

Ti与Al反应合成TiAl基合金的过程和机理

汪琳* 熊翔 黄伯云

(中南工业大学,长沙 410083)

摘要 采用扫描电子显微镜对反应热压1:1的Ti-Al混合粉所制备的TiAl基合金致密体的显微结构和微区化学成分进行了观察和分析,根据Al元素的分布和各相存在的成分范围,发现Ti与Al反应过程中,首先在原Ti颗粒内部形成 $TiAl_3$ 、 $TiAl$ 、 Ti_3Al 和 α -Ti四相,然后,反应在这四个固相间继续进行。随着Al元素的扩散和均匀化,已形成的 $TiAl_3$ 和 α -Ti相进一步反应而消失掉,最终,显微组织由 $TiAl$ 和 Ti_3Al 两相构成。

主题词 TiAl 反应热压 机理

1 前言

TiAl金属间化合物由于高温强度好、密度低而成为一种颇有应用潜力的高温结构材料。除了可采用熔铸和粉末冶金(粉末烧结处理)技术制造外,TiAl合金材料还可采用新近发展起来的自蔓延高温合成(SHS)技术制造^[1-5]。普通Ti和Al反应合成技术所制造的TiAl基合金为多孔体,反应热压(SHS过程和热压的结合)能大大地减少孔隙,使材料达到致密。

本研究通过采用扫描电子显微镜(SEM)观察和分析反应热压TiAl基合金的晶粒显微结构和微区化学成分,探讨了Ti和Al反应合成TiAl合金的过程和机理。

2 实验

采用纯Ti粉和Al粉为原料,制备成Ti-Al成分为1:1(原子比)的母体混合粉。原料Ti和Al粉的纯度均为99%,粒度小于45 μ m。将10g混合粉末放入直径为15mm的石墨模具中后,真空封闭在不锈钢管内。然后,在0.6M Pa的应力载荷下,迅速分别加热

至800°C(RHP1试样)、880°C(RHP2试样)和940°C(RHP3试样)。在以上温度停留5min后,将试样和不锈钢管一起抽出炉膛空冷。在约650°C时,反应热压压缩非常明显。

TiAl相的相对量(TiAl与 Ti_3Al 之比)由两个主要X射线衍射峰的峰高确定。对TiAl相,采用(200)晶面衍射峰;对 Ti_3Al 相,采用(201)晶面衍射峰^[2]。晶粒显微结构观察和微区化学成分分析由X-650型扫描电子显微镜完成。试样表面经研磨、抛光后,用Kroll溶液浸蚀。

3 结果

3.1 X射线衍射分析

图1为X射线衍射结果。在RHP3试样中合成的TiAl相的相对量最多,RHP2试样中次之,RHP1试样中最少。这表明反应温度对Ti与Al反应合成TiAl有着一定的影响。反应温度高,可促进Ti与Al间的扩散,以及引发生相间的进一步反应,这些均有利于TiAl的合成^[5]。

* 汪琳,工程师,主要从事材料组织结构分析及金相质量检验工作。

收稿日期: 1995. 10. 14.

