

2012-01-793

CNIC 00392

SMI 0003

中国核科技报告

浓缩铀及铀合金达3500MPa的状态方程

EQUATIONS OF STATE FOR ENRICHED
URANIUM AND URANIUM ALLOY TO 3500 MPa

(In Chinese)



原子能出版社

北京 1990 4

中国核情报中心

China Nuclear Information Centre

CNIC-00392

SMI-0003

浓缩铀及铀合金达3500MPa的状态方程

柏朝茂 海玉英 刘金龙 李桢荣

(西南材料研究所, 四川)

摘 要

测量了浓缩铀、贫铀、U-0.57wt%Ti、U-0.33wt%Nb、U-2.85wt%Nb及U-7.5wt%Nb-3.37wt%Zr等六种材料达3500MPa的压缩率,得出了这些材料的状态方程和体积弹性模量。

关键词 浓缩铀 铀合金 压缩率 状态方程

EQUATIONS OF STATE FOR ENRICHED URANIUM AND URANIUM ALLOY TO 3500 MPa

(In Chinese)

Bai Chaomao Hai Yuying Liu Jenlong Li Zhenrong
(SOUTHWEST MATERIALS INSTITUTE, SICHUAN)

ABSTRACT

The volume compressions of 6 cast materials including enriched uranium, poor uranium, U-0.57wt% Ti, U-0.33wt% Nb, U-2.85wt% Nb and U-7.5wt% Nb-3.37wt% Zr have been determined by monitoring piston displacements in a pistoneylinder apparatus with double strengthening rings to 3500MPa at room temperature. The dilation of the cylinder vessel and the press deformation were corrected by some experiments. The calculational data of free from the standard sample closed with used standard sample. The volume compressions of enriched uranium and poor uranium are nearly coincident. Pure uranium is more compressible than uranium alloys. Our values of enriched uranium are in close agreement with values of Bridgman's pure uranium. Besides fitting coefficients of Bridgman's polynomial and Anderson's equation of state and isothermal bulk modulus for the above materials are given.

前言

美国的P. W. Bridgman^[1]于1948年首先公布了纯铀的压缩数据,而浓缩铀的压缩数据到目前为止国内外未见公开报道,有关铀合金的压缩数据的资料也很少。即使合金成分相同,冶炼工艺和热处理条件也直接影响合金的物理机械性能。本工作用国产原料对核工业中常用的浓缩铀、贫铀及其富铀合金U-0.57wt%Ti, U-0.33wt%Nb, U-2.85wt%Nb和U-7.5wt%Nb-3.37wt%Zr的压缩性能进行了实验研究,得到了上述材料达3500MPa的压缩数据,并给出了各自的状态方程系数和体积弹性模量。

1 实验

纯铀及合金铸坯经热处理之后加工成 $\phi 9.7 \times 10 \text{mm}^2$ 的圆柱,用排液(四氯化碳)法测密度。合金元素及杂质含量是直接取从实验后的样品上取样分析的。图1为高压装置示意图,带加强外箍的活塞缸装置,放在50吨材料试验机上进行压缩实验。样品用四支包封。试验机的压力指示已事先标定。压缩位移用两块千分表同时测量,取平均值作为表现原始位移。用升降压过程测得的压缩曲线,可得出扣除摩擦以后的实测位移,然后用下面公式计算样品在压力p时的体积:

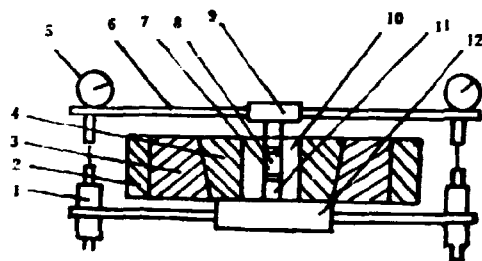


图1 高压装置示意图

1. 调节表杆; 2. 安全箍; 3. 加强外箍; 4. 加强内箍; 5. 千分表; 6. 表支杆;
7. 垫片; 8. 样品组件; 9. 上压砧; 10. 压缸; 11. 下压砧; 12. 下支座。

$$V_p = \frac{M_1}{D_1} \cdot A + \frac{M_{21} - M_{20}}{D_2} \cdot B + S_0(1+A) \left\{ [L_{s0} - \Delta L_s] - [L_{10} - \Delta L_1] \right\} \quad (1)$$

