

GH33A 微观偏析的研究

董玉琢

摘 要

本文对GH33A 合金低倍 出现的条带组织从微观偏析的角度进行了研究。得知条带本身是个细晶粒带，而且发现该区Ti含量明显偏高。在高倍显微镜下，发现有大量的Ni₃Ti针状相和MC碳化物。

为了证实条带 是否对性能有影响，用声发射仪监视裂纹的出现，结果有条带的试样产生了裂纹，该裂纹在条带内扩展，其裂纹源在晶界的大块碳化物上。

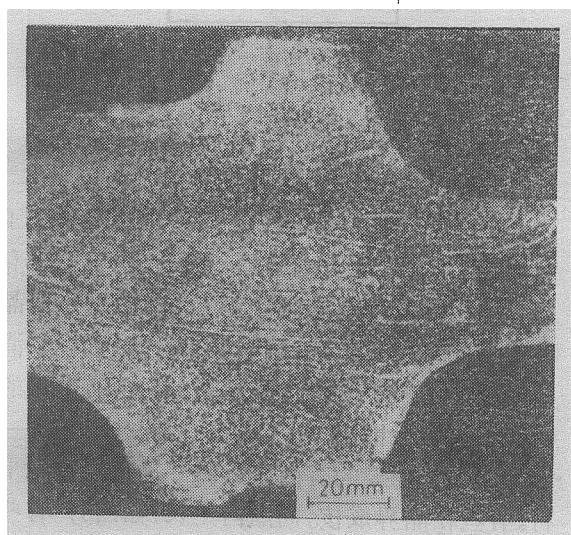
前 言

GH33A合金 是我国目前 航空发动机涡轮盘使用最广泛的变形高温合金之一。该合金在低倍检验中，发现沿变形流线方向的条带组织。这种条带究竟是怎样产生的，它有那些特点，对性能有无影响？这是一个急需研究的问题。本文用JCA-733电子探针 从微观偏析的角度研究了产生条带的原因；并用美国D/E公司3000系列声发射仪得到了条带与裂纹的关系，从而定性地说明了该条带对性能的影响。

表 1 GH33A合金的化学成分 (wt%)

元素	Cr	Ti	Al	Nb	C	Si	Mn	Fe	B	Ce	Ni
含量	19~22	2.3~2.7	0.55~0.95	1.5	≤0.06	≤0.65	≤0.35	≤1.0	≤0.01	≤0.01	余

图 1 低倍条带照片



四、结 论

1. 锦丝织物因气候（温度、相对湿度）的变化会产生自然伸缩。这种伸缩与温度、湿度之间存在热缩冷胀、干缩湿胀的规律，并呈线性关系。关系式为： $Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2$ （Y为伸缩率，%； b_0 为常数； b_1 为温度系数， < 0 ； b_2 为相对湿度系数， > 0 ； X_1 为温度， $^{\circ}\text{C}$ ； X_2 为相对湿度，%）。

2. 锦丝绸、绳、带，在全年极端气候条件（ $\theta = 40^{\circ}\text{C}$ ， $\text{RH} = 30\%$ 及 $\theta = 10^{\circ}\text{C}$ ， $\text{RH} = 95\%$ ）下的自然伸缩率以标准温、湿度条件下尺寸（即原始尺寸）为准，其变化大致在 $\pm 1\%$ 范围。

