

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :

2 889 351

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national :

05 12898

⑤1 Int Cl⁸ : G 21 C 3/60 (2006.01), C 22 C 43/00

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 19.12.05.

③0 Priorité : 29.07.05 KR -----.

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 02.02.07 Bulletin 07/05.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été
établi à la date de publication de la demande.*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : KOREA ATOMIC ENERGY
RESEARCH INSTITUTE — KR et KOREA HYDRO &
NUCLEAR POWER CO., LTD — KR.

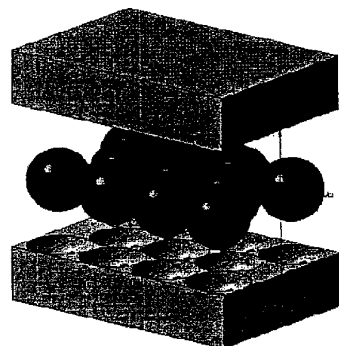
⑦2 Inventeur(s) : KIM CHANG KYU, JUNG EUN, LEE
YOON SANG et RYU HO JIN.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : CABINET PLASSERAUD.

⑤4 COMBUSTIBLE NUCLEAIRE DE TYPE PLAQUE ET SON PROCEDE DE FABRICATION.

⑤7 L'invention concerne un combustible nucléaire de
type plaque qui comporte des particules sphériques gros-
sières d'un alliage U-Mo ou U-Mo-X en phase gamma sta-
ble disposées régulièrement sur un placage d'aluminium en
au moins une couche, et un procédé de fabrication de ce
combustible nucléaire qui comprend des étapes de produc-
tion de particules sphériques grossières d'un combustible
nucléaire en phase gamma stable avec un alliage U-Mo ou
U-Mo-X, de disposition uniforme des particules sphériques
sur un placage d'aluminium en au moins une couche, d'ap-
plication d'une poudre d'aluminium sur le produit résultant,
et de laminage.



FR 2 889 351 - A1



COMBUSTIBLE NUCLEAIRE DE TYPE PLAQUE ET SON PROCEDE DE FABRICATION

La présente invention concerne un combustible nucléaire de type
5 plaque ayant des particules grossières d'alliage U-Mo ou U-Mo-X en phase
gamma, disposées régulièrement, et un procédé pour sa fabrication, et, plus
particulièrement, un combustible nucléaire de type plaque ayant une stabilité aux
irradiations à haute température et des performances améliorées par le fait que des
10 particules sphériques grossières d'un alliage U-Mo ou U-Mo-X en phase gamma
stable sont disposées régulièrement sur un placage d'aluminium en au moins une
couche ce qui minimise l'aire de la surface d'interaction entre les particules de
combustible et une matrice, et un procédé pour sa fabrication.

Des rayons radioactifs et une grande quantité de chaleur sont dissipés
15 par la fission nucléaire de l'uranium. Les réacteurs des centrales nucléaires
utilisent la chaleur et les réacteurs de recherche utilisent les rayons radioactifs. Un
combustible nucléaire est un matériau qui est utilisé pour la fission nucléaire. Les
réacteurs de recherche ont généralement utilisé comme combustible nucléaire un
uranium très enrichi ayant une teneur en uranium supérieure à 90 % pour obtenir
20 un flux de neutrons élevé qui convient pour une recherche efficace. Cependant,
l'uranium très enrichi fait croître le risque de prolifération des armes nucléaires.
Pour empêcher la prolifération nucléaire, le développement d'alliages d'uranium
peu enrichis pour des combustibles nucléaires a commencé en 1978 sous la
conduite des U.S.A. Les chercheurs ont tenté de résoudre les problèmes en
25 réduisant les niveaux d'enrichissement en développant des combustibles
nucléaires à haute densité qui peuvent augmenter le chargement d'uranium.

Le siliciure d'uranium est un alliage d'uranium ayant une très haute
densité d'uranium et une excellente stabilité à la combustion, et un combustible
nucléaire en dispersion dans une matrice métallique, à base de siliciures
30 d'uranium (U_3Si ou U_3Si_2) dispersés dans une matrice d'aluminium, a été
développé. Un combustible nucléaire en dispersion est un combustible contenant
des particules de combustible nucléaire tel qu'un alliage d'uranium dispersées
dans un matériau comme l'aluminium ayant une grande conductivité thermique et
capable de maintenir la température du combustible à un bas niveau. Depuis la fin
35 des années 1980, les combustibles UAl_x très enrichis ont été remplacés par des
combustibles de siliciure d'uranium peu enrichis. Un combustible nucléaire en

dispersion contenant des particules de combustible nucléaire de siliciure d'uranium dispersées dans une matrice d'aluminium a permis de convertir avec succès les réacteurs de recherche qui nécessitent un chargement de combustible nucléaire jusqu'à une densité de 4,8 g de U/cm³.

