

CNIC-00875

SINRE-0043

ON9502557

中国核科技报告

Gd₂O₃-UO₂ 芯块的均匀性及微观结构研究

HOMOGENEITY AND MICROSTRUCTURE
STUDY OF Gd₂O₃-UO₂ PELLETS

(In Chinese)



中国核情报中心
原子能出版社

VOL 2 / No 04 China Nuclear Information Centre
Atomic Energy Press



潘 英:中国核动力研究设计院助理研究员, 1980年毕业于清华大学工程物理系反应堆材料专业。

Pan Ying: Researcher of Nuclear Power Institute of China. Graduated from Department of Engineering Physics, Tsinghua University in 1980, majoring in reactor materials.

CNIC-00875

SINRE-0043

Gd₂O₃-UO₂ 芯块的均匀性及微观结构研究

潘 英 高棣华 郭高柏 朱树明

(中国核动力研究设计院, 成都)

摘 要

用光学显微镜、X射线波谱仪和能谱仪、扫描电镜-图像处理、X射线衍射仪和图像分析仪分析了不同条件制备的0~10 wt%Gd₂O₃-UO₂ 芯块的微观结构、Gd₂O₃ 在芯块中的分布均匀性、固溶体点阵常数, 计算出了理论密度。研究了Gd₂O₃ 粉末颗粒大小和含量、混料方式、烧结温度和时间、烧结气氛与Gd₂O₃-UO₂ 芯块的微观结构和Gd₂O₃ 分布均匀性的关系。

HOMOGENEITY AND MICROSTRUCTURE STUDY OF Gd₂O₃-UO₂ PELLETS

(In Chinese)

Pan Ying Gao Dihua Guo Yibai Zhu Shuming
(NUCLEAR POWER INSTITUTE OF CHINA, CHENGDU)

ABSTRACT

The microstructure of Gd₂O₃-UO₂ pellets (0~10 wt%) prepared in different conditions, the homogeneity distribution of Gd₂O₃ in the pellets and the lattice parameter of solid solution are studied by metalloscope, WDS, EDAX, SEM-image processing system, XRD and image analyzer. The theoretical density has been calculated. The effect of size and content of Gd₂O₃ particles, the blend process, the sintering temperature and time, and the sintering atmosphere on the microstructure of Gd₂O₃ pellets and the homogeneity of Gd₂O₃ in the pellets are studied.

前 言

对压水堆使用弥散型 $Gd_2O_3-UO_2$ 可燃毒物燃料已进行了大量的研究,并积累了大量的堆内外性能数据^[1-6]。使用 Gd_2O_3 可燃毒物,可以控制反应性,展平功率分布,提高燃耗,使压水堆达到高功率长寿命的目的。 $Gd_2O_3-UO_2$ 燃料芯块的微观结构和 Gd_2O_3 分布的均匀性对它的辐照蠕变性能、辐照肿胀、裂变气体的释放和燃料的致密化性能都有重要的影响。所以要求有好的孔隙结构、适当的晶粒尺寸和合适的 Gd_2O_3 分布。

由于 Gd_2O_3 粉末具有高的吸湿性和凝聚性,需要用特殊的混料方式,既打破其坚硬的团块,又能与 UO_2 粉末均匀混合,否则会产生较大孔隙以及游离相,导致芯块密度偏低,影响燃耗特性。本文用彩色定量金相法、X 射线波谱法和能谱法,以及 X 射线衍射等方法对 $Gd_2O_3-UO_2$ 芯块的晶粒尺寸、孔隙结构、 Gd_2O_3 分布均匀性和点阵常数等与制备工艺的关系进行了较系统的研究,提出了可以用均匀性判别指数值 H_1 ^[7] 和 Gd_2O_3 在芯块中各微区的含量来判断 Gd_2O_3 分布的均匀性。

1 样品制备和观测方法

(1) 0~10 wt% $Gd_2O_3-UO_2$ 芯块的制备 ADU 和 AUC 流程制备的 UO_2 粉末与 Gd_2O_3 粉末机械混合,在 350~400 MPa 压力下成型,并在还原气氛和微氧化气氛,1550~1850℃ 下烧结 1.5~6 h。

