

稀 有 金 属 丛 书

鈮

蓝 兰 编译

本文集包括十八篇文章。这些文章主要是根据国外近年来发表的大量资料編譯的。书中较为系统地介绍了金属铌及其合金的基本知识，论述了金属铌及其合金的冶炼和加工工艺现状，铌的电子轰击熔炼，高强度铌合金的发展，铌合金的抗氧化性，等等。

本文集可供稀有金属生产的工程技术人员，研究人员和有关的大专院校师生阅读。

稀有金属丛书 铌

蓝 兰 編譯

冶金工业部科学技术情报产品标准研究所

书刊編輯室編輯（北京灯市口71号）

中国工业出版社出版（北京东黄城根西110号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张 $9^{13/16}$ · 字数 260,000

1964年1月北京第一版·1964年1月北京第一次印刷、

印数 0001—1,540 · 定价 (10-6) 1.55 元

统一书号: 15165·2424 (冶金-409)

前 言

近年来鈮和鉬可能应用在尖端技术、国防工业和原子能工业中的事实,日益引起人們注意。但由于对于鈮的注意及有关鈮的研究工作的发展还是比较晚近的事情,因此,国内外出版物中关于金属鈮及其合金的詳尽而又系統的专著是不多的。

我們編选这本集子的目的是向有关方面的讀者介紹关于金属鈮及其合金的基本知識。所包括的文章一部分是选譯自 Gonsers 編“鈮的工艺学”(Technology of Columbium [Niobium], 1958), 另一部分是根据国外文献資料由編譯者編写的总结或評述性文章。除了力求系統地反映金属鈮及其合金的冶金和工艺問題的現狀之外,也着重地論述了关于鈮的电子轰击熔炼技术,高强度鈮合金的发展及鈮合金的抗氧化問題这几个新的課題。

在編写中有一部分材料參照了下列二书:

[1] Miller, G. L., "Tantalum & Niobium", Metallurgy of Rarer Metals, No. 6, 1959.

[2] Захарова, Г. В., Попов, И. А., Жорова, Л. П. и Федин, Б. В., "Ниобий и его сплавы", 1961.

我們沒有把所涉及的全部原始文献列在文后,需要查閱原始文献的讀者可以从上列二书的文献索引中查得,而仅仅把上书中所沒有提到的文献在有关的地方加以援引。翻譯的文章則仍按原来体例,未加更动。

編譯者的学識水平极有限,所作的編譯工作是很不成熟的,不恰当的或甚至謬誤的論断一定不少,衷心地希望得到讀者的批評和指正。

藍 兰

1963年2月

目 录

前 言

引 论：关于铈发展的概况	1
元素铈及其化合物的性质	13
铈冶金学评述	44
溶剂提取法分离铈和铈的新进展	71
用环己酮由硫酸溶液萃取铈和铈	83
液体-液体萃取法制备高纯铈、铈氧化物	97
电解法制取高纯金属铈的研究	107
铈在烧结过程中的真空反应	123
铈的粉末冶金工艺	151
铈的熔炼	167
金属铈的加工	181
铈的金属镀层	189
铈板材的拉伸性质和轧制结构	198
金属铈范性至脆性的转变	209
铈基合金的平衡性质	227
铈基合金的力学性质	252
稀土金属添加剂对于V _a 族金属范性的影响	269
抗氧化铈合金的发展	274

引 論：关于鈮发展的概况

近年来高温技术的迅速发展，迫使人们去试图应用许多不寻常的金属，金属鈮就是其中一个突出的例子。由于鈮所具有的高熔点，以及它独特的范性和冷加工性能，因此在一群高温金属中它表现出值得人们注意的特色。金属鈮和鈮基合金肯定具有相当高的可能应用的价值。

1. 鈮的来源

鈮并不算是一种很稀有的金属。根据估计，它在地壳中的总含量是 $3.2 \times 10^{-5}\%$ （重量）。在自然界中，鈮总是无例外地与鉭共存。

含有鈮的矿石很多，差不多将近 100 种，但是其中含鈮较丰富而且有工业价值的却极少。

鈮和鉭的硫化物在自然界并不存在。在矿石中它们一般与一种或数种其它金属形成复式含氧化合物，以鈮酸盐和鉭酸盐的形式出现。其中鈮和鉭可以彼此置换，形成一系列连续的同结构的化合物，无论结构形式和物理性质均无所改变，仅仅比重不同。

