

冶金科技消息

美国定向共晶高温合金

(内部资料·注意保存)

30

上海钢铁研究所技术情报资料室

一九七八年二月

美国下一代高温合金

——自生纤维增强与定向凝固共晶

技术情报室

引言

航空发动机涡轮叶片一向是用Ni基高温合金(又叫超合金)制造。最初用变形合金后来用铸造合金,最近用定向凝固超合金Ni基超合金都用 γ' (Ni, Al)相强化,某些超合金 γ' 达60%左右,但金属温度达到954°时即失去强度⁽¹⁾。据美国空军材料实验室高温材料技术负责人诺尔曼·杰耶尔说用 γ' (Ni, Al)相强化高温合金的工作差不多快要结束了。高温合金的未来希望在于另一种强化方法一定向凝固共晶。这种材料将在1093°下顺利使用,并将在1982年前采用。他说,这代表着技术上的一次巨大跃变,将使金属使用温度提高111.2°C,而过去冶金学家用了二十五年时间才使高温合金使用温度提高了55.6°C。

定向凝固共晶是一种自生纤维(或层状)增强的金属基体复合材料。它的纤维(或层状)是在合金熔体定向凝固时和基体同时生长的,因为增强纤维(或层状)和基体都是在熔体中原位生长的,所以又叫做原位复合材料(in situ composites)。纤维增强曾被认为是一种有效的增强措施,但目前除碳纤维、硼纤维与塑料、铝、钛组成的复合材料已获得应用外,其他纤维增强材料,如钨纤维增强的超合金在工业上应用尚不普遍,其主要原因是纤维会与基体起反应只有自生纤维增强,则目前认为是一种极有希望的复合材料。

1972年9月在Lakeville召开了原位复合材料的第一次国际会议。参加会议的最大两个团体是General Electric Co(13人)和United Aircraft Pratt & Whitney(23人)表明美国的两个最大喷气发动机制造者对定向凝固共

晶的重视。1974年5月在Washington召开了原位复合材料的专家会议。1975年9月又在Lake George召开了第二次原位复合材料会议。1974年专家会议的小结和展望中曾指出，Ni基和Co基定向凝固复合材料，在七十年代末会开始有限应用，在八十年代将大规模应用。

目前有前途用作燃气涡轮叶片的共晶有三类：

- (1) δ (Ni, Nb) 层状增强的共晶 $\gamma'-\delta$ 和 $\gamma/\gamma'-\delta$ ；
- (2) TaC 纤维增强的Co基TaC和Ni基TaC；
- (3) Cr₃C₂ 纤维增强的Co, Cr-(Cr, Co)₂C₃。

$\gamma-\delta$ 的成分是Ni-23.1Nb-4.4Al⁽²⁻⁶⁾。 $\gamma/\gamma'-\delta$ (32-42)(49-50) 有单变度三元合金Ni-21.75Nb2.55Al⁽⁷⁾，两变度四元合金Ni-20Nb-6Cr-2.5Al^(2,7-12)和五元合金Ni-20.1Nb-6Cr-2.5Al-0.06C⁽²⁾。Co基TaC有CoCr-TaC (Co-10Cr-13TaC和Co-15Cr-13TaC)⁽¹³⁾，CoCrNi-TaC (Co-25Ni-15Cr-13TaC⁽¹⁴⁻¹⁵⁾和Co-20Cr-10Ni-12.7Ta-0.75C即Co-TaC-3)，CoCrNiW-TaC (Co-15Cr8.5Ni6W18.67Ta1.33C即TaC-Co50B)⁽¹⁹⁻²⁰⁾。Ni基TaC有NiCr-TaC (Ni-10Cr-14.9Ta-1.1C)^(21,22)，NiCrAlTi-TaC (Ni-10Cr-5Al-1Ti-14.9Ta-1.1C)⁽²²⁾，NiCoCrAl-TaC (Ni-20Co-10Cr-3Al-TaC) 即NiTaC-5⁽¹⁶⁾，NiCoCrAlWVRe-TaC (Ni-3.3Co4.4Cr3.1W5.4Al5.6V6.2Re8.1Ta0.54C) 即Ni-TaC-13⁽²³⁻²⁴⁾⁽⁴⁶⁻⁴⁸⁾。CoCr-(CrCo)₂C₃ 有Co-41Cr-2.4C即73C⁽²⁵⁻²⁶⁾和Co-41Cr-10Ni-2.2C⁽²⁷⁾。

