

钅手冊

212 科技图书馆《钅手冊》翻译组

1972

第4章 机械性能

从1957年起, 7年来有关钕及其合金的机械性能方面的研究成果, 大部份是用杂质为250—1250 ppm的钕制备的试样进行试验得到的。因此, 今后必须研究高纯钕的性能和某些特定杂质对机械性能的影响; 进一步研究热处理、制备方法、微裂纹和试验条件(如应变率、温度和气氛)对钕及其合金机械性能的影响。

4-1 非合金钕

4-1.1 拉伸性能

1958年以前, 钕的拉伸性能资料是有限的。有些研究者^[1-4]报导, 钕的极限强度为45000—56000磅/吋², 0.2%屈服强度为45000磅/吋², 延伸率小于1%, 弹性模量为 11.5×10^6 — 15.5×10^6 磅/吋²。

1958年8月, Gardner和Jefferes^[5]发表了 α 钕拉伸性能的研究结果(表4.1)。他们除了确定拉伸性能外, 还对直径为0.250和0.500吋的试样进行拉伸试验, 并给出了基本上相同的数据, 指出, 试样经过360—400℃ δ 相退火30—90分钟, 也不会对性能产生显著的影响。

(a) 温度的影响 Gardner和Mann^[6]以及French^[7]用铸态钕, 而Horton和Ward^[8]用轧制钕试样, 研究了温度对其拉伸性能的影响。

Gardner和Mann用机加工成直径为0.250吋、计量长度为1吋的锥形夹头试样进行试验, 试验时分离十字头速率为0.015吋/分(相当于应变率为0.0005/分); French则用机加工成直径为0.126吋、计量长度为1吋的锥形夹头试样进行试验, 其应变率为0.0096/分, 试样的总杂质平均含量为500ppm, 其中包括150ppm碳、80ppm铁和各50ppm的铈、铝和氮, 试样密度为19.01—19.58克/厘米³, 平均密度为19.25克/厘米³。当试验温度升高时, α 相的极限强度和屈服强度都有明显的降低(图4.1)。French得到的强度总比Gardner得到的强度高, 这可能是由于前者试验时采用的应变率较快的缘故。French得到的延伸率则较低(当温度为20、50和100℃时, 延伸率分别为0.5、1.0和1.0%)。Gardner发现 α 钕的延伸率从30℃的0.065%增加到70℃的0.46%, 即增加了600%(图4.2), 这表明可能发生了再结晶, 或者是形变机构有所变化^[9]。在所有 α 相试验温度下, Gardner和French都得到了典型的脆性断裂。在 α 相试验的四种温度的应力—应变曲线示于图4.3中^[10]。

图4.4表明, β 相有很好的延展性。French得到的延伸率较Gardner的低, 这可能是由于French采用的试验速度较快引起的。根据Gardner的数据^[6], 在180—190℃时的

表4.1 非合金钎的拉伸性能〔5〕

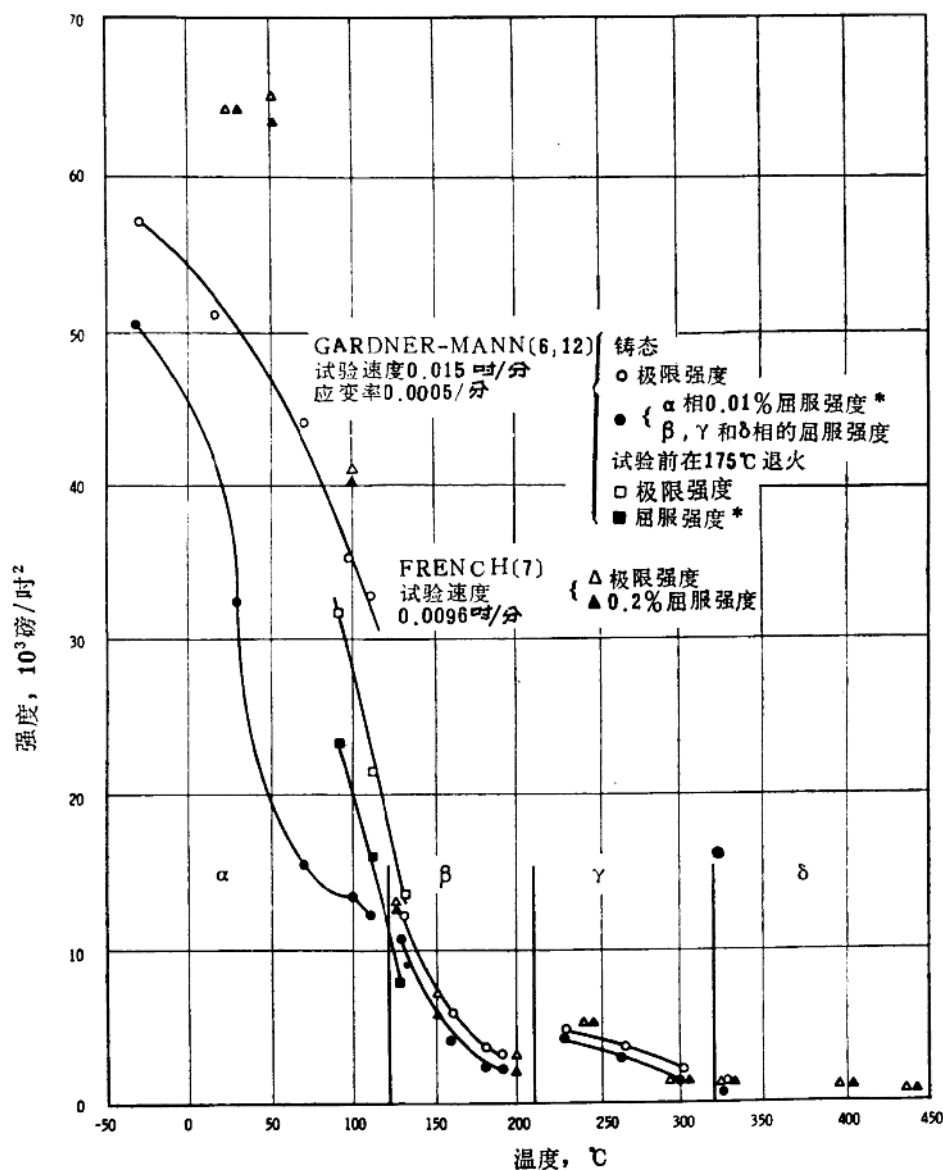
	极限强度 磅/吋 ²	0.2%屈服 强度, 磅/吋 ²	弹性模量 10 ⁶ 磅/吋 ²	弹能模量 吋·磅/吋 ³	金刚石锥体 硬度, 10公 斤负荷	密 度 克/厘米 ³	试验温度 ℃	杂质总含量 ppm	试样数量
直径为0.250吋, 铸态, 经冷处理试样									
最小值	43800	30600	11.5	9.1	250	19.29	29	420	—
最大值	77200	45800	14.6	41.2	283	19.58	35	1129	—
平 均	62800	39200	13.6	23.5	262	19.51	31	975	15
直径为0.250吋, 铸态, 经 δ 相退火和冷处理试样									
最小值	43700	33800	11.4	18.8	250	19.41	28	1500	—
最大值	74300	42000	14.5	45.0	277	19.58	34	1882	—
平 均	61000	38700	12.8	28.6	259	19.51	31	1091	10
直径为0.500吋, 铸态, 经冷处理试样									
最小值	47500	32700	13.6	11.6	260	19.41	31	525	—
最大值	63700	40300	14.9	21.8	276	19.56	37	2510	—
平 均	59100	35300	14.1	16.3	269	19.49	34	1514	8

