

**Влияние термической обработки на структуру и свойства  
инфильтрированных материалов на основе порошковых  
углеродистых сталей**

Дьячкова Л.Н.<sup>1</sup>, Керженцева Л.Ф.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГНУ «Институт порошковой металлургии»,

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Быстрое развитие машиностроения потребовало создание новых антифрикционных материалов, обладающих повышенной износостойкостью, низким значением коэффициента трения, способностью работать при высоких скоростях и больших нагрузках, а также в различных активных средах. Важнейшей проблемой в авиационном и автомобилестроении для упрощения конструкции стала проблема антифрикционных материалов, способных работать без смазки. Этим требованиям более всего отвечают порошковые антифрикционные инфильтрированные материалы на основе железа, обладающие уникальным комплексом триботехнических и механических свойств. Целесообразность применения спеченных антифрикционных деталей определяется в основном тремя факторами себестоимостью изготовления, эффективностью в эксплуатации и экономией дефицитных цветных металлов.

Перспективным направлением в разработке спеченных антифрикционных материалов является создание материалов на основе железа, как наиболее доступного и широко освоенного в практике порошковой металлургии. Известные методы получения антифрикционных материалов на основе железа [1-3] в значительной мере исчерпали ресурс упрочнения изделий. В этой связи необходима разработка новых подходов к проблеме повышения механических свойств данного класса материалов. Одним из таких решений является создание композиционных материалов на основе железа, про-

питанного медным сплавом, с «корковой» структурой железных частиц. Последняя может быть реализована при термической обработке путем перераспределения углерода внутри частиц с образованием оболочек повышенной концентрации углерода в приграничных областях. Межчастичная диффузия углерода должна быть подавлена барьерным слоем медной фазы.

В качестве объекта исследований использовали композиционные инфильтрированные медным сплавом материалы на основе порошковых композиций железо-графит с содержанием 0,5; 1; 2% графита. Шихту получали смешиванием в смесителе исходных составляющих. Медь использовали в виде порошка марки ПМС-1, углерод в виде карандашного графита марки ГК-2. Образцы из шихты на основе железа прессовали до плотности 75 и спекали в защитно-восстановительной атмосфере эндогаза при температуре 1150°C. Потери углерода в процессе спекания составили около 0,2%. Пропитку проводили в атмосфере эндогаза при температуре 1120°. Термическая обработка инфильтрированных материалов заключалась в закалке с температуры 850°C с охлаждением в воде и отпуске при температурах 200, 550, 700°C, 1 ч. Механические свойства оценивали по твердости, пределу упругости и относительной деформации при сжатии. Испытания на сжатие выполняли на испытательной машине «Инстрон» со скоростью нагружения 2мм/мин. Микротвердость фаз определяли на микротвердомере «Акаши» при нагрузке 10 г для медной фазы и 50 г фазы на основе железа, твердость - на твердомере Виккерса.

Результаты исследований показали, что после насыщения углеродом в процессе спекания и инфильтрации композиционный материал состоит из частиц стальной основы и медной фазы, расположенной дискретно по границам и в стыках частиц. Структура основы зависит от содержания углерода и изменяется от феррито-перлитной (0,3% углерода) до перлита-цементитной (1,8% углерода). Термообработка приводит к преимущественной диффузии углерода от центра частиц по направлению к наиболее дефектным приграничным областям, в которых образуется оторочка с повышенным содержанием углерода. При этом макропоток атомов углерода в объеме композиционного материала отсутствует благодаря барьер-

ному влиянию медной фазы. Структура оторочки определяется температурой отпуска и концентрацией углерода. В малоуглеродистой стали упрочняющая оторочка формируется преимущественно при высоком отпуске 700°C (рис 1 а, б), что приводит к повышению твердости, прочности и снижению пластичности (таблица).