在上述共晶中， $\gamma/\gamma'-\delta$ Ni20Nb-6Cr2.5Al和Ni20.1Nb6Cr2.5Al0.06C 是最有可能在最近用作航空发动机涡轮叶片，因为它们是最发展了的合金且能用目前精密铸模和目前达到的定向凝固梯度炉生产涡轮叶片。Co基TaC和Ni基TaC共晶合金由于熔点较高比 $\gamma/\gamma'-\delta$ 有更高潜在使用温度，但它们的应用将取决于发展一种合适的壳型材料和更高的温度梯度定向凝固

炉^[10]。CoCr-(CrCo),C, 共晶的持久强度比较低。所以本文主要介绍 $\gamma/\gamma' - \delta$ Ni20Nb6Cr2.5Al和Ni20.1Nb6Cr2.5Al0.06C。

成 分 沿 革

Ni,Nb增强共晶的第一个合金是 $\gamma' - \delta$ 即Ni-23.1Nb-4.4Al。它有片层组织,在延性 γ' Ni,Al基体中有44体积%左右半延性 δ Ni,Nb。这种合金的 σ_b 在 $> 900^\circ\text{C}$ 时比其它几个有前途的共晶合金大。它的持久强度也是很大的。但室温延性差,抗氧化性差。为了改进延性就发展了 $\gamma/\gamma' - \delta$ Ni-20Nb6Cr2.5Al。这个合金也有片层组织。定向凝固时凝固成两个相 γ (NiCrAl)固溶体片层和 δ Ni,Nb片层。冷却时 γ' Ni,Al沉淀在面心立方固溶体 γ 中析出达50-60%。所以叫做 $\gamma/\gamma' - \delta$ 。这个合金的 γ 基体如同Ni基超合金那样由 γ' 沉淀强化。这个合金有密度 8.58g/cm^3 ,液相线温度 1261°C ,固相线温度 1243°C 。 δ 片层体积%为40。这个合金的持久强度比 γ'/δ 小些,但室温延性比 $\gamma' - \delta$ 大得多,是2-5%,而 $\gamma' - \delta$ 的室温延伸率仅0.6-0.8%。这个合金也比 $\gamma' - \delta$ 有较好抗氧化性。

$\gamma/\gamma' - \delta$ Ni20Nb6Cr2.5Al合金还有两个缺点即中温704-760 $^\circ\text{C}$ 横向延性和剪切强度需要改进。这就发展了 $\gamma/\gamma' - \delta$ Ni20.1Nb6Cr2.5Al0.06C合金。这个合金改进了上述两项性能并被认为是目前 δ Ni,Nb增强的最佳共晶合金。

熔 炼 和 凝 固

合金用高纯原材料在新的再结晶 Al_2O_3 坩埚中熔炼。先将NiNb和Cr在氩气气氛中感应熔炼。10分钟均匀化后,将熔炼温度降到合金熔点以上38 $^\circ\text{C}$,然后加所需量的Al。然后加热至所需浇注温度。对实验室水淬Bridgman炉凝固试验,合金浇入水冷Cu铸模中以形成母合金元棒。对其它形状试样和涡轮叶片铸

造试验，熔融合金直接浇入预热的定向凝固壳型中，然后进行定向凝固。

表1 示出原材料中的杂含量。

定向凝固共晶中的两条重要规律

第一条

$$G_L/R > \frac{\Delta T}{D}$$

这里 G_L 是固-液界面处液体中的温度梯度， R 是凝固速度， ΔT 是合金熔化范围， D 是液体中溶质原子的有效扩散系数。要完成平面界面凝固即获得全片层组织，则 G_L/R 必须超过临界 G_L/R^* 。这一值是每一特定合金的特性并是获得所需排列显微组织难度的计量单位。在各种 G_L/R 下，有各种显微组织； G_L/R 逐步增加，则显微组织逐步由细胞-枝晶组织经过细胞组织，直至 $G_L/R > G_L/R^*$ 时，转变成片层组织。

