

## **ИЗУЧЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ**

**<sup>1</sup>Белявин К.Е., <sup>2</sup>Сосновский И.А., <sup>2</sup>Худолей А.Л.**

*1. Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь, dz-m@tut.by*

*2. Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,  
г. Минск, Республика Беларусь, sos3@tut.by*

В последние годы активно ведутся работы по внедрению защитных покрытий, которые обеспечивают замену материала детали с дорогостоящих дефицитных сталей на более дешевые и распространенные – низко- и среднеуглеродистые стали. Большие перспективы в этом направлении открывают технологические процессы и оборудование для нанесения износостойких покрытий методами индукционной наплавки и припекания [1-2].

Порошковые сплавы на основе железа системы Fe–Cr–B–Si для получения защитных покрытий, обладают высокой твердостью и износостойкостью, в свою очередь имеют повышенную хрупкость и пониженную устойчивость к ударным нагрузкам. Такие материалы являются аналогами самофлюсующихся сплавов системы Ni–Cr–B–Si и также в большинстве случаев способны к самофлюсованию. Покрытия системы Fe–Cr–B–Si не уступают хромоникелевым, а часто превосходят их по твердости и износостойкости. При этом стоимость таких материалов в 3-4 раза ниже стоимости порошков на никелевой основе. В этой связи порошковые сплавы и смеси системы Fe–Cr–B–Si обычно используют для упрочнения широкой номенклатуры деталей машин и оборудования, работающих в условиях интенсивного абразивного и гидроабразивного износа [3].

Среди наиболее перспективных материалов системы Fe–Cr–B–Si для износостойких покрытий следует отметить самофлюсующийся сплав на железной основе ПР-Х4Г2Р4С2Ф, изготавливаемый ОАО «Полема» (г. Тула, РФ) [4]. Покрытия из этого сплава обладают высокой твердостью (до HRC 65) и износостойкостью при абразивном изнашивании, но в ряде случаев недостаточно устойчивы к ударным нагрузкам из-за несовершенства структурного состояния материала.

Целью данной работы является изучение локальных свойств покрытий из самофлюсующихся сплавов для установления взаимосвязи температуры индукционного нагрева и структурообразования износостойких покрытий с обеспечением высоких эксплуатационных характеристик конечного изделия.

### **Методика выполнения исследований.**

Измерение локальных механических свойств покрытия осуществлялось методом вдавливания алмазной пирамиды на приборе ПМТ-3. Рентгенофазовый анализ (РФА) проводился для определения фазового состава покрытия и его структуры на дифрактометре ДРОН-3. Металлографический анализ и исследования микроструктуры осуществлялись на металлографическом микроскопе «POLYVAR-MET» при увеличении до 300 раз. Выполнялись исследования покрытий из состава ПР-Х4Г2Р4С2Ф и смеси двух порошков (70% ПР-Х4Г2Р4С2Ф + 30% ПГ-СР4), полученных центробежным индукционным методом при температурах 1050, 1090, 1120 и 1150°C, в том числе и с последующей закалкой в воду.

### **Свойства покрытий из порошка ПР-Х4Г2Р4С2Ф.**

Показано, что при температурах нанесения 1050°C формируется «рыхлое», пористое покрытие, с частичным отслаиванием от материала основы; при температуре 1090°C в материале покрытия имеются единичные раковины. Проведенный РФА

показал, что фазовый состав постоянен для всех нанесённых покрытий и представлен в виде твердых растворов на основе, преимущественно,  $\alpha$ -Fe,  $\text{Me}_3\text{C}$ ,  $\text{Me}_2\text{B}$  и  $\text{Me}_3\text{SiB}$ .

Установлено, что наиболее качественное покрытие из данного сплава получается при температуре от  $T=1150^\circ\text{C}$ . При этом микротвердость матрицы такого покрытия, соответствует 7620...8940 МПа, светло-коричневых выделений - 6570...7240 МПа, боридов - 9740...10600 МПа и эвтектики - 7240 МПа. Граница сплавления «основной металл-покрытие» ровная. Зазоры между основой и покрытием отсутствуют. Вдоль всей границы сплавления проходит протравленная полоса.

#### **Свойства покрытий из смеси порошка 70% ПР-Х4Г2Р4С2Ф + 30% ПГ-СР4**

Показано, что при температурах нанесения  $1050^\circ\text{C}$  формируется неравномерная по толщине покрытия пористая структура, повышение температуры нагрева до  $1090^\circ\text{C}$  уменьшило микротвердость матрицы, что может быть связано с отпуском мартенсита, процессами диффузионного перераспределения легирующих элементов и коагуляцией карбидов. Микротвердость эвтектики в данном покрытии осталась практически без изменения - 5030...5920 МПа, карбидов - 5920...6810 МПа и боридов - 10600...11000 МПа. Дальнейшее повышение температуры нагрева до  $1120^\circ\text{C}$  не привело к качественному изменению фазового состава покрытия. Однако, интенсивность линий  $\text{Me}_3(\text{SiB})$  и  $\text{Me}_3\text{C}$  уменьшилась по сравнению с покрытиями, полученными при более низких температурах. Граница сплавления ровная, плотная: без раковин и зазоров. Вдоль всей границы сплавления, со стороны покрытия, проходит белая полоса легированного аустенита. С металлографической точки зрения наилучшей структурой обладает покрытие, полученное при температуре индукционного нагрева  $T=1120^\circ\text{C}$  (мягкая основа и мелкие и твердые выделения упрочняющих фаз).

Таким образом, проведенные исследования позволили установить рекомендуемые соотношения компонентов порошковых материалов и температурные режимы индукционной наплавки покрытий в зависимости от требуемой износостойкости.

#### Список использованных источников

1. Белявин, К.Е. Индукционный нагрев в процессах центробежного нанесения покрытий / К.Е. Белявин, И.А. Сосновский, А.Л. Худолей // Вестник Фонда фундаментальных исследований, № 3 [65], 2013. – С. 68-85.
2. Белявин, К.Е. Теплофизические особенности и энергоэффективность индукционного нагрева при центробежном нанесении покрытий / К.Е. Белявин, И.А. Сосновский, А.Л. Худолей // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. В 3 кн. Кн. 2. Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки / редколлегия: С.А. Астапчик (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2013. – С. 484 – 493.
3. Гафо, Ю.Н. Порошковые материалы на железной основе, используемые для создания износостойких покрытий / Ю.Н. Гафо, А.В. Сосновский, И.А. Сосновский // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях : Материалы Второй Промышленной МНТК, 25 февраля – 1 марта 2002 г. п. Славское – Киев: УИЦ «Наука. техника. технология», 2002. – С. 49 - 50.
4. Белявин, К.Е. Использование индукционного нагрева для получения износостойких покрытий из порошков ферромагнитных сплавов / К.Е. Белявин, М.А. Белоцерковский, И.А. Сосновский // Металлургия: Республ. межведом. сб. научн. тр.: в 2 ч. – Минск: БНТУ, 2013. – Вып. 34, ч. 2. – С. 173 – 184.