5 Les réacteurs de recherche à hautes performances nécessitent un combustible nucléaire de haute densité et des recherches concernant les combustibles nucléaires de haute densité sont en cours. Cependant, un combustible nucléaire ayant une densité suffisamment élevée n'a pas encore été fabriqué, et les chercheurs ont été confrontés au nouveau problème que le
10 retraitement des combustibles nucléaires usés, qui est l'un des procédés d'élimination des combustibles nucléaires après leur utilisation, est délicat. Ainsi, les chercheurs ont commencé à rechercher des matériaux qui ont une densité d'uranium plus élevée qu'un combustible nucléaire de type siliciure d'uranium et qui permettent un retraitement aisé. Des combustibles nucléaires uranium-molybdène ont été développés de manière intensive depuis la fin des années 1990,
15 car on a constaté qu'un combustible nucléaire uranium-molybdène fait d'un alliage uranium-molybdène (U-Mo) peut être utilisé comme combustible nucléaire de haute densité et conduit à une excellente stabilité de combustion quand il est utilisé comme combustible nucléaire dans un réacteur atomique.

20 Des tests d'irradiation par étapes ont été réalisés pour vérifier les performances d'un combustible nucléaire uranium-molybdène. De bons résultats ont été obtenus quand les tests d'irradiation ont été réalisés à une faible puissance. Toutefois, un problème de rupture du combustible nucléaire est apparu à forte puissance. A forte puissance, la température du combustible nucléaire augmente,
25 la réaction entre l'aluminium et l'uranium augmente rapidement, et il se forme des pores et du UAl_x, qui est un composé intermétallique. Les pores et l'UAl_x de basse densité font croître le volume du combustible nucléaire et provoquent un gonflement. Les pores et l'UAl_x, qui a une faible conductivité thermique, augmentent la température du combustible nucléaire et entraînent ainsi un
30 gonflement encore plus fort. Le gonflement excessif devient une cause directe de rupture du combustible nucléaire.

La réaction entre l'aluminium et l'uranium survient plus fréquemment quand l'aire de la surface d'interaction entre les particules de combustible nucléaire et l'aluminium augmente. L'épaisseur de l'UAl_x formé est sensiblement
35 constante quelles que soient les tailles des particules du combustible nucléaire, et le volume de UAl_x augmente quand l'aire de la surface d'interaction augmente.

L'aire de la surface d'interaction devrait être réduite car l'augmentation de la quantité de l' UAl_x devient une cause d'augmentation de la température et du gonflement.

5 Les combustibles nucléaires pour les réacteurs de recherche sont classés en combustibles de type plaque et de type barre. Des tests d'irradiation d'un combustible nucléaire uranium-molybdène monobloc de type plaque ont été réalisés par le Argonne National Laboratory et de bons résultats ont été obtenus.

10 Cependant, une réaction intense avec une matrice d'aluminium survient dans un combustible nucléaire en dispersion comportant des particules d'un combustible de type alliage uranium-molybdène existant ayant une taille inférieure à 100 μm quand il est brûlé dans un réacteur atomique dans des conditions de forte puissance, et le gonflement augmente rapidement à une température supérieure à 550°C. L'aire de la surface d'interaction peut être très réduite dans un combustible nucléaire monobloc. Bien que le combustible
15 nucléaire monobloc puisse permettre de réduire sensiblement l'aire de la surface d'interaction, il présente l'inconvénient de devoir être usiné sous forme d'une plaque très mince.

La figure 1 des dessins annexés est une photographie d'un alliage uranium-molybdène après des tests d'irradiation d'un combustible nucléaire en
20 dispersion selon l'état de la technique. Elle montre que le combustible nucléaire en dispersion comporte des particules de combustible nucléaire d'alliage d'uranium dispersées dans une matrice d'aluminium, et que des couches de réaction sont formées au niveau des surfaces des particules de combustible nucléaire. On constate que l'épaisseur des couches de réaction est sensiblement
25 constante quelles que soient les tailles des particules de combustible nucléaire. La réaction ci-dessus augmente avec la température. Une réaction intense se produit à une température supérieure à 525°C, des composés intermétalliques en excès sont formés et deviennent une cause de fissuration du fait de l'augmentation de volume. La température dans la partie centrale des particules de combustible
30 nucléaire augmente progressivement pendant le déroulement de la combustion du fait de la réduction du transfert thermique entre les particules de combustible nucléaire et la matrice d'aluminium car les couches de réaction intermétalliques ont une faible conductivité thermique. Les couches de réaction, qui ont une basse densité, provoquent une augmentation du volume des matériaux formant le cœur
35 du combustible nucléaire et ont une grande influence sur la stabilité et les performances du combustible nucléaire en brisant le matériau de placage.

La fabrication d'un combustible nucléaire qui peut réduire l'aire de la surface d'interaction entre les particules de combustible nucléaire et la matrice, où les couches de réaction sont formées, est nécessaire.

Pour résoudre les problèmes ci-dessus, la demanderesse a réalisé des recherches de manière intensive. Ces recherches ont abouti à la fabrication d'un combustible nucléaire de type plaque grâce à la production de particules sphériques grossières en un alliage uranium-molybdène en phase gamma stable et à la disposition régulière des particules sphériques grossières en au moins une couche sur un placage d'aluminium. La demanderesse a trouvé qu'il est possible, dans un combustible nucléaire, d'empêcher une réaction excessive entre des particules de combustible nucléaire et une matrice d'aluminium en minimisant l'aire de la surface d'interaction entre les particules de combustible nucléaire et la matrice d'aluminium, de minimiser la formation de pores et le gonflement en limitant la formation de couches de réaction de composés intermétalliques et de maintenir une grande conductivité thermique pour transférer la chaleur interne du combustible nucléaire régulièrement, et est ainsi parvenue à l'invention.