3. 本结论可提供凡是大批使用锦丝织物制作降落伞或航空、民用服装产品毛件设计和成品设计时作确定包括自然伸缩在内的合理公差 的参考依据。

（参考资料略）

选典型部位用线切割切下，磨成金相试样，用冷酸轻轻腐蚀即可观察。声发射试样共取两类四种，无条带试样一个；有条带试样三种，其条带方向如图2。

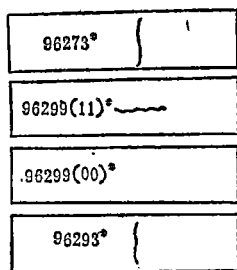


图2 条带位置示意图

二、试验结果与分析

1. 形貌观察

用JCSA-733电子探针 对条带组织进行了观察。图3为背散射电子象。它反映出正常区和条带区组织的差别。条带区是由十分细小的晶粒组成的细晶粒带。将细晶粒带放大，如图4，清楚地显示出组织概貌。在细晶粒内部有大量的针状相和块状相，在每个晶粒内，针状相都有一定方向性，明显的有两个方向，呈直线彼此平行。有些在晶界成核，向晶内生长，如图5；有些则由晶粒内部生核并长大，有的就在晶界上。

2. 微区成分分析

为了寻找正常区和条带区的差别，选 $20\mu\text{m}$

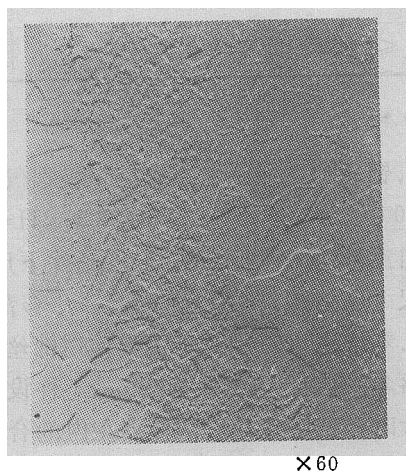


图3 条带区背散射电子象

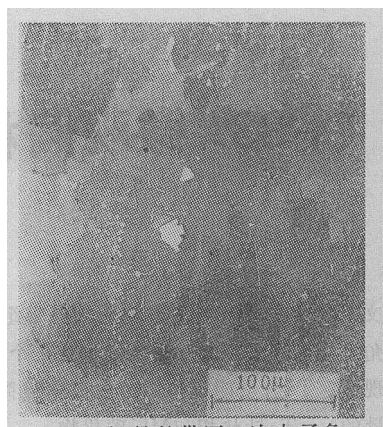


图4 细晶粒带区二次电子象

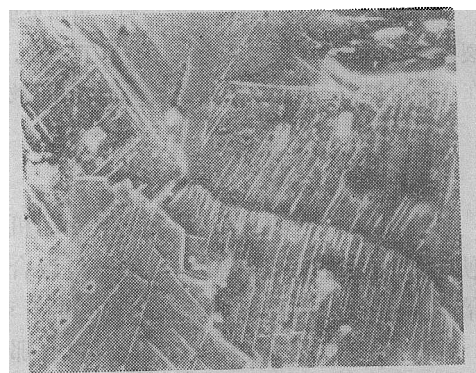


图5 Ni_3Ti 相生长的二次电子象

的电子束直径，对上述区分别任选六点进行定量测定，取其平均值列入表2。显然细晶粒带含Ti量比正常区高，Ti/Al也较高。

为了测得针状相的成分，采用 $1\mu\text{m}$ 的电子束，选较粗的相进行测定，测得Ti含量超过5%。由于该相呈片状，厚度远小于 $1\mu\text{m}$ ，因而，想要用电子探针精确地测定其化学成分是不可能的。为了清楚地看出针状相元素的变化，做了Ti、Al两元素线分布图（图6），由图中可见，那些平行的针状相Ti、Al出现峰值。图7为块状相线分布图。显然，块状相Ti、

表2 电子探针定量分析（wt%）

元素	Cr	Fe	Ni	Nb	Al	Ti	Ti/Al
部位							
基 体	21.2	0.59	74.5	1.20	0.92	2.6	2.8
条带区	20.3	0.55	73.2	1.70	0.93	3.7	4

