

водства и конструкцию штампов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мицкевич М.К. К вопросу о сравнительной эффективности различных методов электроэрозионной обработки деталей разделительных штампов. Сообщение 1// Электронная обработка материалов. – 1985. - № 3. – С. 16 – 21. 2. Мицкевич М.К. К вопросу о сравнительной эффективности различных методов электроэрозионной обработки деталей разделительных штампов. Сообщение 2// Электронная обработка материалов. – 1985. - № 4. – С. 15 – 23. 3. Гурвич Р.А. Производительность изготовления отверстий в твердом сплаве электроэрозионным способом // Электронная обработка материалов. – 1973. - № 6. – С. 16 – 20.

УДК 621.793

**Н.В. Спиридонов, В.В. Зенькевич, А.С.Володько, Л.И.Пилецкая**

### **Триботехнические и физико-механические характеристики поверхностей, упрочненных механическими смесями на основе самофлюсующихся сплавов**

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Износостойкость, как физико-механическая характеристика покрытий, структурно-чувствительна. Химический и фазовый состав материала, структурное состояние, параметры субмикроструктуры, а также свойства, взаимное расположение, количественное соотношение и характер связи отдельных составляющих структуры являются наиболее существенными факторами, определяющими сопротивление металлических сплавов изнашиванию. Для различных условий воздействия изнашивающих нагрузок оптимальная износостойкость создается при различных, но характерных для каждого конкретного случая структурных состояний материала.

Проведенные исследования микроструктуры, фазового состава, параметров субмикроструктуры покрытий из самофлюсующихся сплавов после лазерного оплавления позволили выявить существенные отличия их от покрытий, оплавленных с использованием объемного, в частности, печного нагрева. При этом структуру покрытий можно целенаправленно формировать путем изменения режимов обработки. Известно, что структура покрытий после лазерного оплавления на оптимальных режимах характеризуется пересыщенным состоянием твердого раствора, измельчением структурных составляющих, направленной кристаллизацией и равномерным распределением в металлической матрице сплава дисперсных частиц выделений упроч-

няющих фаз. Все это способствуют повышению прочности, вязкости и сопротивлению изнашиванию металлических сплавов.

Проведенные испытания в режиме трения скольжения в условиях, приближенных к условиям работы тяжело нагруженных узлов трения, показали, что метод и режимы оплавления существенно влияют на триботехнические свойства покрытий из самофлюсующихся сплавов. Выбор режимов лазерного оплавления предопределяет характер структуры получаемых покрытий. Для всех сплавов оплавление с частичным проплавлением в основу приводит к формированию дендритной структуры, некоторому повышению содержания железа в покрытии и снижению микротвердости. Такие покрытия обладают повышенной стойкостью к выкрашиванию при тяжелых режимах трения. При легких и средних режимах трения высокими эксплуатационными характеристиками обладают покрытия, оплавленные при плотности мощности  $g=5...40$  кВт/см<sup>2</sup> и скорости перемещения излучения по поверхности покрытий  $V=1...2$  мм/с [1]. Структура покрытий, получаемых в указанном диапазоне режимов, характеризуется высокой дисперсностью выделений упрочняющих фаз и их равномерным распределением в матрице пересыщенного твердого раствора на основе никеля [1,2].

Сравнительные испытания износостойкости покрытий, оплавленных лазерным излучением и в муфельной печи при работе в паре с контрообразцами из высокопрочного сплава ВСНГН, показали, что степень легированности сплавов влияет на его чувствительность к методу и режимам оплавления. Так, интенсивность изнашивания покрытий из высоколегированного сплава ПР-Н70Х17С4Р4 после лазерного оплавления уменьшается по сравнению с покрытиями, оплавленными в печи, в зависимости от режимов лазерной обработки до 5 раз, покрытий из сплава ПР-Н80Х13СЗР3 – до 4 раз. Наиболее износостойким в рассматриваемых условиях является сплав ПР-Н70Х17С4Р4, а ПР-Н80Х13СЗР3 имеет близкие значения интенсивности изнашивания.

