

铀合金的评定

原子能出版社

45.46413

铀合金的评定

鈷合金的評定

W. C. Erickson 等

姚敏智譯 陈志奇校

原子能出版社出版

新华書店北京发行所发行·新华書店經售

(只限国内发行)

☆

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印张 $1^{1/2}$ ·字数32千字

1974年4月北京第一版·1974年4月北京第一次印刷

印数001—3700·定价：0.18元

統一書号：15175·020

內 容 簡 介

鉴于在使用鈾合金时，要求具有較高的强度、塑性和抗腐蝕性能，本文专题介紹了鈾合金的研制和鉴定情况，綜合报道了各种鈾合金的机械性能、金相、硬度和腐蝕数据。对二十三种鈾合金的鉴定結果表明，U-Ti 合金具有良好的机械性能，而 U-Nb 合金具有最好的抗腐蝕性能。該資料可供从事这方面工作的人員和其他有关人員参考。

本文譯自一九七二年九月发表的美国洛斯阿拉莫斯科学实驗室报告 LA-5002, Evaluation of Uranium Alloys, 作者 W. C. Erickson, G. E. Jaynes, D. J. Sandstrom, R. Seegmiller, J. M. Taub.

本文由姚敏智同志翻譯，陈志奇同志校对。

一、引 言

在很多情况下使用鈾合金时，要求同时具有较高的强度和塑性，既能抗氧化又能抗应力腐蚀。为满足以上要求，洛斯阿拉莫斯科学实验室 (LASL) 材料工艺组开始了一项鈾合金研制计划，以对其进行研制和鉴定。

我们把有关文献提出来的几种合金做为进一步评定的依据。虽然我们知道当材料中含有很少的碳和硅时，机械性能就会有显著的改变。但在此项工作中我们仍以非合金鈾作为标准。Mulberry 合金(U-7.5Nb-2.5Zr)的抗腐蚀性能是众所周知的，所以用它来做为腐蚀试验中的对比样品。属于U-Nb系的合金在抗腐蚀方面也被公认为较好，因而我们也考察了含有2—6%铌的合金。

加拿大军备研究和发展部门 (CARDE)^[1]对几种鈾合金已作了研究。其目的是：(1)为了提高合金的强度，确定合金元素的最低添加量；(2)确定合金的机械、物理和化学性能；(3)研究热处理对其性能的影响。我们选择了其中两种合金，U-2Mo-2Nb 和 U-2Nb-2V，作进一步研究；并对另外两种稍加改进提出了基本成分为U-2Mo-3Nb和U-2Nb-1Zr的两种合金。

美国军事部门正在研制一种结构鈾合金。美国军用材料研究公司^[2]发表的报告中已包括了U-Mo-Nb-Zr-Ti合金系。其中 U-1.5Mo-1.5Nb-1.5Zr-0.5Ti 合金的性能受到了洛斯阿拉莫斯科学实验室的重视。我们把它列入目前这项研究工作中。

31054

在这项计划中还评定了几种其它合金。这就是U-Ti系合金, U-0.5Ni, U-0.5Cr, U-0.5Ni-0.5Cr, U-1.5Mo-0.5Ni-0.5Cr, U-1.5Mo 和 U-2Nb-2Ti。

对合金在铸造、均匀化处理以及经加工和热处理等状态下的性能进行了评定。对铸态和经均匀化处理的材料评定包括腐蚀(氧化)试验、硬度测试和金相观察。对于经过加工的材料还要测定机械性能。

本报告综合报道合金的机械性能、金相、硬度和腐蚀数据。Sandstrom^[3, 4]已更详细地介绍了这些资料。

二、試驗程序

鑄造

合金用高频感应电源(3000赫兹)熔配, 铸成8吋×8吋×1/2吋的板锭。熔化时使用的石墨坩埚内表面有 Mo-ZrO₂ 火焰喷涂层。铸模内表面涂刷硅化锆, 以防止铀合金增碳。全部铸造在低真空(约100微米水银柱)下进行。