(2) 用光学显微镜和扫描电镜观测芯块的孔隙结构,用截线法测定芯块的平均晶粒尺寸^[8]。

(3) 用扫描电镜的背散射电子像-图像处理法测定芯块的孔径分布和总孔隙率。

(4) 用 X 射线波谱仪观测 Gd_2O_3 分布均匀性,并计算均匀性判别指数值 H_1 。

(5) 用 X 射线能谱仪测量芯块中各微区的 Gd_2O_3 含量。

(6) 用彩色金相法和图像仪测量游离 UO_2 、游离 Cd_2O_3 及 $(U_{1-x}Gd_x)O_2$ 固溶体的含量。

(7) 用扫描电镜的二次电子像-图像处理法测量 Gd_2O_3 粉末的粒度分布。

(8) 用 X 射线背射照相法测量固溶体的点阵常数,并计算理论密度。

2 结果与分析

2.1 固溶体

用彩色金相法评价 $Gd_2O_3-UO_2$ 芯块的均匀性,它是根据芯块抛光着色后各相的颜色不同来确定各相的含量,其中 $(U_{1-x}Gd_x)O_2$ 固溶体为黄棕色,游离 UO_2 为蓝色,游离 Gd_2O_3 为白色(见图 1),测量结果列于表 1。用 X 射线能谱仪对图 1 中任意选择的 20 个白色斑进行测量, Gd_2O_3 的含量在 13.60~46.29 wt%,芯块名义 Gd_2O_3 含量为 7 wt%。由此可以看出,用着色方法测量的游离 Gd_2O_3 含量比实际值高得多,白色的认为是游离 Gd_2O_3 ,实际上是富 Gd_2O_3 的固溶体,这与文献 [9, 10] 的结果一致。

X 射线波谱图像可以清晰直观地反映 Gd_2O_3 的均匀性(图 2)。图 2 中白色部分为 Gd_2O_3 的富集区。采用文献 [7] 规定的方法,可以计算出均匀性判别指数 H_1 。 H_1 越小表示 Gd_2O_3 分布越均匀。 H_1 应选多大均匀性才合格,要视使用要求而定。在湿混情况下, Gd_2O_3 含量

为 10 wt% 以下的能形成单一成分的固溶体, 其 H_i 都小于 2; 干混有少量游离 UO_2 , 固溶体成分不单一, H_i 为 2.5 左右。

表 1 $Gd_2O_3-UO_2$ 芯块的均匀性

混料方式	Gd_2O_3 含量 wt%	烧结气氛	游离相含量, %	
			Gd_2O_3	UO_2
干混	5	微氧化	11	9
	7	还原	15.1	28
	3	还原	0	34
	10	微氧化	0	4
湿混	7	微氧化	0	0

