

УДК 621.793.71

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В СИСТЕМЕ НАПЫЛЕННАЯ ЧАСТИЦА - ПОДЛОЖКА

А.Ф. ИЛЬЮЩЕНКО, В.А. ОКОВИТЫЙ, А.И. ШЕВЦОВ, Ю.В. БУЧКИН
(Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Минск)

Приведены результаты исследований остаточных напряжений в отдельных структурных элементах напыленных композиционных частиц покрытий $FeCr_3O_3 + 7\%$ графита + 70 % TiC, $FeCr_3O + 10\%$ графита + 70 % TiC. Данные получены путем рентгеноструктурного анализа напыленных композиций с изучением параметров их тонкой структуры и измерением деформации решетки основных фаз композиционных материалов (TiC, твердый раствор на основе железа).

Введение. Работоспособность износостойких покрытий во многом определяется их напряженным состоянием. Известно, например, что растягивающие напряжения в поверхностных слоях покрытий активизируют их механическое разрушение в процессе трения. Такие напряжения в граничных с подложкой слоях снижают адгезионную прочность покрытий. Поэтому экспериментальные исследования параметров напряженного состояния в системе напыленная частица - подложка достаточно актуальны.

Цель исследований - изучение остаточных напряжений в отдельных структурных элементах напыленных композиционных частиц покрытий $FeCr_3O_3 + 7\%$ графита + 70 % TiC, $FeCr_3O + 10\%$ графита + 70 % TiC. Указанные покрытия перспективны для восстановления и упрочнения деталей машин, эксплуатирующихся при неблагоприятных условиях трения. Полученные данные могут использоваться при сравнительном анализе качества подобных композиционных покрытий для выбора состава исходных распыляемых порошковых материалов, наносимых плазменным способом.

Методика исследований. Результаты исследований получены путем рентгеноструктурного анализа напыленных композиций $FeCr_3O_3 + 7\%$ графита + 70 % TiC, $FeCr_3O + 10\%$ графита + 70 % TiC с изучением параметров их тонкой структуры и измерением деформации решетки основных фаз композиционных материалов (TiC, твердый раствор на основе железа). Напряжения приводят к однородному, несимметричному изменению межплоскостного расстояния решетки кристаллитов, и следовательно смещению дифракционной линии на угол $\Delta\theta$, который определяют из выражения:

$$\Delta\theta = -\epsilon \operatorname{tg}\theta_0, \quad (1)$$

где θ_0 – дифракционный угол, соответствующий состоянию материала без напряжений; ϵ – деформация решетки.

Обычно деформацию решетки ϵ измеряют вдоль нескольких направлений, составляющих различные углы ψ с нормалью к поверхности образца. При определении суммы главных напряжений 1-го рода в фазе TiC и твердом растворе на основе Fe используют зависимость [3]:

$$\sigma_1 + \sigma_2 = \frac{E}{\mu} \left(\frac{d_1 - d_0}{d_0} \right), \quad (2)$$

где E – модуль Юнга для TiC и твердого раствора на основе Fe; μ – коэффициент Пуассона для TiC и твердого раствора; d_1 – среднее межплоскостное расстояние решетки для напряженного материала в направлении, перпендикулярном к поверхности образца; d_0 – межплоскостное расстояние для напряженного материала.

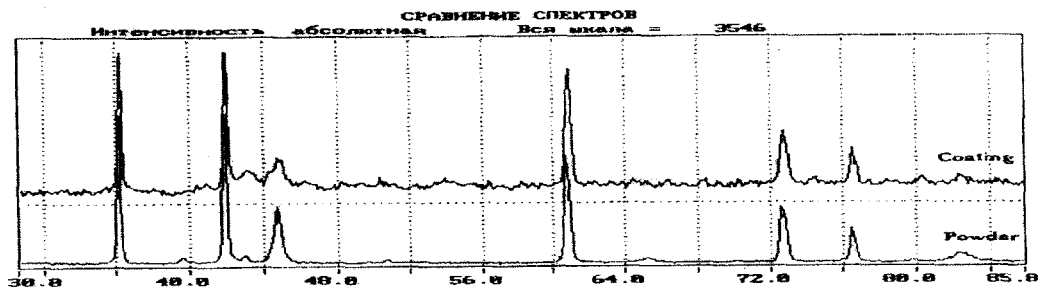
С учетом уравнения (2) и технологии получения образцов для определения напряженного состояния:

$$\sigma_1 + \sigma_2 = \frac{E}{\mu} \left(\frac{d_{coat} - d_{powd}}{d_{powd}} \right), \quad (3)$$

где d_{coat} – межплоскостное расстояние решетки в напыленном композиционном материале; d_{powd} – межплоскостное расстояние в исходном композиционном порошке, которое соответствует карточке JSPDS [32-1383] для TiC и ASTM [6-0696] для твердого раствора α -Fe.

Расчет параметров формулы (3) выполнен по программам FOURL1 и MIC2L пакета программ GOR.

