

ОСАЖДЕНИЕ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ ОКСИДНЫХ И МЕТАЛЛОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ТОПЛИВНЫЕ ЧАСТИЦЫ

А.П. Патокин, В.Л. Хребтов, Б.М. Широков

*Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,
г. Харьков, Украина*

Исследованы процессы получения и свойства оксидных (Al_2O_3 , ZrO_2) и металлооксидных ($\text{Mo-Al}_2\text{O}_3$, Mo-ZrO_2 , $\text{W-Al}_2\text{O}_3$, W-ZrO_2) покрытий на молибденовых подложках и топливных частицах диоксида урана. Показано, что основными факторами, влияющими на скорость осаждения, плотность, микроструктуру и др. свойства покрытий, являются температура осаждения, соотношение скоростей потоков H_2 и CO_2 , общее давление в реакторе и отношение парциальных давлений соответствующих хлоридов металлов при получении металлооксидных покрытий.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из перспективных видов ядерного топлива являются гранулированные делящиеся материалы в виде частиц с покрытиями. В качестве покрытий используются пироуглерод, карбиды, металлы и сплавы, оксиды. Применение покрытий улучшает свойства топливосодержащих частиц, создаёт реальные возможности повышения живучести твэлов дисперсного типа и более экономичного использования ядерного топлива [1].

Оксидные покрытия Al_2O_3 , ZrO_2 и композиционные покрытия на их основе привлекают внимание возможностью использования в различных областях науки и техники благодаря высокой коррозионной стойкости, твёрдости. Большой интерес к таким покрытиям привёл к разработке различных методов получения [2]. Среди этих методов особое внимание заслуживают химические методы осаждения из газовой фазы [3,4], перспективность которых обусловлена высокими эксплуатационными качествами получаемых покрытий, технологичностью и возможностью автоматизации процессов осаждения. Среди газофазных методов получения оксидных плёнок и покрытий наиболее используемыми являются реакции водородного восстановления хлоридов металлов в окислительной среде, содержащей CO_2 , H_2O , O_2 , или термического разложения металлоорганических соединений [3, 4]. Число работ, посвящённых получению оксидных покрытий на топливных частицах, весьма ограничено и практически отсутствуют работы по нанесению металлооксидных покрытий на топливные частицы.

В связи с этим целью данной работы явилось изучение процессов получения покрытий Al_2O_3 , ZrO_2 при водородном восстановлении AlCl_3 , ZrCl_4 и металлооксидных покрытий $\text{Mo(W)-Al}_2\text{O}_3$, Mo(W)-ZrO_2 при совместном водородном восстановлении $\text{MoCl}_5\text{-AlCl}_3$, $\text{MoCl}_5\text{-ZrCl}_4$, $\text{WCl}_6\text{-AlCl}_3$, $\text{WCl}_6\text{-ZrCl}_4$ в окислительной среде, содержащей CO_2 , в температурном интервале 700...1600 °С и при давлении 0,66...20 кПа на молибденовых подложках и частицах UO_2 , полученных методом механической сфероидизации топливных масс [5].

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Нанесение покрытий на молибденовые подложки и топливные сферические частицы диаметром 2,4 мм осуществляли в кварцевом проточном прогреваемом реакторе. Важной составляющей частью реактора является вращающийся с частицами барабан, в который введены сопла для раздельной подачи хлоридов металлов, H_2 и CO_2 . На внутренней поверхности барабана установлены рёбра, предназначенные для улучшения перемешивания частиц. Нагрев вращающегося барабана с частицами осуществляли ВЧ-генератором, а нагрев молибденовых подложек – прямым пропусканием тока. Перед нанесением покрытий подложки и частицы отжигали в течение 30 мин. в среде водорода. Температуру испарителей хлоридов варьировали в интервале 130...250 °С. Парциальные давления хлоридов задавали температурой испарителей. Дополнительная регулировка парциальных давлений хлоридов проводилась прогреваемыми вентилями, установленными на контейнерах-испарителях. Расход водорода и углекислого газа измеряли ротаметрами.