表 1 原材料中的杂质含量 P.P.M

	Ni	Al	Cr	Nb	C	Cu	Co	Fe	MG	Mn	Mo	Si	Ta	W	V	Ti	Zr
1	余	5/50	50/500	未测	<10	5/50	未测	5/50	<10	<10	未测	<10	未测	未测	未测	未测	未测
2	余	500/5000	10/100	未测	80	10/100	未测	5/50	5/50	5/50	未测	5/50	未测	未测	未测	未测	未测
3	余	10/100	50/500	未测	100	10/100	未测	50/500	<10	5/50	未测	5/50	未测	未测	未测	未测	未测
4	未测	余	未测	未测	<10	<10	未测	<10	未测	未测	未测	<10	未测	未测	未测	未测	未测
5	10/100	余	未测	未测	50	5/50	未测	未测	<10	未测	未测	5/50	未测	未测	未测	未测	未测
6	未测	<10	余	未测	<10	<10	未测	<10	<10	<10	未测	<10	未测	未测	未测	未测	未测
7	<5	未测	未测	余	50	<5	未测	<5	50	<5	未测	5/50	未测	未测	未测	<5	未测

今将 δ Ni, Nb 增强共晶的临界 G_L/R^* 列示于下:

$\gamma'-\delta$ Ni-23.1Nb-4.4Al

$G_L/R^* 23^\circ \text{Chr}/\text{cm}^2$

$\gamma/\gamma'-\delta$ Ni-21.75Nb-2.55Al

$3-5^\circ \text{Chr}/\text{cm}^2$

" Ni-20Nb2.5Al 1Cr

" 55 "

" Ni-20Nb2.5Al 3Cr

" 120 "

" Ni-20Nb2.5Al 6Cr

" 150 "

" Ni-20.1Nb2.5Al 6Cr0.06C

" 140 "

由上可看出 Cr 增加 G_L/R^* , 而 C 稍减小 G_L/R^* .

$\gamma/\gamma'-\delta$ 的细胞和细胞-枝晶组织由孤立的非片层材料体积所组成, 这种非片层组织为连续的片层区所包围。这与许多其它共晶中的细胞组织其它共晶的细胞壁包围着排列的片层体积。

由于用来评定 $\gamma/\gamma'-\delta$ 持久性能的多数数据代表有一定程度细胞组织的材料, 所以要获得所需高温强度不一定要完全片层组织。 $\gamma/\gamma'-\delta$ 所以某些细胞组织存在下保持所需高温强度是与细胞生长的形态学有关, 即孤立的细胞区为连续的片层晶粒所包围。

第二条规律是 $\lambda^2 R = \text{常数}$

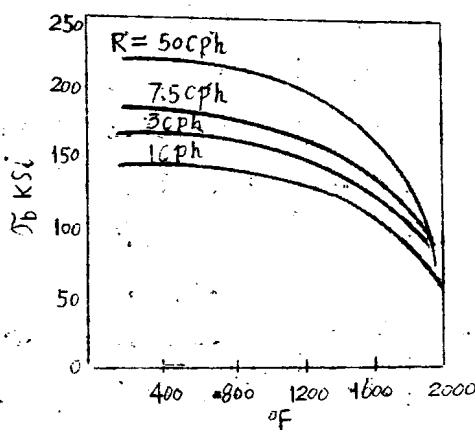
这里 λ 是共晶复合材料中强化相的间距，即 δ 相间的间距，也就是片层间距， R 是凝固速度。所以增加凝固速度 R ，能减小增强相的间距而改进合金的机械性能，这就是所谓Hall-Petch关系。相反，如凝固速度减小至某一最小凝固速度，则相间间距会过大而得不到所需机械性能或足够的复合强化。

机 械 性 能

1. 抗拉试验

F.D. Lemky^[7]在 $G=300^\circ\text{C}/\text{cm}$ 和 $R=3\text{ cm/hr}$ 下定向凝固的Ni19.7Nb6Cr2.5Al合金上测得的空气中拉伸试验结果如表2。从该表可看出纵向 δ 和 ψ 在20-1235 $^\circ\text{C}$ 间多数 $>5\%$ 。815 $^\circ\text{C}$ 以上 σ_b 超过所有超合金。1235 $^\circ\text{C}$ σ_b 达30 Ksi (21 kg/mm²)