Результаты и их обсуждение. Результаты исследований напряженного состояния фаз α -Fe и TiC в напыленных частицах представлены на рис. 1 и 2.



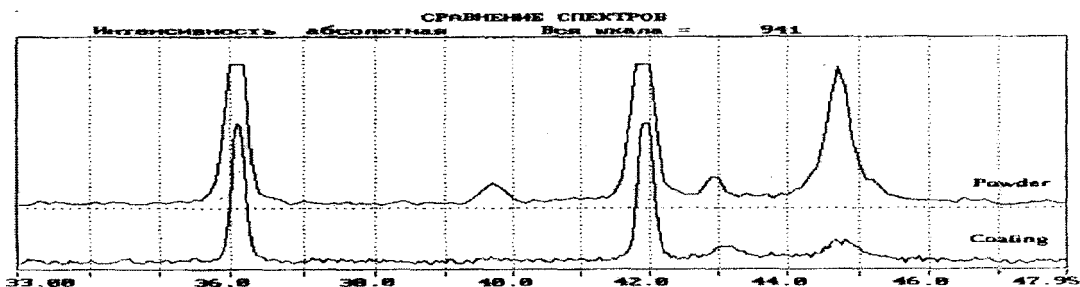
а)



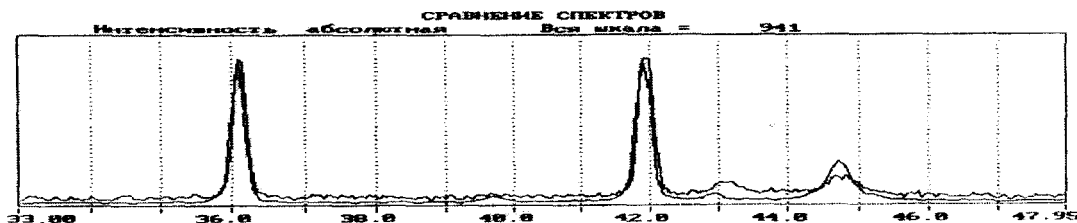
б)

Рис. 1. Сравнительное изображение дифрактограмм исходного порошка $FeCr_3O_4 + 7\%$ графита + 70% TiC и напыленной композиции:

а - дифрактограммы несовмещенные; б - дифрактограммы, совмещенные по оси Y в нулевой уровень



а)



б)

Рис. 2. Сравнительное изображение дифрактограмм исходного порошка $FeCr_3O_4 + 10\%$ графита + 70% TiC и напыленной композиции:

а - дифрактограммы несовмещенные; б - дифрактограммы, совмещенные по оси Y в нулевой уровень

Как видно из рис. 1 и 2, основные линии α -Fe и TiC по положению в рентгеновских спектрах отличаются от табличных данных карточек [6-0696] и [32-1383], характерных для ненапряженного состояния. При этом сдвиг линий в спектрах неравномерный – наименее сдвинуты передние и задние. Кроме того, наблюдается уширение линий α -Fe и TiC. Все это свидетельствует о микродеформационном, напряженном состоянии фаз α -Fe и TiC в напыленных частицах.

Необходимо отметить, что в карбидной фазе образуются растягивающие напряжения, а в твердом растворе - сжимающие. При этом абсолютная величина напряжений структурных элементов напыленной композиции $\text{FeCr}_3\text{OMo}_3$ + 7 % графита + 70 % TiC выше в сравнении с композицией FeCr_3O + 10 % графита + 70 % TiC, что объясняется наличием молибдена, который улучшает смачиваемость карбидной фазы связующим раствором на основе железа. Возрастает когезионная прочность композиции, но вместе с тем возможности релаксации напряжений в ней снижаются.

Заключение. Проведены исследования параметров напряженного состояния в системе напыленная частица - подложка. Результаты исследований остаточных напряжений в отдельных структурных элементах напыленных композиций $\text{FeCr}(\text{FeCrMo})$ + графит + TiC получены методом их рентгеноструктурного анализа с изучением параметров тонкой структуры и измерением деформации решетки фаз TiC и твердого раствора на основе железа. Установлено, что в указанных фазах образуются соответственно растягивающие (370. ..642 МПа) и сжимающие (299. ..597 МПа) напряжения. При этом абсолютная величина напряжений структурных элементов композиции $\text{FeCr}_3\text{OMo}_3$ + 7 % графита + 70 % TiC выше в сравнении с композицией FeCr_3O + 10 % графита + 70 % TiC.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кундас С.П., Ильюшенко А.Ф., Оковитый В.А. Релаксация напряжений в плазменных покрытиях за счет образования трещин // Порошковая металлургия. - Мн., 2002. Вып. 25. - С. 79 - 84.
2. Формирование газотермических покрытий: теория и практика / А.Ф. Ильюшенко, В.А. Оковитый, С.П. Кундас, Б. Форманек. - Мн., 2002.
3. Сулима А.М., Шулов В.А., Ягодкин Ю.Д. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин. - М., 1988.