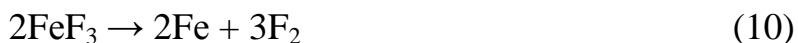




Продукт реакции (9) – фтористое железо ( $\text{FeF}_3$ ) – представляет собой химически неустойчивое соединение, которое распадается с образованием свободного фтора:



При температурах выше 600 К доля конденсированной фазы начинает возрастать, в то время как количество газовой фазы не изменяется. Это дает основание предположить, что в температурном интервале 600...1600 К происходят реакции с выделением конденсированной фазы, но без изменения числа молей газа. Это характерно для реакций распада, диспропорционирования либо обмена с подложкой. Можно полагать наличие следующей кинетической схемы реакций обмена с подложкой:



Проведенные расчеты и их анализ позволяют получить информацию о механизме нанесения покрытий в условиях СВС, а применение программного анализа – выполнять объективную оценку состава порошковых систем для регулирования данного процесса.

### Литература

1. Прогрессивные методы химико-термической обработки. / Под. ред. Г.Н.Дубинина, Я.Д.Когана. – М.: Машиностроение. 1979. – 184 с.

2. Коган Я.Д., Штессель Э.А., Костогоров Е.П., Серeda Б.П. Высокоинтенсивный способ получения покрытий в условиях СВС //М и ТОМ. – 1991. – № 6. – С.45–46.

3. Серeda Б.П., Калініна Н.С., Кругляк І.В. Поверхневе зміцнення матеріалів: Монографія. – Запорозьє: РВВ ЗГИА, 2004.–230с.

УДК 6.21.891

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ХРОМАЛМАЗНЫХ ПОКРЫТИЙ

П.А. Витязь<sup>1</sup>, академик, В.И. Жорник<sup>1</sup>, канд. техн. наук,

В.А. Кукареко<sup>1</sup>, д-р.физ.-мат. наук, Р.Г. Штемплук<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

<sup>2</sup>НП ЗАО «Синта»

(г. Минск, Республика Беларусь)

**Введение.** Одним из распространенных методов формирования композиционных износостойких покрытий является электрохимическое осаждение из электролитов, содержащих соль осаждаемого металла, в частности хрома, и дисперсную фазу (ДФ). Использование ультрадисперсных алмазов детонационного синтеза в качестве дисперсной фазы, вводимой в хромовый электролит, позволяет повысить антифрикционные, износостойкие, коррозионно-стойкие свойства. Однако при этом остаются нерешенными ряд проблем, ограничивающих широкое практическое использование наноалмазов в технологии электрохимического осаждения покрытий, в частности, связанные с необходимостью понижения концентрации наноалмазов в электролите.

**Методика исследований.** Оценка влияния типа наноразмерного углеродного модификатора и режимов электрохимического осаждения на структурное состояние электрохимического хромового покрытия и его дюрOMETрические и триботехнические свойства проводилась на покрытиях, полученных из электролитов хромирования с двумя вариантами дисперсной фазы (химически очищенный наноалмаз УДА и алмазно-графитовая шихта АШ-А).

**Результаты и обсуждение.** На начальной стадии формирования (после 90 с) электрохимические покрытия имеют большую шероховатость  $Ra$ : 20,7 нм (хром), 22,4 нм (хром-УДА), 100 нм (хром-АШ-А). Топография образцов (хром) и (хром-УДА) имеют схожую структуру, характер роста этих покрытий смешанный и соответствует модели Странски-Крастанова, при котором первый слой в виде пленки, имеющей мелкодисперсную структуру с размером частиц  $\sim 72$  нм, полностью покрывает поверхность подложки, а на нем происходит рост трехмерных островков покрытия. При этом нижняя пленка характеризуется наличием «крупных» пор размером 200–370 нм, и в покрытии с алмазами пористость составляет около 10–12%, а в чистом хроме – 4–5 %. Скорость роста нижней пленки при добавлении в электролит хромирования ДФ возрастает. Пленка, осаждаемая из электролита хром-АШ-А в течение 90 с, имеет островковый характер. В этом случае ее образование идет по механизму роста Вольмера-Вебера, условием реализации которого является преобладание взаимодействия между ближайшими атомами над взаимодействием этих атомов с подложкой. На поверхности формируются большие шарообразные агломераты размером 1,4 мкм, которые состоят из кристаллитов размером 140 нм. Размер микрокристаллитов в покрытиях из хрома и хром-УДА составил соответственно 70–80 нм и 50–60 нм, в покрытии хром-АШ-А имеются агломераты размером 500–630 нм, состоящие из микрокристаллитов размером 50–70 нм.

В результате исследования структуры, фазового состава и микротвердости гальванических слоев, полученных с использованием электролитов, содержащих различные концентрации модифицирующих наноразмерных добавок, установлено, что хромалмазные слои, осажденные из электролитов с добавками ультрадисперсных частиц УДА/АШ-А, характеризуются повышенными значениями микротвердости, высоким уровнем искаженности кристаллической решетки и измельченностью зеренной структуры по сравнению со стандартным хромовым покрытием. В электролите с небольшой концентрацией ДФ

( $C_a=1,2$  г/л) формируется покрытие микротвердостью  $H_\mu = 8000-9000$  МПа. Наиболее высокие значения микротвердости ( $H_\mu = 9500-10500$  МПа) осажденного хрома регистрируются при использовании электролита, содержащего  $C_a=5,1$  г/л модифицирующих добавок. При повышенных концентрациях ультрадисперсных алмазных частиц ( $C_a=15$  г/л) на рентгеновских дифрактограммах хромалмазных покрытий регистрируется аномальное снижение интенсивности рентгеновских дифракционных линий (211) и относительное возрастание интенсивности линии (200), что свидетельствует об изменении механизма кристаллизации и роста кристаллов хрома в растворе, приводящем к увеличению концентрации дефектов в хромалмазном слое, уменьшению его текстурированности и понижению твердости ( $H_\mu = 9300-9500$  МПа).

Триботехнические испытания хромалмазных покрытий в режиме сухого трения показали, что модифицирование хромового покрытия снижает коэффициент трения в 1,4–4,6 раза и интенсивность изнашивания в 8–14 раз, а при испытаниях в условиях граничной смазки выявлено улучшение антифрикционных свойств модифицированных покрытий в среднем на 20–25%, а износостойкость хромалмазного покрытия оказалась в 1,6–1,9 раза выше, чем для «чистого» хрома.

УДК 538.911

## НАНОКОМПОЗИЦИОННОЕ ПОКРЫТИЕ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Н.М. Чекан, С.Р. Онысько, И.П. Акула, В.В. Акулич  
Физико–технический институт НАН Беларуси  
(г. Минск, Республика Беларусь)

**Введение.** В машиностроении во многих технологических процессах используется штамповая оснастка. При жестких режимах работы эти изделия часто выходят из строя ввиду их невысокой износостойкости, хрупкости и др. Для повышения их эксплуатационных свойств все чаще применяют нанесение упрочняющих покрытий. Перспективным является использование покрытий на основе циркония.

**Получение покрытий и методы их исследования.** Покрытия карбонитрида циркония наносились на цилиндрические и прямоугольные пуансоны из стали X12M для пробивки отверстий методом конденсации ускоренных потоков плазмы металла [1] в присутствии азота и ацетилен. Для определения свойств покрытий использовались методы рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) и электронной микроскопии (ЭМ).

**Исследование и испытание покрытий.** Исследования методом РФЭС (рисунк 1) показали, что состояние циркония характеризуется тремя пиками с энергией 179,4, 182,0 и 184,3 эВ.