M. Gell^[11]说明 $\gamma/\gamma'-\delta$ 的 σ_b 能用生长速率 R 来增加，见图1：



注：cph = cm/hr

图1 σ_b 与生长速率的关系

表2 3cp1N, 19.7Nb6Cr2.2Al 空气中的拉伸试验结果

试 样 号	试验温度 °C	$\sigma_{0.2}$ Ksi *	σ_b Ksi *	δ %	ψ %	$\epsilon_{分-1}$
A72-634-01	25	173.5	182	2.9	1.4	0.01
A72-634-02	25	169	175	2.9	3.8	0.01
A72-249 01	25	177	185	5.0	7.8	0.01
A72-624 02	749	140	145	15.2	21.3	0.01
A72-621 02	749	142	145	12.2	18.8	0.01
A72-617 01	815.5	140	140	7.9	13.4	0.01
A72-636 02	815.5	136	136	5.1	10.5	0.05
A72-244 01	815.5	140	145	10.0	18.1	0.01
A72-617 03	871.1		133	5.1	6.7	0.05
A72-613 02	871.1	134	134	6.5	9.5	0.05
A72-613 03	926.7	125	125	5.1	4.1	0.05
A72-597 03	926.7	126	126	4	2.9	0.05
A72-621 01	999	105	108	15.6	24.2	0.05
A72-621 03	999	108	111	5.5	5	0.05
A72-631-01	1049	91	92.6	20.2	36.2	0.05
A72-631-03	1049	94	94.3	18.3	26.9	0.05
A72-631-02	1093	80	80.8	17.5	30.7	0.05
A72-617-02	1093	75	76.8	18.4	30.6	0.05
A72-255-01	1093	80.4	80.4	14.5	30.3	-
A72-281-02	1093	80.5	80.5	7.5	24	-
A72-636-01	1148.9	58.8	58.8	14.8	24.2	0.05
A72-636-03	1148.9	58.8	58.8	13.8	30.2	0.05
A72-597-01	1199	38.3	38.3	17.5	28.9	0.05
A72-597-02	1199	39.9	39.9	17.3	24.2	0.05
A72-604-03	1235	31.8	31.8	6.3	7.0	0.05
A72-613-01	1235	30.4	30.4	6.4	12.5	0.05

注: * 1Ksi=0.7 kg/mm²

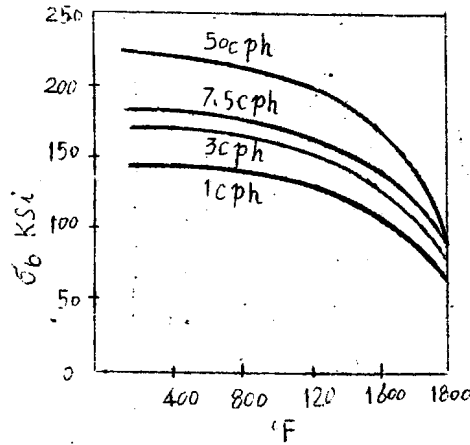


图2 $\gamma/\gamma'-\delta$ 的 σ_b 与生长率 R 的关系

K.D. Sheffler [12] 在水淬 Bridgman 炉 ($G=300 - 500^\circ\text{C}/\text{cm}$) 中以 2cph (cm/hr) 定向凝固了 $\text{Ni}_{20}\text{Nb}_6\text{Cr}_{2.5}\text{Al}_{1.3}\text{cm}$ 棒, 基本上是全片层组织。一部分涂 $60\mu\text{m}$ 厚 PWA 270 $\text{Ni}_{23}\text{Co}_{17}\text{Cr}_{12.5}\text{Al}_{0.3}\text{Y}$ 覆盖涂层进行拉伸试验结果如表 3。

表3 有涂层和没有涂层的Ni20Nb6Cr2.5Al的拉伸试验结果

试 样 号	涂层	试验温度 °C	$\sigma_{0.2}$ Ksi	σ_b Ksi	δ %	ψ %
A75-505-01	无	316	141.9	158.8	3.9	9.7
A75-516-01	无	316	147.0	161.1	4.5	9.1
A75-412-01	无	482	142.2	165.7	24.0	22.8
A75-449-01	无	482	138.5	158.9	12.5	13.9
A75-467-01	无	650	113.5	163.8	18.5	32.2
A75-481-01	无	650	134.6	162.8	18.6	30.8
A75-501-01	有	316	143.9	160.9	3.4	10.4
A75-470-01	有	316	149.6	166.2	4.6	7.1
A75-443-01	有	482	136.3	160.9	6.9	15.8
A75-511-01	有	482	153.8	184.0	6.6	2.6
A75-446-01	有	650	134.7	165.3	12.2	18.6
A75-460-01	有	650	133.9	160.2	4.7	9.3

