порошкового наплавочного материала является размер частиц. Гранулометрический состав полученных и исследованных самофлюсующихся порошков на основе ПР–Х18Н15 в графической интерпретации представлен на рис. 1. Исследование изменения дисперсного состава порошков в процессе их химико–термической обработки указывает на необходимость учета фактора роста диаметра частиц порошков. Очевидно, что увеличение времени обработки в общем случае смещает кривую распределения дисперсионного состава в сторону увеличения размеров частиц. Сравнение пиков дисперсионного состава с увеличением продолжительности борирования показывает, что для порошка ПР–Х18Н15 происходит их смещение вправо примерно на 20 мкм. Наряду со смещением характерно расширение диапазона дисперсионного состава. Уменьшение насыпной и пикнометрической плотностей порошка (рис.2) по мере увеличения продолжительности борирования вызвано увеличением в порошке в процессе обработки количества более легких, чем основа, боридных фаз.

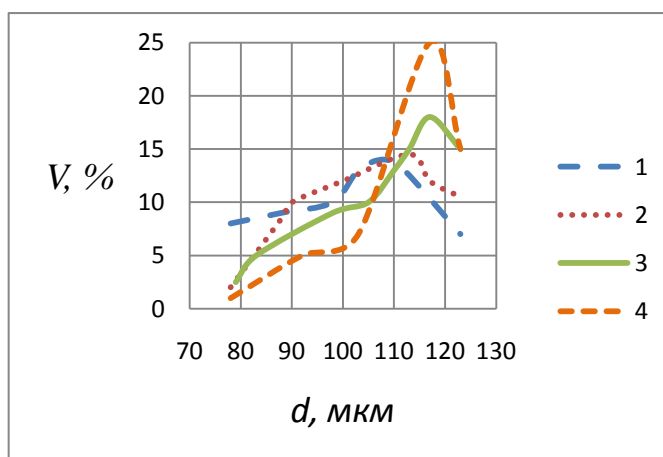


Рисунок 1 - Зависимость дисперсионного состава порошка ПР–Х18Н15 от продолжительности диффузионной обработки (Т=920°С):  
1 – исходный порошок; 2 – 1 ч.; 3 – 2 ч.; 4 – 6 ч.

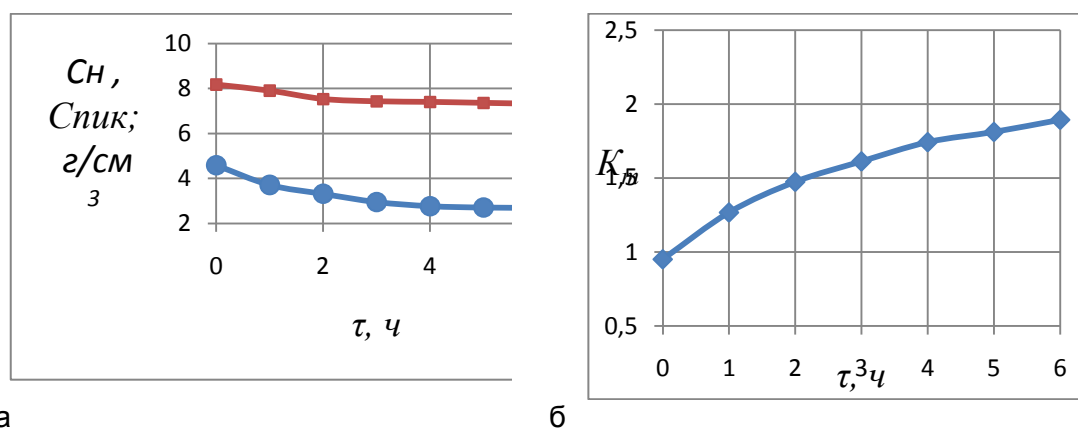


Рисунок 2 - Влияние продолжительности борирования на: а) насыпную ( $C_n$ ), пикнометрическую ( $C_{пик}$ ) плотность; б) текучесть ( $K_\tau$ ) порошка ПР-Х18Н15

Результаты приведенные на рис. 2 свидетельствуют о низкой борлируемости высоколегированного порошка. Даже после шести–семичасовой обработки плотность порошка высока —  $7,31 \text{ г/см}^3$ , а увеличение размера частиц составляет около 20 мкм. Если говорить о текучести, то заметно ее ухудшение с увеличением продолжительности борирования. Ухудшение текучести связано с изменением микрорельефа частиц в результате борирования. Их, что отчетливо видно при сравнении электронных фотографий порошка исходного и борированного. Пропускание борированного порошка ПР-Х18Н15 через газовую горелку УПТР-86 позволило улучшить его текучесть и повысить насыпную плотность (см. рис. 3). Важнейшие практические выводы, вытекающие из полученных при исследовании названных свойств результатов:– возможность достаточно точного контроля степени борирования порошка по величине пикнометрической плотности;– необходимость использовать максимально узкие фракции порошка. Важнейшими технологическими свойствами самофлюсующихся порошков являются самофлюсуемость и наплавляемость. С целью выявления способности порошков к самофлюсованию было решено детально оценить ее на одном из порошков, например ПР-Х18Н15, а затем проверить выявленные закономерности на всех остальных порошковых материалах.