Вакуумная система состояла из форвакуумного насоса, двух ловушек, охлаждаемых жидким азотом, и вакуумных клапанов. Вакуумным вентилем, установленным на выходе реактора, поддерживали необходимое давление парогазовой смеси в реакторе. Измерение давления в реакторе проводили ёмкостным и ртутным манометрами. Измерение температуры подложек и частиц в процессе нанесения покрытий производили оптическими пирометрами «Промінь», ПОИ-76. Для получения покрытий применяли хлориды металлов марки «Ч», соответствующие МР ТУ № 6-09-4525-67.

Исследование микроструктуры покрытий проводили на микроскопе МИМ-10, микротвёрдость измеряли на приборе ПМТ-3 при нагрузке 0,2 Н. Исследование тонких плёнок на просвет и структуры поверхности покрытий выполнено на электронном микроскопе УЭМВ-100В методом двухступенчатых платиноугольных отпечатков. Концентрацию компонентов в осадках определяли с помощью химического и спектрального анализов. Распределение

компонентов в покрытиях исследовали с помощью микрорентгеноспектрального анализа (МАР-1). Фазовый состав покрытий изучен на дифрактометре ДРОН-3 в медном K_{α} -излучении с применением никелевого фильтра и электронографе ЭР-100. Плотность покрытий определяли методом спиртовой пикнометрии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Образование покрытий Al_2O_3 , ZrO_2 происходит при поступлении $AlCl_3$, $ZrCl_4$ к нагретой покрываемой поверхности подложек, где происходит образование оксидов в окислительно-восстановительной среде H_2 - CO_2 . Температура осаждения – один из основных параметров, оказывающих большое влияние на скорость осаждения, плотность, структуру и фазовый состав покрытий.

На рис. 1 приведены зависимости скорости осаждения и плотности осадков Al_2O_3 , ZrO_2 от температуры подложки.

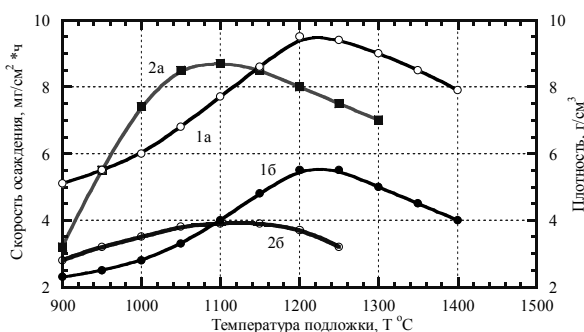


Рис. 1. Влияние температуры подложки на скорость осаждения (а) и плотности (б) ZrO_2 (1) и Al_2O_3 (2): общее давление 1,3 кПа; температура испарения $AlCl_3$ и $ZrCl_4$ соответственно 150 и 250 °C; скорости потоков H_2 и CO_2 1 и 0,6 л/мин

Как видно из рисунка, начиная с температуры подложки 900 °C и при повышении её до 1200...1250 °C наблюдается быстрое увеличение скорости осаждения. В этом температурном интервале скорость осаждения экспоненциально зависит от температуры подложки, т.е. лимитирующим звеном процессов осаждения ZrO_2 , Al_2O_3 являются химические реакции. Последующее снижение скорости осаждения обусловлено усилением реакций восстановления $ZrCl_4$, $AlCl_3$ в газовой фазе.

При низкой температуре подложки плотность исследуемых покрытий довольно мала (рис. 1). С повышением температуры подложки плотность покрытий возрастает и достигает максимального значения для Al_2O_3 при 1100...1150 °C и для ZrO_2 при 1200...1250 °C. При дальнейшем увеличении температуры подложки происходит снижение плотности. Наблюдаемое уменьшение плотности, как и в случае металлов, полученных кристаллизацией из газовой фазы [7], обусловлено протеканием при этой температуре гомогенных процессов образования покрытий, когда происходит механическое замуровывание

конденсирующими комплексами пустот и газовых молекул на поверхности осаждения.