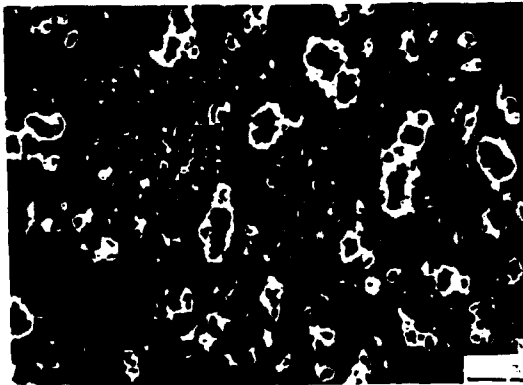


图 1 $Gd_2O_3-UO_2$ 芯块的各相组织

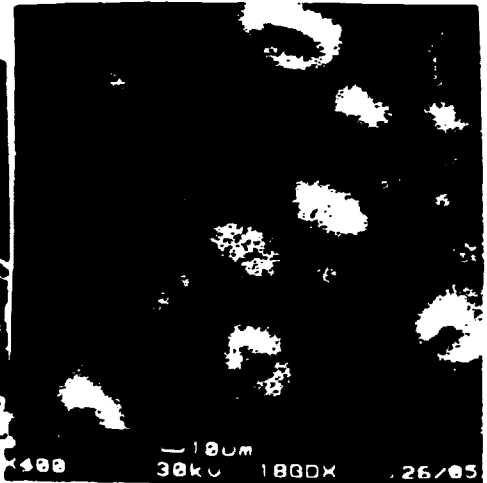


图 2 芯块中的 Gd_2O_3 分布

Gd_2O_3 粉末具有高的吸湿性和凝集性, 尽管市售的粉末用酒精分散后测得粒度只有 $1 \mu m$ 左右, 然而由于它易凝集成较坚硬的团块, 这些团块若混料时不能打碎, Gd_2O_3 在芯块中起造孔剂的作用, 凡是大颗粒处都产生大的孔隙(见图 1), 大孔隙边缘往往是游离的 Gd_2O_3 或 Gd_2O_3 含量较高的固溶体, 离孔越远, Gd_2O_3 含量越低。这是因为在烧结过程中, 固溶体是通过 Gd^{3+} 向 UO_2 和 U^{4+} 、 U^{5+} 向 Gd_2O_3 点阵相互扩散形成的, 在一定的烧结条件下, 其扩散距离是一定的, Gd_2O_3 颗粒大时固溶体很难连在一起, 这在 Gd_2O_3 含量低时尤其明显, 例如 3 wt% $Gd_2O_3-UO_2$ 芯块, 即使在 $1850^\circ C$ 下烧结 3 h, 仍有较多的游离 UO_2 。当 Gd_2O_3 颗粒细小时, 芯块中游离相少, 固溶体多。

混料方式对 Gd_2O_3 分布均匀性的影响列于表 2 和表 3。

表 2 混料方式对 Gd_2O_3 分布均匀性的影响

混料方式	烧结气氛	Gd_2O_3 含量, wt%			H_i GDL ₀
		名义值	测量值	平均值	
干混	还原	3	1.04~52.05		9.63
		7	5.85~46.29		8.69
湿混	还原	2	1.73~2.39	2.13	1.38
		4	3.73~4.44	4.13	1.93
		8	7.27~8.52	8.08	1.17
		10	9.63~10.54	10.05	2.03

与干混相比，湿混的效果最好。湿混和延长混料时间，都有利于固溶体形成。

表3 混料方式对 Gd_2O_3 分布的影响

混料方式	烧结气氛	Gd_2O_3 含量 wt%	游离相含量, %		H_1 GdL ₀
			Gd_2O_3	UO_2	
干混	微氧化气氛	10	17	30	3.46
			10	20	3.64
			0	5	2.59
			0	5	2.41
湿混	微氧化气氛	10	0	10	
			0	0	1.98
			0	0	
			0	0	

烧结气氛对 Gd_2O_3 的分布均匀性有明显的影响(表4)。在湿混情况下，微氧化气氛烧结， Gd_2O_3 含量为 7~10 wt% 的芯块全部为均匀固溶体，3 wt% Gd_2O_3 的芯块约有 5% 的 UO_2 ；干混，用微氧化气氛烧结，3~10 wt% Gd_2O_3 的芯块中都有游离 UO_2 存在，还存在 Gd_2O_3 含量不等的固溶体。经 X 光衍射表明，干混，还原气氛烧结的芯块中有游离 UO_2 和 Gd_2O_3 存在，这与彩色金相法的结果一致。微氧化气氛烧结，产生的铀的高价离子(如 U^{5+} 或 U^{6+}) 多， U^{5+} 比 U^{4+} 小~12%^[11,12]，在同样的烧结条件(温度和时间)下，扩散率大大地增加，有利于固溶体的形成。当生坯中的 Gd_2O_3 颗粒细小且分散均匀时，很容易形成成分单一的固溶体。还原气氛烧结产生的 U^{5+} 很少，电荷平衡受缺氧的影响，不仅影响固溶体的数量，而且随着 Gd_2O_3 含量的增加，缺氧也越严重，当芯块表面接触空气氧化后，点阵常数变小，收缩产生压应力，使 Gd_2O_3 含量较高的芯块(如 7~10 wt%) 产生宏观和微观裂纹(图3)。Yuda 和 Une^[13] 认为， UO_2-UO_2 和 $UO_2-Gd_2O_3$ 烧结时的致密化速率有明显差别。在烧结过程中将引起局部非均匀体积变化，产生应力而出现裂纹，还原气氛烧结限制了应力的释放，这样就促使了微裂纹的形成。如果芯块中 Gd_2O_3 的浓度不均匀，使得局部热膨胀不同，也将产生微观裂纹。