工业生产中应用的含鈮矿石主要的是鈮铁矿（Columbite）和烧绿石矿（Pyrochlore）。

鈮铁矿是含铁和锰的复式鈮鉭氧化物，通式可以写作 $(\text{Mn}, \text{Fe})\text{O} \cdot (\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_5$ 。其中各种金属元素的含量在很宽的范围变动。富鈮的矿石中所含 Nb_2O_5 可达 77%。一个典型的分析结果是：68% Nb_2O_5 ，10% Ta_2O_5 ，15% MnO ，10% FeO ，0.5% ThO ，0.5% TiO_2 及其它。

鈮铁矿一般是呈铁黑色或暗褐色的不透明的矿石，莫氏硬度指数是 6 左右，具有金属或琥珀光泽。因鈮鉭的相对含量不同，比重在 5.3—8.0 之间。

另一种重要矿石是烧绿石矿，它是含钙和钠的复式鈮鉭氧化

物，其中并含有不同量的鉄、鈦、稀土金属、氟等，有时也含有鈷和鈾。一般呈褐色或黄色，不过它的颜色相当多样，由透明到不透明。莫氏硬度指数是5左右，比重4.2—4.36。

烧綠石矿的化学組成更为复杂，下面是一个大致含量范围的示例：0—70% Ta_2O_5 ，0—65% Nb_2O_5 ，2—14% TiO_2 ，0—5% ThO_2 ，1—6% Na_2O ，0—0.5% WO_3 ，2—13% RE_2O_3 （稀土氧化物），0—4% SnO_2 ，0—11% UO_2 ，0—15% UO_3 ，4—18% CaO ，0—1.5% K_2O ，0—7.8% MnO ，0—10% FeO ，0—6% H_2O ，0—5% V_2O_5 ，0—9.7% Fe_2O_3 ，0—4% F ，等等。

鈮鉄矿一般含于产錫石的花崗岩中，而烧綠石矿則含于一种所謂碳酸岩中。

西方国家鈮矿石的主要产地是非洲：尼日利亚、刚果、罗得西亚、烏干达、莫三鼻給和南非联邦。此外加拿大、巴西和挪威也有比較重要的矿藏。

苏联也拥有丰富的鈮矿藏。

2. 鈮的用途

近代，鈮主要的用途是下面这几个方面：（1）以鈮鉄或鈮鉬鉄的形式用作鋼的合金添加剂；（2）作为合金元素用于各种特殊有色合金；（3）碳化鈮或其它硬质化合物用作硬质合金的組元；（4）純金属鈮也用于电真空器件及化学工业中以及用作鈎棒等。不过，更加吸引人們注意的是鈮未来的可能应用方面：高温高强度的新型鈮基超合金，以及鈮在原子核能工程中作结构材料、包复材料或核燃料合金添加剂的应用，关于这些，我們在本文后面討論。

2.1 含鈮不銹鋼

奥氏体鎳鉻不銹鋼在尚未硬化的状态下（例如由1000°—1100°C淬火之后），其中所含的碳主要留在固溶体中。在500°—900°C回火会使碳化鉻（其中含鉻高达90%）在晶粒間界发生沉淀。这样，晶粒中接近晶界的那些地区的鉻含量便大大降低，这也

就相应地降低了这些地区的抗腐蚀性能。

铌以铌铁或铌钼铁的形式加入奥氏体型镍铬不锈钢，能够改进后者的晶粒间界抗腐蚀性。铌的加入是起一种稳定剂的作用，它生成极为稳定的碳化铌，避免了铬成为碳化铬进入晶粒间界而引起的耗损。这样就保持了铬的抗腐蚀作用，改进了钢的高温强度。