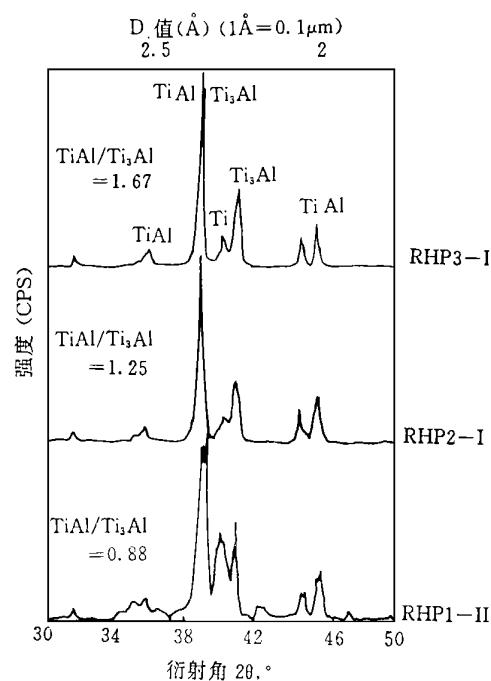


图 1 X射线衍射谱

Fig. 1 X ray diffraction spectrum

3.2 晶粒显微结构和微区成分

图 2 为扫描电镜 (SEM) 显微结构照片。显微结构观察发现, RHP1 试样的晶粒由三层亚结构构成 (图 2a), 它们的标记分别为 1、2、3。图 3 为这三层亚结构的 X 射线能量衍射谱。三个试样的晶粒微区化学成分 X 射线能量衍射定量数据示于表 1。表 1 表明, RHP1 试样晶粒的边缘薄层 (标记为 1) 为 Ti Al+ Ti3 Al 两相, 中间层 (标记为 2) 为 Ti3 Al 单相, 核心 (标记为 3) 为 α -Ti 相。

RHP2 试样的晶粒仍由三层亚结构组成 (图 2b)。但与 RHP1 试样相比较, 由于 Ti 与 Al 不断反应, 其边缘层加厚且只含有 Ti Al 单相, 核心 α -Ti 相区域减小。当核心 α -Ti 相与 Al 元素完全反应时, 晶粒就仅由两层亚结构构成。图 2c 为 RHP3 试样的晶粒显微结构, 该两层亚结构分别为 Ti Al 相和 Ti3 Al 相。