表4 烧结气氛对均匀性的影响

混料	烧结气氛	Gd_2O_3 含量 wt%	游离相含量, %		H_1 GdL ₀
			Gd_2O_3	UO_2	
干混	还原	3	0	42	
		7	0	10	
	微氧化	3	0	30	
		10	0	5	2.41
湿混	还原	3	0	25	
		7	0	9	
		10	0	2	
	微氧化	3	0	5	0.83
		7	0	0	1.33
		10	0	0	1.98



图3 还原气氛烧结芯块的裂纹

a: 7 wt% Gd₂O₃

b: 10 wt% Gd₂O₃

烧结温度和时间对 Gd₂O₃ 分布的影响见表 5 和表 6。

表 5 干湿情况下烧结温度对均匀性的影响

烧结条件		Gd ₂ O ₃ 含量, wt%		H _i
气氛	温度, °C	名义值	测量值	GdL ₀
还原	1550	10	0~100	
		3	1.04~52.05	9.63
	1700	7	5.85~46.29	8.69
		10	9.93~31.83	4.76
1850	10	9.31~13.26		

表 6 干湿情况下烧结时间对均匀性的影响

烧结条件		Gd ₂ O ₃ 含量, wt%	H _i , GdL ₀	
初烧结	再烧结		初烧结后	再烧结后
微氧化气氛	还原气氛	10	3.46	1.33
			3.46	1.14
			2.59	2.02
			2.41	1.24

从表 5 可以看出, 在 1550°C 下烧结后, 有少量固溶体形成。1700°C 烧结后, 3~10 wt% Gd₂O₃ 芯块均为不均匀固溶体, 即使烧结温度高达 1850°C, 固溶体也只是基本均匀。从表 6 可以看出, 经 24 h 再烧结后, H_i 基本上小于 2, 说明含有游离相和固溶体成分不均匀的芯块都变成了成分单一的均匀固溶体。提高烧结温度和延长烧结时间都有利于固溶体形成。

2.2 晶粒尺寸

晶粒大小将影响燃料的强度和蠕变速率, 文献 [14] 认为, 晶粒尺寸应控制在 5~25 μm 范围内。表 7 为不同条件制备的 Gd₂O₃-UO₂ 芯块的平均晶粒尺寸。机械混料 (干混和湿混), 还原气氛烧结, 使晶粒尺寸偏小, 大小不均匀, 这是由于在固溶体之间存在较多的游离 UO₂ 的缘故。固溶体处晶粒大, 一般超过 10 μm, 而游离 UO₂ 的晶粒尺寸约为 2~5 μm

(见图 4 a)。如果采用微氧化气氛烧结, 则晶粒尺寸适中, 晶粒大小均匀(见图 4 b)。在同样的烧结气氛下, 晶粒尺寸随 Gd_2O_3 含量的增加而增大。 UO_2 芯块和 7 wt% Gd_2O_3 芯块在微氧化气氛中烧结有最大晶粒尺寸, 分别为 19 μm 和 25 μm 。 Gd_2O_3 含量增加到 10 wt% 时, 晶粒尺寸变化不明显。随着烧结气氛中的氧含量增加, 晶粒尺寸增大, 这与 Ho 和 Radford^[12] 的结果一致。

表 7 不同条件制备的芯块的平均晶粒尺寸

燃料方式	烧结气氛	Gd_2O_3 含量	平均晶粒尺寸
		wt%	μm
干混	还原	0	7~15
	微氧化	0	9~19
	还原	3~10	4~7
	微氧化	5	10
	还原	3	7~8
	微氧化	3~10	11~25
湿混	还原	3~10	5~21
	微氧化	3~10	11~25