在西方国家中，用铌或铌钼稳定化的 18/8 不锈钢一般称为“347 型”和“348 型”不锈钢，其中铌或铌钼的含量最低是含碳量的 10 倍，即约为 0.8% 左右。当铌铁原材料供应发生困难时曾用低碳钢（“304L”，“304LC”）或钛稳定化不锈钢（“321”）代替铌稳定化不锈钢。曾经有人对这几种型号的钢的性能作过比较。结果指出：与“304L”型钢相比，“347”型钢的高温强度和浇铸性能均较好；锻造性质，工件的表面质量及焊接性质都比较优越；用作高温应用的零件时损坏率低很多。

钛稳定化不锈钢也具有不少缺点：钛在奥氏体型不锈钢中虽然可以起稳定化作用，可是它的加入生成了大量的富钛夹杂物（主要是氧化钛和氮化钛）；这些夹杂物的存在会降低机械加工和轧制板材的表面质量，降低加工成品的合格率。另一方面，在最后成品中钛只留下原始配料成份的 55%—60%，而铌总是留下 95%，铌的耗失量不超过 5%。在切屑重新熔炼时钛几乎全部耗失，而铌可保存 60—90%。含铌的钢在浇铸时流动性较好，因此铸件质量也较高。铌稳定型不锈钢的高温长期强度肯定地优于钛稳定型不锈钢。根据这种理由，人们认为含铌不锈钢肯定优于其它相近型号的钢。

含铌不锈钢最主要的应用方面是制造化学工业和石油工业的大型设备，在高温以及和腐蚀性介质接触的条件下使用。另一个重要的应用方面是制造喷气式推进机的某些部件，这些方面的前途都是远大的。由于蒸气涡轮发动机是朝着更高的工作温度和压力方面发展，而含铌不锈钢具有高强度和抗腐蚀性，把它用于转子和蒸气管道的制造必将有助于发动机效率的提高。此外，由于

含鈮不銹鋼具有短促的輻射半衰期和優良的抗腐蝕性能，在原子能工程中相當大量地用作結構材料。

此外也曾報導鈮加入低碳鋼可以提高它的抗蠕變強度，不過所需鈮與碳含量之比必須高達 25:1。也曾研究過鈮在高鉻鋼 (2—16%Cr) 中所起作用，確定了鈮可以：(i) 大大降低高鉻鋼的空氣硬化特性，(ii) 避免回火變脆，以及 (iii) 提高抗蠕變強度。

2.2 高溫合金

鈮的第二個主要應用方面是用作若干特殊高溫合金中的少量合金添加劑。這些高溫合金是鎳鉻基或鈷基合金，一般習慣稱之為“超合金”，它們主要用於渦輪機和噴氣式發動機的某些部件，使用的溫度上限是 900°C 左右。關於鈮在不銹鋼及超合金中所起的作用問題的研究早在 40 年代便已迅速開展。近年來，這方面的應用正在逐步增長，有人認為鈮在這方面的應用會超過在不銹鋼方面的應用而躍居第一位。

鈮作為合金添加劑在超合金中的用量大致是 0.45%—4.0% 左右。鈮的加入提高了超合金的高溫強度，以及它們的高溫范性。除此之外，含鈮量較高的合金均具有優良的抗熱震性，這表明鈮的加入也在提高高溫合金的抗熱震性方面能起有利作用。

在被強化的合金基體中，如果存在精細分散的且不可溶的穩定硬相粒子，那末就會增進合金抵抗形變的能力。經驗表明，鈮和鉭在超合金中所起這方面的作用是卓越的。

這組高溫合金由於它們具有特別高的強度，因此加工比較困難，在加工中必須仔細地制定並嚴格遵守恰當的熱加工規程，這樣才不致發生開裂。鈮的加入能夠使鑄錠的晶粒結構細化，因而使合金具有較佳的热加工特性。