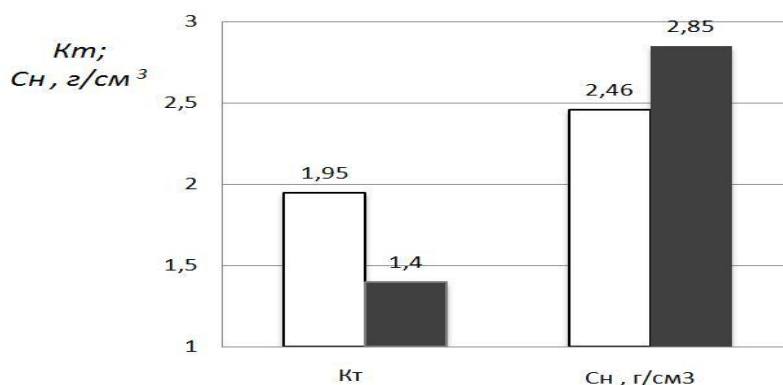


Рисунок 3 - Влияние газопламенной обработки на текучесть ( $K_\tau$ ) и насыпную плотность ( $C_n$ ) борированного порошка ПР-Х18Н15. (Режим борирования:  $T=900^\circ\text{C}$ ,  $\tau=7\text{ч}$ ).  
 Не заштрих. — до обработки, заштрих. — после обработки

Наплавку проводили газопламенным методом в обычной окислительной атмосфере на установке собственной конструкции УПТР-86 на образцы в виде полуколец. Самофлюсуемость оценивали по внешнему виду наплавленных покрытий по десятибалльной шкале. Анализ влияния температурно–временных параметров химико–термической обработки показал, что лучшей флюсуемостью порошок ПР-Х18Н15 обладает после обработки при  $850^\circ\text{C}$ – $900^\circ\text{C}$  в течение одного часа. Такой режим обработки, как было установлено обеспечивает получение однофазного  $\text{Fe}_2\text{B}$

покрытия на порошке. Лучшая самофлюсуемость порошка с однофазным покрытием объясняется более низкой температурой эвтектического плавления инконгруэнтно плавящейся фазы  $Fe_2B$ . Даже увеличение содержания стального порошка в смеси не позволяет преодолеть доминирующего влияния температурно-временных параметров на однофазность покрытий. Многочисленные эксперименты оценки самофлюсуемости порошков ПР-Х18Н9; ПР-Х18Н10; ПР-Х18Н15 обработанных на одно- и двухфазные покрытия по режимам, соответствующим диаграммам фазового состава однозначно подтверждают преимущество по самофлюсуемости однофазных покрытий на порошке. Нами экспериментально установлено, что лучшей самофлюсуемости соответствует и лучшая наплавляемость, т.е. формирование качественного беспористого покрытия. При этом, чем выше самофлюсуемость, тем меньше потери порошка.

### Заключение.

Изучены свойства композиционных материалов для газотермического напыления, полученных методом диффузионного легирования из порошков на основе сталей аустенитного класса. Исследование изменения дисперсного состава порошков в процессе их химико-термической обработки указывает на необходимость учета фактора роста диаметра частиц порошков. Уменьшение насыпной и пикнометрической плотностей порошка по мере увеличения продолжительности борирования вызвано увеличением в порошке в процессе обработки количества более легких, чем основа, боридных фаз. Анализ влияния температурно-временных параметров химико-термической обработки показал, что лучшей флюсуемостью порошок ПР-Х18Н15 обладает после обработки при  $850^{\circ}C-900^{\circ}C$  в течение одного часа. Такой режим обработки, как было установлено обеспечивает получение однофазного  $Fe_2B$  покрытия на порошке. Лучшая самофлюсуемость порошка с однофазным покрытием объясняется более низкой температурой эвтектического плавления инконгруэнтно плавящейся фазы  $Fe_2B$ .

### Список использованных источников

1. Пантелеенко Ф.И., Любецкий С.Н. Самофлюсующиеся порошки и износостойкие покрытия из них. - Минск: БелНИИТИ, 1991 -59с.
2. Пантелеенко, Ф.И. Получение порошков из аустенитных сталей методом диффузионного легирования./ Пантелеенко .И., Оковитый В.А, Пантелеенко А.Ф., Оковитый В.В., //Вестник Белорусского научно- технического университета. БНТУ-Минск, 2010. -Вып.5. - С.45-53 .
3. Пантелеенко, Ф.И. Разработка технологического процесса плазменного напыления покрытий на детали коробок передач энергонасыщенных тракторов / Пантелеенко Ф.И., Оковитый В.А., Пантелеенко А.Ф. // Труды ГОСНИТИ, Москва. - 2012. –Т. - 110, часть 2. - С.19-22.
4. Состав для газотермического напыления износостойких покрытий: пат. 15833 Респ. Беларусь, МПК В 22F 1/00; С 23С 4/06 / Оковитый В.А., , Девойно О.Г., Пантелеенко А.Ф., Оковитый В.В. заявитель - БНТУ -№ а 20100496; заявл. 30.03.2010. опубл.30.04.12 // Афіцыйны бюл. Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. - № 2.
5. Состав для газотермического напыления износостойких покрытий: пат. 19111 Респ. Беларусь, МПК В22F 1/00; С23С4 /04/ Оковитый В.А., Девойно О.Г., Пантелеенко А.Ф., Оковитый В.В. .- заявитель - БНТУ-№ а 20120954; заявл. 22.06.2012, опубл.30.04.2015 // Афіцыйны бюл. Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2015. - № 2.