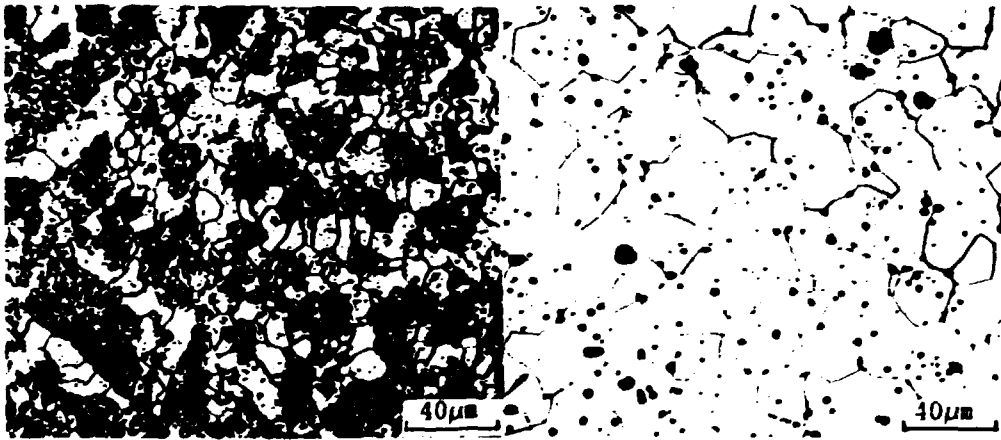


图 4 烧结气氛对晶粒组织的影响

a——3 wt% Gd_2O_3 , 还原气氛;

b——7 wt% Gd_2O_3 , 微氧化气氛

随着混料时间的延长, 芯块的晶粒尺寸也增加。延长混料时间, 有利于粉末团聚状颗粒破碎, 使两种粉末的弥散均匀性提高, 有利于晶粒生长。

烧结温度对晶粒尺寸有明显的影晌。芯块为 3 wt% Gd_2O_3 , 干混, 在相同的烧结时间和烧结气氛(还原气氛)中, 当烧结温度从 1550 $^{\circ}C$ 升高到 1850 $^{\circ}C$ 时, 晶粒尺寸从 1 μm 左右增大到 14 μm 。

烧结时间与芯块的平均晶粒尺寸的关系见表 8。在同样的烧结温度和气氛下, 24 h 再烧结的芯块的平均晶粒尺寸稍有增大。

表 8 烧结时间对晶粒尺寸的影响

混料方式	烧结条件		Gd ₂ O ₃ 含量, wt%	平均晶粒尺寸, μm	
	初烧结	再烧结		初烧结后	再烧结后
湿混	微氧化	微氧化	0	13	17
			3	12	18
	气氛	气氛	7	19	22
			10	18	22
干混	24 h		7	14	16
			10	14	15

2.3 孔隙结构

芯块的孔隙结构与燃料在堆内的尺寸稳定性有关, 合适的孔径分布能使肿胀与致密化相互补偿, 从而实现燃料在堆内的尺寸稳定^[13]。国外的堆内、外试验结果^[14]表明, 稳定燃料的特征是: 平均孔径为 2~38 μm, 晶粒度大于 8 μm, 芯块密度为 91~98% T. D., Gd₂O₃-UO₂ 芯块的孔隙结构除了与烧结温度和时间有关外, 还与烧结气氛、Gd₂O₃ 颗粒大小、混料方式和时间等有关。

孔隙的形貌与烧结气氛有关, 还原气氛烧结的小孔多, 孔隙内表面粗糙, 形状不规则, Gd₂O₃ 含量较高的芯块 (如 7~10 wt%) 易产生宏观或微观裂纹 (见图 3)。微氧化气氛烧结的小孔少, 孔隙内表面光滑且比较规则, 分布较均匀 (见图 5)。大的孔隙主要分布在晶界上 (见图 4 b)。