Момент сил трения при испытании покрытий, прошедших лазерную обработку и притертых после шлифования до  $R_a=0,23$ , практически не изменяется, что свидетельствует о хорошей прирабатываемости сопрягаемых материалов. Расчет коэффициентов трения  $f$  показал, что у покрытий, оплавленных лазерным излучением,  $f$  в 1,7...2,2 раза ниже, чем при тех же условиях испытаний у покрытий, оплавленных в печи. Оценка зависимости коэффициентов трения покрытий, полученных по разработанной технологии от нагрузки и скорости скольжения при трении по закаленному чугуноу, показала, что значения соответствуют: для сплава ПР-Н80Х13СЗР3 – 0,007...0,018; ПР-Н70Х17С4Р4 – 0,004...0,028. При данных условиях минимальные значения  $f$  получены для сплава ПР-Н80Х13СЗР3, которые несколько возрастают с повышением нагрузки и незначительно зависят от скорости скольжения. Следует от-

метить, что в области малых нагрузок триботехнические свойства сплавов близки по своим значениям. Таким образом, при оценке работоспособности покрытий в конкретных условиях работы необходимо сопоставлять результаты комплексных триботехнических испытаний.

Полученные результаты сравнительной износостойкости покрытий с различными способами модификации представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний износостойкости упрочненных поверхностей

Состав покрытия	Способ оп- давления	Величина из- носа <sup>1</sup> , мкм	Относительная износостой- кость
ПР-Н70Х17С4Р4	ПО <sup>2</sup>	26,7	1
ПР-Н70Х17С4Р4+25%ПР-85КХ	ПО	11,6	2,3
ПР-Н70Х17С4Р4+50%ПР-12НВК	ПО	12,5	2,14
ПР-Н70Х17С4Р4	ЛО <sup>3</sup>	15,8	1,70
ПР-Н70Х17С4Р4+25%ПР-85КХ	ЛО	4,9	5,45
ПР-Н70Х17С4Р4+50%ПР-12НВК	ЛО	7,9	3,38

1 – средняя величина износа пяти образцов, 2 – оплавление в печи, 3 – оплавление излучением лазера.

Сравнение величин износа, приведенных в таблице, показывает, что введение в самофлюсующийся сплав композиционных добавок карбидов приводит к значительному повышению износостойкости покрытий как после лазерного оплавления, так и печного оплавления. При этом износостойкость покрытий после лазерного оплавления выше износостойкости покрытий, оплавленных газопламенной горелкой. Дополнительное подлечивание в процессе лазерного оплавления также обеспечивает значительное повышение износостойкости.

Существенную роль при трении играют окислительные процессы. Вторичные окисные пленки, возникающие в результате мгновенных температурных вспышек при контактировании микронеровностей и воздействии с окружающей средой, образуют пассивную пленку на поверхностях трения. Прочность и фрикционные свойства таких пленок во многом определяют характер протекания износа. Различные добавки оказывают значительное влияние на этот процесс. Отсутствие узлов схватывания на поверхности трения покрытия с карбидными добавками свидетельствует о высоких антифрикционных свойствах такой поверхности, что в немалой степени связано и с высокой смазывающей способностью вторичных пленок.

Таким образом, проведенные исследования изнашивания покрытий из никелевых самофлюсующихся сплавов и композиций на их основе показали следующее. На интенсивность и характер протекания процесса изнашивания оказывают влияние как характер структуры, определяемый способом оплавления покрытия, так и вид композиционных добавок. Лазерное оплавление приводит к повышению износостойкости

за счет измельчения структурных составляющих, пересыщения матрицы легирующими элементами, ее текстурирования. Добавки карбида вольфрама обеспечивают сильное упрочнение никелевой матрицы, что уменьшает процессы ее деформирования и царапания. При трении покрытий с добавками карбида хрома упрочнение происходит за счет увеличения количества упрочняющей фазы при сохранении пластичности матрицы, что обуславливает специфический характер износа покрытия.