Покрытия Al_2O_3 , полученные при 700 °C, пористые и имеют очень слабое сцепление с подложками. По данным рентгеноструктурного анализа, они рентгеноаморфны. С повышением температуры осаждения кристалличность покрытий возрастает. Покрытия, полученные при температуре ≥ 850 °C, состоят из смеси γ - Al_2O_3 и α - Al_2O_3 . Покрытия же, полученные при температуре ≥ 1050 °C, полностью состоят из высокотемпературной модификации α - Al_2O_3 . Электронограммы, снятые методом «на отражение» с поверхности покрытия Al_2O_3 , также подтверждают эти данные.

Рентгеновский и электрографический анализы покрытий ZrO_2 , полученных при температуре ≤ 1000 °C, показали, что покрытия в основном состоят из низкотемпературной моноклинной модификации ZrO_2 , а покрытия, полученные при температуре выше 1150 °C, состоят из тетрагональной модификации ZrO_2 .

Рентгеноструктурный анализ покрытий показал, что размеры решёток наблюдаемых модификаций Al_2O_3 , ZrO_2 близки к табличным значениям [6].

Покрытия Al_2O_3 и ZrO_2 , полученные при температурах выше 900 °C, имеют идентичную столбчатую структуру, кристаллиты которой укрупняются с увеличением температуры осаждения.

Поверхность осадков Al_2O_3 , ZrO_2 , полученных при 700...750 °C, имеет характерную куполообразную структуру (рис. 2,а), которая с повышением температуры осаждения переходит в пирамидальную структуру (см. рис. 2,б,в). Изменение морфологии поверхности осадков свидетельствует о постепенном переходе к чётко выраженной столбчатой структуре, характерной для газозафазных осадков. В покрытиях, полученных при температуре выше 1350 °C, наблюдаются сильный рост зёрен (размер зерна 12...16 мкм) и появление микротрещин (рис. 2,г).

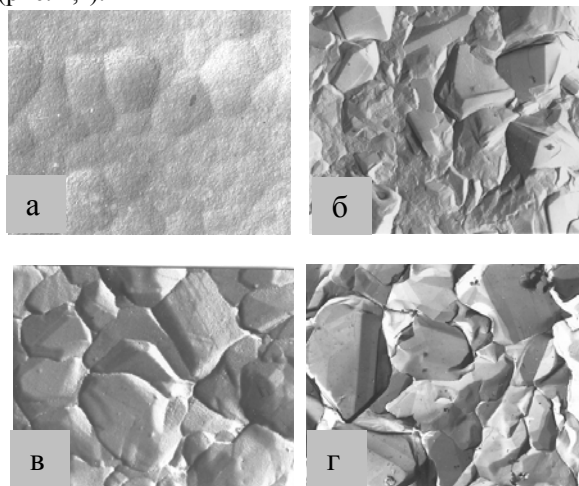
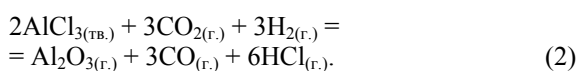


Рис. 2. Микроструктура поверхности ZrO_2 покрытий, полученных при различной температуре, °C: 700 (а); 900 (б); 1200 (в); (а, б, в $\times 7500$); 1400 (г $\times 1600$); условия осаждения см. на рис. 1

Исходя из экспериментальных данных определены режимы практического получения покрытий Al_2O_3 , ZrO_2 , при которых обеспечивается максимальная скорость осаждения, высокая плотность и сплошность покрытий. Это: температура подложки 1150...1300 °С, общее давление 1,3...2,6 кПа, температура испарения AlCl_3 130...150 °С и температура испарения ZrCl_4 200...250 °С, скорости потоков водорода и диоксида углерода 1 и 0,5...0,6 л/мин.

Процессы образования металлооксидных покрытий на примере образования покрытия $\text{Mo-Al}_2\text{O}_3$, как показали наши термодинамические расчёты и экспериментальные результаты, можно описать системой независимых уравнений, из которых ниже приведены только основные химические реакции:



При совместном водородном восстановлении MoCl_5 и ZrCl_4 , WCl_6 и AlCl_3 , WCl_6 и ZrCl_4 в среде диоксида углерода образование покрытий Mo-ZrO_2 , $\text{W-Al}_2\text{O}_3$, W-ZrO_2 происходит по реакциям, аналогичным реакциям (1) и (2), приведенным для покрытий $\text{Mo-Al}_2\text{O}_3$.