表4.1 非合金钒的拉伸性能⁽⁵⁾ (续)

	极限强度 磅/时 ²	0.2%屈服 强度, 磅/时 ²	弹性模量 10 ⁶ 磅/时 ²	弹性模量 时·磅/时 ³	金刚石锥体 硬度, 10公 斤负荷	密 度 克/厘米 ³	试验温度 ℃	杂质总含量 ppm	试样数量
直径为0.500吋, 铸态, 经δ相退火和冷处理试样									
最小值	60500	36200	12.9	11.7	266	19.05	30	704	—
最大值	65300	43200	14.2	22.9	275	19.47	37	1610	—
平 均	63100	38900	13.6	18.2	270	19.33	34	1254	3

拉伸试样的化学分析数据, ppm

	Al	Ca	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Si	C	O	H	N	总量	试样数量
最小值	<2	2	5	<2	152	5	5	10	2	40	<10	2	1	—	—
最大值	200	200	250	100	1625	100	100	500	200	550	160	37	92	—	—
平 均	28	26	59	21	614	33	28	100	43	120	84	10	62	1208	30

图4.1 温度对拉伸强度的影响^[6]

* 取负荷—板位移曲线直线部份的偏离点作为0.2%屈服强度。

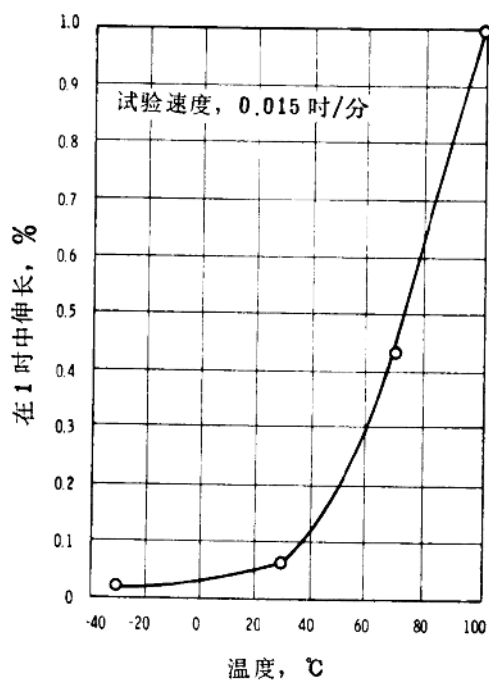


图4.2 试验温度对 α 钛延伸率的影响^[6]。延伸率是画一条与负荷—应变曲线的弹性部份平行的直线，从断裂点到应变轴上得到的。

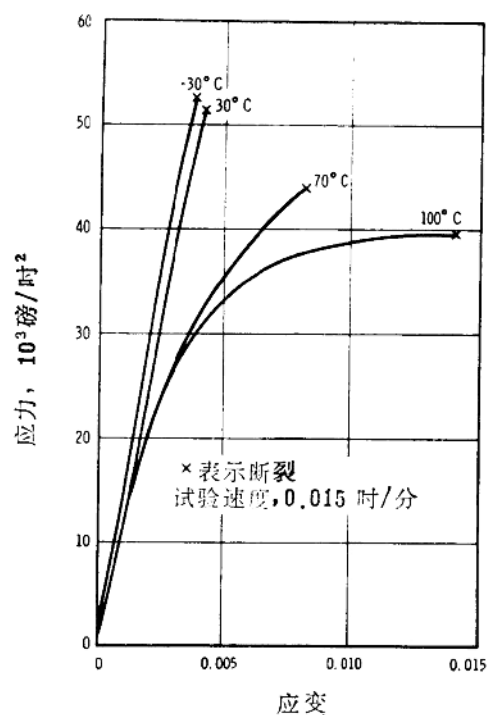


图4.3 拉伸时温度对 α 钛应力—应变曲线的影响^[10]

平均延伸率由503.2降低到325.9%，这表明，在试验过程中发生了 $\beta \rightarrow \gamma$ 相变^[6]。英国研究者^[11]报导， $\beta \rightarrow \gamma$ 相变的热力学平衡温度为184℃；在所有试验温度下截面收缩率都为100%；温度在 β 相范围内升高时强度降低约75%（图4.1）。奇怪的是French与Gardner采用的试验速度不同，而得到的强度数据几乎一样。