在炉料中配入合金元素或预制的中间合金。铀、锆、钛、镍和钒以纯金属元素形式作为炉料。预制成中间合金的是 U-6.5Nb, U-10Mo 和 U-5Cr。

軋制

轧制铀合金用的是一台布里斯(Bliss)两辊式轧机, 轧辊直径8吋, 宽20吋。轧制前轧辊用红外线灯预热到100°C左右。

在625°C α相区轧制的合金是在 65%KCO₃-35%LiCO₃

盐浴中加热的。此盐的熔点为 510°C ，与铯几乎没有反应。当铯从盐浴中取出时，其表面形成一层熔融盐液的保护膜，在铯与空气接触时，它可以保护铯不发生强烈的氧化和着火。

在 γ 相区 (800°C) 轧制的合金是放入具有氩气介质的赫斯金斯 (Hoskins) 马弗炉内加热的。为了尽量减少氧化及着火的机会，板料在转入马弗炉前，先在盐浴内预热至 650°C 。这道工序在每道轧制后都要进行。

热处理

铯合金在 625°C 退火时，在盐浴内并在真空中进行；在 800°C 退火时在真空中进行。上面提及的 $\text{KCO}_3\text{--LiCO}_3$ 盐可用于 625°C 盐浴退火。在真空中退火时，将铯包装在铜套内，在热处理过程中不断地抽真空。在 625°C 热处理的样品于空气中冷却，而在 800°C 热处理的样品则用水淬。

曾经研究了均匀化处理对显微组织的影响。均匀处理依合金而定，但都在真空炉内进行，在真空中冷却。

金相评定

非合金铯样品经电抛光后用偏光做了检验与照相。铯合金样品则用机械抛光，并按标准的金相技术进行腐蚀。

机械性能试验

机械性能试验在一台 Instron 拉力试验机上进行，用一个 Instron 型固定式标准拉力计来测量。丁字头*速度定为 0.050

* 原文本是 Cross-heat, 可能是 Cross-head 之误——译者

时/分。为了测定伸长率，试样每增1/4时时，刻划出标记。

所用板状拉力试样大约长4时，比拉力计标准长度短 $1\frac{1}{8}$ — $3\frac{3}{8}$ 时。试样厚0.060—0.080时。试样表面状态有两种：第一种是轧制后经热处理的表面。这些试样经磨削除掉材料表面的任何损伤和变脆部分。这些试样由于氧化膜剥落，妨碍对厚度的准确测量，不能测定伸长率。

后一种试样仍取自板材，并将其表面进行磨削。除此之外，还对这些试样的经加工减薄的断面进行铣面，除去表面的氧化膜。

腐蝕試驗

鈾合金的抗氧化性能试验在四种不同的条件下进行：260°C，大气湿度；120°C，大气湿度；120°C和0.5大气压的（水—蒸汽）压力；60°C，100%相对湿度。这些试验均在恒温空调箱内进行。利用蒸馏水来获得相对湿度为100%的介质。用醋酸钾溶液来保持0.5大气压的蒸汽压力。

三、結 果

铸造了20多种鈾合金（其中包括非合金鈾），并对其做了不同程度的评定。对所有合金的显微组织、硬度和抗腐蚀（氧化）性能进行了评定。对于以两相为主的、或在潮湿空气中抗腐蚀差的，或两者兼有的合金，不再往下评定。其余的合金测定机械性能。

表I列出了所研究的合金和主要合金元素的分析结果。光谱全分析结果见附录。

表 I 铀合金的名义成分

合金系	批 号	合 金 成 分 (% 重 量)						
		Nb	Mo	Ti	Zr	V	Ni	Cr
U	68165	—	—	—	—	—	—	—
U-Mo	52734	—	1.5	—	—	—	—	—
U-Ti	52712	—	—	0.7	—	—	—	—
	52740	—	—	0.8	—	—	—	—
	52711	—	—	1.6	—	—	—	—
	52770	—	—	1.6	—	—	—	—
	52702	2.2	—	—	—	—	—	—
U-Nb (二元系)	52701	3.4	—	—	—	—	—	—
	52704	4.0	—	—	—	—	—	—
	52771	4.7	—	—	—	—	—	—
	52705	5.1	—	—	—	—	—	—
	51193	6.0	—	—	—	—	—	—
U-Nb (多元系)	52714	1.9	—	0.9	—	—	—	—
	52709	2.5	—	—	—	1.7	—	—
	52733	1.5	1.5	0.6	1.4	—	—	—
	52706	1.9	2.2	—	—	—	—	—
	52772	2.2	2.1	—	—	—	—	—
	52728	2.7	2.0	—	—	—	—	—
	52708	2.4	—	—	1.0	—	—	—
	52783	6.9	—	—	2.7	—	—	—
	52727	—	—	—	—	—	2.0	—
	52729	—	—	—	—	—	—	2.2
U-Ni- Cr-Mo	52698	—	—	—	—	—	0.5	0.5
	52697	—	1.5	—	—	—	0.5	0.5