芯块的开口孔隙率与 Gd₂O₃ 含量成正比 (见图 6)。在 Gd₂O₃ 颗粒细小并与 UO₂ 粉末混合的比较均匀时, 烧结气氛对开口孔隙率没有明显的影响, 两种气氛 (还原和微氧化) 烧结, 芯块的开口孔隙率都小于 1.0%。

Gd₂O₃-UO₂ 芯块的孔隙结构还与混料方式有关, 对于干混和湿混, 在相同的烧结时间和温度下, 采用微氧化气氛烧结, 干混芯块的总孔隙比湿混的多, 形态不如湿混的规则, 湿混有利于粉末的团聚状颗粒细化与分散, 烧结芯块的组织均匀; 而干混只能达到粉末团粒之间的均匀, 烧结芯块的组织不如湿混的均匀。

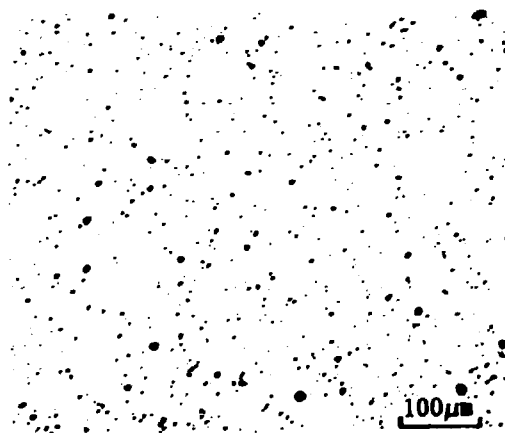


图 5 微氧化气氛烧结的芯块的孔隙结构

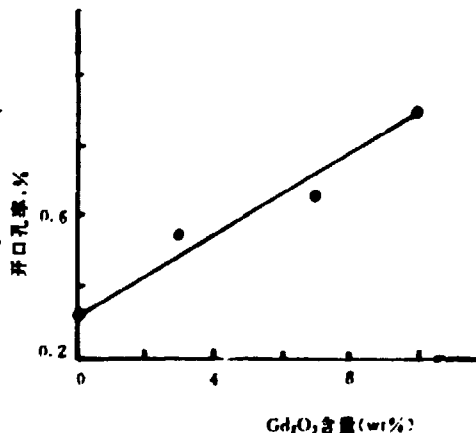


图 6 Gd₂O₃ 含量对开口孔隙率的影响

孔隙数量、大小、形态及分布还与 Gd_2O_3 粉末颗粒大小和含量有关。 Gd_2O_3 颗粒较大，还原和微氧化气氛烧结后，芯块中较大的 Gd_2O_3 颗粒中心形成较大孔隙，颗粒越大孔也越大，芯块烧结密度随 Gd_2O_3 含量的增加而减小，含 10 wt% Gd_2O_3 的芯块在 1700℃ 烧结 6 h，密度只有 90% T. D.，即使在 1850℃ 烧结 3 h 密度也只有 92% T. D.。当 Gd_2O_3 颗粒细小时，烧结芯块的密度高，大孔少。7 wt% Gd_2O_3 芯块中 Gd_2O_3 颗粒较大时，10 μm 以上的孔占孔隙总体积的 24% 以上； Gd_2O_3 颗粒细小时，10 μm 以上的孔只有 2%~10%。芯块的孔隙孔径分布见图 7（湿混，10 wt% Gd_2O_3 ，微氧化气氛，密度 94.82% T. D.）。孔径大于 10 μm 和小于 1 μm 的孔隙分别占孔隙总体积的 6.3% 和 3.5%。测量的孔隙总体积（4.92%）与水测法测定的（5.18%）基本一致，最大孔径为 40 μm ，最小孔径为 0.25 μm 。这个结果验证了用扫描电镜-图像处理测量芯块的孔径分布的方法是可行的。