Un but de la présente invention est de fournir un combustible nucléaire de type plaque en disposant régulièrement des particules sphériques grossières d'un alliage U-Mo ou U-Mo-X en phase gamma stable sur un placage d'aluminium en au moins une couche et un procédé pour sa fabrication pour empêcher une réaction excessive entre les particules de combustible nucléaire et la matrice d'aluminium en minimisant l'aire de la surface d'interaction entre les particules de combustible nucléaire et la matrice d'aluminium, pour minimiser les pores et le gonflement en limitant la formation de couches de réaction de composés intermétalliques, et pour maintenir une grande conductivité thermique afin d'évacuer régulièrement la chaleur interne du combustible nucléaire.

La présente invention fournit un procédé de fabrication d'un combustible nucléaire de type plaque comprenant les étapes de : fabrication de particules sphériques grossières d'un combustible nucléaire en phase gamma stable avec un alliage U-Mo ou U-Mo-X, disposition des particules sphériques régulièrement sur un placage d'aluminium en au moins une couche, application d'une poudre de matrice d'aluminium sur le produit résultant, et laminage.

La figure 1 est une photographie d'un alliage d'uranium et de molybdène après des tests d'irradiation d'un combustible nucléaire en dispersion selon l'état de la technique.

Les figures 2a, 2b et 2c sont des vues schématiques d'un combustible nucléaire de type plaque ayant des particules grossières d'alliage uranium-molybdène disposées régulièrement en une seule couche selon un mode de réalisation de la présente invention, où la figure 2a est une vue de dessus, la figure 2b est une vue de côté et la figure 2c est en vue en perspective.

Les figures 3a et 3b sont une vue de dessus et une vue de côté schématiques d'un combustible nucléaire de type plaque ayant des particules grossières d'alliage uranium-molybdène disposées régulièrement en deux couches selon un autre mode de réalisation de la présente invention.

Les figures 4a et 4b sont des graphes montrant une distribution de température calculée par ANSYS dans un réacteur atomique utilisant un combustible nucléaire de type plaque ayant des particules grossières disposées régulièrement selon un mode de réalisation de la présente invention.

Les figures 5a et 5b sont des micrographies réalisées à l'aide d'un microscope électronique à balayage et montrent des poudres sphériques d'un alliage d'uranium et de molybdène dont la taille a été ajustée à 300 μm - 700 μm par atomisation centrifuge.

Dans la suite, on va décrire à titre d'exemple des modes de réalisation de la présente invention de manière plus détaillée en se référant aux dessins annexés.

La présente invention inclut un combustible nucléaire de type plaque ayant des particules sphériques grossières d'un alliage U-Mo ou U-Mo-X en phase gamma stable, disposées régulièrement sur un placage d'aluminium en au moins une couche.

Des poudres d'aluminium peuvent être appliquées en couche sur le placage d'aluminium et remplir les interstices entre les particules sphériques grossières. L'aluminium entoure les particules sphériques grossières et joue le rôle de conducteur thermique pour transférer la chaleur de manière régulière. La chaleur produite par les particules sphériques grossières est transférée au conducteur thermique qui a une grande conductivité thermique, et est dissipée aisément vers l'extérieur du combustible nucléaire de type plaque, ce qui réduit la température superficielle des particules sphériques grossières.

Si la température superficielle des particules sphériques monte, des couches de réaction d'un composé intermétallique sont formées entre l'alliage U-Mo ou U-Mo-X et l'aluminium et réduisent la conductivité thermique entre les particules de combustible nucléaire et la matrice d'aluminium. Ceci provoque l'augmentation de la température dans la partie centrale du combustible nucléaire. On sait qu'un alliage U-Mo a généralement une grande stabilité aux irradiations à une température inférieure à 600°C. Les couches de réaction, qui ont une faible densité, détériorent le placage en augmentant le volume du combustible nucléaire, et ont une grande influence sur la stabilité et les performances du combustible nucléaire.

De ce fait, la présente invention introduit des particules sphériques grossières ayant une taille prédéterminée dans une matrice d'aluminium pour minimiser la formation de couches de réaction du composé intermétallique en réduisant l'aire de la surface d'interaction et pour fabriquer un combustible nucléaire plus stable en abaissant la température maximale au niveau des surfaces d'interaction.

Ainsi, le diamètre des particules sphériques grossières d'un alliage U-Mo ou U-Mo-X en phase gamma stable, introduites dans un combustible nucléaire de type plaque selon la présente invention, peut être ajusté de préférence dans la plage de 300 – 700 μm .

Dans le cas où le diamètre des particules grossières est inférieur à 300 μm , la réaction entre les particules de combustible nucléaire et la matrice a lieu de manière intense et un gonflement se produit rapidement, comme dans le cas des combustibles nucléaires en dispersion connus. Dans le cas où le diamètre des particules grossières est supérieur à 700 μm , celles-ci sont difficiles à appliquer à un combustible nucléaire de type plaque ayant une épaisseur de 700 μm , la plus haute température des particules est trop élevée, et elles ne conviennent pas pour un combustible nucléaire.