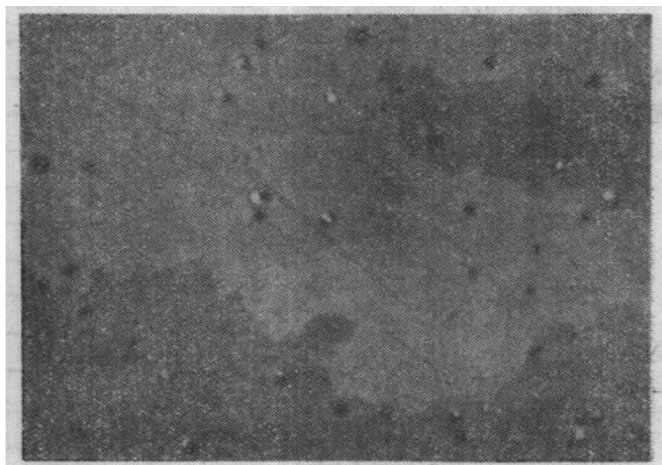
将数据按照所研究的四种合金 U-Ti, U-Ni-Cr-Mo; U-Nb, 及 U-Nb 为基的多元合金分组, 非合金铀及 U-1.5Mo 的数据单独列出。

非合金铀

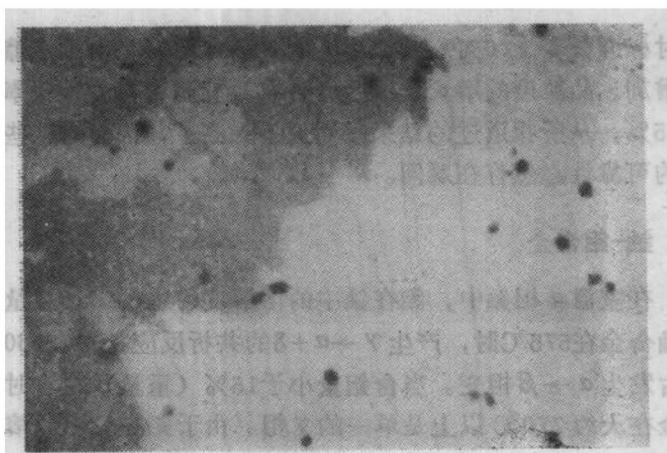
铸造了一块非合金铀板, 以用作对比的基础, 铀从熔点开始在冷却过程中经历两次相转变。第一次是 772°C 时的 $\gamma \rightarrow \beta$ 相变, 第二次是 662°C 时的 $\beta \rightarrow \alpha$ 相变。

铸件密度是 18.932 克/厘米^3 , 铸态硬度是 220DPH, 在 625°C , 经八小时均匀化处理, 并在真空中冷却后其硬度值下降到 190 DPH。这种材料的金相组织基本上是单相的。其中存在一些类似碳化物的夹杂 (图 1)。

经加工的非合金铀在五种不同状态下的机械性能列于



a) 铸态



b) 625°C, 8 小时真空退火

图 1 铸造非合金铀的显微组织, 100X

表 I。某些数据需要进一步说明。首先, 由于金属中有 H_2 的含量, 盐浴退火和真空退火材料的抗拉、屈服强度和伸长率都有显著的差别。铀在退火时的这种效应, Hanks, Taub 和 Doll^[5] 曾作过介绍。从 γ 相淬火的材料伸长率比较低 (在

