

# 快速凝固热强 Al-4Ti-2V-3La 合金的显微结构和力学性能的研究

杨明珊 汤亚力 沈宁福 刘晓芳  
(数学力学系) (材料科学与工程系)

**摘 要** 采用金相 (OM)、透射电镜 (TEM)、扫描电镜 (SEM) 等先进技术研究了快速凝固 Al-4Ti-2V-3La 合金, 确定了基体中弥散分布的细小强化相为单一的  $Al_{20} (Ti, V)_2La$  相, 结构为金刚石立方结构, 晶格常数  $a = 1.47\text{nm}$ 。该性能接近当前较成熟的热强铝合金, 说明快凝 Al-Ti-La 基合金作为热强铝合金具有潜在的实力。

**关键词** 快速凝固 Al-4Ti-2V-3La 合金 显微结构 力学性能

**中图分类号** TG 115

高温铝合金是快速凝固铝合金中最具有吸引力的合金, 它在航空、航天和汽车等工业领域有着广泛的应用前景。Al-过渡族元素 (如 Fe, Ni, Ti, Zr, Mo, Cr, V 等) 合金<sup>[1,2]</sup>通过快凝技术可以提高这些元素在  $\alpha\text{Al}$  基体中固溶量, 形成热稳定的弥散化合物, 有效提高合金再结晶温度, 从而提高铝合金的高温性能。目前, 较成熟的高温铝合金是 Al-Fe 系和 Al-Cr 系多元合金。

人们对于快速凝固 Al-Ti 系合金研究不多, J. F. Nie<sup>[3,4]</sup>对 Al-Ti-Ce 合金和 A. C. Jackson<sup>[5,6]</sup>对 Al-Ti-La 合金进行了探索性的研究。作者对 Al-Ti-La 合金<sup>[7]</sup>的显微结构及热稳定性进行了详细的分析, 认为快凝 Al-Ti-Re 系合金有可能成为较理想的热强铝合金。

本文在 Al-Ti-La 合金的基础上进一步多元合金化, 添加 V 元素, 对快凝 Al-4Ti-2V-3La 合金的显微组织和力学性能进行讨论分析, 以便研究出较理想的热强 Al-Ti-Re 基合金。

## 1 实验方法

Al-4Ti-2V-3La 合金是在真空感应熔炼炉中熔炼, 通入氩气保护, 以防止 Ti、La 的氧化。快凝条带采用单辊急冷铸造法制得, 条带的厚度约为  $45-80\mu\text{m}$ 。将约 500 克的条带粉碎至  $100-200\mu\text{m}$  的细粉, 松装在  $\Phi 50$  的包套中, 经  $703\text{K}$  保温 90 分钟, 在 460 吨压力机热挤  $\Phi 10.8\text{mm}$  和  $\Phi 12.3\text{mm}$  两种棒材。