图 4 为三个试样的 Al 元素分布图。它们明显地表示出, Al 元素分布随着合成反应的进行而逐渐趋于均匀化。

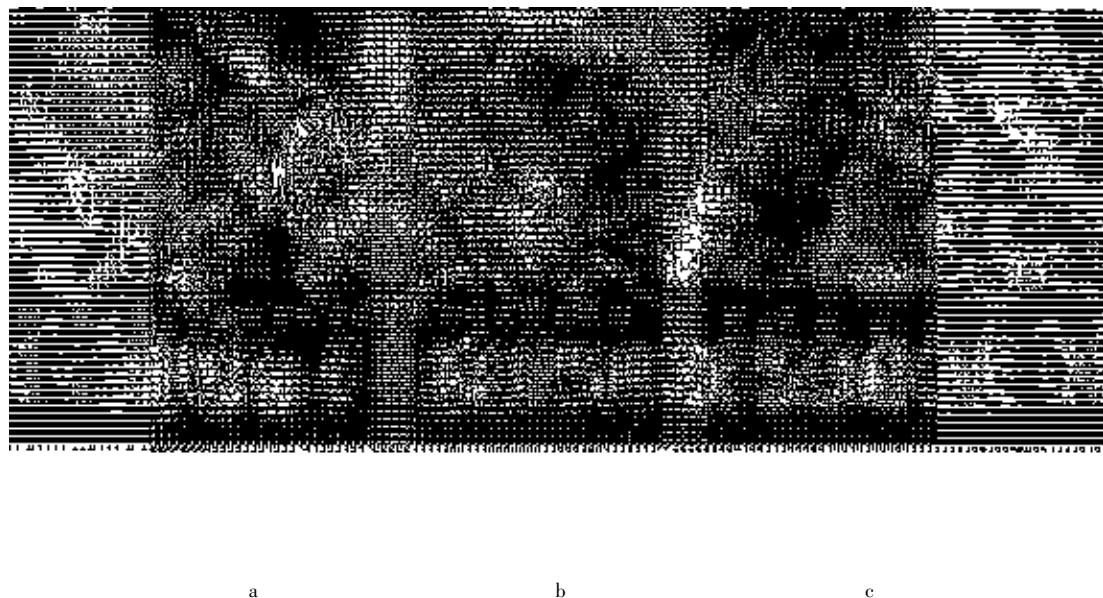


图 2 SEM 显微结构照片

Fig. 2 SEM microstructural photo

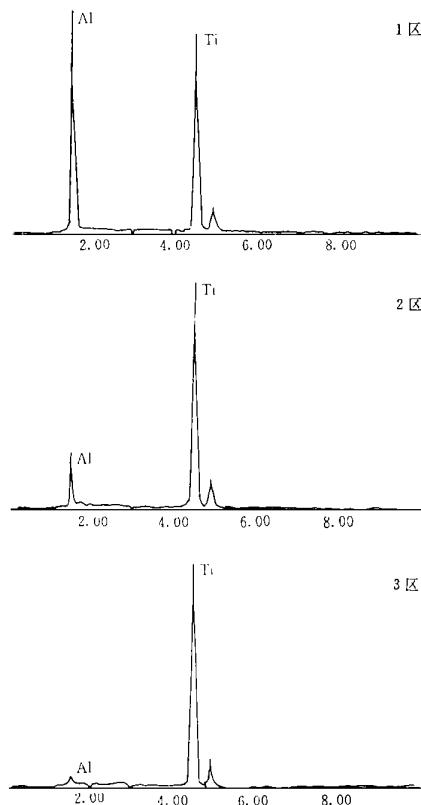


图 3 RHP1试样晶粒的微区 X射线能量衍射谱

Fig. 3 X-ray energy diffraction spectrum in the micro-zone of RHP1 specimen

表 1 晶粒微区成分的 X射线能量衍射定量数据

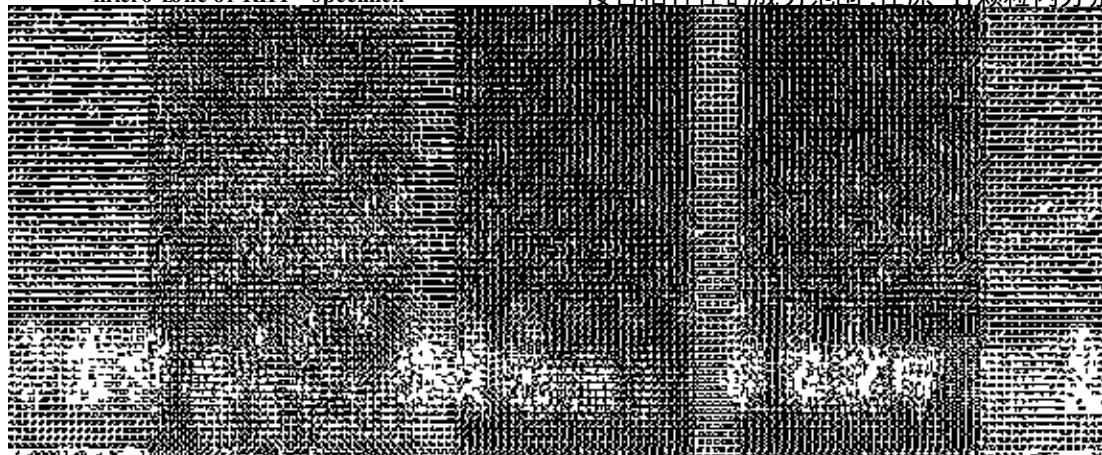
Table 1 Quantitative data of X-ray energy diffraction compositions in the micro-zone of grain

试样	微区	Ti, at%	Al, at%	相
RHP1	1	37.61	63.38	TiAl+ TiAl ₃
	2	75.74	24.26	Ti ₃ Al
	3	92.55	7.25	α-Ti
RHP2	1	48.38	51.62	TiAl
	2	68.92	31.08	Ti ₃ Al
	3	92.67	7.33	α-Ti
RHP3	1	49.75	50.25	TiAl
	2	47.28	52.72	TiAl
	3	68.52	31.48	Ti ₃ Al

4 讨论

根据三个试样的晶粒显微结构及微区成分, Ti与Al的反应过程可分为两个阶段。在第一阶段, 依据示差扫描量热法(DSC)分析结果(如图5所示), 温度超过Al的熔点, Al已处于熔化状态, 在图5的DSC曲线上相应出现吸热波谷, 因而, 外加压力可大大地促进试样的致密化。在此同时, 熔融Al迅速铺展开, 与Ti颗粒充分反应完全, 在图5曲线上表现为放热波峰。