Проведенные исследования показали, что для получения металлооксидных покрытий необходимо, чтобы оксиды, входящие в состав покрытия, были термодинамически более устойчивы, чем оксиды металлической матрицы, и металлы, образующие в процессе осаждения оксиды, должны обладать большим сродством к кислороду, чем металлы металлических матриц. Кроме того, необходимым условием образования таких покрытий является также протекание процессов восстановления и окисления, ведущих к получению металла и оксида, в одном температурном интервале.

Роль температуры подложки при получении металлооксидных покрытий также весьма велика. От неё зависят многие свойства покрытий. Об этом свидетельствует, например, уже такой факт, как различный фазовый состав покрытий. Так, по данным рентгеноструктурного и электронографического анализов, покрытия $\text{Mo(W)-Al}_2\text{O}_3$, полученные в температурном интервале 900...1000 °С, представляют смесь Mo(W) и $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ с небольшим количеством $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, в то время как при температуре подложки выше 1000 °С в покрытиях наблюдается только фаза $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ и Mo(W) . Оксидов Mo , W и других соединений в покрытиях не обнаружено.

По данным рентгеноструктурного и электронографического анализов, покрытия Mo(W)-ZrO_2 также представляют смесь Mo(W) и ZrO_2 . В покрытиях, полученных при температуре 900...1150 °С, доминирует ZrO_2 моноклинной модификации, а в покрытиях, полученных выше 1150 °С, – ZrO_2 тетрагональной модификации.

Отличительной особенностью металлооксидных покрытий является то, что оксидная фаза находится в виде наночастиц размером < 5 нм, которые по данным просвечивающей электронной микроскопии

(рис. 3) и микрозондового рентгеноспектрального анализа равномерно распределены в металлической матрице.

Металлографические исследования свидетельствуют о том, что покрытия, содержащие менее 15 об.% оксидов, имеют идентичную столбчатую структуру (см. рис. 3,б), размеры кристаллитов которой значительно меньше кристаллитов чистых осадков Mo , W , Al_2O_3 , ZrO_2 . Дальнейшее увеличение концентрации оксидов в покрытиях вызывает существенные изменения их структуры, приводя к образованию мелкозернистой структуры. Наблюдаемое изменение структуры обусловлено, по видимому, тем, что высокая концентрация оксидов в покрытиях ведёт к блокированию границ зёрен, препятствуя их интенсивному росту, а также, вероятно, замедляет процессы рекристаллизации покрытий, протекающие при осаждении.

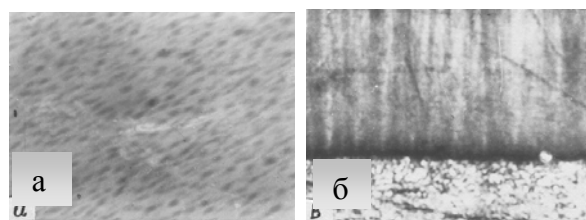


Рис. 3. Электронно-микроскопический снимок плёнки Mo-ZrO_2 на просвет

(а, $\times 100000$, светлые участки молибдена, тёмные – ZrO_2) и микроструктура покрытия Mo-ZrO_2 (б, $\times 450$, поляризованный свет), полученных при температуре 1250 °С

Величина зерна определяется объёмным содержанием оксидной фазы и размером частиц. Размеры частиц оксидной фазы увеличиваются с увеличением концентрации оксидной фазы и с повышением температуры осаждения. Увеличение температуры осаждения (при постоянстве прочих параметров процесса) ведёт к увеличению концентрации оксидной фазы в покрытиях, что связано с различной температурной зависимостью скорости осаждения Mo , W и Al_2O_3 , ZrO_2 . Концентрация оксидной фазы в покрытиях, полученных при температуре 900 °С, малая, но с увеличением температуры осаждения монотонно повышается во всём исследованном температурном интервале.

Непрерывное образование компонентов покрытия в процессе осаждения определяет однородность двухфазной структуры покрытия по толщине слоя. Благодаря непрерывному образованию оксидной фазы при совместном осаждении металлического компонента появляется эффективный способ целенаправленного управления составом покрытия, заключающийся в создании гетерогенной структуры с контролируемой дисперсностью оксидных фаз. Управление дисперсностью оксидных фаз (при их очень малой концентрации) позволяет получать дисперсно-упрочнённые покрытия, плёнки, материалы, обладающие высоким уровнем прочности и износостойкости.