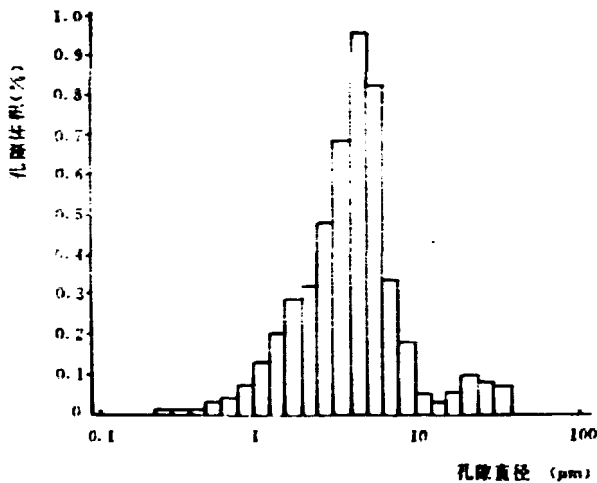


图 7 Gd_2O_3 - UO_2 芯块的孔径分布

2.4 点阵常数

当 Gd_2O_3 的颗粒细小，分布均匀，且含量低于 10 wt% 时， UO_2 与 Gd_2O_3 的混合物在适当的烧结条件下生成以 UO_2 为基体的面心立方 $(U_{1-x}Gd_x)O_2$ 固溶体（见图 8）。其点阵常数和理论密度随 Gd_2O_3 含量的增加而线性减小（见图 9）。当 Gd_2O_3 团粒粗大，或混料不均匀，或烧结条件不满足时，就会出现 $(U_{1-x}Gd_x)O_2$ 以外的相，如游离 Gd_2O_3 、富 Gd_2O_3 的固溶体和游离 UO_2 等（见图 10），因此就会出现多种化合物的衍射线相互重叠，影响测量精度。

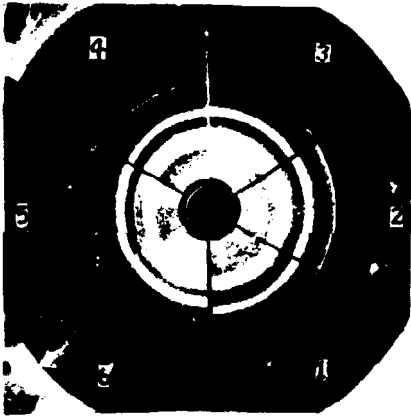


图 8 0~10 wt% $Gd_2O_3-UO_2$ 固溶体和 Ag 的背衍射相
1, 2, 3, 4, 5, 6 分别为
0, 2, 4, 6, 8, 10 wt% Gd_2O_3



图 10 混料不均匀的芯块中多种化合物的背衍射相 (10 wt% Gd_2O_3)

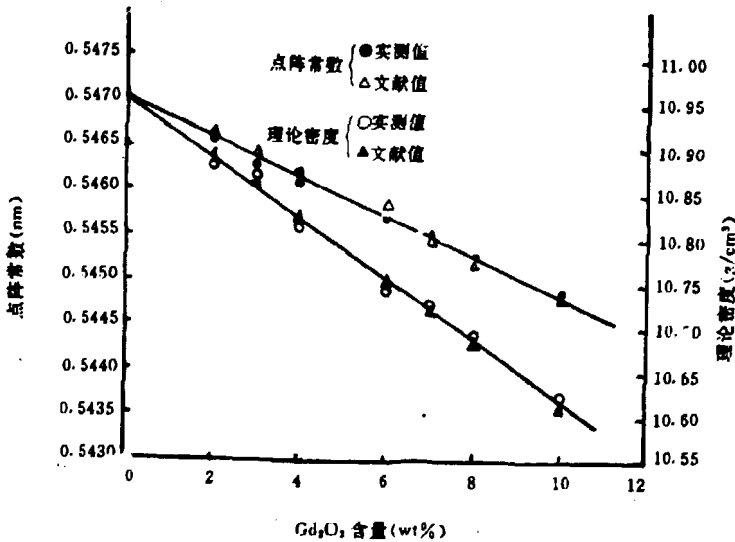


图 9 Gd_2O_3 含量对固溶体溶体和 Ag 的背衍射相点阵常数和理论密度的影响

3 结论

(1) 生坯中 Gd_2O_3 颗粒较大时, 大的 Gd_2O_3 颗粒在芯块中起造孔剂的作用, 在 Gd_2O_3 颗粒中心形成大孔, 孔隙边缘是游离的 Gd_2O_3 或富 Gd_2O_3 区, 造成固溶体含量少且成分不均匀, 芯块密度偏低, 难以达到使用要求。