注：1Ksi=0.7 kg/mm²

以上结果表明涂层对拉伸延性有些影响，涂有涂层的拉伸延伸率在3.4-12.2%指出由于加涂层而引起的延性的减小并不是一个问题。

K.D. Sheffler⁽¹²⁾对在改进Bridgman炉(G=75-125°C/cm)中以1.3cph和0.6cph定向凝固的Ni20Nb6Cr2.5Al扁锭进行了260°C横向拉伸试验，试验结果如表4。从该表可看出760°C横向拉伸试验中片层组织的平均断裂应变%是0.33，细胞组织的平均断裂应变%是0.18：片层组织的平均断裂应变比细胞组织的平均断裂应变%大。这说明显微组织对中温横向延性有很大影响。加C的合金Ni20.1Nb6Cr2.5Al-0.06C的760°C平均横向延伸率是0.49%。涂有60μm PWA270 NiCoCrAl覆盖涂层的0.6cph全片层无C和含C Ni20Nb

表4 Ni20Nb6Cr2.5Al 合金扁锭的760°C 横向拉伸试验结果

试样号	凝固速度 cm/hr	显微组织	$\sigma_{0.2}$ Ksi	σ_b Ksi	断裂应变%
E363T6	1.3	细胞	88.5	94.7	0.27
E525C	1.3	细胞		87.1	0.17
E525E	1.3	细胞		92.7	0.12
E525F	1.3	细胞		93.0	0.19
E625G	1.3	细胞		93.6	0.19
E525H	1.3	细胞	91.2	92.4	0.23
E525K	1.3	细胞		95.2	0.14
E525I	1.3	细胞		90.9	0.12
		平均		92.5	0.18
E497T2	0.6	片层	94.5	98.8	0.35
E497T3	0.6	"	97.2	97.2	0.20
E434T1	0.6	"	91.0	94.7	0.35
E434T2	0.6	"	91.0	94.7	0.32
E363T1	0.6	"	91.2	94.6	0.39
E363T2	0.6	"	95.2	99.2	0.42
E433T1	0.6	"	91.2	93.2	0.27
E433T2	0.6	"	86.4	90.0	0.40
E433T3	0.6	"	92.1	94.7	0.30
E433T4	0.6	"	89.5	94.9	0.40
E433T5	0.6	"	91.5	96.5	0.38
E447B	0.6	"	82.1	90.5	0.44
E447K	0.6	"	94.9	109.6	0.55
E448B	0.6	"	93.9	95.5	0.26
E448H	0.6	"	105.7	109.4	0.35
E452B	0.6	"	65.0	67.5	0.25
E452E	0.6	"	-	88.1	0.14
E452G	0.6	"	-	89.7	0.19
		平均	90.8	94.4	0.33

注: 1Ksi=0.7 kg/mm²

6Cr2.5Al 扁锭的760°C 横向拉伸延伸率分别是0.54 和0.85 见表5。

细胞组织Ni20Nb6Cr2.5Al 定向凝固合金的纵横向拉伸温度的比较示于图3。

表5 0.6cph全片层无C和含C Ni20Nb6Cr2.5 Al 扁锭的横向拉伸试验结果

试样号	材 料	热 处 理	试验温 度 °C	σ_b Ksi	σ_s Ksi	断裂应 变 %
E466J	无C 合金	1975°F 4 小时 +1650°F 24 小时	760	103.8	100	0.53
E480B	"	"	760	92.1	87.4	0.55
			平均	98	93.7	0.54
E535G	加C 合金	1975°F 4 小时	760	109.3	106.5	0.35
E511F	"	"	760	109.1	103.9	0.55
E511L	"	"	760	104.8	98.4	0.58
E501G	"	"	760	99.6	92.9	0.58
E511J	"	"	760	115.7	108.7	0.75
E501F	"	"	760	108.7	100.9	0.87
E535E	"	"	760	114.2	105.1	1.20
E511G	"	"	760	113.7	104.3	1.35
E511H	"	"	760	110.6	107.2	1.38
			平均	109.5	103.0	0.85