Для получения количественных сведений о влиянии соотношения используемых галогенидов металлов на состав покрытий был выполнен ряд экспериментов, в которых варьировали парциальные давления $AlCl_3$, $ZrCl_4$, $MoCl_5$, WCl_6 при температуре подложки $1250\text{ }^\circ\text{C}$ и общем давлении в реакторе $1,3\text{ кПа}$. Полученные зависимости концентрации Al_2O_3 , ZrO_2 в покрытиях $Mo(W)-Al_2O_3$, $Mo(W)-ZrO_2$ от отношения $AlCl_3/MoCl_5(WCl_6)$ и $ZrCl_4/MoCl_5(WCl_6)$ показаны на рис. 4.

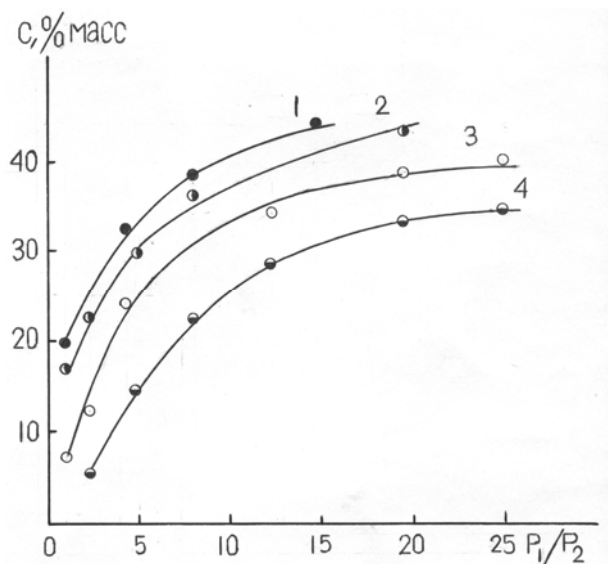


Рис. 4. Зависимость концентрации оксидных компонентов в покрытиях $W-ZrO_2$ (1), $Mo-ZrO_2$ (2), $W-Al_2O_3$ (3), $Mo-Al_2O_3$ (4) от соотношения парциальных давлений хлоридов: общее давление $1,3\text{ кПа}$; P_1 – парциальное давление $AlCl_3$ или $ZrCl_4$; P_2 – парциальное давление $MoCl_5$ или WCl_6 ; скорости потоков H_2 и CO_2 соответственно 1 и $0,5\text{ л/мин}$

Как видно из графиков, увеличение парциальных давлений $AlCl_3$ или $ZrCl_4$ при прочих постоянных параметрах осаждения приводит к увеличению концентрации оксидных фаз в покрытиях. Изменяя соотношение парциальных давлений хлоридов металлов, можно регулировать состав металлооксидных покрытий.

По данным наших исследований максимальная эффективность процесса осаждения и наилучшая равномерность покрытий $Mo(W)-Al_2O_3$, $Mo(W)-ZrO_2$ достигается при общем давлении в реакторе $1,3...2,6\text{ кПа}$. Дальнейшее повышение давления сопровождается интенсификацией процессов взаимодействия в объеме парогазовой смеси, что приводит к снижению скорости осаждения и ухудшению свойств покрытий (появление пористости, рост включений из-за выпадения агломератов, образующихся в газовой фазе вблизи поверхности подложки). Использование же давления ниже $1,3\text{ кПа}$ приводит к значительному снижению скорости осаждения, что неблагоприятно сказывается на производительности процесса.