表 1 列出了若干含鈮超合金的典型化學成份，所有合金中所含余量均為鐵，未在表中列出。

曾經報導：含鈮的磁性合金磁性很好，具有很高的矯頑力。

鈮加入鋁合金也能使晶粒細化，使合金組織均勻化，因而改

进了铝合金的性能。在铜合金中加入 1.5% Nb 能使之在高温下保持其强度。

表 1 若干含铌超合金的典型化学成份

合金 %	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	Co	V	W
H46	0.15	0.40	0.55	11.5	—	0.45	0.25	—	0.30	—
FV448	0.10	0.40	0.90	10.5	—	0.60	0.45	—	0.15	—
18/12/Nb	0.08	0.50	1.50	17.5	12.0	—	0.90	—	—	—
FV326	0.25	0.80	3.00	16.0	18.5	2.5	1.75	7.0	—	—
G18B	0.40	1.00	0.80	13.0	13.0	2.0	3.0	10.0	—	2.5
S590	0.40	0.70	1.50	20.0	20.0	4.0	4.0	20.0	—	4.0
S816	0.40	(Fe 2.8)		20.0	20.0	3.75	4.0	44.0	—	4.0
N155	0.15	0.50	1.50	21.0	20.0	3.0	1.25	20.0	—	2.5

2.3 铌的其它用途

铌的硬质化合物（碳化铌）可作为硬质合金的一种组元而应用。硬质合金一般是钴或镍粘结的碳化钨和碳化钛材料。在这种硬质合金中加入一定量的碳化铌和碳化钽，可以使这种材料所制成的切削刀具与切削碎屑粘连的倾向性降低，因而延长刀具寿命。此外，碳化钽和碳化铌还能延滞碳化物相的结晶过程，可保证材料具有比较细的晶粒结构和较佳的韧性。碳化钽（铌）与碳化钛所起的综合效果在提高材料的高温硬度方面特别令人满意。

曾经有报导，在 WC—TiC—Co 材料中加入 1—3% 的 TaC—NbC 的硬质合金适于制造切削铸铁的刀具；含 3—10% TaC—NbC 的材料适于切削软铸铁和软钢；含 10—30% TaC—NbC 的材料适于切削一般的钢。再提高 TaC—NbC 的含量便无助于提高材料硬度。

表 2 和表 3 列出了加入了 TaC—NbC 添加剂的 WC—TiC—Co 材料的若干性质。

在热加工（锻造）模具材料中，铌和钽碳化物添加剂对性质也起有利作用。当钴和钽的含量均高时（15—30%），材料在工作

表 2 若干含TaC—NbC硬质合金的性质①

WC	成分(%)			密度 克/厘米 ³	洛氏硬度 R _A	维氏硬度 公斤/毫米 ²	横向断裂 强度 公斤/毫米 ²	压缩强度 公斤/毫米 ²	弹性模量 公斤/毫米 ²	热导系数 卡/厘米·秒·°C	热胀系数 ×10 ⁻⁶
	TiC	TaC— NbC	Co								
85	4	1	10	13.2—13.4	89—90	1350—1450	170—190	—	55000	0.134	—
80.5	5	5.5	9	13.1—13.3	90—91	1400—1500	170—200	—	5600	—	—
77	6.5	9	7.5	12.5—12.7	91—92	1550—1650	140—160	—	—	0.127	5.5
59	7	22	12	12.3—12.5	89—90	1300—1400	160—180	—	—	—	—
76	7.5	6.5	10	12—12.2	89—90	1350—1450	170—200	450	5200	0.113	6.0
73.5	10	8	8.5	11.8—12	90.5—91.5	1450—1550	140—160	—	—	—	—
72.5	10	8	9.5	11.7—11.9	90—91	1400—1500	150—175	—	—	—	—
71.5	10	8	10.5	11.7—11.8	89—90	1350—1450	160—190	—	—	—	—
62	12	18	8	11.7—11.9	91—92	1600—1700	120—140	510	63000	—	—
59*	12	18	11	11.4—11.6	90—91	1400—1500	130—150	400	56000	—	—
69.5	12.5	8	10	11.2—11.4	90.5—91.5	1450—1550	140—170	—	—	—	—
70.5	13.5	7.5	8.5	11.1—11.3	91—92	1500—1600	130—150	470	50000	0.06	5

