

*Проаналізовано проблему розробки та експлуатації абразивних інструментів - визначення структури композитних матеріалів з наповнювачами з порошків надтвердих матеріалів. Досліджено вплив добавок алмазних мікропорошків на фізико-механічні властивості порошкового сплаву.*

**Ключові слова:** твердість, щільність, мікропорошок, олов'яниста бронза, алмазний інструмент.

*This work is devoted to a problem of working out and exploitation of abrasive tools for definition of structure composite materials with fillings from the powders of super firm materials. Researches of influence of additives natural diamond micropowders on physico-mechanical properties of powder alloy were done in this work.*

**Key words:** hardness, density, micropowders, straight bronze, diamond tool.

### Литература

1. Новиков Н. В., Богатырева Г. П. Наноалмазы статического и детонационного синтеза и перспектива их применения // Сверхтвердые материалы – 2008. – № 2. – С. 3–12.
2. Долматов В. Ю. Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза. Получение, свойства, применение. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. – 344 с.
3. Зыбинский П. В., Богданов Р. К., Загора А. П., Исонкин А. М. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении: Монография. – Донецк: Норд-Пресс, 2007. – 244 с.

*Поступила 07.06.12*

УДК 621.762

**В. С. Панов**, д-р техн. наук; **Л. В. Мякишева**, **В. В. Басов**, кандидаты технических наук

*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, РФ*

### «ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ» МАТЕРИАЛ ДЛЯ АТОМНОЙ ТЕХНИКИ

*Исследовано влияние различных прочных агрегатов в уплотненных порошках диоксида урана на сжатие топливной гранулы и спекания с целью улучшения качественных и эксплуатационных характеристик топливных таблеток (компонентов топливных элементов на АЭС). Установлено, что агрегаты не разрушаются в процессе приготовления пресс-порошка и прессования таблеток, образуя при спекании внутри таблетки участки повышенной пористости. Изучено влияние некоторых факторов на плотность подготовленных гранул и были рекомендованы пути увеличения плотности.*

**Ключевые слова:** таблетка, прессование, спекание, пресс-порошок, пористость, плотность, объемная доля.

В настоящее время, как и в обозримом будущем, широкое применение ядерной энергетики как альтернативного источника энергии – неизбежный технически, экономически и экологически целесообразный путь энергообеспечения мировой экономики.

В России, как и большинстве промышленно развитых стран, все больше внимания уделяется вопросам развития ядерной энергетики. Соответствующая федеральная программа предусматривает достижение объема выработки электроэнергии на АЭС в общем объеме ее генерации до 20–25 % к 2020 г. и до 25–27 % к 2030 г. при обеспечении безусловной безопасности работы АЭС.

Для обеспечения указанных показателей необходимо повысить качественные и эксплуатационные характеристики топливных таблеток, что, в свою очередь, требует исследования поведения топлива на всех стадиях его производства и установления зависимостей в системе «технология–структура–свойства».

В связи с изложенным цель настоящей работы заключалась в повышении качественных и эксплуатационных характеристик топливных таблеток за счет оптимизации технологии производства топливной составляющей тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) реакторов АЭС.

#### Результаты исследования и их обсуждение

В работе применяли диоксид урана ( $UO_2$ ), полученный по технологии для ADU-порошка [1].

Операции приготовления пресс-порошка, прессования и спекания топливных таблеток проводили по стандартной методике, принятой в ОАО «Машиностроительный завод» (МСЗ) (г. Электросталь). Брикеты требуемых размеров прессовали в стальной пресс-форме при давлении 1500–3000 МПа и спекали в печи ПНТ–ПВТ при температуре  $1730 \pm 25$  °С.

На всех этапах изготовления таблеток для изучения поведения агрегатов, присутствующих в ADU-порошках, использовали как известные, так и специально разработанные для этих целей способы и методики анализов [2, 3].

Как свидетельствуют результаты ранее проведенных исследований, при определенных параметрах процесса осаждения диураната аммония из раствора  $UO_2F_2$  в ADU-порошках образуются первичные крупные прочные агрегаты, представляющие собой сrostки отдельных первичных частиц кристаллов и кристаллитов  $UO_2$ , преобладающего размера 20–45 мкм [4, 5].

Микротвердость указанных агрегатов составляет 1400–1700 МПа. Они не разрушаются в процессе изготовления таблеток и почти полностью (85–90 %) переходят в спеченные изделия, формируя внутри них участки повышенной пористости, что приводит к снижению плотности таблеток.