Un procédé de fabrication d'un combustible nucléaire de type plaque ayant des particules sphériques grossières disposées régulièrement selon la présente invention comprend les étapes de : production de particules sphériques grossières d'un combustible nucléaire en phase gamma stable avec un alliage U-Mo ou U-Mo-X, disposition des particules sphériques régulièrement sur un placage d'aluminium en au moins une couche, application d'une poudre de matrice d'aluminium sur le produit résultant, et laminage.

Tout d'abord, des particules sphériques grossières d'un combustible nucléaire en phase gamma stable sont produites avec un alliage U-Mo ou U-Mo-X.

5 Un lingot d'alliage d'uranium de combustible nucléaire tel qu'un alliage U-Mo est moulé. Le procédé de fabrication des particules sphériques grossières n'est pas limité. Des particules sphériques grossières d'un combustible nucléaire ayant un diamètre de 300-700 μm peuvent être fabriquées de préférence par atomisation centrifuge ou atomisation ultrasonique utilisée pour la production de billes de soudure uniformes.

10 L'atomisation centrifuge est une technique qui forme des particules métalliques par déversement d'un métal fondu sur un disque tournant à grande vitesse, formation de gouttelettes de métal fondu par la force centrifuge et solidification de ces gouttelettes en une forme sphérique par refroidissement pendant la chute.

15 L'atomisation ultrasonique est une technique qui forme des particules métalliques par application d'une pression à un métal fondu dans un four ayant des orifices sur son côté inférieur avec des vibrations dans une atmosphère de gaz inerte, formation de gouttelettes depuis les orifices et formation de particules métalliques par refroidissement des gouttelettes pendant la chute à contre-courant
20 du gaz de refroidissement. La taille des gouttelettes est influencée par la taille des orifices, la pression du gaz et les vibrations ultrasoniques. Si les conditions ci-dessus sont fixées, la taille des gouttelettes est sensiblement constante et les tailles des particules d'un produit U-Mo-X sont sensiblement constantes. Un générateur de vibrations ultrasoniques utilise un vibreur à PZT ou à solénoïde, et ses
25 composants comprennent un générateur de fonction générant une fréquence prédéterminée et une onde sinusoïdale, un oscilloscope permettant d'observer la fréquence et l'onde sinusoïdale, un amplificateur qui amplifie l'onde sinusoïdale et un transformateur. Un exemple de conditions de fabrication de poudres de particules sphériques d'un alliage U-Mo-X est montré dans le tableau 1.

Tableau 1

Conditions de fabrication de particules sphériques d'un alliage U-Mo-X par le procédé d'atomisation ultrasonique

5

Diamètre des particules	700 μm	500 μm	300 μm
Conditions			
Diamètre des orifices	environ 350 μm	environ 350 μm	environ 350 μm
Fréquence des vibrations	environ 1000 Hz	environ 2000 Hz	environ 3500 Hz
Gaz	Ar	Ar	Ar
Pression	30 kPa	45 kPa	70 kPa
Degré de surchauffage	150°C	150°C	150°C
Degré de vide	10 ⁻³ Torr*	10 ⁻³ Torr	10 ⁻³ Torr

* 10⁻³ Torr = 0,133 Pa

10 Les particules sphériques grossières sont disposées régulièrement en au moins une couche, de préférence une ou deux couches, sur un placage d'aluminium où des poudres d'aluminium peuvent être appliquée en couche, en plus des particules grossières, un laminage étant réalisé après l'application des poudres d'aluminium.

Le procédé d'agencement n'est pas limité dans cette invention. Des exemples préférables de procédés d'agencement sont décrits dans la suite.

15 Dans un premier procédé, des rainures en forme de réseau sont usinées ou moulées dans une surface d'un placage d'aluminium qui est en contact avec des couches de particules de combustible nucléaire. Des particules sphériques grossières de combustible nucléaire sont disposées le long des rainures, des poudres d'aluminium sont ensuite appliquées aux régions entre les rainures, et un laminage est réalisé. Il est possible de réguler la densité de remplissage en ajustant la distance entre les rainures.

25 Dans un second procédé, des poudres d'aluminium sont appliquées en couche sur un placage d'aluminium, des particules sphériques grossières d'un combustible nucléaire disposées uniformément sont placées sur une toile métallique, la toile métallique est retirée, et un laminage est réalisé. Si une toile métallique en aluminium est utilisée, le laminage peut être réalisé sans que la toile métallique soit retirée.

Dans un troisième procédé, un placage d'aluminium est usiné en un caisson rectangulaire. Des poudres sphériques sont déversées dans le caisson, disposées uniformément par des vibrations, des poudres d'aluminium sont appliquées dans les interstices entre les particules et un laminage est réalisé. Ce
5 procédé utilise la tendance des particules sphériques à remplir un espace de manière compacte et peut être utilisé pour obtenir une densité de remplissage maximale.

Dans un quatrième procédé, des poudres d'aluminium sont compactées par une matrice pour produire des protubérances sphériques dont les
10 diamètres sont les mêmes que ceux des particules sphériques grossières de combustible nucléaire, les particules sphériques grossières de combustible nucléaire sont appliquées sur la poudre compactée et recouvertes par des poudres d'aluminium, et un laminage est réalisé.