Существенное влияние на состав покрытий оказывает также и соотношение скоростей потоков во-

дорода и диоксида углерода газа. При большом значении отношения водорода к диоксиду углерода и большом парциальном давлении хлоридов, образующих оксидные фазы, в покрытии наблюдается присутствие свободного металла оксидных компонентов, а при малых значениях отношения происходит окисление металла матрицы, что ведёт к ухудшению характеристик металлооксидных покрытий. Установлено, что покрытия с лучшими свойствами осаждаются при $H_2:CO_2 = (1:3):1$ при относительно высокой степени превращения используемых галогенидов металлов ($50...70\%$). Кроме того, избыток водорода смещает начало протекания реакции (2) в объёме парогазовой смеси в область более высоких температур ($> 1100\text{ }^\circ\text{C}$), что позволяет получать качественные покрытия при $1150...1300\text{ }^\circ\text{C}$.

Осуществление процессов гетерогенного водородного восстановления $AlCl_3$, $ZrCl_4$, $MoCl_5(WCl_6)-AlCl_3$, $MoCl_5(WCl_6)-ZrCl_4$ в среде CO_2 во вращающемся барабане с частицами UO_2 сопровождается образованием на частицах сплошных покрытий при температуре выше $1100\text{ }^\circ\text{C}$. Как показали металлографические исследования, покрытия прочно сцеплены с частицами и равномерно распределены по поверхности частиц (рис. 5). Структурные изменения в покрытиях на частицах вызваны контактированием частиц с поверхностью барабана и между собой при перемешивании в процессе нанесения покрытия, что, по-видимому, нарушает процесс образования зародышей и вызывает деформацию растущих кристаллов, препятствуя нормальному росту столбцов и приводя к образованию зёрненной структуры. Кроме того, контактирование частиц при перемешивании приводит к сглаживанию поверхности покрытия.

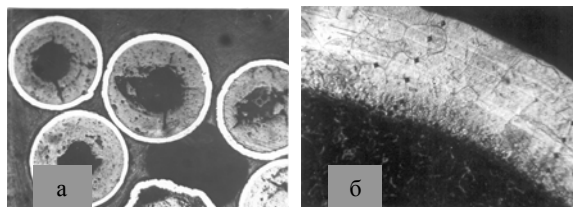


Рис. 5. Микрошлифы топливных частиц с покрытиями ZrO_2 (а, $\times 7$) и микроструктура ZrO_2 на частицах (б, $\times 170$)

Металлооксидные покрытия на топливных частицах имеют микрослоистую структуру, состоящую из радиальных зёрен.

Плотность покрытий Al_2O_3 , ZrO_2 , нанесенных на частицы при температуре соответственно $1150...1200$ и $1250...1300\text{ }^\circ\text{C}$, близка к теоретической, микротвёрдость покрытий Al_2O_3 равна $18000...22000\text{ МПа}$, а покрытий ZrO_2 – $1500...17000\text{ МПа}$.

Плотность, микротвёрдость и структурные характеристики металлооксидных покрытий сильно зависят от концентрации оксидной фазы в них. Например, плотность покрытий состава $Mo-10\text{ мас.}\% Al_2O_3$ равна $8,71\text{ г/см}^3$, а плотность покрытий состава $Mo-26\text{ мас.}\% Al_2O_3$ – $6,59\text{ г/см}^3$. Микротвёрдость

покрытий $\text{Mo-Al}_2\text{O}_3$, Mo-ZrO_2 равна 11000...15000 МПа, а покрытий $\text{W-Al}_2\text{O}_3$, W-ZrO_2 – 18000...25000 МПа. Высокая микротвёрдость покрытий определяется высокой твёрдостью частиц оксидов и сильно развитой блочностью структуры покрытия, а также значительной плотностью дислокаций.

Влияние оксидных фаз на структуру металлических матриц покрытий проявляется в увеличении параметров их решёток. Например, параметр решётки молибдена в покрытиях Mo-ZrO_2 , в которых концентрация ZrO_2 изменяется в пределах 5...46 мас. %, при комнатной температуре составляет 3,148...3,153 Å (для чистого молибдена $a = 3,147$ Å). Увеличение межплоскостных расстояний свидетельствует о том, что металлическая матрица покрытий находится в состоянии сильного всестороннего растяжения.

Аналогичное влияние концентрации оксидных фаз на структурные характеристики покрытий реализуется и в покрытиях $\text{Mo-Al}_2\text{O}_3$, $\text{W-Al}_2\text{O}_3$, W-ZrO_2 .