Nb、C偏高。为了较精确地测定块状相成分，特选大块相进行半定量分析，其元素的含量如表3（碳含量没测）。从上述分析得知该相为MC型碳化物。

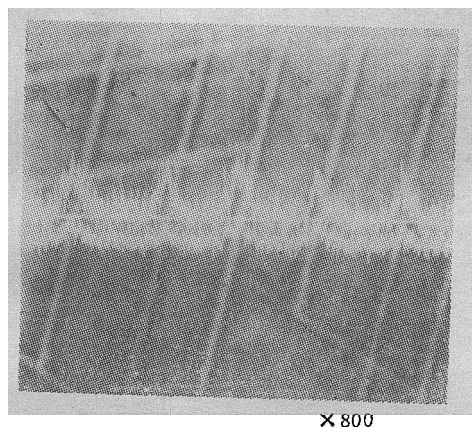


图6 Ti、Al线分布图

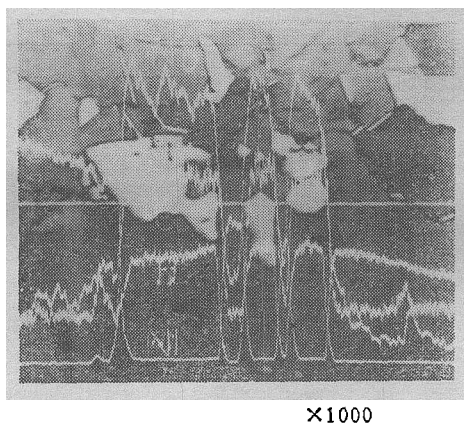


图7 块状相线分布

表3 块状相半定量值(wt%)

元 素	Cr	Ni	Ti	Nb
含 量	0.6	2.1	26.6	59.1

3. 针状相的确认

针状相到底是一种什么样的相？从成分分析得知，该相含Ti偏高。根据其形貌和该合金可能形成的相来分析，该相可能是 Ni_3Ti (η)相。为了验证此相，制备了薄膜试样，用H-800电子显微镜对针状相进行电子衍射。其暗场相

如图8a，其电子衍射花样及其指标化如图8b、8c。由衍射花样证实，针状相为六方结构的 Ni_3Ti 相。

4. 细晶粒带对产生裂纹的影响

取图2所示试样，其尺寸为 $8 \times 15 \times 60$ mm，用三点弯曲法，采用声发射仪监测裂纹，当裂纹产生时，停止加载。所加载荷与裂纹情况见表4。无条带试样，加载32340牛顿也未见裂纹



(a) 有裂纹 (b) 无裂纹

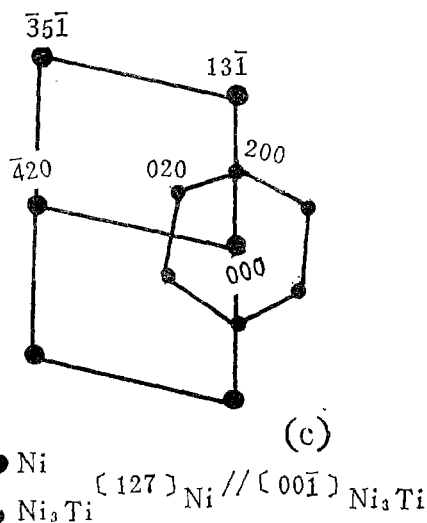
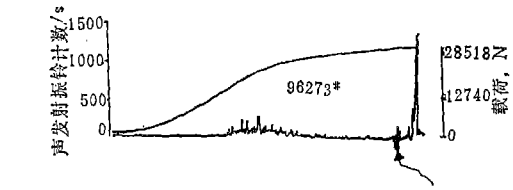


图8 电子显微镜照片

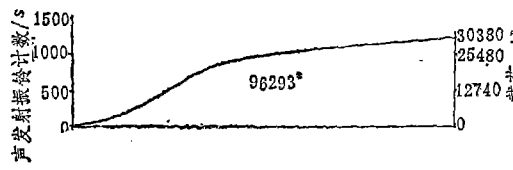
产生,而96273[#]试样(其条带垂直于试样的长方向)加载28518牛顿就产生了裂纹信号。典型的载荷与声发射信号关系见图9。它说明条带方向和性质对产生裂纹有很大影响。图9a产生了裂纹,而图9b、9c没产生裂纹。虽然96293[#]试样条带方向与产生裂纹的96273[#]相同,但它较细,其中Ni₃Ti相和碳化物都较少,故没发现裂纹产生。