随着Al元素扩散进入Ti颗粒中, 它们按各相存在的成分范围, 在原Ti颗粒内分别



a. RHP1

b. RHP2

c. RHP3

图 4 Al元素分布图

Fig. 4 Distribution drawing of Al element

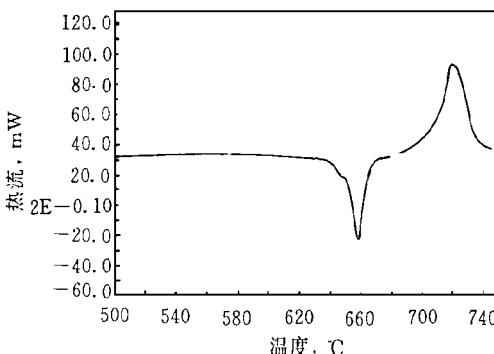


图 5 DSC曲线

Fig. 5 DSC curve

反应形成 $TiAl_b$ $TiAl$ $Ti_b Al$ 和 $\alpha-Ti$ 四个固相。在这一阶段, Al 能与 Ti 迅速反应几乎完全, 因而, 三个试样的 X 射线衍射谱中都无 Al 元素的衍射峰出现(图 1)。

在第二阶段, Ti 与 Al 的反应在已形成

6 参考文献

- 1 Munir Z A. The synthesis of high temperature materials by self-propagating combustion methods. 粉末冶金技术, 1988, 6(1): 1.
- 2 Rawars J G, Wraesinski W. Heat treatment of reaction-sintered hot-pressed $TiAl$. Scripta Metall, 1990, 10: 1985.
- 3 杨遇春. 自蔓延高温合成 (SHS) 及其应用. 稀有金属, 1991, (4): 440.
- 4 Hsu S E, Wu H D, Li C M. Mechanical behavior of $Ti-Al$ alloy preparing by two innovative P/M processes. Proceedings of JIM S. The Japan Institute of Metals, 1991. 979.
- 5 熊翔, 黄伯云. 高温反应合成 $TiAl$ 合金的研究. 粉末冶金技术, 1994, 12(2): 1.

的四个固相 ($TiAl_b$ / $TiAl$ / Ti_3Al & $\alpha-Ti$) 间进行 (RHP1 试样和 RHP2 试样)。随着反应的进行及 Al 元素的均匀化, Al 含量较高和 Ti 含量较高的相 ($TiAl_b$ 和 $\alpha-Ti$) 易于消失, 晶粒显微结构最终由 $TiAl$ 和 Ti_3Al 两相的亚结构构成 (RHP3 试样)。虽然 Ti 与 Al 反应最终要合成成分均匀的 $TiAl$ 单相合金材料, 但它将完全受到晶粒内 $TiAl$ 和 Ti_3Al 两相间 Al 元素扩散及均匀化速度的控制。

5 结论

根据 Al 元素的分布和各相的成分范围, Ti 与 Al 反应, 首先在原 Ti 颗粒内形成 $TiAl_b$ $TiAl$ $Ti_b Al$ 和 $\alpha-Ti$ 四相。然后, 反应在这四个固相间继续进行。随着 Al 元素的扩散及均匀化, 已形成的 $TiAl_b$ 和 $\alpha-Ti$ 相将进一步反应而消失。最终, 晶粒由 $TiAl$ 和 Ti_3Al 两相构成。

PROCESS AND MECHANISM OF $TiAl$ BASE ALLOY MADE BY REACTIVE SYNTHESIS BETWEEN Ti AND Al

Wang Lin Xiong Xiang Huang Baiyun

(Central-South University of Technology, Changsha 410083)

Abstract The microstructure and the chemical compositions in micro-zone of densified $TiAl$ base alloy specimen manufactured from 1:1 $Ti-Al$ mixture by reaction hot-pressing have been reviewed and analysed by using scanning electronic microscope. According to the distribution of Al element and composition range in various phases, it has been found that during the process of reaction between Ti and Al, four phases $TiAl_b$, $TiAl$, $Ti_b Al$ and $\alpha-Ti$ were firstly formed in original Ti particles. Then continuous reaction among these four solid phases was carried out. With the diffusion and homogenization of Al element, the $TiAl_b$ and $\alpha-Ti$ phases which have been formed were eliminated. Finally, the microstructure was constituted by two phases $TiAl$ and Ti_3Al .

Key words $TiAl$ reaction hot-pressing mechanism