对快凝合金的显微结构分析是在 OLYMPUS BHZ-UMA 光学显微镜和 JEOL-2000FX

分析电镜上进行，力学性能的测试是在配有筒式电阻炉的 GYF-1 恒应变试验机上进行，断口分析是在 JEM-35 扫描电镜上进行。

2 实验结果

2. 1 快凝 Al-4Ti-2V-3La 合金的显微结构分析

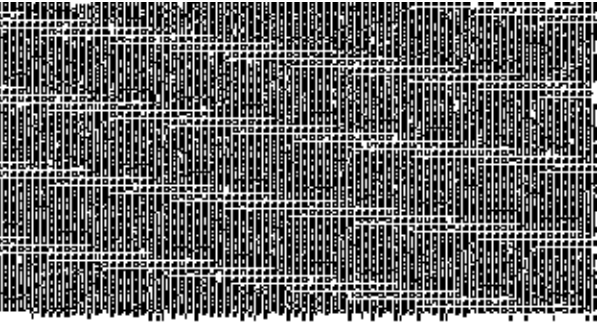


图 1 Al-4Ti-2V-3La 合金快凝条带横截面金相照片

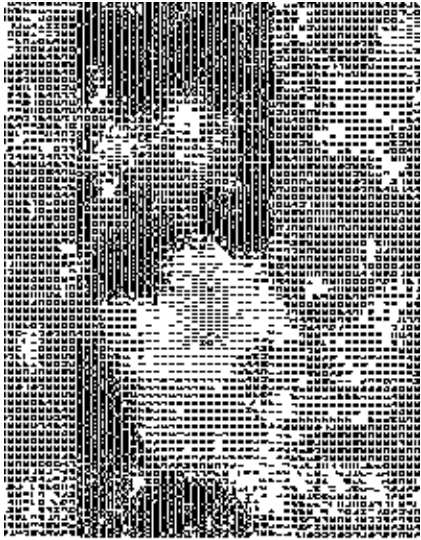


图 2 Al-4Ti-2V-3La 合金快凝条带横截面典型的 TEM 明场像

图 1 为快凝条带横截面的金相照片，在快速凝固过程中，贴辊面处凝固速度较快，形成微胞晶，不易腐蚀，称为 Zone A。而靠近自由面由于结晶潜热的释放，过冷度及冷却速度降低，形成偏析严重的粗胞晶组织，易腐蚀，称为 Zone B。在金相中可以很明显地分为 Zone A 和 Zone B，其中 Zone A 占整个条带的比例平均为 1/3。据研究表明，Zone A 占条带的比例与成份及条带厚度有关。

图 2 为快凝条带典型的 TEM 明场像，在  $\alpha$ Al 基体上分布着粒状的强化相，部分强化相聚集成团簇，体积百分数约为 20-25%。图 3 是强化相的微衍射花样，经分析强化相均为单一的  $\text{Al}_{20}(\text{Ti}, \text{V})_2\text{La}$  相，金刚石立方结构， $a=1.47\text{nm}$ 。<sup>[8]</sup>

2. 2 快凝 Al-4Ti-2V-3La 合金的力学性能：

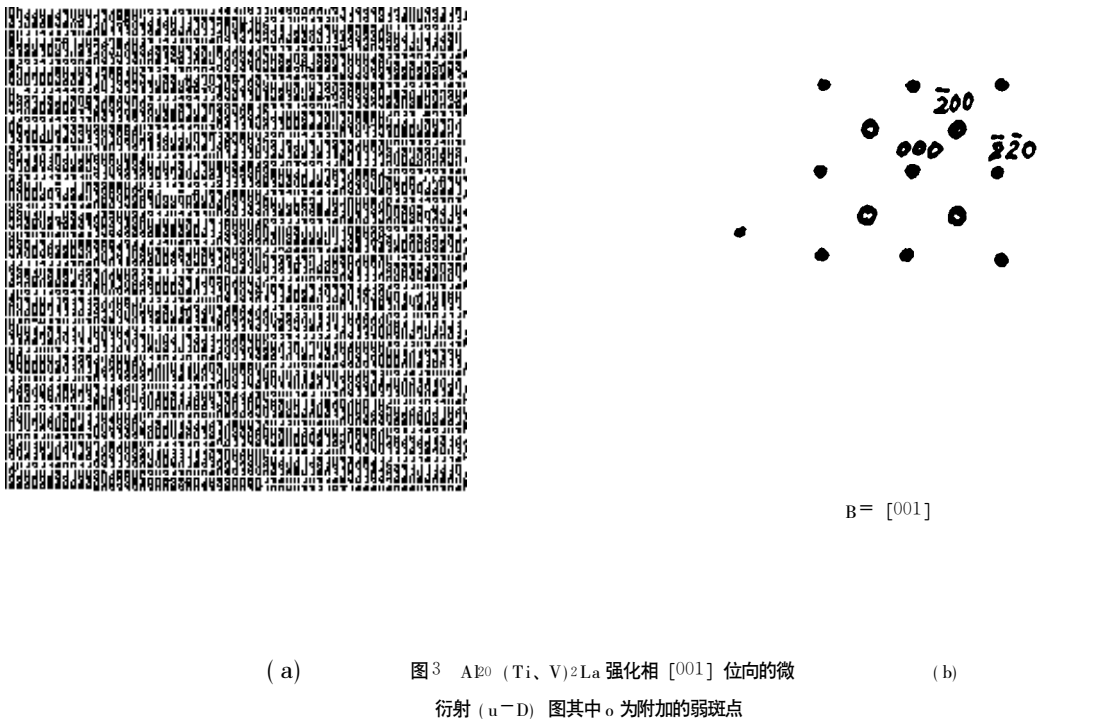
表一为 Al-4Ti-2V-3La 合金热挤棒材的力学性能，从实验结果可知，合金的强度随着拉伸温度的升高而降低，573K 比 293K 的强度下降约 270MPa，延伸率也有所下降，从两种挤压比棒材拉伸性能对比可知，相同温度合金强度基本相同。所以，本实验中，挤压比对合金的强度影响不大。延伸率和拉伸温度、挤压比的关系不存在规律性。

