

只有和少量  $Ti_3Al$  共存时才会出现良好的塑性。 $TiAl$  和  $Ti_3Al$  之间具有如下的位向关系:

$$\{111\}_{TiAl} // \{0001\}_{Ti_3Al} \text{ 和 } \langle 1\bar{1}0 \rangle_{TiAl} // \langle 11\bar{2}0 \rangle_{Ti_3Al}$$

屈服强度随  $\theta$  角而改变主要可由前述孪生和滑移符合 Schmid 定律来解释。而在“易”和“难”两种型变模式下较大的屈服强度差别则是由于层片界面的存在, 因为层片界面对形变孪生和滑移构成了有效的障碍, 所以切变穿越界面的“难”形变模式具有较高的屈服强度, 而切变平行于界面的“易”形变模式则屈服应力较低。此外, 在两种形变模式下位错运动平均自由程的不同也是导致屈服强度差别的原因之一。

PST 晶体的断裂特征也取决于  $\theta$  值的大小。当拉伸轴平行于层片面时, 裂纹以“之”字型穿越层片界面而扩展; 而当拉伸轴垂直于层片面或它们之间呈一定角度时, 则以解理方式产生断裂。解理面在  $TiAl$  相中为  $\{111\}$ , 在  $Ti_3Al$  相中为  $\{0001\}$ , 两者都平行于层片面, 且解理大部分产生在  $TiAl/TiAl$  孪晶面和  $TiAl/Ti_3Al$  两相界面。值得指出的是, 即使拉伸塑性高达 20% 的试样也呈脆性解理断裂, 这是由于  $TiAl$   $\{111\}$  面的解理断裂能很低的缘故, 同时这也与环境因素有关, 有研究结果表明延伸率对测试环境很敏感, 在真空中比在空气中测得的延伸率几乎大 3 倍 (见表 3), 据此认为这是由于氢脆效应使内聚力下降所致。

#### 四、类单晶 $TiAl$ 的制备及性能影响因素

运用区域重熔的方法进行定向凝固, 只要工艺参数合适控制, 便可获得只有单一层片位向的 PST 晶体。成功制备的关键是如何控制固液界面的温度梯度或晶体的生长速率, 通常只要晶体生长速率小于某一临界值, 便可获得单一层片位向的晶体, 而临界生长速率随合金 Al 含量的上升而下降。

由于  $\theta$  角将直接影响塑性与强度, 因此层片位向与晶体生长方向之间的位向差也是制备晶体时所要考虑的问题。通常此位向差受到最初从液体中析出的初始相的影响。如果初始相仅仅是  $\alpha$  相, 则由于晶体生长位向关系的原因层片面将平行于晶体生长的方向。但如果还有其它相存在 (如  $\beta$  相), 则生长方向与层片面呈一定的角度, 通过控制初始相位向可调整层片面向向。

研究结果表明, 薄而均匀分布的层片组织能显著提高塑性与强度 (见图 2), 因此总是设法获得尽可能薄的层片组织。

通常层片间距取决于晶体生长速率和合金的 Al 含量, 小的生长速率和低的 Al 含量都有助于获得薄层片组织。另一方面, 由于作为基体的  $TiAl$  相只有与少量  $Ti_3Al$  ( $\alpha_2$ ) 相共存时才能体现其塑性, 因此  $\alpha_2$  相的相对含量 (层片厚度) 及分布必然对塑性有影响,  $\alpha_2$  相的含量及其分布可通过 Al 含量及添加合金元素进行控制和调整。此外, 层片状孪晶界面和两相界面结构、以及各种亚结构

都将对力学性能产生影响。

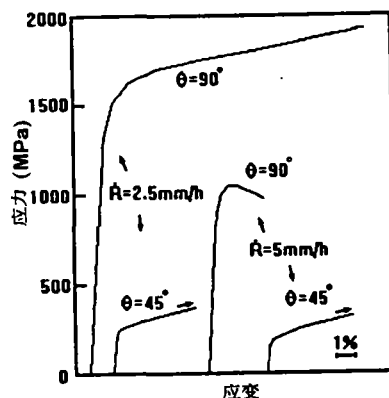


图 2  $Ti-48.1at\%Al$  PST 晶体在晶体生长速率仅为 2.5mm/h 和 5mm/h 以及不同  $\theta$  角条件下的应力应变曲线

#### 五、结束语

由于类单晶  $TiAl$  合金所具有的良好塑性和高强度、高断裂韧性, 使它可望在较短时间内获得实际应用, 并为整个金属间化合物的实用化进程创造一个台阶。但目前的研究还处于探索性阶段, 在制备工艺和基础理论方面还有许多问题有待解决, 因此系统深入地进行工艺参数/化学成分/组织结构/力学性能间相互关系的规律及其相应内在本质与机理的研究可为加快类单晶的应用提供良好基础。此外, 从以往的实际情况看, 走 (类) 单晶的道路来发展高温结构材料 (如用作涡轮发动机叶片) 也是较为可行和更能发挥材料潜力的。

#### 参考文献 (略)

\*\*\*\*\*

#### D17 单组份硅橡胶胶粘剂

上海橡胶制品研究所研制的 D17 单组份胶粘剂由一种反应性的室温硫化硅橡胶、补强剂、交联剂和催化剂组成, 具有强度高、无腐蚀、耐高低温及对金属和硅橡胶许多材料粘接良好等优点。主要用于军工产品内腔壳体腔室的密封, 还可作为减少炸药摩擦、保护炸药安定的填隙材料, 亦可在民用工业中用作胶粘剂和密封剂。经用户的立项应用试验证明, 该产品不但物理力学性能和粘接性能可满足需方的技术要求, 而且用于军工产品壳体腔室的涂覆, 工艺性能良好, 与炸药相容性、气密性达到需方要求。该产品的研制成功不仅有助于我国的国防工业, 也具有一定的经济价值。该项科研成果已经由上海化工局组织有关专家进行评议的鉴定会上通过了技术鉴定。

(赵正平)