

симость энергии ускоренных электронов и электронного КПД от токовой нагрузки — на рис. 5.

Наличие нового клистронного усилителя даст возможность увеличить средний ток до 1 мА, а энергию при такой токовой нагрузке довести до 20 МэВ за счет включения ускоряющей секции. Тормозное излучение  $\sim 10^5$  рад/(мин·мА·м) и выход фотонейтронов  $\sim 2 \times 10^{13}$  нейтр./с·мА позволят эффективно проводить радиационные исследования и решать другие задачи, требующие высокого уровня излучения.

Поступило в Редакцию 23/VIII 1976 г.

УДК 542.942.3

## О высокотемпературном взаимодействии сплава Zr + 1%Nb с компактной двуокисью урана

НОВОСЕЛОВ Г. П., КОМАРОВ Э. В., ПАСТУШКОВ В. Г.

Компактная  $UO_2$  слабо взаимодействует с цирконием и циркалоем при 700 °С [1, 2] и более заметно при 1100—1600 °С [3, 4]. Однако сведения о взаимодействии  $UO_2$  со сплавом Zr + 1%Nb при кратковременном нагреве до более высокой температуры отсутствуют.

Для оценки некоторых особенностей твердофазного взаимодействия использовали образцы сплава Zr + 1% Nb в виде таблеток диаметром 8 и толщиной 2 мм, а также прессованные и спеченные брикеты из  $UO_2$  диаметром и высотой 13 мм, плотностью 10,3 г/см<sup>3</sup> и открытой пористостью 1—5%. После шлифования контактных поверхностей образец сплава помещали на брикет  $UO_2$  и загружали в тигель из окиси алюминия, совместимой с  $UO_2$  до 1800 °С [5]. Испытуемые образцы нагревали в среде аргона или технического азота (сумма примесей  $\sim 0,1\%$ ) при атмосферном давлении до 1600 и 1750 °С со скоростью 30 и 150 град/мин и выдерживали в течение 4 ч.

Нагрев композиции  $UO_2$  — (Zr + 1% Nb) в азоте до 1600 °С со скоростью 30 град/мин приводил к образованию на контактной поверхности сплава пленки коричневого цвета, легко смываемой азотной кислотой. Спекания сплава с  $UO_2$  не обнаружено. Содержание урана в сплаве составило 0,03 мас.%. При нагреве со скоростью 150 град/мин образовывалась прочная пленка, которая не смывалась даже при длительном кипячении в азотной кислоте. Содержание урана в сплаве в этом случае достигало 0,18 мас.%.

Сравнение микроструктур показывает, что увеличение скорости нагрева способствует образованию нитрида циркония и приводит к локальному оплавлению сплава в результате экзотермической реакции циркония с азотом. Микротвердость застывших капель диаметром 0,1—0,2 мм составляет 2000 кгс/мм<sup>2</sup>, что близко к микротвердости нитрида циркония. Эти данные согласуются с полученными ранее выводами о влиянии быстрого нагрева азотируемого металла [6].

Подобного явления не наблюдали при нагреве композиции в аргене до температуры 1600 °С. При отсут-

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вишняков В. А. и др. В кн.: Вопросы атомной науки и техники. Сер. «Физика высоких энергий». Вып. 1 (1). Харьков, 1972, с. 19.
2. Вишняков В. А. и др. Там же. Вып. 4 (6). Харьков, 1973, с. 11.
3. Оксунян Г. Г. и др. Там же. Вып. 4 (4). Харьков, 1973, с. 67.
4. Гришаев И. А. и др. В кн.: Вопросы атомной науки и техники. Сер. «Физика и техника высокого вакуума». Вып. 1 (4). Харьков, 1975, с. 92.

ствии спекания образцов переход урана в сплав составлял 0,14 и 0,22 мас. % в условиях медленного и быстрого нагрева соответственно. В экспериментах с расплавлением образцов Zr + 1% Nb в аргене при температуре 1750 °С происходило смачивание и пропитывание брикета  $UO_2$  расплавом, причем затвердевший сплав, содержащий 11,0 мас. % урана, не отделялся от поверхности брикета.

Эксперименты свидетельствуют о незначительном восстановлении  $UO_2$  при 1600 °С в среде технического азота. Учитывая температуру начала взаимодействия циркония с азотом (выше 750 °С) и  $UO_2$  (выше 1100 °С), можно предположить, что на поверхности сплава к моменту начала взаимодействия с  $UO_2$  успевает образоваться пленка нитрида циркония, совместимого с  $UO_2$  [7].

В атмосфере аргона при 1600 и 1750 °С наблюдается значительный переход урана в сплав, что свидетельствует о реакции восстановления  $UO_2$ . Дальнейшее повышение температуры будет еще более стимулировать взаимодействие в системе  $UO_2$  — (Zr + 1% Nb) [8].

Поступило в Редакцию 3/IX 1976 г.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Weber C. «*Progr. Nucl. Energy*», 1959, ser V, v. 2, p. 295.
2. Nuclear Reactor Fuel Elements Metallurgy and Fabrication. Ed. Kaufman A. R. N.Y.—London, 1962.
3. Torlie T. e.a. «*Nucleonics*», 1965, v. 23, N 4, p. 58.
4. Копельман Б. Материалы для ядерных реакторов. Пер. с англ. М., Госатомиздат, 1962.
5. Котельников Р. Б. и др. В сб.: Высокотемпературное ядерное топливо. М., Атомиздат, 1969, с. 400.
6. Портной К. И., Левинский Ю. В., Салибеков С. Е. «*Порошковая металлургия*», 1965, № 12, с. 36.
7. Блюменталь У. Б. Химия циркония. М., Изд-во иностр. лит., 1963.
8. Патент Великобритании № 977566, 1963.