Différents changements et différentes modifications peuvent être
15 apportés aux procédés d'agencement ci-dessus par l'homme du métier. Bien que l'invention soit expliquée en détail à l'aide de modes de réalisation constituant des exemples, il convient de noter que l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits.

20 EXEMPLE 1

Fabrication d'un combustible nucléaire de type plaque selon la présente invention

Un lingot d'alliage mère uranium-molybdène est préparé par moulage en fusion à chauffage par induction sous vide pour produire un échantillon pour
25 l'irradiation du combustible nucléaire. Un lingot d'alliage mère U-Mo-X est introduit dans un four ayant des trous de 250 μm sur son côté inférieur, puis chauffé dans une atmosphère d'argon, sa température est mesurée quand du métal fondu apparaît, et le lingot est chauffé encore à une température supérieure de 150°C ou plus à la température mesurée. De l'argon gazeux inerte pour le refroidissement est amené à circuler de bas en haut sur le trajet suivi par les
30 gouttelettes de métal fondu, sous le côté inférieur du four, un générateur de vibrations pré réglé à 2000 Hz est mis en service, et une pression de 45 kPa est appliquée au four par le gaz inerte argon. Des particules sphériques grossières de combustible nucléaire ayant un diamètre de 500 μm sont préparées par le
35 processus ci-dessus. Une homogénéisation de Mo est réalisée pendant 6 heures à 1000°C et le produit résultant est trempé pour former une structure en phase

gamma. Les particules sphériques grossières de combustible nucléaire sont disposées régulièrement en une couche unique sur un placage d'aluminium comportant des rainures en forme de réseau, des poudres d'aluminium sont appliquées aux régions des rainures, et un laminage est réalisé. Un combustible nucléaire de type plaque selon la présente invention est ainsi obtenu.

Les figures 2a, 2b et 2c sont des vues schématiques d'un combustible nucléaire de type plaque ayant des particules grossières d'alliage uranium-molybdène disposées régulièrement en une seule couche selon l'exemple 1 de la présente invention, la figure 2a étant une vue de dessus, la figure 2b une vue de côté et la figure 2c une vue en perspective.

EXEMPLE 2

Fabrication d'un combustible nucléaire de type plaque selon la présente invention

Un combustible nucléaire de type plaque selon la présente invention est fabriqué par le même procédé que dans l'exemple 1 à ceci près que les particules sphériques grossières de combustible nucléaire sont disposées régulièrement en deux couches.

Les figures 3a et 3b sont des vues schématiques d'un combustible nucléaire de type plaque ayant des particules grossières d'alliage uranium-molybdène disposées régulièrement en deux couches selon l'exemple 2 de la présente invention, la figure 3a étant une vue de face et la figure 3b une vue de côté.

EXEMPLE COMPARATIF 1

Combustible nucléaire en dispersion

Un combustible nucléaire en dispersion de type plaque mélangé uniformément avec un combustible nucléaire de type alliage U-Mo et de l'aluminium est préparé.

EXEMPLE EXPERIMENTAL 1

Calcul du profil de température et test de prévision des performances d'un combustible nucléaire de type plaque selon la présente invention

Le profil de température d'un combustible nucléaire de type plaque selon la présente invention est calculé par le code ANSYS. Comme le montre la figure 4, un modèle de calcul de la température pour un réacteur atomique avec un

combustible nucléaire de type plaque ayant des particules grossières disposées uniformément selon l'exemple 1 est établi. Dans le cas où les particules sphériques grossières selon la présente invention sont utilisées, la densité de puissance thermique calculée est $2,65 \times 10^{10} \text{ W/cm}^3$ dans un agencement de
 5 particules grossières, par comparaison avec la norme de flux thermique du réacteur Jules Horowitz, un réacteur atomique de forte puissance en France, qui est de 560 W/cm^3 . La différence de température (ΔT) entre le centre et les couches d'interface externes de la particule de combustible nucléaire (15 W/mK), calculée par la formule de transfert de chaleur suivante, est égale à 36°C :

10

$$4\pi r^2 \frac{dt}{dr} = \frac{q}{k} 4 \frac{\pi}{3} r^3$$

La fraction volumique du combustible nucléaire calculée est de 0,605 et la différence de température apparaissant dans un placage en aluminium (230
 15 W/mK) d'une épaisseur de 0,25 mm calculée est $9,4^\circ\text{C}$. Ainsi, ceci montre que l'augmentation de température n'est pas grande quand des particules grossières sont utilisées.

D'autre part, la température maximale des couches d'interaction au centre du combustible nucléaire en dispersion selon l'exemple comparatif 1 est
 20 214°C .

Comme le montre la figure 4, la température maximale d'un combustible nucléaire de type plaque ayant des particules sphériques grossières disposées régulièrement en une seule couche selon un mode de réalisation de la présente invention est égale à $195,372^\circ\text{C}$ et la température au niveau des couches
 25 d'interface du combustible nucléaire est égale à $142,69^\circ\text{C}$.

Comme décrit ci-dessus, la température maximale au niveau des couches d'interface de la particule de combustible nucléaire est inférieure à 214°C , la température maximale des couches d'interface du combustible nucléaire en dispersion selon l'exemple comparatif 1, de sorte que la réaction entre la
 30 matrice d'aluminium et le combustible nucléaire U-Mo peut être réduite et la température maximale du combustible nucléaire est égale à $195,372^\circ\text{C}$. De ce fait, un combustible nucléaire de type plaque ayant des particules sphériques grossières disposées régulièrement en une seule couche selon un mode de réalisation de la présente invention est approprié comme combustible nucléaire.

