2. التطوير المُبكّر لـ U(Mo)

من أجل السماح لتحويل المفاعلات الأكثر تدفقاً نترونياً في العالم، يتطلب الأمر وجود وقود من اليورانيوم المنخفض التخصيب بتركيز قدره 8-10 g_U/cm^3. لنتذكر أن النسبة بين هذا الحدّ العلوي العملي من الوقود وحجم الركازة، المتعلقة بالناقلية الحرارية والتصنيع، هي 55% في عملية الإنتاج الحالية، إذ يجب استعمال كثافة >14.5 g/cm^3 في مرحلة الوقود للوصول إلى التركيز المطلوب. فقط اليورانيوم المعدني (أو سبائك خفيفة منه) أو مركبات من النمط U6Me (Me هو معدن انتقالي) تمتلك ما يكفي من الكثافات العالية، لكن الأخير أثبت وجود سوية منخفضة جداً من الإشعاع. أما اليورانيوم المعدني، من المعروف أن البنية البلّورية ذات المعيَّن المستقيم لطور اليورانيوم في درجة حرارة الغرفة تظهر عدم استقرار بُعديّ مهم تحت تأثير التشعيع، ناجم عن نموٍ لا متناحٍ وانتفاخ. ويمكن عند تطبيق كبحٍ كافٍ على الوقود عن طريق تغليفه، إيقاف هذه الظاهرة فقط بفضل قابلية انضغاط الوقود. لا تفلحُ هذه التقييدات عند استعمال هذا الوقود لعناصر من نمط اللوحة.

وبإدخال كميات صغيرة من عناصر الخلط مع اليورانيوم المعدني، يمكن للمرء أن يخمّد طور غاما العالي درجة الحرارة ويستخدم γ-U المكعّب في درجة حرارة الغرفة. فقد أظهر إدخال نسبة من 6-10% وزناً من Mo لإنتاج سبيكة الطور غاما إحداث انتفاخ بسيط وسلوك تشعيعيّ مستقر في تجارب مسح كانت قد نفذت عند درجة حرارة منخفضة. وقد تبين أن أي كمية متبقية من γ-U في الوقود، كانت قد تحولت بفعل التشعيع. كما تمّت ملاحظة بعض التفاعلات بين جسيمات الوقود مع الركازة، ولكن مثل هذه التفاعلات كانت موجودة أيضاً لدى استعمال الوقودين الناجحين UAl_X-Al و U_3Si_2-Al. وعلى هذا النحو، فقد اختيرت سبائك U-Mo من أجل تطوير لاحق لوقود مبدّد من نمط اللوحة لليورانيوم المنخفض التخصيب والعالي الكثافة، مع حمولات تصل إلى 8 g_U/cm^3.

تظهر التجارب الإضافية، عند استطاعات ودرجات حرارة أعلى، أن التفاعل بين جسيمات الوقود U-Mo وركازة الألمنيوم يؤدي إلى استهلاك في الركازة أسرع مما كان متوقعاً في الاستقراء الناجم عن الملاحظات الأولية في التجارب الأولى. ومع ذلك، فإن تشكل هذه الطبقات التفاعلية لا ينتج في تردّي سلوك التشعيع، الذي بقي مستقراً وقابلاً للمقارنة مع أنواع الوقود الموجودة. إن التأثير السلبي الوحيد لتشكل الطبقة هو تناقص تدريجي في الموصلية الحرارية للوقود عند نفاد ركازة الألمنيوم. يحدث ذلك وفق تأثير رجعي، نظراً لأن معدل تشكل التفاعل مرتبط أيضاً بدرجة الحرارة.

حتى ذلك الوقت، أجريت جميع التجارب في الولايات المتحدة على ما يُسمّى لوحات مصغَّرة miniplates، وهي لوحات وقود ذات أبعاد مخفضة بالمقارنة مع لوحات وقود مفاعل حقيقي. تمّت ملاحظة تفاعلات مهمّة وتشكيل بعض المسامات فقط في هذه الطبقات حتى ذلك الحين. وعندما أُجريت الاختبارات من قبل روسيا أيضاً على لوحات كاملة القدّ وعالية الاستطاعة (أنابيب الوقود IVV-2M) وفرنسا (تجربة IRIS-2 في OSIRIS وتجربة المستقبل في مفاعل BR2 البلجيكي)، كشفت عن أن المساميّة المتشكّلة بين طبقة التفاعل U(Mo)-Al وركازة Al تؤدي إلى انتفاخ منفصل عند اشتعال شديد، مما أدى إلى توسّد لوحة الوقود (انظر الشكل 3). يظهر ذلك بوضوح أن تبدّدات جسيمات U(Mo) في ركازة Al نقية لا يمكن استعمالها كوقود في شروط استطاعات عالية دون وجود حلٍّ للخصائص الفقيرة لطور تفاعل U(Mo)-Al، ولاسيما فيما يتعلق باحتباس غازات الانشطار.

وفي موازاة ذلك، كان يمكن العثور على حلٍّ لهذه المفاعلات (مثل HFIR و ATR و FRM-II) التي تتطلب كثافات وقود أعلى (>8 g_U/cm^3). ونظراً لوضوح عدم تلاؤم هذه المفاعلات مع مفهوم الوقود المبدّد، فقد تمّ إدخال الوقود الأحادي القطعة monolithic fuel. وفي هذه الأنواع من الوقود، تستبدل حشوة خليط ركازة الوقود the fuel-matrix mixture meat في الوقود المبدّد برقاقة من مادة وقود نقي، مثل U(Mo) النقي. أثبتت اختبارات المسح الأولية (تشعيع RERTR-4) أن هذا المفهوم واعدٌ، لكن، ونظراً لكون تغليف لوحات الوقود هذه ما يزال متشكلاً من خليطة ألمنيوم، فالتفاعل بين رقاقة الوقود والغلاف أظهر مشاكل طبقة

الشكل 3. فشل صفيحة الوقود المتبدد U(Mo) في تجربة المستقبل