试样在175℃退火后，在较低温度下试验得到的 β 相强度和延展性数据表明， β 相的性能已扩展到 α 相温度范围内（见图4.1和4.4），这一结果已由 $\beta \rightarrow \alpha$ 相变动力学数据加以证实^[13]。

图4.1中Gardner和French的数据都表明，随着温度的升高， γ 相极限强度的降低比 α 相和 β 相强度降低小得多，结果在230℃的 γ 相强度比在200℃的 β 相强度高50—75%。根据Gardner的数据， γ 相的延展性随温度的升高而稍有增加，而French报导，300℃时的 γ 相延伸率则为125%。

如图4.1和4.4所示，Gardner只在一个 δ 相温度，即325℃时进行试验，而French则试验到440℃，但他们在325℃时得到的强度和延展性数据是一致的。比较325℃时的 δ 相和300℃时的 γ 相数据可以看出，325℃时的 δ 相强度比300℃时的 γ 相强度降低50%，而延展性则增加34%。当试验温度继续升高时，强度会降低，但延展性基本上不变。

Horton和Ward用 β 相（175℃）轧制的0.048吋厚的轧板制备了薄板试样，并研究了它的拉伸性能（图4.5）。在所有拉伸试验中，他们只

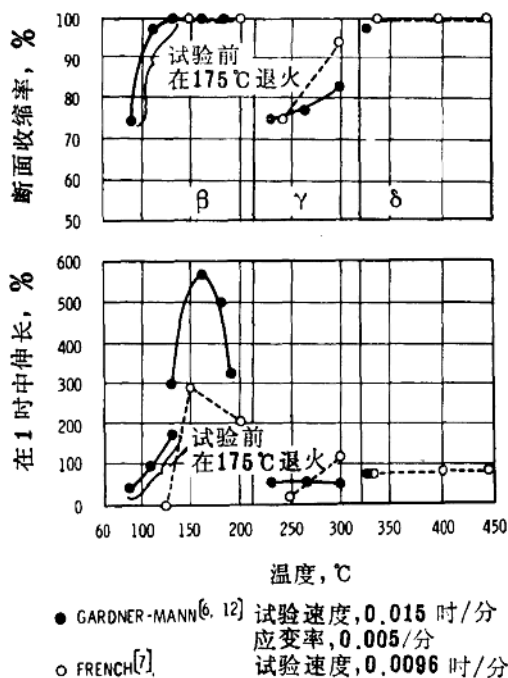


图4.4 温度对钎延展性的影响^[6]

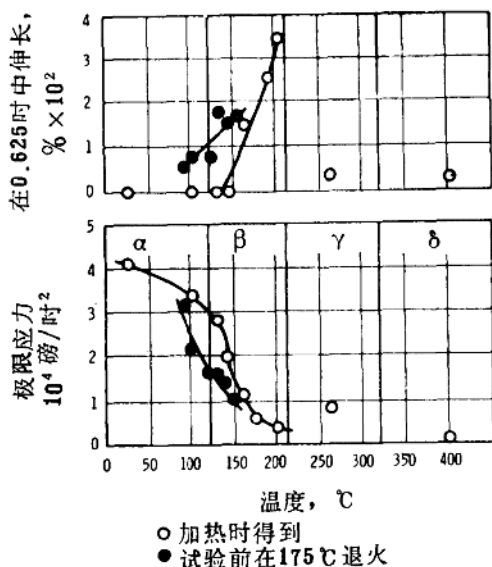


图4.5 Horton-Ward采用 β 相轧板制备的试样得到的拉伸性能数据^[8]

采用一种应变率(0.02/分), 这比Gardner和Mann^(5、6)采用的应变率(0.0005/分)快40倍。由于速率较快, 横截面积就小8倍, 因此, Horton-Ward采用 β 相轧板制备的试样得到的延伸率数据比Gardner和Mann得到的数据低也就不足为奇了。

Horton-Ward得到的极限强度数据比Gardner-Mann得到的 α 相强度数据低, 而比 β 和 γ 相的强度高。较低的 α 相强度可能是由于薄板试样边缘不平整而引起的过早断裂; β 相强度较高则由于采用了较快的试验速度⁽⁶⁾; 另外由于 γ 相对应应变率相对地不够敏感⁽⁶⁾, 因此Horton-Ward得到的 γ 相强度数据较高, 可能是由于它是轧制结构的缘故。

Horton和Ward还研究了铈在 β 相退火(175℃)后, 在 α 相温度试验时的性能。Gardner-Mann也曾对经过类似退火的试样进行试验, 他们得到的强度和延伸率数据, 可以很好地与Horton-Ward得到的数据作充分的比较(图4.4和4.5)。

(b) 试验速度的影响

Gardner和Mann⁽⁶⁾研究了试验速度(或分离十字夹头速率)对铈的拉伸性能的影响。在 α 相(30—100℃)当试验速度为0.25时/分时, 极限强度增加到最大值, 然后下降(如图4.6所示)。铈的强度最初的增加可能是由于加工硬化, 而在较高试验速度下强度反而降低则可能是由于铈的缺口敏感性随试验速度的增加而增加所引起。

在 β 相的整个温度范围内的极限强度和屈服强度都随试验速度的增加而很快增加(图4.7)。当试验温度为130和160℃时, 随着试验速度的增加, 延伸率显著降低; 而温度为190℃、试验速度为0.015、0.060和0.250时/分时, 延伸率却较预想的为低, 这是由于部份 β 相发生了 γ 相转变所引起⁽¹¹⁾, 因为试验速度为1.0时/分时, 总的试验时间虽然很短, 却已使 β 相在190℃就发生 γ 相变而影响试验的结果。在温度为130和160℃下试验时, 截面收缩率随试验速度的增加而降低, 但在190℃时它仍然保持不变, 约为100%。