С учетом проведенных исследований можно описать зависимости плотности спеченных таблеток от характеристик исходных ADU-порошков, эмпирическими уравнениями вида

$$\begin{aligned} Y_1 &= 10,190 + 0,088x_1, \\ Y_2 &= 10,566 - 0,020x_2, \\ Y_3 &= 10,807 - 0,571x_3, \\ Y_4 &= 10,720 - 0,100x_4, \\ Y_{5,6} &= 10,33 - 0,276x_5 - 0,068x_6, \\ Y_{1-4} &= 10,23 - 0,71x_1 - 0,018x_2 - 0,178x_3 - 0,15x_4, \end{aligned}$$

где  $x_1$  – удельная поверхность порошка,  $m^2/g$ ;  $x_2$  – плотность его утряски,  $g/cm^3$ ;  $x_3$  – средний условный размер зерна, мкм;  $x_4$  – насыпная плотность,  $g/cm^3$ ;  $x_5$  – объемная доля агрегатов в порошке, об. %;  $x_6$  – микротвердость агрегатов, МПа;  $Y_{5,6}$ ,  $Y_{1-4}$  – плотность таблеток для порошков соответственно с агрегатами, и без агрегатов,  $g/cm^3$ .

Таким образом, плотность таблеток с агрегатами определяется объемной долей и микротвердостью агрегатов в исходном порошке, а в случае применения порошков без агрегатов – такими характеристиками, как удельная поверхность и плотность утряски, насыпная плотность и размер зерна. При объемной доле агрегатов в порошках до 10 % зависимость давления прессования  $P$  от объемной доли первичных агрегатов в исходных порошках  $Q$  выражается полиномиальным уравнением

$$P = 0,0076 Q^2 - 0,0339 Q + 1,565,$$

при объемной доле агрегатов в порошках более 10% – логарифмическим уравнением:

$$P = 0,6644 \ln(Q) + 0,5279,$$

Зависимость необходимого давления прессования  $P$  от объемной доли  $Q$  первичных прочных агрегатов в исходных ADU-порошках показаны на рис. 1.

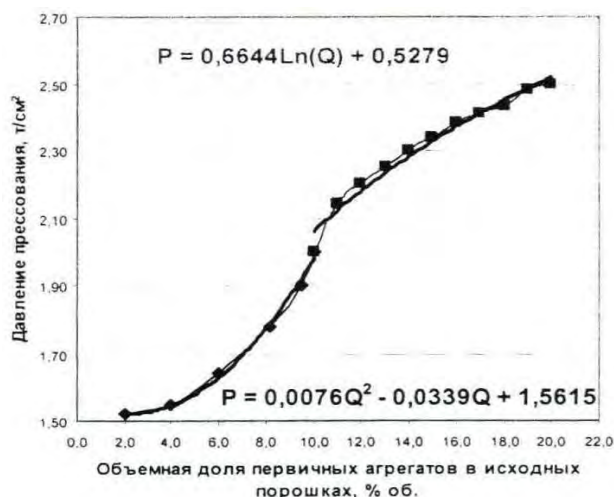


Рис. 1. Зависимость необходимого давления прессования от объемной доли прочных агрегатов в исходных ADU-порошках

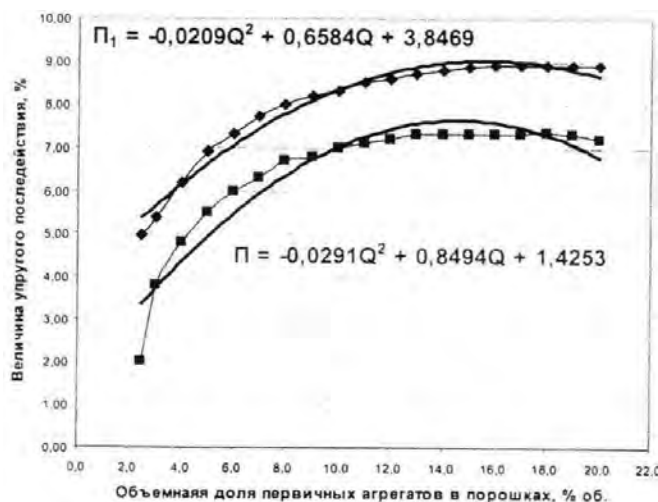


Рис. 2. Зависимости плотности спеченных таблеток от величины упругого последействия исходных ADU-порошков (1) и пресс-порошков (2)