注：1Ksi=0.7 kg/mm²

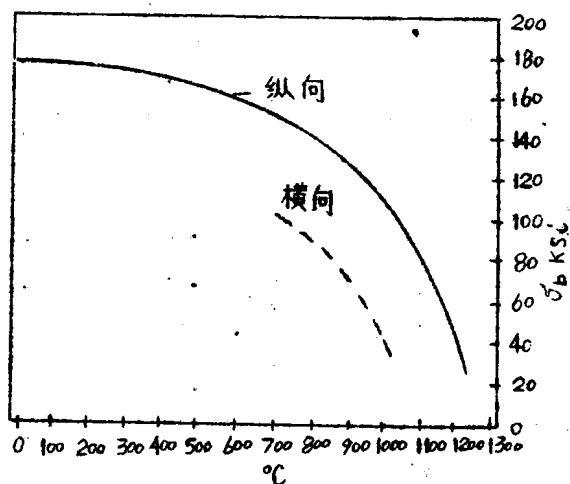


图3 细胞组织Ni20Nb6Cr2.5Al定向凝固共晶合金的纵横向拉伸强度的比较

2 持久试验

M. Gell^[11]对3cph Ni19.7Nb6Cr2.5Al材料的持久试验数据示于表6。

表6 G=270°C/cm 3cph Ni19.7Nb6Cr2.5Al材料的持久数据和显微组织分类

试样号	试验温度和应力 °F Ksi	持久寿命 小时	延伸率 %	组 织
426-01	1400(760°C) 110	755.7	**	细胞/枝晶
476-02	1400 110	712.4	**	"
492-01	1400 110	794.0	1.1	片 层
499-01*	1400 110	316.0	0.4	"
504-02*	1400 110	631.0	1.0	细 胞
474-01	1800(982°C) 40	82.6	5.6	片 层
474-02	1800 40	102.7	**	细 胞
499-02*	1800 40	89.2	7.6	"

续表6

试样号	试验温度和应力 °F Ksi	持久寿命 小时	延伸率 %	组 织
515-02*	1800(982°C) 40	79.4	4.1	细 胞
391-02*	1800(982°C) 40	100.0	4.5	"
327-01	2000(1093°C) 20	46.7	**	"
394-02	2000(1093°C) 20	56.0	5.4	细胞/枝晶
450-01	2000(1093°C) 20	49.0	7.8	片 层
492-01	2000(1093°C) 20	70.1	4.4	细 胞
394-01	2000(1093°C) 20	63.1	4.9	"

注: 1Ksi=0.7 kg/mm²

* 在较高应力试验和用Larson Miller参数校正

** 由于断在夹头中, 未测定。

虽然显微组织从片层变化至细胞/枝晶, 但上表表明1400, 1800, 2000°F 持久寿命和延伸率对该范围内的显微组织变化是不敏感的。

F.D.Lemky (7) 对G=300°C/cm 3cph Ni19.7Nb6Cr 2.5Al 定向凝固合金所做的持久试验结果如表7。

K.D.Sheffler (12) 对3cph 1.3cm 棒 Ni20Nb6Cr 2.5Al 合金有涂层的细胞组织试样的长时持久试验结果如表8。

表7 G=300°C/cm, 3cph Ni19.7Nb6Cr
2.5Al 定向凝固合金的持久数据

试 样 号	试验温度 °C	试验应力 ksi	持久寿命 小时	$\delta\%$	$\psi\%$	L.M.参数
A72-682-01	1000	40	18.1	8.5	28.5	48.72
682-02	"	"	24.5	10.4	35.7	49.02
675-03	"	"	46.2	10.8	20.8	49.66
628-03	1093	20	77.3	6.8	14.8	53.83
682-03	"	"	72.4	9.4	20.5	53.76
675-01	1200	8.5	2.8	-	-	-
684-03	"	"	115.2	6.4	11.9	58.46
675-02	"	"	61.8	4.3	2.0	57.75
911-03	900	70	87.6	6.5	9.0	46.29
735-01	"	65	114.4	11.6	19.7	46.55
735-02	815	100	>200.0	1.0		>43.72
734-01	"	110	22.9	10.1	22.6	43.76