当试验速度从0.002增加到1.0时/分时, γ 相(265℃)的极限强度和屈服强度都稍有增加, 而截面收缩率和延伸率则有所降低(图4.8)。由于 γ 相的机械性能不受试验速度的影响, 而 β 相则明显地受这种影响, 因此 γ 相比 β 相更容易热加工成型。

(c) 微裂纹的影响 已知铈会产生微裂纹^[13], 但含500—1000ppm铁的高铁铈中, 却存在着抑制微裂纹的Pu—Pu₆Fe共晶网^[6]。Gardner测定了^[5]含极少量微裂纹的高铁铈试样的性能, 得到室温时的平均极限强度为62800磅/时², 它比有大量微裂纹的低铁铈强度数据一般高20%^[6]。如4-1.6节所述, 有大量微裂纹的铈试样的疲劳性能是很差的, 因为在第一次疲劳循环时, 裂纹就开始产生了。当铸态铈有微裂纹存在时, 会大大影响它在较高温相区中的成型性能。

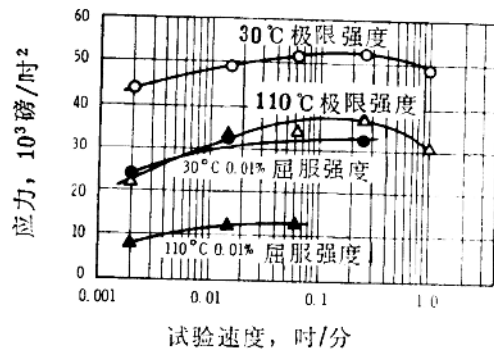


图4.6 试验速度对 α 相拉伸强度的影响⁽⁶⁾

(d) **弹性模量** Laquer⁽¹⁴⁾曾用脉冲超声技术确定了密度为 19.722 克/厘米³的非合金钽的弹性常数, 他得到的弹性模量为 14.40×10^6 磅/吋², 切变模量为 6.29×10^6 磅/吋²。

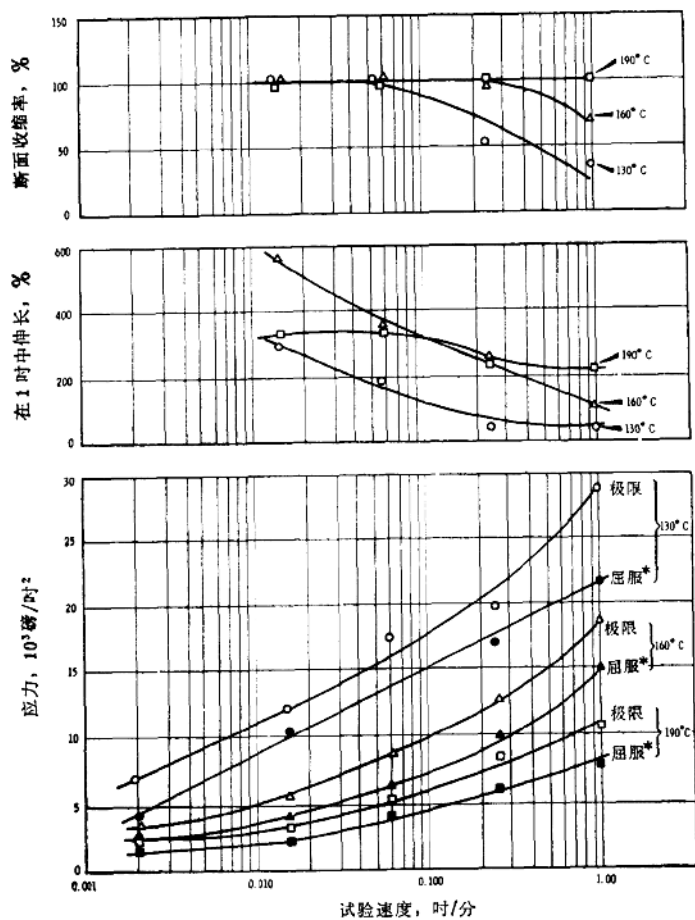


图4.7 在130、160和190℃时试验速度对 β 相性能的影响(*)

*屈服强度由图4.1确定

美国和英国的研究者研究了温度对铎的弹性模量的影响。Gardner和Mann^[6]曾用一种微型伸长仪测定了 α 相的弹性模量；而Kay和Linford^[15,16]则用超声共振方法确定了温度到430℃时的弹性模量（图4.9和表4.2）。用超声共振方法和微型伸长仪方法测得的数据是很一致的。

Linford把在一定温度范围内的切变模量和体积模量数据列在表4.2和4.3中。由表可见，当纯度（以密度表示）增高时，弹性常数也稍有增加。Linford观察到的在 $\beta \rightarrow \alpha$ 相变时弹性模量的增加，与Gardner和Mann^[6]及French^[7]观察到的强度增加很相似。

Linford在比较了几种室温弹性常数数据（表4.4）以后认为，密度相当时，其数据很一致。

Linford确定的弹性模量随温度而变化的数据已列在表4.5中。由表可见，从20℃到100℃ α 相的弹性模量随温度的变化最大。

Linford认为（见表4.6），如果消除了铎试样的微裂纹，弹性常数将会增加。

（c）泊松比 美国，苏联和英国的研究者曾用脉冲共振技术确定了铎在室温时的泊松比。Laquer^[14]根据脉冲技术确定的弹性模量和切变模量，计算出铎的泊松比为 0.15 ± 0.01 。Konobeevsky^[17]用共振技术确定了 γ 相（230℃）挤压

铎的模量并计算出泊松比为0.21。Kay和Linford^[15,16]用超声共振方法计算出正常密度的铸态铎的泊松比为0.175—0.182。Linford得到高密度铎的泊松比为0.186（表4.4）。而DeCadenet^[18]用脉冲技术得到中等密度的铎的泊松比则为0.199（表4.4）。