其中:

$$L_{s0} = (M_s/D_s + M_{20}/D_2)/S_0$$

$$L_{10} = (M_1/D_1 + M_{21}/D_2)/S_0$$

上述式中, V_{s0} 和 V_s 分别为样品在常压和压力p时的体积; L_{s0} 和 L_{10} 分别样品组件和标样组件在常压下的长度; ΔL_s 、 ΔL_1 分别为样品组件和标样组件在压力p时的长度变化; M_s 、

M_{20} 分别为样品实验中标品和钨的质量; M_1, M_{21} 分别为标样实验中标样和钨的质量; D_1, D_2, D_3 分别为样品、标样和钨的密度; $S_0, S_p (1+A)$ 分别为常压和压力 p 时压缸孔的横截面积; A, B 分别为标样(铁)和钨的体积压缩比 V/V_0 。

若不用标样,可直接用下式计算样品的体积:

$$V_3 = S_0(1+A) [L_{30} - \Delta L_3 + \Delta C] - M_{20} \cdot B/D_2 \quad (2)$$

其中 ΔC 为高压装置的纵向变形修正,由一次采用短塞子,另一次采用2.5cm的长塞子代替实际使用的1.5cm的短塞子分别作两次空白实验,用下式计算 ΔC :

$$\Delta C = [(\text{压砧长度} + \text{短塞子长度}) / (\text{压砧长度} + \text{长塞子长度})] \times \Delta L_1 + (\Delta L_1 - \Delta L_2) \quad (3)$$

另作两次实验,使硬质合金YG6(压缸材料)与纯铅Pb用量不同,其中YG6为含Co 6%,含WC 94%的合金,用下式计算压缸孔的横截面积的膨胀修正:

$$1+A = \frac{B}{D_{r_1}} \cdot \frac{m_1 M_2 - m_2 M_1}{S_0(m_2 L_1 - m_1 L_2)} \quad (4)$$

其中:

$$L_i = L_{i0} - \Delta L_i + \Delta C \quad i=1, 2$$

上式中, m_1, m_2, M_1, M_2 分别表示两次实验中硬质合金YG6和纯铅(Pb)的质量, D_{r_1} 表示Pb的密度, B 表示Pb的比体积 V/V_0 。

2 结果和讨论

我们测得的高压装置压缸孔横截面积的膨胀修正 $1+A$ 和装置的纵向变形修正 ΔC 如表1,表中也列出了文献(2)给出的 $1+A$ 。

表1 高压装置的变形修正值

压力, MPa		500	1000	1500	2000	2500	3500	3500
1+A	本文	1.0009	1.0020	1.0033	1.0049	1.0068	1.0089	1.0112
	文献(2)	1.0007	1.0015	1.0026	1.0040	1.0056	1.0077	1.0100
$\Delta C, \text{cm}$		0.0041	0.0087	0.0132	0.0175	0.0219	0.0282	0.0304

上述实验数据可用下面经验公式表示:

$$1+A = 1 + 1.476 \times 10^{-6} p + 4.92 \times 10^{-10} p^2 \quad (p: \text{MPa})$$

本工作测得的 $1+A$ 比文献(2)偏高,这是由于装置的设计差异引起的。

我们用公式(1)和(2)同时计算了六种材料的体积压缩,两种算法所得结果一致,数据绘于图2中,图中也绘出了文献(1)所得纯铀结果。从图2可以看出,在实验压力范围内,六种材料均未发生相变,其压缩率由大变小的次序是: ^{235}U , ^{238}U , $\text{U}-0.33\text{Nb}$, $\text{U}-7.5\text{Nb}-3.37\text{Zr}$, $\text{U}-0.57\text{Ti}$ 和 $\text{U}-2.85\text{Nb}$ 。浓缩铀和贫铀的压缩状况基本一致,其差异由杂质含量不同引起(浓缩铀含Al600ppm,贫铀中含Al150ppm)。我们的浓缩铀压缩数据与文献(1)的

纯钛数据的合。本实验给出的非合金钛的体积弹性模量 $B_0 = 0.9 \times 10^5 \text{MPa}$ 与文献 [10] 中的值 $1.1 \times 10^5 \text{MPa}$ 相近。