Таблица

Влияние режимов термической обработки на механические свойства инфильтрированных материалов на основе порошковых углеродистых сталей

| Содержание углерода в железной фазе, % | Режим термической обработки      |         |                |                                  |         |                |                                  |         |                |
|--|----------------------------------|---------|----------------|----------------------------------|---------|----------------|----------------------------------|---------|----------------|
|  | Закалка, отпуск 200°С            |         |                | Закалка, отпуск 550°С            |         |                | Закалка, отпуск 700°С            |         |                |
|  | $\sigma_{\text{ср}}, \text{МПа}$ | HV, МПа | $\epsilon, \%$ | $\sigma_{\text{ср}}, \text{МПа}$ | HV, МПа | $\epsilon, \%$ | $\sigma_{\text{ср}}, \text{МПа}$ | HV, МПа | $\epsilon, \%$ |
| 0,3                                    | 2900                             | 1350    | 15,2           | 5600                             | 2910    | 7,2            | 6700                             | 3560    | 5,7            |
| 0,8                                    | 5100                             | 3100    | 11,0           | 7400                             | 3780    | 11,0           | 8970                             | 4980    | 6,2            |
| 1,8                                    | 10600                            | 5710    | 2,2            | 7640                             | 3900    | 10,3           | 4100                             | 2370    | 15,8           |

С увеличением количества углерода до 0,8% эта оторочка образуется уже при температуре отпуска 550°C и наиболее выражена при 700°C (рис. 1 в, г). Микротвердость в центре частиц после отпуска 550°C составляет 3030 МПа, оторочки - 4120 МПа, после отпуска 700°C - 1480 и 4730 МПа, соответственно. Закономерности изменения свойств в инфильтрированных материалах на основе стали с 0,8% углерода имеет аналогичный характер.

Увеличение твердости и прочности с повышением температуры отпуска связано, по-видимому, с карбидизацией приграничных участков стальных частиц, которая приводит к возрастанию жесткости и сопротивлению пластической деформации.

В инфильтрированных материалах на основе высокоуглеродистой стали (1,8%) концентрационного расслоения по углероду внутри частиц не происходит. Микроструктура частиц однородная и изменяется с повышением температуры отпуска подобно литым сталям при низком отпуске - мартенсит отпушенный с избыточными карбидами, при среднем - троостит с избыточными карбидами, при высоком - сорбит с избыточными карбидами (рис 1 д,е). В соответ-

ствии со структурными превращениями изменяются свойства - понижается прочность, возрастает пластичность (таблица).

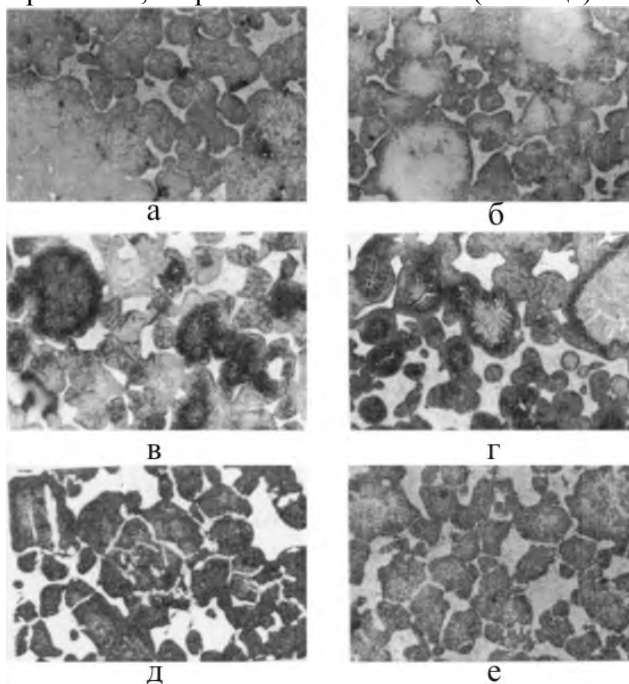


Рис. 1 Микроструктуры инфильтрированного материала на основе порошковой углеродистой стали, содержащей 0,3 (а,б); 0,8 (в,г); 1,8 % С (д,е) после закалки и отпуска при 550 °С (а,в,д) и 700 °С (б,г,е).  
x500

Таким образом, предложен метод упрочнения антифрикционных материалов на основе железа, инфильтрированных медью. Эффект упрочнения реализуется при содержании углерода 0,3-0,8% и достигается путем перераспределения углерода внутри железных частиц в процессе термической обработки.

#### Литература

1. Тучинский Л.И. Композиционные материалы, получаемые методом пропитки. М: Металлургия, 1986.

2. Ермаков С.С., Вязников Н.Ф. Порошковые стали и изделия. Л: Машиностроение, 1990.