續表 2

WG	成分 (%)			密度 克/厘米 ³	洛氏硬度 RA	維氏硬度 公斤/毫米 ²	橫向斷裂 強度 公斤/毫米 ²	壓縮強度 公斤/毫米 ²	彈性模量 公斤/毫米 ²	熱導系數 卡/厘米·秒·°C	熱脹系數 × 10 ⁻⁶
	TiC	TaC-NbC	Co								
84	3	7	6	12.6—12.8	—	—	—	—	—	—	—
81	3.5	3.5	12	12.8—13	—	—	—	—	—	—	② 4.5—5.6
83.5	4	6	6.5	12.7—12.9	90.5—91.5	1550—1650	150—170	—	—	—	—
82	5	3	10	13.0—13.2	—	—	—	—	—	—	—
81	5	5	9	13.0—13.2	89—90	1350—1450	175—190	—	—	—	4.81—5.80
78	9	3	10	12.0—12.1	—	—	—	—	—	—	—
74.5	13	4	8.5	11.5—11.7	90—91	1450—1550	155—165	—	—	—	4.85—5.76
69.5	18	5	7.5	10.4—10.6	90.5—91.5	1550—1650	130—140	—	—	—	4.83—5.73
70	20	1	9	10.6—10.8	—	—	—	—	—	—	—
50.5	38	5	6.5	8.5—8.7	91—92	1600—1700	95—105	—	—	—	—
51	40	3	6	8.3—8.5	—	—	—	—	—	—	—

① 本表引自 Kieffer und Schwarzkopf: Hartstoffe und Hartmetalle, 1953; 第 6 頁上是美國工作者的結果, 本頁所列是歐洲工作者的結果。

② 本欄前後兩個數值分別表示 0°—300°C 和 300°—600°C 範圍內的热脹系數。

溫度 (1000°C) 下具有很優良的抗熱震性, 此時材料中含鈮的量約在 7 % 以下。

表 3 TaC—NbC 含量對於硬質合金若干性質的影響

成 分 (%)				洛 氏 硬 度 R _A	橫向斷裂強度 公斤/毫米 ²	密 度 克/厘米 ³
WC	TaC- NbC	TiC	Co			
94	0	0	6	91	180	14.9
84	5	5	6	89.5	130	13.0
79	10	5	6	90	120	12.63
69	20	5	6	90+	110	12.25
49	40	5	6	89.5	90	11.26
24	65	5	6	88.5	70	12.29
79.5	5	9.5	6	89.5	125	11.8
74.5	10	9.5	6	90	115	11.5
64.5	20	9.5	6	90	100	11.0
44.5	40	9.5	6	90	90	10.6
24.5	60	9.5	6	89.5	65	9.7
74	5	15	6	90.5	120	10.98
69	10	15	6	90.5	110	10.75
64	15	15	6	90.5	100	10.59
59	20	15	6	90.5	95	10.03
54	25	15	6	90	95	9.80
24	55	15	6	89.5	70	8.96

鈮曾廣泛地用於電真空器件中, 這乃是由於鈮的熔點高, 蒸汽壓低, 具有范性, 容易加工成型(抽絲、軋為箔片)和焊接, 在電子管工作溫度與碳、氮、氧的化學亲和力甚高(吸氣本領)以及抵抗化學侵蝕的能力較強。鈮也具有這些特點, 而且在高溫下還具有優良的發射電子的特性, 因此有人認為鈮可以在更加嚴格的條件下使用。

鈮和鈮的氧化物曾被用於若干化學反應中作為催化劑。鈮和鈮的氫化物曾被用於作為金屬與陶瓷材料封接劑中一種組元。

鈮在不銹鋼的釐焊工藝中也起重要作用, 鈮加入焊棒, 可以提高焊縫地區的耐腐蝕性和強度。

3. 展 望

3.1 原子能工程的发展和铯的应用

原子能工程对于材料的要求是极其严格的。用于反应堆中高温裂变区的材料除了必须具有足够高的长期（抗蠕变）强度之外，还必须具有一定核子性质和优良的化学稳定性。具体地说，要求所使用的金属材料具有尽可能低的中子俘获截面，在反应堆工作温度下与核燃料及热传递介质尽可能不起作用。此外，对于材料的热学性质，加工性能及焊接性能都提出严格而复杂的要求。