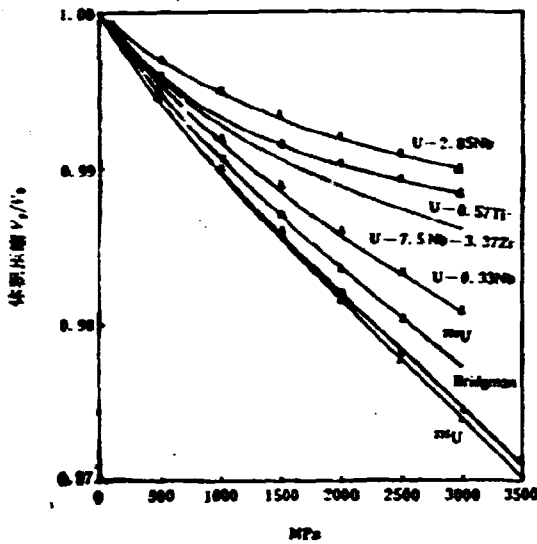


图2 铀钒合金体积压缩

用微机对实验数据进行处理，得到了 Bridgman 状态方程

$$\Delta V/V_0 = ap + bp^2 + cp^3 \quad (5)$$

和 Anderson 状态方程

$$V/V_0 = 1 - \left(\frac{P}{B_0}\right) + m \left(\frac{P}{B_0}\right)^2 - n \left(\frac{P}{B_0}\right)^3 \quad (6)$$

的拟合系数 a, b, c 和 B_0, m, n 。上述各值列于表2中。

表2 浓缩铀及铀合金的状态方程参数

系数	浓缩铀	铀 铀	U-0.57Ti	U-0.33Nb	U-2.85Nb	U-7.5Nb-3.37Zr
Bridgman 方程 $\Delta V/V_0 = ap + bp^2 + cp^3$						
$a \times 10^{-8}$	-11.20	-11.08	-8.884	-9.277	-6.682	-9.289
$b \times 10^{-9}$	1.304	1.994	2.085	1.501	2.087	2.874
$c \times 10^{-11}$	-1.538	-2.780	-3.376	-1.796	-3.264	-4.485
Anderson 方程 $V/V_0 = 1 - \left(\frac{P}{B_0}\right) + m \left(\frac{P}{B_0}\right)^2 - n \left(\frac{P}{B_0}\right)^3$						
$B_0 \times 10^5$	0.893	0.903	1.126	1.078	1.500	1.076
$m \times 10$	1.040	1.624	2.642	1.744	4.674	3.331
$n \times 10^3$	1.095	2.044	4.815	2.249	1.094	5.596

3 结 论

(1) 在实验压力范围内,六种材料均未发生相变,其压缩率由大变小的次序是:浓缩铀、贫铀、U-0.33wt%Nb、U-7.5wt%Nb-3.37wt%Zr、U-0.57wt%Ti和U-2.85wt%Nb。

(2) 浓缩铀与贫铀的压缩数据基本一致,其差异由杂质含量不同引起。

(3) 本工作的浓缩铀压缩数据与文献 [1] 的纯铀数据吻合,我们测得的非合金铀的体积弹性模量与文献 [3] 的值相近。

参 考 文 献

- [1] P.W.Bridgman, Rough compressions of 177 substances to 4000kg/cm², Proc. Am. Acad. Arts Sci. 76 (1948) 71-87.
- [2] S.N.Vaidyn and G.C.Kennedy, Compressibility of 18 metal to 45 kbar, J. Phys. Chem. Solids, Vol. 31(1970), 2329-2345.
- [3] Г. Я. 谢尔盖耶夫等著, 陆翻译, 铀及反应堆材料的金属学, 上海科学技术出版社, 1966年版, 第70页。

液相轴及轴合金达3500MPa的状态方程

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

河北省香河源庄印刷厂印刷

☆

开本787×1092 1/16 印张1·字数18千字

1960年4月北京第一版·1990年4月北京第一次印刷

印数1—120

ISBN7-5022-0292-7

TI·114

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT



ISBN 7-5022-0292-7

TL - 114

P.O.Box 2103

Beijing, China

China Nuclear Information Centre