Un combustible nucléaire de type plaque ayant des particules sphériques grossières d'un alliage U-Mo ou U-Mo-X en phase gamma stable disposées régulièrement sur un placage d'aluminium en au moins une couche et un procédé pour sa fabrication fournissent une structure qui minimise l'aire de la surface d'interaction entre un combustible nucléaire et une matrice d'aluminium.

5 Par rapport aux combustibles nucléaires d'alliage de U en dispersion existants, la puissance limite de service, la stabilité aux irradiations à haute température et les performances sont améliorées par le fait que l'on empêche une réaction excessive entre le combustible nucléaire et la matrice d'aluminium, que l'on minimise les pores et le gonflement en limitant la formation de couches de réaction d'un composé intermétallique, et en maintenant une grande conductivité thermique pour transférer régulièrement la chaleur interne du combustible nucléaire.

10

REVENDICATIONS

1. Combustible nucléaire de type plaque caractérisé en ce qu'il comporte des particules sphériques grossières d'un alliage U-Mo en phase gamma stable disposées régulièrement sur un placage d'aluminium en au moins une couche.
5
2. Combustible nucléaire de type plaque selon la revendication 1 caractérisé en ce que le diamètre des particules sphériques grossières de l'alliage U-Mo en phase gamma stable est dans la plage de 300 – 700 μm .
3. Procédé de fabrication d'un combustible nucléaire de type plaque caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :
10 production de particules sphériques grossières d'un combustible nucléaire en phase gamma stable avec un alliage U-Mo ;
disposition uniforme des particules sphériques sur une placage d'aluminium en au moins une couche ;
15 application d'une poudre d'aluminium sur le produit résultant ; et
laminage.
4. Procédé selon la revendication 3 caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape d'application en couche de poudres d'aluminium sur la placage d'aluminium.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 et 4 caractérisé en ce que
20 les particules sphériques grossières de combustible nucléaire en phase gamma stable sont produites de manière à avoir un diamètre de 300 – 700 μm par un procédé d'atomisation à l'état fondu, tel que l'atomisation centrifuge ou l'atomisation ultrasonique.