表4 不同细晶粒带与裂纹产生的关系

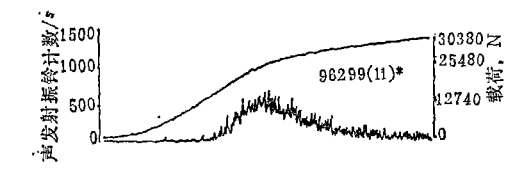
试样号	96273	96293	96299(11)	96299(00)
载荷值 N	28518	30380	32830	32340
裂 纹	有	无	无	无



(a) 有裂纹



(b) 无裂纹



(c) 无裂纹

图9 载荷与声发射关系曲线

我们重点对产生裂纹的试样进行了观察,图10为裂纹区金相照片。显然,裂纹起源于条带区,并沿条带向前扩展。进一步观察表明,裂纹起源于晶界上的大块碳化物,裂纹产生后

沿晶界向两边扩展,遇见Ni₃Ti相后裂纹沿相与基体结合处向前推进,见图11。

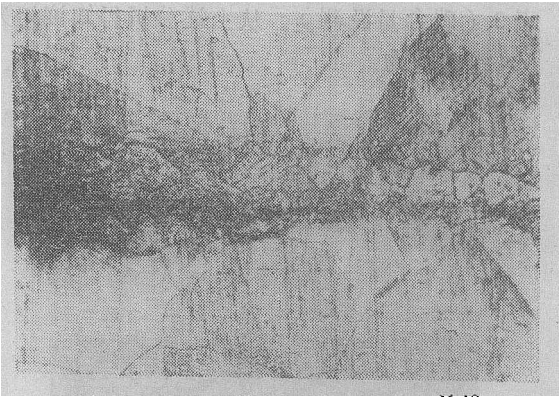


图10 裂纹区金相照片

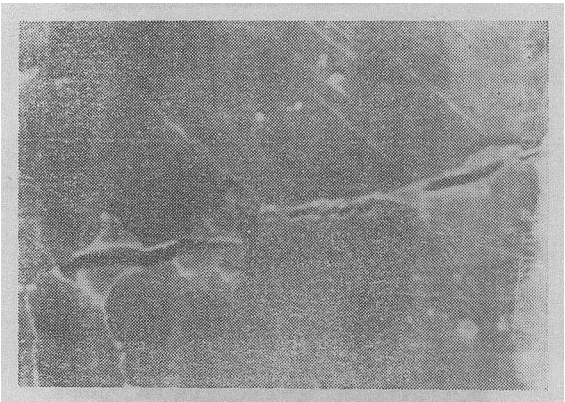


图11 裂纹源的二次电子相

三、讨 论

综上所述,宏观所见的低倍条带是细晶粒带,带内有许多Ni₃Ti相和MC碳化物。这种大量的针状相,实际上是片状组织,它和基体有一定的结合力。它有两种类型,一种为胞状群体,在晶粒边界上生核,并沿一定方向向晶内长大;另一种是魏氏体组织,它是由晶内生核并在晶内长大。

Ni₃Ti形成的机理,Baker^[1]等早已提出,应变能是驱动力。合金在时效时,由于Ti局部偏高,产生较大的应变能,在它的作用下,γ'密排面{111}就有可能由ABCABC排布变为ABCACABC排布,这种CACA排列就成为