金属材料在反应堆中主要是用作结构材料和核燃料的包复材料，前者是构成整个系统的构架。同时，为了容纳核燃料的裂变产物，为了避免核燃料元件为热传递介质所侵蚀，并且为了避免核燃料元件的形变，必须用一种复蔽材料把燃料元件包复起来。如所周知，提高反应堆的工作温度就意味着提高热效率，因此要努力提高材料所能承受的高温。

关于金属铯性质的研究已经表明铯具有一系列优良特性，并说明有可能使铯基材料成为比较理想的反应堆结构材料和核燃料的包复材料。

目前使用的金属材料，主要是具有低中子俘获截面的铍、锆、镁和铝，它们也都具有比较优良的抗腐蚀性能。铯与这些金属相比，中子俘获截面虽然略高，可是铯的熔点和高温强度却远远超过上面那些金属材料。因此，为了反应堆设计的进一步发展，应该考虑铯的应用。

铯和钽虽然在许多方面性质相近，可是核子性能比钽优越：中子俘获截面比钽低，同时由辐照而感生的放射性也比钽低。因此，铯比钽适于原子核能工程方面的应用，而且在应用时应该尽可能地除去其中所含的钽。

铯在高温下与金属铯可以相容。在液体金属钠或钠钾合金中被侵蚀的速率极低，因此可以满足对化学稳定性所提出的要求。

在其它物理性质方面，金属鈮也是能够满足要求的。这些所要求的性质中包括热导率，热膨胀系数和蒸汽压。为了提高热量由核燃料向冷却液流传递的效率，包复材料应该具有优良的热传导性，而且为了改进力学性质或其它目的所加入的合金添加剂应该尽量不使热导率显著降低。其次，为了防止热膨胀不均匀所引起的問題，人們希望包复外壳与燃料元件的热膨胀系数相近。除此之外，特别是对气体冷却反应堆中应用的材料，要求在工作温度之下具有尽可能低的蒸汽压；这是为了防止包复材料随着冷却流体发生耗失，随即又淀积在热传递循环系统的較冷部分。关于这些要求，虽然所获得的有关鈮的資料还很有限，不过却足以說明鈮所具有的性质是足够优良的。

在力学性质方面要求材料在高温下具有高的屈服应力与断裂强度，高的弹性模量和抗蠕变强度。并要求具有足够的范性，使之不致在工作中发生脆断。此外，材料要能够进行加工和焊接，制成包复外壳。根据鈮的高温强度，冷范性和加工性能看来，鈮基材料是能够作为合适的包复材料使用的。

根据这些因素，人們认为在原子能工程中鈮基合金是极有希望的材料。

金属鈮或鈮基合金在反应堆中除了可能用来作结构材料和包复材料之外，某些情况之下还可以把鈮用来作为核燃料的合金添加剂。例如，在金属鈾中加入 10(at)%Nb 可以使体心立方结构的 γ -鈾在室温下稳定。 γ -鈾与 α -鈾比較起来，前者抗腐蚀性能和一些其它冶金性能均較优越。因此，由核燃料的观点看来，鈾基鈮合金值得注意。

3.2 鈮基超合金

在科学技术突飞猛进的时代里，各种尖端技术对于高温材料的要求极为迫切。数年前发展的“超合金”已經远远不能满足使用的要求。人們在寻求着能够在 1000°—1500°C 或更高的温度下可以满意使用的金属材料，希望这些材料不但具有优良的高温强度和范性，并且还具有优良的抗氧化性能和适中的密度。这样，

人們的注意便自然地落到周期表中那些高熔点的过渡族金属上。经过现实的比較和选择，目前先进国家的冶金学家都一致认为錫、鉬、鈮、鉭四种金属是最有希望的超高温合金基体材料。