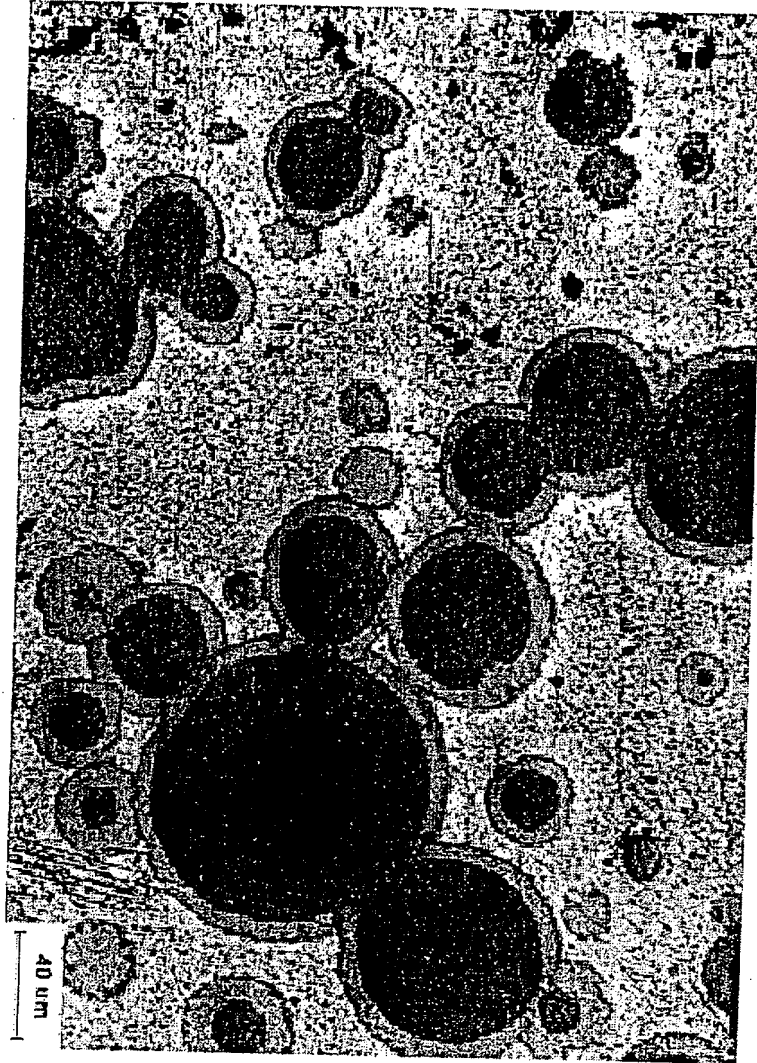


FIGURE 1

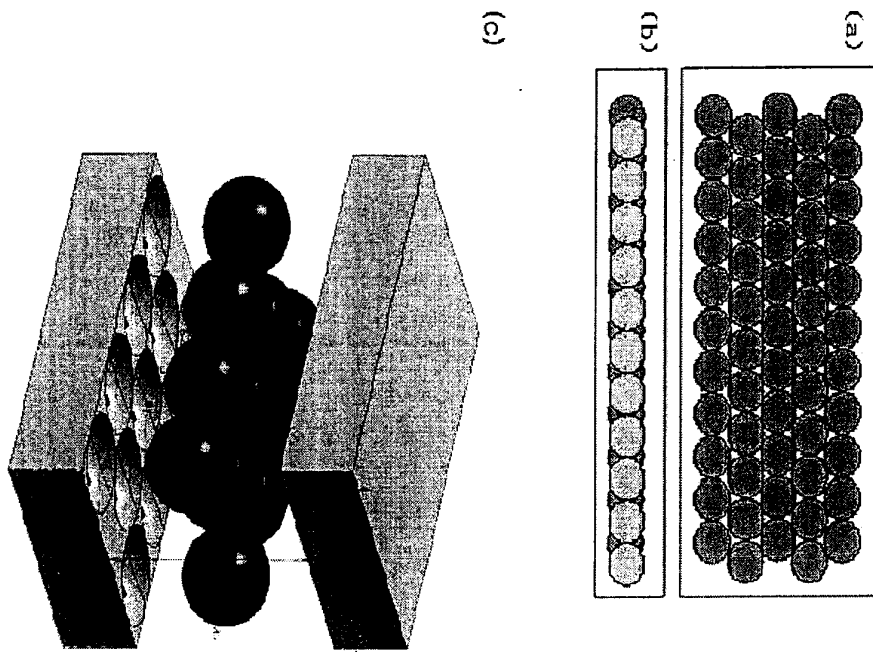


FIGURE 2

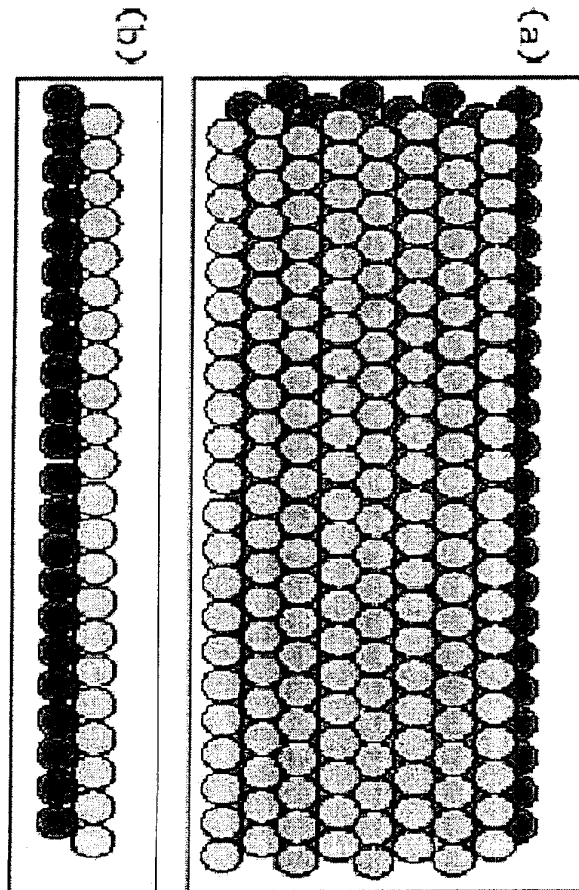


FIGURE 3

FIGURE 4A