Linford^[16]研究了温度对泊松比的影响（表4.2），

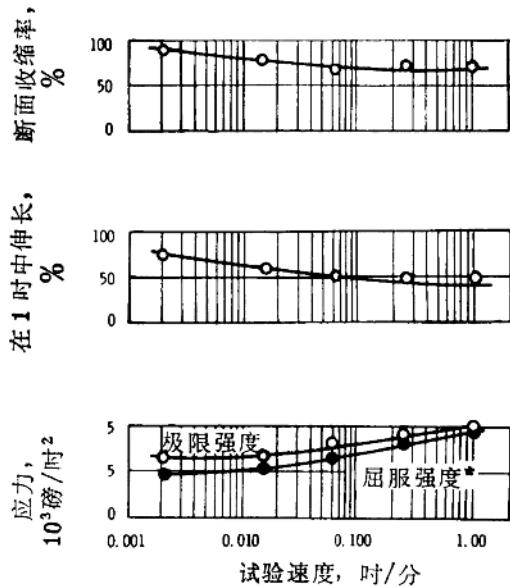


图4.8 在265℃时试验速度对 γ 相性能的影响⁽⁶⁾

*屈服强度由图4.1确定

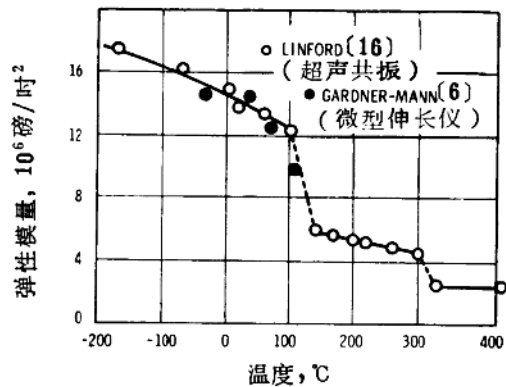


图4.9 温度对弹性模量的影响

表4.2 不同温度下的弹性常数^[16]

温度, °C	相	弹性模量 10 ⁶ 磅/吋 ²	切变模量 10 ⁶ 磅/吋 ²	泊松比	体积模量 10 ⁶ 磅/吋 ²
-170	α	17.35	7.26	0.20	9.63
-80	α	16.00	6.69	0.20	8.90
0	α	14.65	6.17	0.20	8.18
20	α	14.00	6.08	0.16	6.88
60	α	13.30	5.80	0.15	6.33
100	α	12.40	5.45	0.14	5.76
140	β	5.90	2.29	0.29	4.68
170	β	5.58	2.20	0.27	4.05
200	β	5.37	2.12	0.27	3.89
220	γ	5.28	2.13	0.24	3.38
260	γ	4.94	1.97	0.25	3.29
300	γ	4.58	1.52	0.25	3.06
330	δ	2.49	0.87	0.43	5.9
380	δ	2.45	0.84	0.45	8.1
430	δ	2.39	0.81	0.42	4.9

表4.3 铈在室温(20°C)时的弹性常数^[16]

试样	特点	密度, 克/厘米 ³	弹性模量 10 ⁶ 磅/吋 ²	切变模量 10 ⁶ 磅/吋 ²	泊松比	体积模量 10 ⁶ 磅/吋 ²
E1	铸态	19.50	14.15	6.02	0.175	7.26
E3	铸态	19.50	14.17	6.02	0.177	7.32
E4	铸态	19.48	14.26	6.03	0.182	7.47
F2	铸态	19.45	14.00	6.00	0.171	7.08
F3	铸态	19.50	—	6.08	—	—
E5	高密度	19.71	14.60	6.12	0.186	7.74
E6	高密度	19.74	14.73	—	—	—

4-1.2 压缩性能

(a) 温度的影响 Gardner和Mann^[6]广泛研究了温度对高密度铸态铈压缩性能的影响(图4.10)。一般说来, 这种影响与拉伸时相似, 然而高纯铸态铈的压缩极限强度和屈服强度大大高于其拉伸时的极限强度和屈服强度。例如, 室温压缩极限强度为

表4.4 几种钇的室温弹性常数⁽¹⁶⁾

来 源	密度 克/厘米 ³	弹性模量 10 ⁹ 磅/时 ²	切变模量 10 ⁹ 磅/时 ²	泊松比	体积模量 10 ⁶ 磅/时 ²	绝热压缩系数 10 ⁻⁷ 时 ² /磅	等温压缩系数 10 ⁻⁷ 时 ² /磅	方 法
Linford (通常为铸态)	19.49	14.15	6.01	0.176	7.29	1.36	1.51	共振
Linford (高密度)	19.71	14.60	6.13	0.186	7.75	1.30	1.44	共振
Laquer ⁽¹⁴⁾ (高密度)	19.72	14.40	9.30	0.15	6.77	1.48	1.62	脉冲
DeCadenet ⁽¹⁸⁾ (铸态)	19.35	14.25	5.93	0.199	7.90	1.27	1.41	脉冲
Bridgman ⁽¹⁹⁾	—	—	—	—	—	—	1.38	压缩
Robinson ⁽²⁰⁾	19.6	—	—	—	—	—	1.32	压缩
Gardner ⁽⁹⁾	19.53	14.32	—	—	—	—	—	拉伸

表4.5 钷的弹性模量随温度的变化^[16]

试 样	$\frac{\Delta \text{模量}}{\Delta T}$	α 相	α 相	β 相	γ 相	δ 相
	(磅/吋 ²)/℃	-170—20℃	20—110℃	140—210℃	230—310℃	330—440℃
F2	$\frac{\Delta E}{\Delta T}$	—	-2.03×10^4	-0.75×10^4	-0.88×10^4	-0.108×10^4
F3	$\frac{\Delta G}{\Delta T}$	—	-0.858×10^4	-0.290×10^4	-0.38×10^4	—
E2	$\frac{\Delta E}{\Delta T}$	-1.68×10^4	—	—	—	—
E2	$\frac{\Delta G}{\Delta T}$	-0.65×10^4	—	—	—	—