(2) $Gd_2O_3-UO_2$ 粉末经湿混后生坯, 微氧化气氛烧结的芯块, 基本上都为成分单一的

固溶体, Gd_2O_3 微观分布均匀, Gd_2O_3 颗粒细小, 干混微氧化气氛中烧结, 游离相基本消失, 但固溶体成分稍有差异。

(3) 微氧化气氛烧结有利于固溶体的形成, 且芯块的密度高、晶粒均匀。还原气氛烧结的 Gd_2O_3 含量较高的芯块 (如 7~10 wt%) 易产生宏观或微观裂纹。

(4) 彩色定量金相法测量游离 UO_2 含量是准确的, 但测量游离 Gd_2O_3 含量时, 结果偏大。

(5) $(U_{1-x}Gd_x)O_2$ 固溶体的点阵常数和理论密度随着 Gd_2O_3 含量的增加而线性减小。

参加本工作的还有卢怀昌、蒋宏曼、邱邦巨。

参 考 文 献

- [1] Anderson R O et al. *Trans. ANS*, 1979, 33: 791~792
- [2] Erberg K et al. *Trans. ANS*, 1981, 38: 184~185
- [3] Bairiot H IAEA-CN-42/49, 1982
- [4] Rothleder B M et al. *Trans. ANS*, 1982, 41: 596~597
- [5] Radford K C et al. *Nucl. Technology*, 1983, 60: 352
- [6] Issued by IAEA, IAEA-TECDOC-479, 1988, 32~128
- [7] 刘永康等. 中华人民共和国国家标准 GB4930
- [8] 高耀华, 卢怀昌, 潘英等. 核工业标准 EJ/T688-9
- [9] Hålk Dahl L Eriksson S. J. *Nucl. Mater.*, 1988, 153: 66~70
- [10] Assmann H et al. *J. Amer. Ceram. Soc.* 1984, 67: 631~636
- [11] Riella, H G et al. *J. Nucl. Mater.*, 1991, 178: 204~211
- [12] Ho S M Radford K C. *Nucl. Technology*, 198673: 350~360
- [13] Yuda R Une K. *J. Nucl. Mater.*, 1991, 178: 195~203
- [14] Amscough J B et al. *J. Nucl. Mater.*, 1974, 52: 191~203
- [15] Assmann H Stehle H. *J. Nucl. Mater.*, 1979, 81: 19~30
- [16] Hart P E Daniel J L. *Ceramic Microstructures* 76 P710, Westview Press, 1977

(京)新登字 077 号

图书在版编目 (CIP) 数据

Gd₂O₃-UO₂ 芯块的均匀性及微观结构研究 = HOMOGENEITY AND MICROSTRUCTURE STUDY OF Gd₂O₃-UO₂ PELLETS/潘英等著. —北京:原子能出版社, 1994. 10

ISBN 7-5022-1244-2

I. G… I. 潘… III. 芯料-堆芯-结构性能-研究 IV. ① TL241. 1② TL351

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 08769 号



原子能出版社出版发行

责任编辑:武洁

社址:北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码:100037

核科学技术情报研究所印刷

开本 787×1092 1/16·印张 1/2·字数 16 千字

1994 年 10 月北京第一版·1994 年 10 月北京第一次印刷

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

This report is subject to copyright. All rights are reserved. Submission of a report for publication implies the transfer of the exclusive publication right from the author(s) to the publisher. No part of this publication, except abstract, may be reproduced, stored in data banks or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher, China Nuclear Information Centre, and/or Atomic Energy Press. Violations fall under the prosecution act of the Copyright Law of China. The China Nuclear Information Centre and Atomic Energy Press do not accept any responsibility for loss or damage arising from the use of information contained in any of its reports or in any communication about its test or investigations.

ISBN 7-5022-1244-2



9 787502 212445 >