表 I 經加工的非合金铀的机械性能

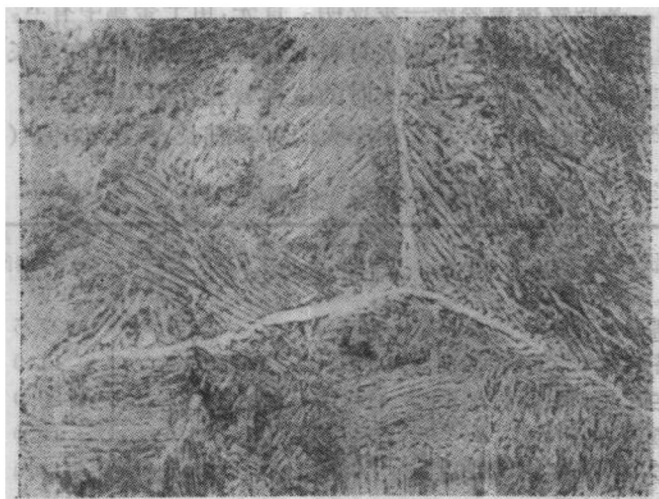
状 态	抗 拉 强 度 (千磅/时 ²)	屈 服 强 度 (千磅/时 ²)	伸 长 率 (1 时内的 %)
轧制	146.5	86.0	27.5
盐浴退火, 625°C, 1/2 小时	93.4	42.0	11.0
真空退火, 625°C, 1/2 小时	114.3	43.0	29.0
自 850°C 水淬	89.9	35.0	10.0
自 850°C 水淬, 并經 625°C 1 小时真空退火	94.3	39.5	10.0
	—	—	—

1吋标准长度上10%)，其原因不明，估计可能是由于空隙量的增加，晶粒度的增大，或两者皆有。轧制材料的伸长率是27.5%，从所报道过的结果来看似乎太高了，因而对这些数据的可靠性必然存在疑问。

鈾-鉬合金

在室温 α 相鈾中，鉬在鈾中的溶解度约达0.2%（重量）。富鈾合金在575°C时，产生 $\gamma \rightarrow \alpha + \delta$ 的共析反应，并在660°C左右发生 $\alpha \rightarrow \beta$ 相变。当含鉬量小于15%（重量）左右时，合金在大约770°C以上是单一的 γ 相。由于鉬在鈾中的溶解度有限，常常在铸造鈾中加入0.25%（重量）左右的鉬，以细化晶粒。

经测定，铸造合金U-1.54Mo的密度为18.684克/厘米³。





b) 經 1000°C , 4 小时和 1050°C , 4 小时均匀化处理

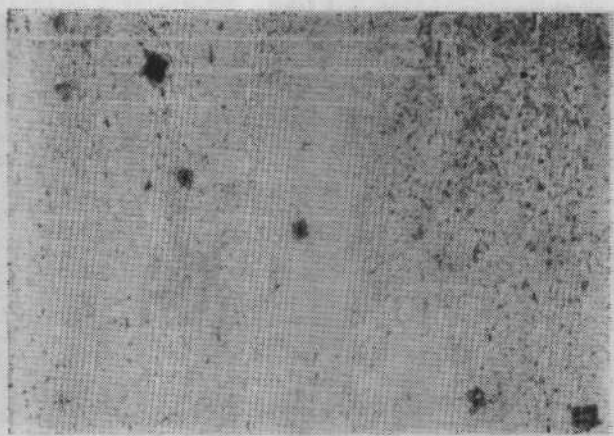
图2 鑄造合金 U-1.5Mo 的显微組織, 250X

在此状态下其硬度为 285DPH。经真空 1000°C , 4 小时退火以及 1050°C , 4 小时退火后, 该硬度沒有明显的变化。铸态的和经均匀化处理的材料的金相组织如图 2 所示。

U-1.5Mo 合金在 625°C 或 800°C 轧制。在这两个温度轧制后得到两种不同的显微组织, 如图 3 所示。在 800°C 轧制的材料具有再结晶组织。

此合金在 850°C 退火并经水淬的样品所具有的显微组织如图 3b 和 3d 所示。在 800°C 轧制的样品, 其轧制状态下的显微组织与热处理后的显微组织只有很小的差别。然而经 625°C 轧制的合金, 在这两种状态下显微组织之间的差别则比较显著。