表4.6 消除多孔性后钷的弹性常数^[16]

试 样	密 度	弹性模量	切变模量	体积模量	等温压缩系数
	克/厘米 ³	10 ⁶ 磅/吋 ²	10 ⁶ 磅/吋 ²	10 ⁶ 磅/吋 ²	10 ⁻⁷ 吋 ² /磅
E3	19.50	14.63	6.22	7.62	1.45
E5	19.71	14.73	6.22	7.80	1.42

175000磅/吋²，比拉伸时的极限强度59000磅/吋²高200%。压缩时0.01%屈服强度为38200磅/吋²，比拉伸时的屈服强度32100磅/吋²高19%；而压缩弹性模量 14.3×10^6 磅/吋²则与拉伸时得到的数据一样。

象拉伸时一样， α 相钷的压缩延展性比 β 、 γ 和 δ 相的延展性低得多。在所有 α 相试验温度下，都得到一种典型的园筒状的脆性切变断裂。断裂前长度中总的塑性变化可以由压缩试验得到的负荷—板位移曲线来确定。 α 相的塑性可从-30℃的4.5%增加到70℃的最大值(26.5%)，随后降低到110℃的18.3%。

由于钷的 β 、 γ 和 δ 相具有高的塑性，所以不能得到它们的极限强度数据。由负荷—板位移曲线得到的这些相的屈服强度(图4.10)和约为0.2%的永久变形象拉伸时一样，随试验温度的升高而降低。

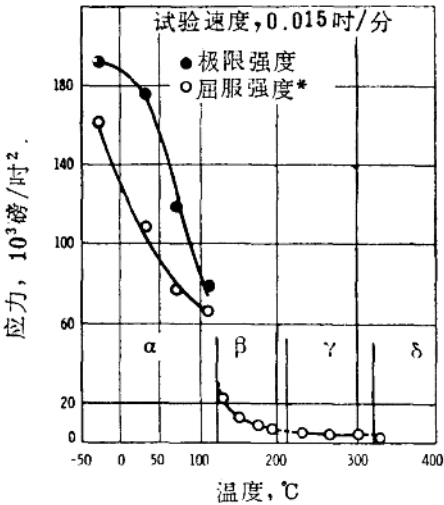


图4.10 温度对高纯钷压缩强度的影响⁽⁶⁾

* 屈服强度由图4.1确定

Schonfeld^[21]从非合金钕的应力-应变曲线得到了下述的压缩性能:

比例极限:	35000磅/吋 ²
屈服强度(永久变形为0.2%):	
室温时	75000磅/吋 ²
77℃时	55000磅/吋 ²
极限强度:	
室温时	125000磅/吋 ²
77℃时	110000磅/吋 ²

除77℃时的极限强度外, Schonfeld 的压缩极限强度和屈服强度都比 Gardner 和 Mann的数据低30%左右, 这可能是由于所用钕纯度的不同, 或者如下节所述, 是由于试验速度较慢的缘故。

Bronisz^[22]发表了温度、试验速度和纯度对 α 钕的压缩性能的影响(图4.11和4.12)。他得到下述结论:

① α 钕具有应变时效作用, 但高纯钕(杂质总含量为115-227ppm)不如纯度稍低的钕(杂质总含量为48ppm)明显;

② α 钕的屈服强度随试验温度的升高而降低, 这种效应在较纯钕中更明显;

③在高纯钕中更容易产生孪晶;

④在温度为24-100℃、试验速度为0.2吋/分的条件下变形, 孪晶数量没有明显的变化;

⑤Bronisz的屈服强度及温度和应变率对屈服强度的影响和Gardner^[6]的数据不同的原因, 可能是由于这两类试验使用的钕试样纯度不同或试验仪器和技术不一样。

就Bronisz的最后结论来说, 屈服强度数据的差别还可能是由于他将比例极限作为屈服强度, 这就比Gardner和Mann确定的永久变形为0.2%左右的屈服强度低得多。

French^[7]应用同拉伸时一样质量的钕试样, 以应变率为0.038/分的速度进行了室温压缩试验, 得到的极限强度为196500磅/吋², 0.2%屈服强度为

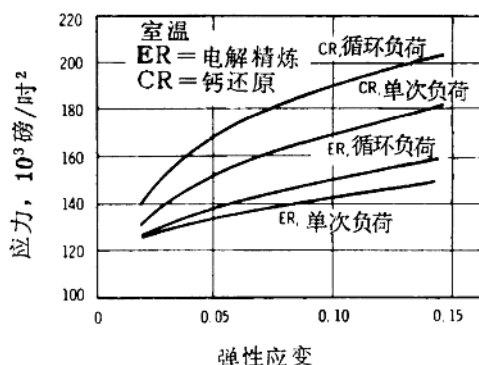


图4.11 应变时效对 α 钕应力-应变曲线的影响。压缩试验是在25℃, 夹头速度为0.02吋/分条件下进行的。负荷每循环一次应变1.0或1.5%^[22]

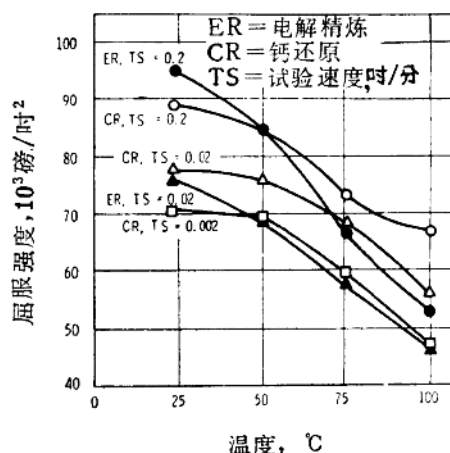


图4.12 在不同试验速度下, 试验温度对 α 钕压缩屈服强度的影响^[22]