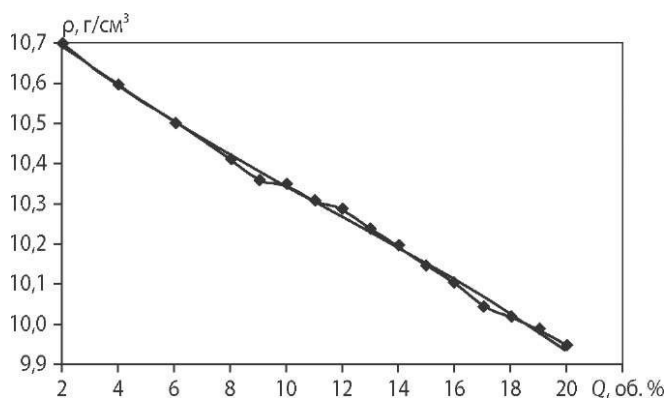


Рис. 3. Зависимость плотности спеченной таблетки от объемной доли первичных прочных агрегатов в исходных ADU-порошках

Следует заметить, что с увеличением объемной доли  $Q$  требуется большее давление прессования для достижения заданной плотности прессованных таблеток, поскольку повышается сопротивление уплотнению порошков. По мере увеличения  $Q$  в процессе прессования таблеток также интенсифицируется явление упругого последействия, что приводит к снижению плотности порошков и, как следствие, снижению плотности спеченных таблеток.

Зависимости плотности  $\rho$  спеченных таблеток от величины упругого последействия  $u$  графически изображены на рис. 2.

С помощью специально разработанного приспособления, основой которого является разъемная матрица, прессуют таблетки из текстурированного пресс-порошка, фиксируют их высоту в момент приложения давления прессования выдерживают в течение 2 мин после извлечения из матрицы, по разности высоты рассчитывают упругое последействие, служащее мерой оценки пригодности исходных порошков и пресс-порошков для получения заданной плотности.

Зависимость плотности спеченной таблетки от объемной доли агрегатов в исходных ADU-порошках, которая имеет линейный характер, показана на рис. 3.

Полученные экспериментальные данные подтвердили возможность прогнозирования и плотности, и пористости изготавливаемых спеченных таблеток по упругому последействию.

Для обеспечения плотности спеченных таблеток более 95% упругое последействие не должно превышать 6–8%. В результате комплекса проведенных исследований установлено, что первичные прочные агрегаты размером более 20 мкм за счет образования внутри таблеток участков повышенной пористости и упругого последействия, снижают плотность спеченных таблеток. Необходимо отметить, присутствующие в исходном

порошке первичные прочные агрегаты  $UO_2$  без разрушения переходят в спеченные таблетки, образуя характерные им структурные участки повышенной пористости. Для повышения плотности таблеток необходимо активировать порошки  $UO_2$  путем увеличения их удельной поверхности за счет разрушения агрегатов в готовых порошках. В ОАО «МСЗ» эту операцию осуществляют с помощью созданной установки для активации, усреднения и стабилизации свойств исходных порошков [3].

В работе разработан и обоснован способ уменьшения выхода из топливных таблеток под оболочку ТВЭЛа газообразных продуктов деления, заключающийся в создании внутри таблеток с учетом присутствующих в исходных порошках агрегатов специальных участков – «газосборников».

Результаты исследования свидетельствуют об улучшении показателя макро- и микроструктуры топливных таблеток, что, в свою очередь, позволит улучшить эксплуатационные свойства ТВЭЛов в целом.

#### **Выводы**

1. Исследовано влияние прочных агрегатов размером более 20 мкм, присутствующих в исходных гидролизно-экстракционных порошках  $UO_2$ , на процессы прессования и спекания топливных таблеток.
2. Установлено, что агрегаты не разрушаются в процессе приготовления пресс-порошка и прессования таблеток, образуя при спекании внутри таблетки участки повышенной пористости.
3. Изучено влияние объемной доли агрегатов и упругого последействия на плотность получаемых топливных таблеток после спекания.
4. Показаны пути повышения плотности таблеток с помощью активирования исходного порошка  $UO_2$ .