表 1 Al-4Ti-2V-3La 合金热挤棒的力学性能

挤压比 拉伸性能 测试温度	16. 5 : 1			21. 4 : 1	
	293K	473K	573K	473K	573K
(抗拉强度) (MPa) $\sigma_b$	497. 7	337. 8	226. 5	324. 6	218. 3
(延伸率) (%) $\delta$	12. 4	9. 0	7. 2	5. 8	10. 0

3 分析与讨论

热强铝合金的设计原则为在合金中形成高温稳定的高强度、高硬度、弥散分布的金属间化合物，且在高温下对基体和晶粒起强化作用，在对 Al-4Ti-2V-3La 合金的显微结构分析表明：在  $\alpha$ Al 基体上分布着细小的第二相  $\text{Al}_{20}(\text{Ti}, \text{V})_2\text{La}$ ，此第二相有较好的热稳定性。所以，Al-4Ti-2V-3La 合金的显微结构符合热强铝合金的设计思想。



表二为快凝 Al-4Ti-2V-3La 合金与当前较成熟的 Al-Fe，Al-Cr 系合金的力学性能对比，可知，其高温性能略有差距，主要原因为：在快凝条件下，金属间化合物  $\text{Al}_{20}(\text{Ti}, \text{V})_2\text{La}$  的形核能力强，形核率大。因此， $\alpha$ Al 基体的溶质元素 Ti、V、La 的固溶量受到限制，在退火过程中，固溶于基体的溶质元素以弥散相析出的体积百分数受到限制，所以，弥散强化的作用减弱。同时，基体中溶质元素析出造成基体本身的软化。所以，应调整合金成份或进一步多元合金化，以使固溶元素在基体的固溶量增大。断口的分析表明挤压棒中有热裂纹存在，因此，可以判断热挤温度过高。另外，在热挤中没有考虑到真空除气，粉末间的气体 and 氧化皮造成粉末结合不理想。

所以，应从工艺方面考虑，降低热挤温度和增加真空除气工艺。

Al-4Ti-2V-3La 合金作为热强铝合金已显示出潜在的实力，但仍需从合金本身和工艺两方面进一步改进和完善，以使 Al-4Ti-2V-3La 基合金的力学性能得到提高。

表 2：快凝 Al-4Ti-2V-3La 合金与与 Al-Fe，Al-Cr 系合金的力学性能对比

合 金	室 温 ( 293K)		高 温 ( 573K)	
	σ ( MPa)	δ ( %)	σ ( MPa)	δ ( %)
Al-8. 1Fe-6. 8Ce <sup>[10]</sup>	525	9. 0	246	9. 0
AFVS0812 <sup>[10]</sup>	462	12. 9	276	11. 9
Al-8Fe-2Mo-1V <sup>[9]</sup>	512	3. 0	237	9. 7
Al-4. 5Cr-1. 5Zr-1. 2Mn <sup>[9]</sup>	536	7. 7	235	/
Al-4Ti-2V-3La ( I )	497	12. 4	226. 5	7. 2
Al-4Ti-2V-3La ( II )	/	/	218. 3	10. 0