126000磅/吋²，这比 Gardner 在同样条件下试验得到的结果高。象 Gardner 和 Mann 一样，French 也观察到了压缩时的圆筒状脆性切变断裂。断裂前长度平均缩小 12.8%，这与 Gardner 和 Mann^[6] 在应变率大致相同时试验所得到的长度缩小 9.0% 差不多。

(b) 试验速度的影响 Gardner 和 Mann^[6]，Gorum 和 Bronisz^[22] 研究了试验速度对 α 相屈服强度的影响。如图 4.13 所示，Gardner 和 Mann 的屈服强度大约是永久变形的 0.2%。为比较起见，从 Gorum 的应力—应变曲线中确定了永久变形为 0.2% 的屈服强度并描述在图 4.13 中。由图可见，在 24°C 时 Gorum 的数据一般都比 Gardner—Mann 的数据低，但对此还没有加以解释，不过较高温度的数据都很一致。这两种数据的一般特征是屈服强度随试验速度的增加而增加，至少到试验速度为 0.20 吋/分是如此。Gardner—Mann 的数据表明，试验速度较快时强度降低也较多，这可能是由于缺

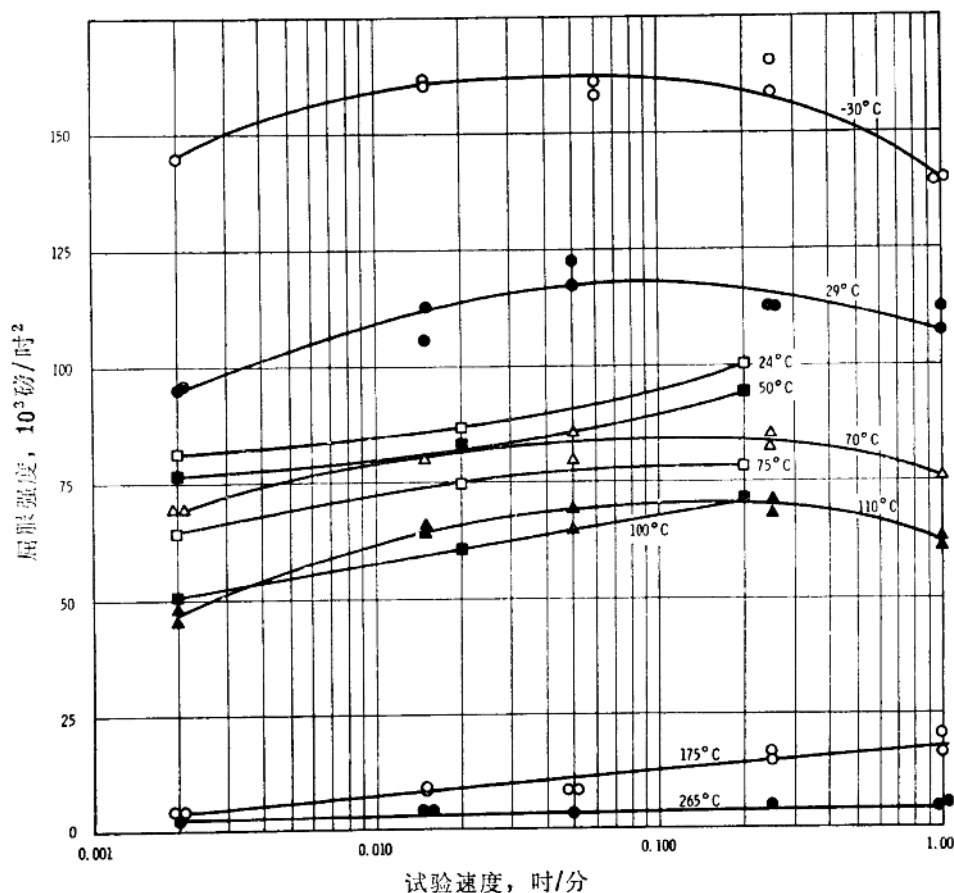


图 4.13 试验速度对压缩屈服强度的影响

○, ●, △, ▲ 数据引自资料(6); □, ■ 数据引自资料(23)。

口敏感效应增加的缘故。

如图4.14所示, Bronisz 的屈服强度数据一般都比 Gardner 和 Mann 的数据低, 其部分原因是他把比例极限强度作为屈服强度使用, 如在4-1.2(a)节所述的那样。如前所述, 屈服强度随试验速度的增加而增加, 但在试验速度为2.0时/分这一次试验中, 没有发现屈服强度有降低。Bronisz 还指出, 试验温度的增加会减小屈服强度对试验速度的敏感性, 钎的这一特点和其它材料是不一样的。

Bronisz⁽²²⁾在温度高于24°C、试验速度大于0.2时/分的条件下进行压缩时, 观察到了 α 钎的上屈服点。在同样条件下, 当应用循环负荷时, 屈服点在较高应力下出现。

Gardner 和 Mann⁽⁶⁾研究了试验速度对 α 钎压缩极限强度的影响, 其结果如图4.15所示, 它与屈服强度的曲线形状相似。

试验速度对 β 和 γ 相压缩屈服强度的影响, 除数值不同外, 和拉伸时观察到的影响几乎完全相同, 这可由图4.13与图4.7和4.8的比较中看到。 β 相对试验速度是敏感的, 但 γ 相则相对地不够敏感。

Gardner和Mann⁽⁶⁾研究了试验速度对 α 相压缩延展性的影响, 其结果如图4.16所示。图中延展性的量度是断裂前总的塑性变形。在试验温度为-30和30°C时, 增加试验速度会减少总的塑性变形, 然而在试验温度为70和100°C时, 总的塑性变形增加到试验速度为0.060时/分时止, 以后, 随试验速度的增加而减少。在较小的试验速

