

雾化沉积高强铝合金材料的组织与性能^①

沈 军 宋广生 曾松岩 蒋祖龄 李庆春
(哈尔滨工业大学 434 信箱, 哈尔滨 150001)

摘 要

研究了雾化沉积快速凝固高强铝合金材料的显微组织与拉伸性能。结果表明:采用雾化沉积技术可显著提高高强铝合金的强度指标,同时拉伸塑性保持与铸锭冶金材料相当的水平。过饱和固溶体、时效析出相以及变形和热处理过程形成的弥散相构成材料的主要强化相。

关键词:快速凝固 雾化沉积 高强铝合金

雾化沉积是最近发展起来的一种新型的快速凝固技术,大量的研究工作表明^[1-4],采用雾化沉积技术可以改善和提高材料的使用性能。本文对雾化沉积 2024(Al-Cu-Mg)合金和 7075(Al-Zn-Mg-Cu)合金的显微组织和拉伸性能进行了观察和分析。并考察了微量 Fe、Ni 对 7075 合金组织与性能的影响。

1 实验材料与方法

实验用母合金为工业纯度的 2024 和 7075 合金棒料。Fe、Ni 分别以 Al-Fe 和 Al-Ni 中间合金方式加入。材料的化学成分见表 1。

雾化沉积实验在自行研制的快速凝固装置上进行。沉积过程如图 1 所示。合金熔体流经雾化器时,被高压气体雾化成液态颗粒,颗粒在高速气流的冲击下喷射到激冷基底表面,并在此表面沉积,形成半固态薄层,经过雾化

过程与气体的对流换热及沉积过程与基底的热传导,颗粒和沉积层迅速冷却,凝固成致密的雾化沉积毛坯。采用工业纯氮雾化,压力为 2.5 MPa,基底至雾化器的距离为 400 mm,雾化时熔体温度为 800 ℃,沉积速度为 1.0 kg/min。

本文采用热挤压的方法对沉积毛坯进行变形处理,挤压比为 25 : 1,挤压前试样在 420 ℃下保温 1 h。T₄ 和 T₆ 是变形铝合金常用的两种热处理制度,分别按图 2 所示的热处理

表 1 高强铝合金材料的化学成份 (wt.-%)								
合金	Cu	Mg	Zn	Mn	Fe	Ni	Si	Al
2024	4.48	1.45	—	0.61	0.31	—	0.15	其余
7075	1.30	2.55	5.60	0.11	0.42	—	0.20	其余
7075	1.32	2.56	5.59	0.12	0.98	0.91	0.18	其余
+Fe+Ni								

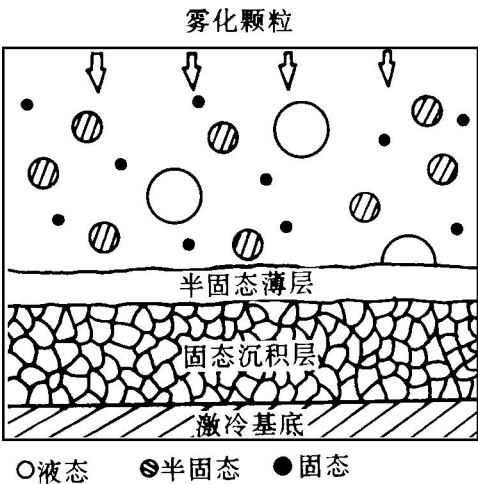


图 1 雾化沉积过程示意图

① 收稿日期: 1993 年 6 月 10 日

工艺对挤压态材料进行固溶时效处理。固溶处理的保温过程在盐槽中进行,熔盐组成为50% NaNO_3 + 50% KNO_3 。利用 Philips CM12 透射电镜观察了时效态材料的显微组织,试样经电火花加工并在 800# SiC 砂纸上磨制成厚度小于 0.02 mm 的薄片,再用 30% 的硝酸甲醇溶液在 $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 下双喷减薄成最终透射电子显微镜观察的样品。观察时加速电压为 120 kV。在 Instron 4507 拉伸试验机上测试了材料的拉伸性能,并利用 JSM35 扫描电镜对拉伸试样的断口形貌进行了观察和分析。

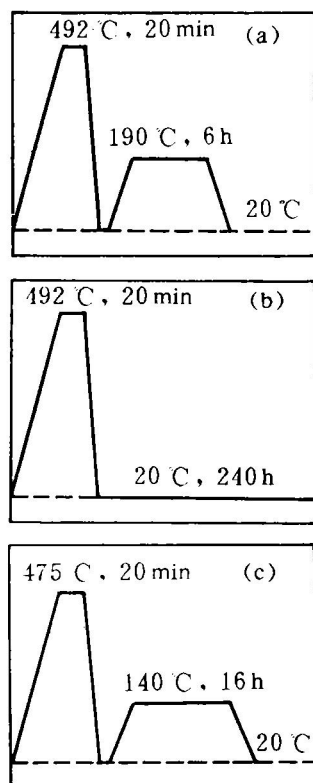


图2 材料的热处理工艺曲线

(a)—2024-T₆; (b)—2024-T₄;
(c)—7075-T₆ 及 7075+Fe+Ni-T₆

2 实验结果与分析

在本文实验条件下,沉积毛坯呈高斯分布的几何形状,其轴向和径向的密度可达理论密度的 94% 以上,而且致密性没有明显的方向

性。沉积态材料的显微组织具有两个主要特征,其一是基体全部为等轴晶,其尺寸小于 20 μm 。其二是在晶界上分布着少量尺寸小于 5 μm 的显微孔洞。分析认为^[5],“枝晶断裂”和“约束生长”是形成等轴晶的主要机制,“气体卷吸”、“凝固收缩”和“填隙式孔洞”是显微孔洞形成的主要原因。后续变形处理正是为了消除显微孔洞对材料性能造成的不利影响。