ВЫВОДЫ

Исследованы процессы получения покрытий Al_2O_3 , ZrO_2 , $\text{Mo-Al}_2\text{O}_3$, Mo-ZrO_2 , $\text{W-Al}_2\text{O}_3$, W-ZrO_2 путём восстановления хлоридов соответствующих металлов в окислительно-восстановительной среде $\text{H}_2\text{-CO}_2$ и изучены некоторые характеристики полученных покрытий (плотность, фазовый состав, микротвёрдость, поверхностная структура).

Установлено, что изменением условий осаждения можно успешно регулировать состав металлооксидных покрытий, а также размеры оксидных частиц, что чрезвычайно важно при создании дисперсно-упрочнённых металлических покрытий.

Показано, что исследуемые процессы обеспечивают получение на топливных частицах и молибдене плотных прочносцеплённых покрытий, которые могут быть использованы при создании устройств и установок для атомной энергетики.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Г. Самойлов, А.И. Каштанов, В.С. Волков. *Дисперсионные тепловыделяющие элементы ядерных реакторов*. М.: «Атомиздат», 1969, 584 с.
2. Н.Б. Морозова, И.К. Игуменов, И.В. Юшина и др. Осаждение плёнок ZrO_2 из газовой фазы и их исследование методами рентгенофазового анализа и эллипсометрии // *Неорганические материалы*. 1993, т. 29, № 7, с. 949–952.
3. *Физика тонких плёнок* /Под ред. Г. Хасса, Р.Э. Туна /Перевод с англ. М.: «Мир», 1972, т. 5, с. 245.
4. *Осаждение из газовой фазы* /Под ред. К. Пауэлла, Дж. Оксли, Дж. Блочера мл. /Перевод с англ. М.: «Атомиздат», 1970, с. 384.
5. В.Ф. Зеленский, В.А. Гурин, Ю.Ф. Конотоп и др. Шаровые твэлы и пэлы ВТГР // *Вопросы атомной науки и техники. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение»*. 1988, в. 5(71), с. 40–42.
6. Л.И. Миркин. *Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов* /Под ред. Я.С. Уманского. М.: «Гос. изд. физ-мат. лит.», 1961, 863 с.
7. В.Е. Иванов, Е.П. Нечипоренко, В.М. Криворучко и др. О получении тугоплавких металлов с высокой плотностью // *Известия АН СССР. Металлы*. 1972, №4, с. 129–135.

ОСАДЖЕННЯ ІЗ ГАЗОВОЇ ФАЗИ ОКСИДНИХ І МЕТАЛОКСИДНИХ ПОКРИТТІВ НА ПАЛИВНІ ЧАСТИНИ

О.П. Патокін, В.Л. Хребтов, Б.М. Широков

Досліджені процеси одержання і властивості оксидних (Al_2O_3 , ZrO_2) і металлооксидних ($\text{Mo-Al}_2\text{O}_3$, Mo-ZrO_2 , $\text{W-Al}_2\text{O}_3$, W-ZrO_2) покриттів на молибденових підкладках та паливних частках із діоксиду урану. Показано, що основними факторами, впливаючими на швидкість осадження, щільність, мікроструктуру та інші властивості покриттів, є температура осадження, співвідношення швидкостей потоків H_2 і CO_2 , загальний тиск у реакторі і відношення парціальних тисків відповідних хлоридів металів при осадженні металлооксидних покриттів.

GAS PHASE DEPOSITION OF OXIDE AND METAL-OXIDE COATINGS ON FUEL PARTICLES

A.P. Patokin, V.L. Khrebtov, B.M. Shirokov

Production processes and properties of oxide (Al_2O_3 , ZrO_2) and metal-oxide ($\text{Mo-Al}_2\text{O}_3$, Mo-ZrO_2 , $\text{W-Al}_2\text{O}_3$, W-ZrO_2) coatings on molybdenum substrates and uranium dioxide fuel particles were investigated. It is shown that the main factors that have an effect on the deposition rate, density, microstructure and other properties of coatings are the deposition temperature, the ratio of H_2 and CO_2 flow rates, the total reactor pressure and the ratio of partial pressures of corresponding metal chlorides during formation of metal-oxide coatings.