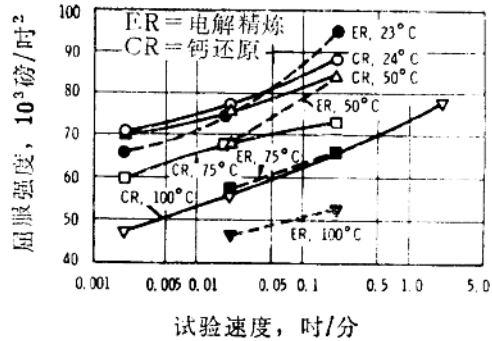


图4.14 在不同温度下, 试验速度对 α 钎压缩屈服强度的影响⁽²³⁾

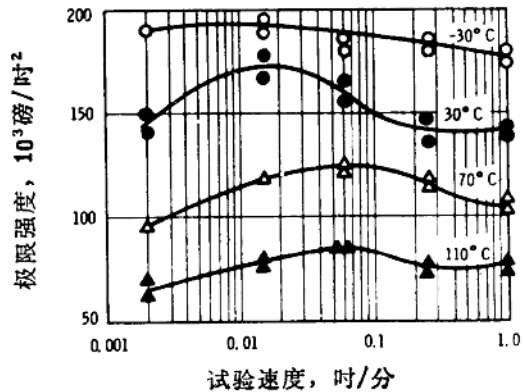


图4.15 试验速度对压缩极限强度的影响⁽⁶⁾

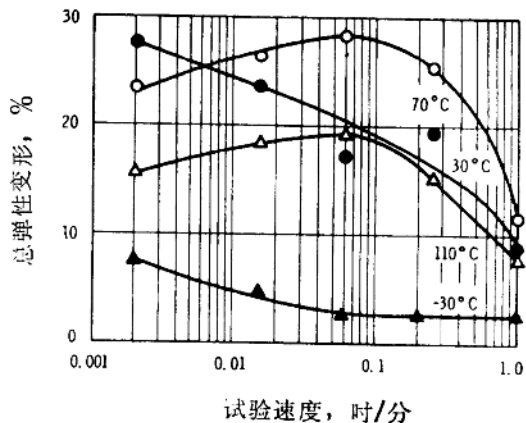


图4.16 试验速度对断裂前总塑性变形的影响⁽⁶⁾

度下, 塑性变形最初的这种增加可能是由于恢复的结果, 而在试验速度增加时, 这种影响就比较小了。

(c) **杂质的影响** Gardner 和 Mann^[6] 得到的杂质对压缩性能影响的资料, 仅限于 175℃ 时 β 相的数据, 而 Bronisz 的数据已在 4-1.2 节中叙述了^[22]。Gardner 和 Mann 的数据是用密度为 19.57 克/厘米³、杂质总量为 328ppm 的较高纯度铌, 和用密度为 19.41 克/厘米³、杂质总量为 1467ppm 的低纯度铌试验得到的 (图 4.17)。在试验速度为 0.002—1.0 时/分时, 高纯铌的屈服强度比低纯铌的屈服强度低 20—30%。

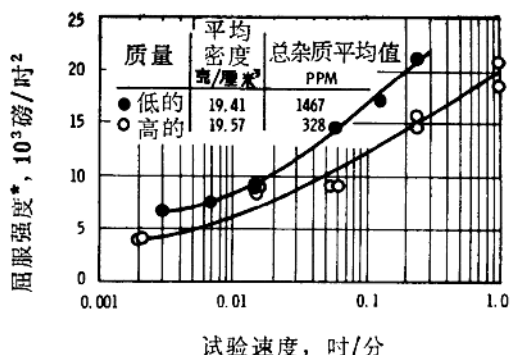


图 4.17 试验温度为 175℃ 时, 铌的纯度对压缩屈服强度的影响^[6]

* 屈服强度由图 4.1 确定

4-1.3 扭曲性能

只有一点初步的关于铸态铌的扭曲资料。Gardner^[24] 曾对一组 5 个管状试样试验了它的室温扭曲性能, 这组试样的密度为 19.55 克/厘米³, 杂质总含量为 600ppm。结果得到铌的平均极限切变强度为 53200 磅/时²。必须指出, 在扭曲试验中不可能确定脆性材料的切变强度, 因为这种材料在达到切变强度之前, 实际上斜张力已使试样断裂了。然而, 正如已报导过的那样^[25], 脆性材料 (例如铸铁) 的真实切变强度与真实拉伸强度之比为 1.1—1.3。如果取比值为 1.2, 铌的真实拉伸强度为 50900 磅/时², 就可以估计出铌的真实切变强度应为 61100 磅/时²。

从压缩试验结果计算出铌的切变强度为 80000 磅/时²^[21]; 然而, 在螺纹接合的拉伸试验中得到铌的切变强度为 35000—45000 磅/时²。

关于直接测量铌的切变模量和刚性模量的资料还没有报导过, 但已有人用脉冲方法和谐振技术确定了铌的切变模量为 5.93×10^6 磅/时²^[18]、 6.29×10^6 磅/时² 和 5.4×10^6 磅/时²^[17]。

4-1.4 冲击

(a) **张力冲击** 根据 Gardner 的资料^[6], 冲击试验时 α 铌都是脆性断裂。他曾用量直径为 0.250 吋、计量长度为 1.5 吋的 8 个螺纹试样进行了室温冲击试验, 得到了冲击能为 1.3—4.8 呎·磅, 平均是 2.6 呎·磅。

(b) **Charpy 冲击** Coffinberry^[26] 应用了 Charpy 键孔型缺口试样进行冲击试验, 结果得到 α 铌在 22℃ 时的冲击能为 1.5—2.0 呎·磅。此外, 他分析了铌的一般机械性能并指出铌的冲击能在较低温度时接近于零, 而在 75℃ 以上则稍有增加。