组织观察结果表明,2024 挤压态材料经固溶处理和自然时效(T₄)后,位错密度急剧下降,组织发生部分回复和再结晶。溶质原子发生大幅度偏聚,形成 G. P. 区。固溶体相和基体上大量分布着的 G. P. 区构成了自然时效态合金的主要强化相。虽然 G. P. 区处于热力学介稳状态,但自然时效条件还不能使 G. P. 区转变至更加稳定的状态(另一种介稳相或平衡相)。而对于人工时效态(T₆)的 2024 合金,合金化元素发生了进一步的脱溶,除过饱和固溶体外,主要强化相已不再是 G. P. 区,而是由 G. P. 区转变形成或独立形核长大形成的 S' 和 S (Al₂CuMg) 相。其中 S' 相呈针状,处于热力学介稳状态,并保持与基体部分共格。而以颗粒状分布的 S 相为平衡强化相,与基体呈完全非共格关系。与 2024-T₆ 合金相类似,7075 合金和 7075+Fe+Ni 合金经固溶处理和人工时效后,显微组织同样会发生回复再结晶和强化相析出等一系列变化。7075 合金的析出强化相由 η' 和 η (MgZn₂) 相组成,并分别以针状和颗粒状分布。此外,7075 合金和 7075+Fe+Ni 合金中的强化相还应包括由 Fe、Ni 等元素形成的细小弥散相。一般凝固条件下,Fe、Ni 等过渡元素在 Al 中的溶解度很小,剩余的原子将以粗大杂相的形式存在。但在快速凝固条件下,这类元素的固溶度得到大幅度扩展,在挤压和热处理过程中,过饱和的 Fe、Ni 原子将发生一定程度的脱溶,形成尺寸细小的弥散相,并通过阻碍位错运动在材料变形过程中起强化作用。表 2 为雾化沉积高强铝合金材料在室温下的拉伸性能。比较雾化沉积条件和普通铸锭冶金条件下材料的性能后发现,采用雾化沉积

技术,可使高强铝合金材料的屈服强度和抗拉强度提高10%~25%,且塑性指标保持与铸锭冶金材料相当的水平。此外,在7075合金中加入微量Fe、Ni元素,可进一步提高拉伸强度。

雾化沉积 2024-T₄、2024-T₆、7075-T₆ 以及 7075+Fe+Ni-T₆ 合金经拉伸变形后的断口形

貌如图3所示。可见,两类高强铝合金材料均呈现明显的韧性断裂特征,断裂前都曾发生过大量的塑性变形,断口表面分布着丰富的韧窝,而且韧窝内包含尺寸细小的第二相(析出相或杂相)粒子,表明裂纹首先在第二相处萌生,并进一步扩展,直至材料发生断裂。

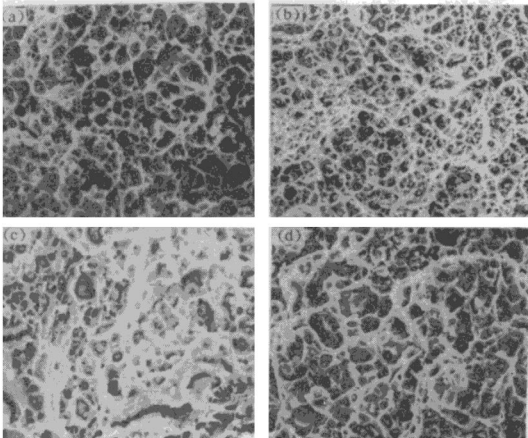


图3 试样的拉伸断口扫描照片(×1 000)
(a)2024-T₄; (b)—2024-T₆; (c)—7075-T₆; (d)—7075+Fe+Ni-T₆

表2 雾化沉积高强铝合金的室温拉伸性能

凝固工艺	合金及热处理	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	延伸率 (%)
雾化沉积	2024-T ₄	475	543	18.5
雾化沉积	2024-T ₆	425	524	19.2
雾化沉积	7075-T ₆	567	631	10.0
雾化沉积	7075+Fe +Ni-T ₆	601	687	8.9
铸锭冶金*	2024-T ₄	310	441	20.0
铸锭冶金*	7075-T ₆	510	572	13.0

*取自文献[6]

3 结论

(1) 过饱和固溶体、时效过程析出的介稳相和平衡相是雾化沉积 2024 和 7075 合金的主

要强化相。在 7075 合金中加入微量 Fe、Ni 元素,可形成具有强化作用的弥散相。

(2) 与铸锭冶金材料相比,在保持良好塑性的基础上,采用雾化沉积技术可使材料的强度指标提高10%~25%,在7075合金中加入少量Fe、Ni元素,可进一步提高材料的强度。

参考文献

- 1 Ogata^k. Inter J Rapid Solid, 1986, 1: 21.
- 2 Rickinson B A *et al.* Powder Metall, 1981, 1: 1.
- 3 Grant P S *et al.* Maters Sci Eng, 1991, A134: 1111.
- 4 Chin T S *et al.* J Appl Phys, 1986, 59: 1297.
- 5 沈 军等. 材料科学与工程. 1993, 增刊: 136.
- 6 Metals Handbook, 8th ed. 1961, 1: 881.