注: 1Ksi=0.7 kg/mm²

表8 3cph1.3cm $\varnothing$ 棒Ni20Nb6Cr2.5Al
合金有涂层的细胞组织试样的长时持久
试验结果

试 样 号	试验温度 °C	应 力 Ksi	持 久 寿 命 小 时	δ %	ψ %
A74-698-02	871	51.6	1913	2.6	3.5
A74-698-01	871	51.4	2764	4.7	3.5
A74-580-02	871	51.6	3578	6.4	7.4
A74-561-01	1038	15.7	846		8.8
A74-652-01	1038	16.5	1234	2.8	4.0
A74-650-01	1038	15.6	2071	3.5	3.3

注: 1Ksi=0.7 kg/mm²

K.D. Sheffler^[12] 又对2cph棒和0.6cph扁锭(含C和不含C的Ni20Nb6Cr2.5Al)涂有60 μ m PWA270NiCoCrAlY 覆盖涂层的试样进行了纵向持久试验结果如表9。

表9的结果与先前3cph1.3cm $\varnothing$ 棒细胞组织试样的持久性能比较于图4。这个比较指出平均的2cph棒试样结果可与先前的3cph棒试样的结果相比, 而0.6cph扁锭的结果稍低些, 但仍高出DSMARM200+Hf 很多。2cph棒的性能相等于3cph棒的性能是未预料到的, 因为根据显微组织, 2cph棒是片层组织, 应比3cph棒的细胞组织有较好的性能, 表9中的2cph棒结果不仅比预料为低且上落很大, 特别在低试验温度760°C 时更是如此。这是由于2cph棒中有细胞带和非金属夹

A75-806-01	"	"	"	"	1975(4)	"	"	82.8
A76-010-01	N120.8Nb6Cr2.5Al	"	扁锭	片层	"	"	"	> 670
E465F	N120.1Nb6Cr2.5Al	0.6	"	"	1975(4)+1650(24)	"	"	55.6
E465G	"	"	"	"	1975(4)+1650(24)	"	"	46.5
E496J	N120Nb6Cr2.5Al	"	"	"	1975(4)	"	"	82.7
E496K	"	"	"	"	"	"	"	171.9
A75-882-01	N120Nb6Cr2.5Al0.06C	2	棒	片层有细胞带	"	"	"	254.3
A75-884-01	"	"	"	"	"	"	"	62.2
A75-887-01	"	"	"	"	"	"	"	59.5
A75-908-01	"	"	"	"	"	"	"	225.1
E508I	N120.1Nb6Cr2.5Al0.06C	0.6	扁锭	片层	"	"	"	49.2
E508J	"	"	"	"	"	"	"	22.0
E503L	"	"	"	"	"	"	"	179.5
E513M1	"	"	"	"	"	"	"	> 1600
A75-815-01	N120Nb6Cr2.5Al	2	棒	片层有细胞带	1975(4)+1650(24)	22	1038	179.9
A75-857-01	"	"	"	"	"	"	"	173.5
A75-382-01	N119.7Nb6Cr2.5Al	"	"	"	1975(4)	"	"	149.6
A75-810-01	N120Nb6Cr2.5Al	"	"	"	"	"	"	156.3
E465H	N120.1Nb6Cr2.5Al	0.6	扁锭	片层	1975(4)+1650(24)	"	"	136.0
E465I	"	"	"	"	"	"	"	169.3
E496L	N120Nb6Cr2.5Al	"	"	"	1975(4)	"	"	230.2
A75-890-01	N120Nb6Cr2.5Al0.06C	2	棒	片层有细胞带	"	"	"	32.0
A75-891-01	"	2	"	"	"	"	"	354.3
A75-904-01	"	"	"	"	"	"	"	248.0
A75-905-01	"	"	"	"	"	"	"	189.0
E508K	N120.1Nb6Cr2.5Al0.06C	0.6	扁锭	片层	"	"	"	156.9
E503J	"	"	"	"	"	"	"	124.3
E503K	"	"	"	"	"	"	"	445.3
E513M1	"	"	"	"	"	"	"	742.6

注: 1Ksi=0.7 kg/mm²