Ni₃Ti密排六方{0001}的基面,然后,以它为核沿一定方向生长片状相。一般来讲,它都很薄,约几十埃到上百埃。

由声发射实验得知,条带和基体相比是薄弱部位。大块碳化物较脆,受力后易碎,产生微裂纹。倘若它处在晶界就很容易扩展,这说明在晶界上由于形成Ni₃Ti相被软化。因而,在涡轮盘上处于轮缘垂直于半径方向的条带危险性最大,径向条带一般不容易产生裂纹。

Clark^[2]研究了不锈钢添加Al、Ti对沉淀相的影响,得到Ti的含量和时效温度及时效时间对胞状群体相的量有很大影响,特别是Ti含量的影响更大。这说明Ti的局部偏析是造成条带形成的主要原因之一,当然也不能排除时效温度波动的影响。

四、结 论

1. GH33A低倍条带为细晶粒带,在其中

有大量的针状相(Ni₃Ti)和MC型碳化物。

2.条带中Ti含量偏高,这是形成Ni₃Ti相的主要原因。

3.条带易产生裂纹,裂纹易在条带内扩展。裂纹源多发生在大块碳化物上,并易在晶界上推进。如遇到Ni₃Ti相,裂纹沿相与基体结合处通过。

4.涡轮盘上的条带,轮缘垂直直径向的危险性大,而径向条带不易产生裂纹。

对黎明机械厂张培国同志提供试样表示感谢。

参考文献

- [1] Baker, R.G. et al, phil. Mag., 4(1959), P.1339.
- [2] Clark, B.R. and Pickering, F.B., J. of the Iron and Steel Institute, Vol.205, 1967, p.73.

结构陶瓷研究现况

据统计,美国目前有100家公司、大学和研究组织正在进行结构陶瓷的研究。日本也有50余家,英国和西德各有15家,其它国家也有不少厂家。

对于单一陶瓷,如碳化硅和氮化硅陶瓷已进行了广泛的研究。目前研究的另一途径,在于改进从先质材料到最终烧结的每一工艺步骤。对各种各样的制造技术进行了试验,包括铸型涂料、注射成型工艺和热等静压工艺。

福特动力公司对SiC的混合、失蜡、注射成型和烧结工艺作了平行的研究,并且发展了一种流体混合技术,以减少裂纹尺寸,改善强度。一种用于注射成型的改进的真空系统能使屈服强度从66%提高到96%。Garrett公司注射成型工艺制成Si₃N₄陶瓷,提高强度20%,室温断裂模量达到669MPa。

NASA刘易斯研究中心采用粉浆浇注和烧结相结合生产SiC的平均强度为430MPa,强度提高30%。这种材料显微组织极细(0.3~3μm),且无内部缺陷。

美国对单一陶瓷已进行了广泛的了解,并且建立

了性能数据库。目前重点已转向这些材料的复合材料及其相关的研究。刘易斯研究中心寻求连续陶瓷纤维增强的硅基陶瓷基体,计划承受1430°C以上的高温。该系统包括二个用SiC纤维增强的反应—粘结SiC和Si₃N₄。用聚合物的衍生物先质,例如Polysilanes和Polysilazanes来处理纤维和基体。除此之外,还研究化学蒸汽沉积SiC纤维;探索石墨和SiC/石墨涂层;用SiC晶须增强氧化铝基体等方面的研究工作。

精确的寿命预测对未来的航宇和动力系统应用结构陶瓷至关重要,研究包括环境影响、断裂力学、疲劳以及和时间相关的行为。目前已提出一种叫做“断裂图”的寿命预测方法,用于Si₃N₄等不同材料和破坏模式。结果发现,因缓慢裂纹扩展而引起的静态疲劳破坏是最重要的破坏模式。同时,NASA研究用切口试样测定平面应变断裂韧性的标准试验方法。研究无损评定技术,计算机辅助制造和设计技术等领域。以期在未来10年或20年内,使结构陶瓷——单体陶瓷或复合陶瓷在实际中取得重要的应用。

(傅孙靖摘自《Metal Progress》1986.10.)