Работа выполнена в рамках государственного контракта № 16.513.11.3034 от 12.04.2011г. по теме «Исследование принципов создания нового поколения топливных таблеток на основе диоксида урана для ТВЭЛов, модифицированного нанодисперсной легирующей композицией»

*Досліджено вплив різних міцних агрегатів в ущільнених порошках діоксиду урану на стиск паливної гранули і спікання з метою поліпшення якісних і експлуатаційних характеристик паливних таблеток (компонентів паливних елементів на АЕС). Встановлено, що агрегати не руйнуються в процесі приготування прес-порошку і пресування таблеток, утворюючи при спіканні всередині таблетки ділянки підвищеної пористості. Вивчено вплив деяких факторів на щільність підготовлених гранул і були рекомендовані шляхи збільшення щільності.*

**Ключові слова:** *таблетка, пресування, спікання, прес-порошок, пористість, щільність, об'ємна частка.*

*The effect of different strength aggregates in compacted uranium dioxide powders on the fuel pellet compaction and sintering processes has been investigated to improve qualitative and operational characteristics of fuel pellets (fuel components of fuel elements at nuclear power stations). It is established that the aggregates do not fracture in the process of compacted powder preparation and pellet compaction forming regions of increased porosity inside pellets during sintering, thus resulting in decrease of pellet density. Some factors affecting the density of prepared pellets have been investigated and the ways of density increase are recommended.*

**Key words:** *tablet, pressing, sintering, press powder, porosity, density, volume fraction.*

#### **Литература**

1. Панов В. С., Лопатин В. Ю. Составы, технология и свойства порошковых материалов для ядерной техники. Курс лекций – М.: Издат. дом «МИСиС». – 2008. – 105 с.

2. Либенсон Г. А., Лопатин В. Ю., Комарницкий Г. В. Процессы порошковой металлургии. В 2-х т. – М.: МИСиС. – 2002.
3. Пат. 2148279 РФ, МПК G21C3/62. Способ получения топливных таблеток / Г. Г. Потоскаев, В. С. Курсков, Н. А. Балагуров и др. – Заявл. 20.05.1997; Опубл. 27.04.2000.
4. Басов В. В., Панов В. С. Некоторые направления развития технологии и повышения качества ядерного топлива (обзор) // Изв. вузов. Порошковая металлургия и функц. покрытия. – 2009. – № 4. – С. 31–37.
5. Басов В. В., Панов В. С., Мякишева Л. В. Роль агрегатов, присутствующих в пресс-порошке  $UO_2$ , на технологию изготовления топливных таблеток // Сб. труд. межд. науч.-практ. Интернет-конф. «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании, 2010». Т. 7, № 4. Технические науки. – Одесса, 2010. – С. 72а–73 с.

Поступила 20.02.12

УДК 699.018.58.002.84:546.261

**В. П. Бондаренко**, член-корр. НАН Украины, **Л. М. Мартынова**, канд. хим. наук,  
**Г. Д. Ильницкая**, канд. техн. наук

*Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев*

### **ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ПРОДУКТОВ РЕГЕНЕРАЦИИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ WC–Co**

*Определена магнитная восприимчивость, магнитное насыщение регенерированных цинковым и термохимическим способами и серийных твердосплавных смесей, а также полученных из них порошков WC на всех промежуточных стадиях изготовления. Показано, что разные значения магнитных характеристик WC, полученного из продуктов различных способов регенерации, обусловлены процессом сокристаллизации WC и Co при восстановлении шпинели, образующейся при окислении техногенного сырья.*

**Ключевые слова:** *регенерированные смеси, порошки WC, магнитная восприимчивость, магнитное насыщение.*

Данные о зависимости магнитных свойств спеченных твердых сплавов WC–Co от содержания Co, среднего размера зерна карбидной фазы, химического состава связки приведены в [1 и 2]. Связь между коэрцитивной силой, магнитным насыщением, физико-механическими и эксплуатационными характеристиками твердых сплавов исследована в [3–6]. Во всех приведенных исследованиях использовали сплавы, спеченные из первичного сырья, когда отдельно получают карбид вольфрама WC и кобальт, а затем смешивают их в мельницах и из полученной смеси прессуют и спекают изделия. В последнее время все большие объемы твердых сплавов изготавливают из вторичного сырья. Однако магнитные свойства сплавов, регенерированных различными методами переработки, не изучены, как и магнитное состояние карбидной составляющей твердых сплавов. Последнее особенно важно при изготовлении твердых сплавов из техногенного сырья с различными примесями и структурными превращениями составляющих. Вследствие этого нет данных о процессах формирования структуры и свойств регенерированных спеченных твердых сплавов. В Украине регенерацию твердых сплавов осуществляют двумя методами: термохимическим [7] и цинковым [8]. При переработке вторичного сырья этими методами структурные составляющие претерпевают принципиально различающиеся превращения с участием кобальта и активных реагентов – цинка и кислорода. Все это влияет на физико-механические и эксплуатационные свойства сплавов.