

готовки. В этой заготовке за счет неоднородного распределения напряжений и деформаций формируется переменное порораспределение: изменяется пористость и размеры пор по ее толщине. В качестве схем нагружения были выбраны изгиб спеченной заготовки по цилиндрической и сферической поверхности. Метод пластического деформирования позволяет получить фильтрующие изделия с повышенными в 1,3–1,5 раза коэффициентом проницаемости и в 1,4–1,6 раза грязеемкостью и ресурсом работы, при сохранении заданной тонкости фильтрации.

Метод осаждения основан на внесении более мелких частиц порошка в поровые каналы предварительно сформированной и спеченной заготовки из более крупного порошка. Он заключается в пропускании газопылевого потока через спеченную заготовку, в поровых каналах которой происходит осаждение мелких частиц из этого потока. В результате неравномерного осаждения формируется переменное порораспределение. Этот метод позволяет получить фильтрующий материал с повышенным в 4 раза коэффициентом проницаемости.

На основании проведенных исследований разработаны фильтрующие материалы для очистки горючесмазочных материалов, воды и воздуха, гомогенизации прядильных расплавов при производстве синтетических волокон и нитей, аэрации сточных вод при их биологической очистке, глушения шума и других целей. Они нашли практическое применение на Могилевском ПО "Химволокно", Минском "Водоканале", Обольском заводе кормовых добавок, Челябинском тракторном заводе, Полоцком ПО "Стекловолокно", на Бобруйском заводе "Фермаш" и других предприятиях.

Фильтрующие материалы широко используются в различных системах очистки и технологиях перерабатывающей промышленности агропромышленного комплекса. Поэтому информация о существующих и новых фильтрующих материалах, конструкциях устройств и областей их применения представляет интерес для включения в учебные программы при подготовке специалистов соответствующего профиля.

## **СТРУКТУРА И СОСТАВ ПОКРЫТИЙ ИЗ ПОРОШКОВ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКИ**

*Романова Т.К.*

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

Формирующееся покрытие при электромагнитной наплавке (ЭМН) обладает достаточной плотностью, равномерной структурой, хорошим сцеплением с подложкой и не дает трещин при формообразовании. Для нанесения по-

крытий применяли образцы из стали 45. Образцы имели следующие размеры: наружный диаметр 40 мм, внутренний 20 мм, высота 15 мм, микроструктура образца в исходном состоянии феррит и перлит. Наплавку порошка производили на экспериментальной установке ЭУ-5 при следующем технологическом режиме: величина магнитной индукции в рабочем зазоре  $B=0,9$  Тл; сила технологического тока  $I = 120$  А; удельное время наплавки  $\tau = 5$  с/см<sup>2</sup>; расход порошка  $g = 0,3$  г/с; расход СОЖ  $Q = 0,04$  дм<sup>3</sup>/с; скорость подачи  $S = 0,15$  мин/об; соотношение рабочего зазора к размеру зерен ферропорошка  $\delta/\Delta = 3,6$ . При электромагнитной наплавке с поверхностным пластическим деформированием (ЭМН с ППД) сила давления инструмента на образец  $P=1250$  Н; радиус сферы шара наконечника  $R=7$  мм. Зернистость порошка при наплавке составляла  $\Delta=320/280$ . Использовались порошки из быстрорежущих сталей Р6М5, Р6М5ФЗ, Р6М5К5.

Для изучения структуры, фазового состава, распределения легирующих элементов использовали оптический микроскоп "Neophot-2"; сканирующий электронный микроскоп "Нанолаб-7" со спектром энергетической дисперсии системы 860 – CP2-500 для рентгеноструктурного анализа "ДРОН-3".

При ЭМН действие искрового разряда, проходящего через порошок, продолжается сотые доли секунды. Скорость нагрева и охлаждения расплавленных порошковых частиц достигает 150000°С/с. Таким образом, по условиям нагрева и охлаждения порошка, фактически происходит закалка быстрорежущих сталей из жидкого состояния, что и формирует структуру наплавленного слоя.

Структура поверхностного слоя, сформированная ЭМН, зависит от механизма диффузии атомов материала основы. На поверхности детали формируется упрочненный слой, состоящий из трех зон: зоны наплавленного металла, диффузионной зоны и зоны термического влияния.

Структура зоны наплавленного металла представляет собой мартенсит 60–65%, остаточный аустенит 25–30%, легированные карбиды 10–15%. Внутренний слой зоны термического влияния имеет структуру, состоящую из феррита и троостита, что говорит о нагреве этой зоны до температуры выше точки  $A_{c1}$ .

Одним из способов уплотнения наплавленного слоя является поверхностное пластическое деформирование. В этом случае меняются условия формирования покрытия. Совмещение ЭМН с ППД приводит к уменьшению микропористости в структуре, расширению зоны термического влияния, уменьшению количества остаточного аустенита. Толщина упрочненного слоя при наложении ППД возрастает примерно в 1,5 раза. Рентгеноструктурный анализ покрытий обнаружил два типа твердых растворов: с решеткой ОЦК (мартенсит) и с решеткой ГЦК (аустенит).

Образцы с нанесенной электромагнитной наплавкой с ППД покрытием подвергались трехкратному отпуску при температуре 560 °С. В результате произошло превращение остаточного аустенита в мартенсит, легирующие элементы, такие как хром, молибден, ванадий, вольфрам усилили дисперсионное твердение, выделяясь из мартенсита, а кобальт при отпуске выделился в виде интерметаллида. Таким образом, структура покрытия после ЭМН с ППД и последующим трехкратным отпуском состоит из легированного отпущенного мартенсита, дисперсионных вторичных карбидов и интерметаллидов.

Сочетание электромагнитной наплавки с ППД и последующим трехкратным отпуском привело к увеличению твердости покрытий на 6–8 единиц по HRC. Все это является предпосылкой для достижения высоких эксплуатационных свойств покрытий из порошков быстрорежущих сталей.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, проект Т98-181.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИФФУЗИИ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКЕ

*Романова Т.К., Ефремов В.И., Хилько Д.Н.*

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

Высокое качество покрытия при электромагнитной наплавке (ЭМН) достигается за счет получения однородного химического состава наплавленного слоя и диффузионного массопереноса легирующих элементов материала покрытия в основу.

Процесс диффузионного массопереноса при ЭМН можно представить в виде второго уравнения Фика:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 D \frac{\partial c}{\partial r} \right), \quad (1)$$

где  $\partial c$  – разность концентраций;  $\partial \tau$  – продолжительность процесса;  $\partial r$  – расстояние, на котором имеет место градиент концентрации;  $D$  – коэффициент диффузии.

Приняв допущение, что процесс диффузии легирующих элементов при ЭМН квазистационарный, уравнение (1) запишется в виде:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left[ r^2 D \frac{\partial c}{\partial r} \right] = 0 \quad (2)$$

Уравнение (2) равно нулю, если

$$r^2 D \frac{\partial c}{\partial r} = A = \text{const} \quad (3)$$