在表 4 中列有熔点在1900°C以上的几种高熔点金属的一些特性数据。

表 4 高熔点金属

元 素	結 构	熔 点 °C	密 度 克/厘米 ³	楊氏模量 10 ⁶ 磅/吋 ²	E/ ρ 10 ⁶
錫	体心立方	3410	19.3	50	2.59
鈮	六方密排	3180	20.0	67	3.35
鉬	体心立方	2996	16.6	27	1.63
鉭	六方密排	2700	22.5	80	3.51
鉭	体心立方	2625	10.2	45	4.41
鈮	体心立方	2468	8.57	15	1.76
鈮	六方密排	2450	12.2		
鈮	面心立方	2443	22.5	75	3.33
鈮	六方密排	2220			
鈮	面心立方	1966	12.4	41	3.31

錫、鉬、鉭、鈮四种金属具有特別高的高温强度：重量比率，与其它高熔点金属相比价格比較低廉，儲藏量也比較丰富。这四种金属抗氧化性能都較差，在不高的溫度下便生成不具保护性的氧化壳层，迅速发生氧化。它們都具有体心立方結構，像其它体心立方結構的金属一样，在低温下发生范性-脆性轉变；由于低温范性不高，因此在加工中发生困难。

在这組金属中鈮表現了它自己值得注意的特点。根据1200°C的强度：重量比率加以比較，鈮和鈮合金仅次于鉭和鉭合金，而肯定是超过鉭的。在低温范性、加工性能及焊接性能方面鈮的特性是最优良的，肯定超过鉭合金。在抗氧化性能方面問題也不如錫鉭那样严重，而且通过合金化方法来改善鈮合金的抗氧化性能目前的成果和未来的希望也比錫鉭更大。目前在鈮合金与鉭合金方面积累的資料和知識也比有关錫合金和鉭合金的为多。另外，

鈮在若干强腐蚀性介质中的化学稳定性也非常优良。

根据这些理由，人們认为发展可以在 $1100^{\circ}-1350^{\circ}\text{C}$ 应用的高强度抗氧化鈮合金是极有希望的，它在涡轮发动机，喷气式发动机及以航空工业结构材料方面会获得广泛的应用。

* * *

在下面的章节里，我們將闡述关于鈮的性质，鈮的冶金問題，鈮的加工制造，鈮合金系統以及高强度抗氧化鈮合金的試制等方面国外工作者的研究成果和实践經驗。这些資料对于我們发展鈮及其它类似的金属的工作是有一定参考价值的。这些資料中包含許多宝贵的成功經驗，同时也留下来不少尚待解决或进一步改进的問題，对于若干問題的基本方面我們也尽量作了一些分析。所有这些資料可以作为我們工作中的参考。关于金属鈮和鈮合金的研究直到現在还是正在发展中的課題，目前所注意的主要方面是：（i）鈮合金的試制和加工，（ii）鈮的电子轰击法熔炼与提純技术，（iii）鈮合金的抗氧化問題等。

元素鈮及其化合物的性质

鈮的原子序数是 41，原子量 92.91，是属于周期表中 V_a 族的元素。特点是：鈮最稳定的氧化物 (Nb_2O_5) 是酸性的；卤化物具有挥发性，而且是非极性的；在較低的原子价状态下又表现为硷性。作为一种金属，鈮与周期表中和它邻近的元素一样，具有熔点高的特点。

鈮和鉭极其相似，在矿石中它們往往共存。这个相似关系可能是由于鑪系元素敛集所引起的結果。在依原子序数排列的序列中，稀土元素落在鈮和鉭之間，因而打乱了系之間原子体积递增的周期性。

在 V_a 族元素中，鈮的原子半径是 1.32×10^{-8} 厘米，鉭是 1.43×10^{-8} 厘米，鉭是 1.46×10^{-8} 厘米。在其它性质上，鈮与鉭的相似程度比鈮与鈮相似的程度更大。虽然我們知道 VI_a 族中相应的另一对元素（鋇和鉛）間相似的程度还更加接近，不过这两对元素（鈮和鉭，鋇和鉛）都是一样地具有共存性，在分离中同样存在困难，具有很相似的化学性质。

1. 金属鈮的物理性质

鈮的重要物理性质的数据列在下面。

原子序数：41

原子量：92.91

自然同位素：93

人工同位素：89、90、91、92、94、95、96、97、98 (†)、99。

电子分布：