I 为挤压比 16. 5：1 的热挤棒材  
II 为挤压比 21. 4：1 的热挤棒材

4 结论

- ( 1) 快凝 Al-4Ti-2V-3La 合金的显微结构为 αAl 基体上弥散分布着金属间化合物相 Al<sub>20</sub>(Ti、V)<sub>2</sub>La，此化合物相的热稳定性好。所以，显微结构符合热强铝合金的设计要求。
- ( 2) Al-4Ti-2V-3La 合金的室温和高温力学性能接近较成熟的热强铝合金。
- ( 3) 进一步提高快凝 Al-Ti-Re 基合金的力学性能，尤其是高温力学性能，应调整合金成份，以使溶质元素的固溶量增加，达到第二相强化和基体、晶粒的强化作用。

参 考 文 献

1 G. Thursfied, M. J. Stowell. J. Mater. Sci., 1974, vol. 9, p1644—1660  
2 K. Okazaki, D. J. Skinner, Scripta. Metall., 1984, vol. 18, p911—916  
3 J. F. Nie, S. Srifhara, and B. C. Muddle, Metall., Trans., 1992, vol. 23A, p3193  
4 J. F. Nie, A. Majumdar, and B. C. Muddle, Mater. Sci. &Eng., A179/A180, 1994, p619—624  
5 A. G. Jackson, Y. R. Mahajan, and S. D. Kirchoff, Scripta. Metall., 1986, vol. 20, p1247  
6 Y. R. Mahajan, J. D. Kirchoff, and F. H. Froes, Scripta. Metall. 1986, vol. 20, p1247  
7 杨明珊, 郑州工学院硕士论文, 1995  
8 M. S. Yang, N. F. Shen, Y. L. Tang and S. H. Han, J. Mater, Sci. Lett., 1995, vol. 14, p1664—1667  
9 M. Zedalis, D. Raybord, D. f. Skinner and S. K. Das, Processing of structure Metals by Rapid Solidifica-  
tion, ASM, Orlamdo, 1986, p347  
10 程天一, 章守华, 快速凝固技术与新型合金, 宇航出版社, 1990

## Microstructures and Mechanical Properties of Rapidly Solidified Al-4Ti-2V-3La Alloy for Elevated Temperature Application

Yang Mingshan\* Tang Yali Shen Ningfu Liu Xiaofang

( \* *Department of Mathematics & Mechanics* )

( *Department of Materials Science and Engineering* )

**Abstract** Optical metallography ( OM ) 、transmission electron microscopy ( TEM ) 、and scanning electron microscopy ( SEM ) techniques were used to study rapidly solidified ( RS ) Al-4Ti-2V-3La alloy . A large amount of fine and homogenously dispersed intermetallic particles , which is of diamond cubic crystal structure (  $a = 1.47 \text{ nm}$  ) with the composition stoichiometry of  $\text{Al}_{20}(\text{Ti}, \text{V})_2\text{La}$  , were distributed on matrix . The room temperature and elevated temperature tensile properties of RS Al-4Ti-2V-3La , which approached advanced RS elevated temperature alloys , were measured . It is shown that potentiality of RS Al-Ti-La based alloys for elevated temperature application . Alloying additions and technology improvement are effective approaches to develop the alloy .

**Keywords** Rapid solidification Al-4Ti-2V-3La alloy microstructure mechanical property .

( 上接 16 页 )

## The Study of Bond Capacity Between Cold-rolled Bars and Concrete

Guan Pinwu Liu Lixin Xu Youlin

( Zhengzhou University of Technology )

( Building Research Association of China )

**Abstract** In this paper the bond mechanism and main factors causing the bond capacity between cold-rolled bars and concrete are studied in detail , based on a large amount of pull-out bond tests about cold-rolled bars . And formula of all characteristic bond strengths is regressed , the formula on limited bond length of cold-rolled bars is also deduced . Then 17 beams' bond experiment is made to prove the formal formula and conclusion . Finally , based on the analysis of reliability method , bond lengths of cold-rolled bars concrete elements are suggested for composing the Chinese Specification For Design And Construction of Cold-rolled Bars Concrete Elements .

**Keywords:** cold-rolled bars bond reliability method