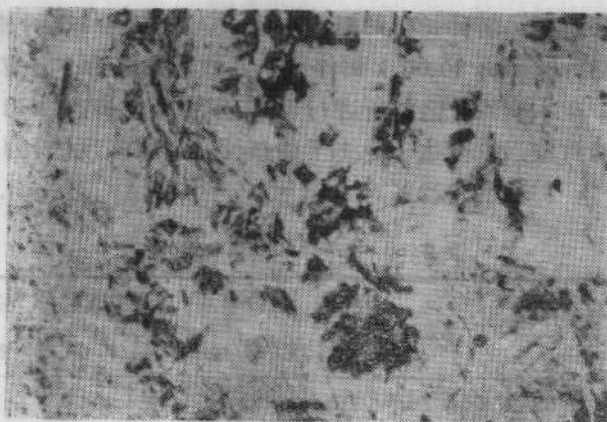
轧制温度和热处理对硬度和机械性能的影响列于表 I。 800°C 轧制的合金, 其抗拉强度和屈服强度比 625°C 轧制的合



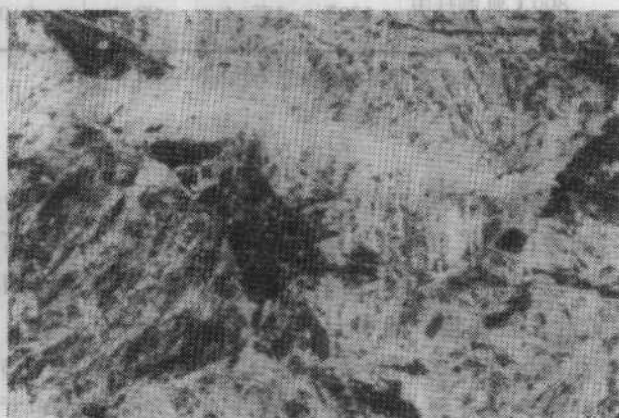
a) 625°C 軋制, 250 X



b) 625°C 軋制并在850°C退火, 水淬, 500 X



c) 800°C 軋制, 250 X



d) 800°C 軋制并在850°C退火, 水淬, 500 X

图3 經加工的 U-1.5Mo 合金的显微組織

金显著地高，而伸长率则相应地减小。此合金经这两种温度轧制后，随即由 800°C γ 相淬火，其性能数据看不出有什么不同。在本项试验之前所进行的工作指出，铸态 U-1.5Mo 合金的抗拉强度可达 125.1 千磅/时²，屈服强度达 54.4 千磅/时²，伸长率为 22%。

表 I U-1.5Mo 的机械性能

合 金	状 态	硬 度 (DPH)	抗拉强度 (千磅/时 ²)	屈服强度 (0.2) (千磅/时 ²)	伸 长 率 (1吋内的%)
U-1.5Mo	625°C 轧制	310	134.0	54.1	9.0
	800°C 轧制	345	155.4	88.9	3.0
	600°C 轧制并由 850°C γ 相淬火	380	170.5	102.3	9.0
	800°C 轧制并由 850°C γ 相淬火	100*	177.4	93.4	8.0

* 根据文意判断可能将 400 误印为 100——译者

铀-钛合金

铀-钛合金在大约 890°C 以上完全互溶，且铀是其中熔点最低的成分，熔于 1130°C。富铀合金在 723°C，含 0.8%（重量）或 4%（原子）钛时发生共析反应。低于 $\alpha \rightarrow \beta$ 相变温度 667°C 时，钛在铀中基本上不固溶。

加钛合金 (U-0.7Ti, U-0.8Ti 及 U-1.5Ti) 均在 625°C α 相区轧制，未开裂。轧制后，这些合金在 625 或 800°C 热处理。铸造合金 U-1.5Ti 也在 1000°C 保温 4 小时及 1050°C 保温 4 小时进行均匀化处理。

上述状态 U-Ti 合金的硬度和铸态密度均列入表 IV。可

以看出，硬度随钛含量的增加而增加。同时，所有合金经800℃水淬热处理后产生最高的硬度。铸态 U-1.5Ti 合金经均匀化处理后，硬度没有显著变化。

表 IV U-Ti 合金的密度和硬度

合金成分	铸态密度 (克/厘米 ³)	硬 度 (DPH)				
		铸态	均匀化	轧制	625°C, 空气中冷却	800°C, 水 淬
U-0.7Ti	18.654	285	—	395	315	415
U-0.8Ti	18.602	310	—	320	335	435
U-1.5Ti	18.229	390	380	400	310	615

含 0.8% 钛的铸造合金的金相组织如图 4 所示。可以看出，合金具有近共析成分。轧制状态的组织与合金在 625°C 退火的组织相似。加热到 800°C 使加工后的组织进行再结晶。



a) 铸 态