Кроме триботехнических характеристик были исследованы также и физико-механические характеристики покрытий с добавками карбидов вольфрама и хрома. Исследования показали, что при увеличении содержания карбидов в самофлюсующихся сплавах отрицательно сказывается на прочности сцепления покрытий. Это объясняется отсутствием химического взаимодействия между карбидами и самофлюсующимся сплавом.

Кроме прочности сцепления карбиды отрицательно влияют на пористость покрытий. При напылении карбида хрома пористость покрытий может достигнуть 15...17% и не исчезает полностью при оплавлении. Пористость образцов, напыленных механической смесью с карбидом хрома исчезала как при печном, так и при лазерном оплавлении.

Зависимости пористости и прочности сцепления покрытий с основой приведены на рис. 1 и 2.

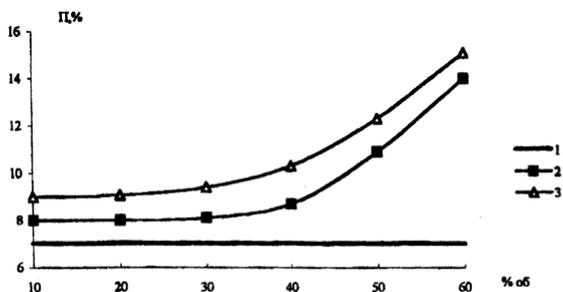


Рис. 1. Зависимость пористости покрытия от содержания карбидной фазы: 1-сплав ПР-Н70Х17С4Р4; 2-смесь ПР-Н70Х17С4Р4 и WC; 3-смесь ПР-Н70Х17С4Р4 и Cr<sub>2</sub>C<sub>3</sub>; основа ПР-СР4

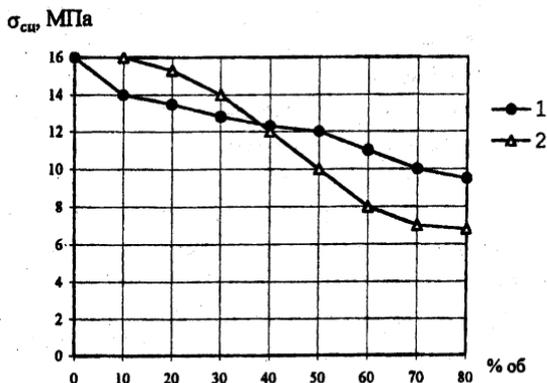


Рис. 2. Зависимость прочности сцепления от содержания карбидной фазы:

1-WC; 2-Cr<sub>2</sub>C<sub>3</sub> Покрытие неоплавленное. Основа сплав ПР-Н70Х17С4Р4

Данные покрытия могут применяться при изготовлении деталей узлов трения, работающих со смазкой, деталей волочильного оборудования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В.Н.Чачин, Н.В.Спиридонов, М.А.Кардаполова и др. Термодинамика плазменного напыления механических смесей на основе самофлюсующихся сплавов // Вестн АН БССР. Сер. физ. - техн. наук. - 1987. - №3. - С.51-56. 2. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин / Н.В.Спиридонов, О.С.Кобяков, И.Л.Куприянов; Под ред. В.Н.Чачина. — Мн.: Высшэйшая школа, 1988. — 155 с.

УДК 621.357.7

Л.И. Степанова, Т.В. Мозолева, Т.И. Бодрых

#### КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НИКЕЛЬ-УЛЬТРАДИСПЕРСНЫЙ ОКСИД МОЛИБДЕНА ИЛИ ВОЛЬФРАМА

Научно-исследовательский институт физико-химических проблем  
Минск, Беларусь

Создание металл-матричных материалов и покрытий с определенными функциональными свойствами - одно из важных направлений современных научных исследований. Композиционные электрохимические покрытия, представляющие собой