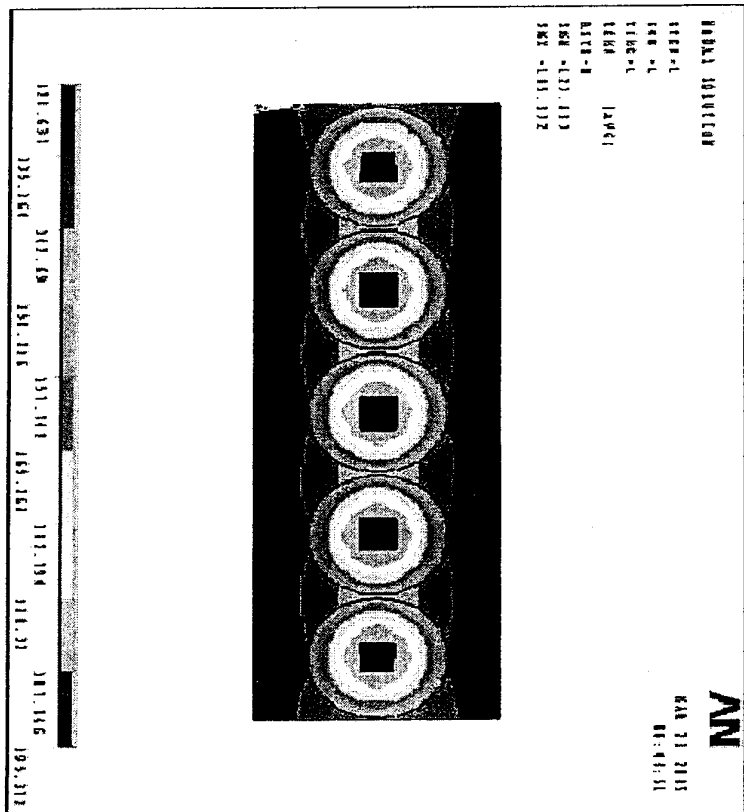
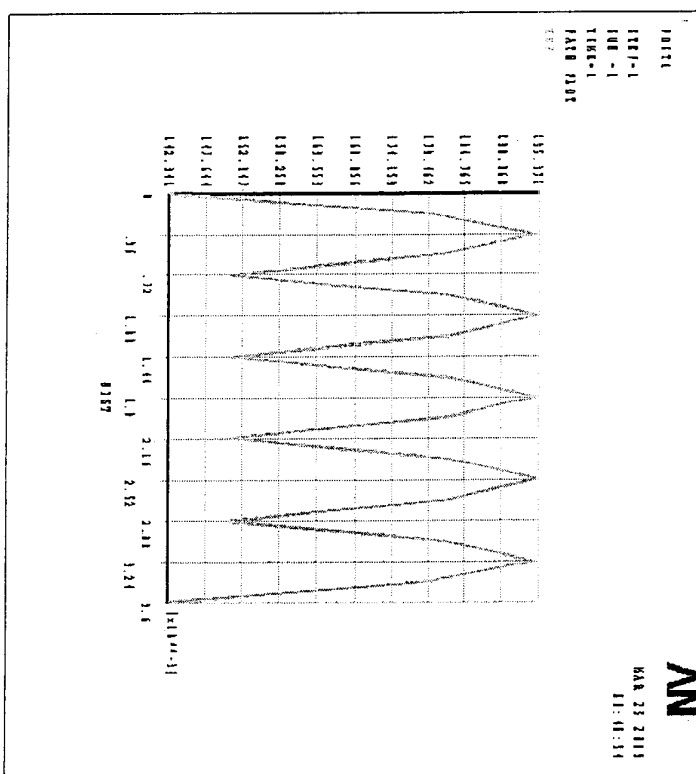


FIGURE 4B



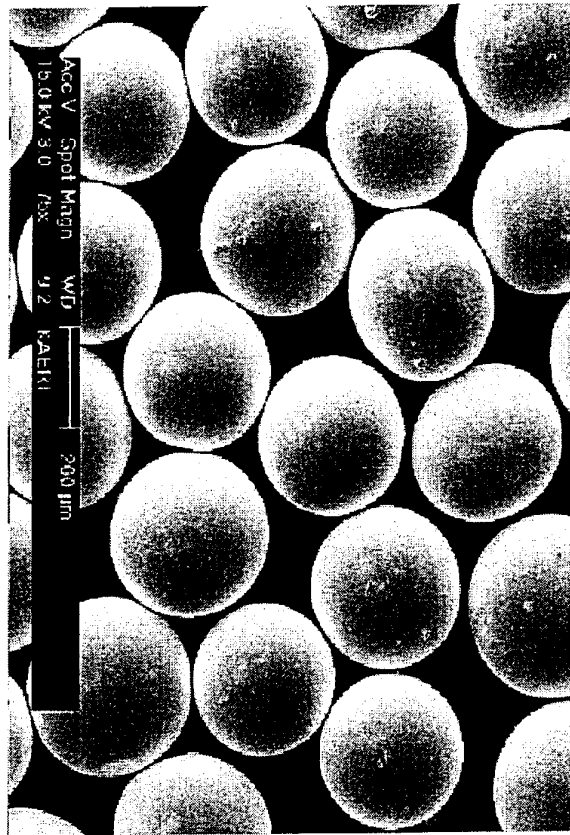


FIGURE 5A

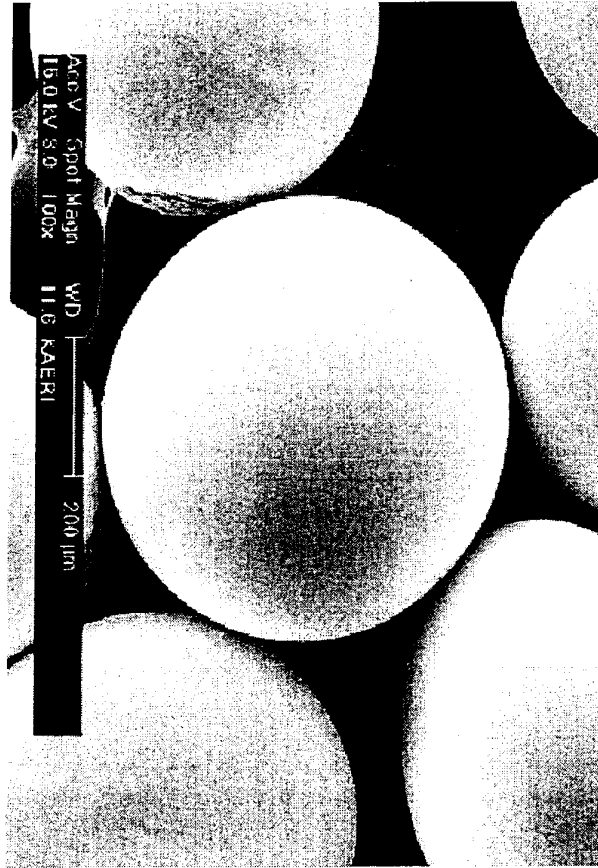


FIGURE 5B