

快速凝固粉末铝锂合金的研究及发展 (二)

北京航空材料研究所 余正华 于桂复 颜鸣皋

本文综述了快速凝固粉末铝锂合金在成分选定、粉末的制取和成型、合金组织与性能等几方面的主要研究成果。分析了粉末冶金铝锂合金的发展前景和趋势。简要介绍了铝锂粉末冶金的两种新技术的基本原理。这是文章的后面部分, 续完。

The Development of Rapidly Solidified Powder Metallurgy Aluminium-lithium Alloys (2)

Yu Zhenghua Yu Guifu Yan Minggao
(Institute of Aeronautical Materials, Beijing)

四、热处理后的组织与性能

P/M铝锂合金热处理后的组织一般没有再结晶现象, 保持快速凝固时的细晶组织 ($1\sim6\mu\text{m}$)。再结晶过程受到加入合金中Zr、Mn、Ti、Cr、Fe+Ni等元素形成的细小弥散质点 ($0.02\sim0.5\mu\text{m}$)^[14, 25, 26]或细小氧化物质点^[12]的抑制。但也有人报道Al-2.5Li-1.5Cu-0.5Mn合金热处理后出现完全再结晶组织^[18], Al-4Cu-2Li-0.2Zr合金出现部分再结晶组织^[28]。限制I/M铝锂合金断裂韧性的组织参数之一晶界无析出区(PFZ)在P/M铝锂合金中仍然出现。Palmer^[16]研究了Al-Li-Cu-Mg-Zr合金固溶处理后在171℃时效时, 组织中PFZ区随时效时间的变化情况。合金在峰值时效条件下的PFZ最小; 而严重过时效时PFZ很粗大, 合金韧性随PFZ的增长而下降。对Al-3Li-2Cu-0.2Zr合金在固溶处理后时效前进行2%预变形处理, 可细化沉淀析出相, 减小PFZ宽度, 获得最佳拉伸性能^[14]。Sankaran^[28]详细研究了P/M Al-Cu-Li-Zr合金组织结构与性能的关系, 高Cu含量时, 合金由G.P区和 δ' 强化比由Ti和 δ' 相强化的强度、韧性要高; 高Li时, 合金由 δ' 相强化时, 其强韧性比高Cu含量合金要低。高Li合金中非均匀沉淀相Ti(Al₂CuTi)的出现降低强韧性。

表3列出部分快速凝固粉末冶金铝锂合金的性能。有关2024+Li合金粉末挤压件的疲劳成长速率和应力断裂性能, Sankaran和Grant^[10]的试验表明要低于2024铸锭合金, 而P.S.Pao发现Al-2.5Li-1.5Cu-0.5Mn P/M合金的疲劳成长速率同2024-T8

合金相当。Sastry^[29]研究Al-3Li-1.5Cu-0.5Co-0.2Zr合金的高温性能的结果表明, 在150~300℃之间合金短期拉伸性能优于2219和2024合金。许多研究者发现P/M铝锂合金具有优良的超塑性能^[30~32]。

五、P/M铝锂合金发展趋势

从70年代末, 铝锂合金的研制和发展一直是I/M方法和P/M方法两种工艺路线进行的。早期研究的重点是放在P/M方法上, 其目的是通过快速凝固技术使合金获得常规熔铸法所不能获得的微观组织结构, 克服I/M铝锂合金低延性和低断裂韧性的缺陷。近来, I/M生产技术有所突破, 合金的性能得到改善。表3的数据表明, P/M与I/M铝锂合金的强度、塑性相比水平相当。由于I/M技术比P/M技术具有生产成本低、产品尺寸大等优点, I/M铝锂合金具有更大的商业价值。目前, 美、英、法国已开始在一些客机和新型战斗机上使用I/M铝锂合金^[33]。尽管如此, 人们仍然投入大量的人力、财力继续发展P/M铝锂合金。其原因是P/M技术能给合金在成分和组织上以更大的灵活性。这对未来合金的发展有着重要的战略意义, 很可能在宇航工业上有广泛的应用前景。

目前, P/M铝锂合金的研究中存在的问题有:

(1) 粉末氧化严重, 合金中氧化物夹杂较多; (2) 影响合金韧性的组织因素仍然存在, 如晶界无析出区的出现; (3) 快速凝固组织在随后粉末成型、热处理过程中不能完全保持; (4) 冷却速度有待于进一步提高。为解决这些问题, 迅速发展P/M铝锂合金, 除研制更低密度的Al-(4~5)%Li和Al-Li-Be合金外, 人

们也在探索应用新技术、新工艺制造合金从而获得理想的性能。例如美国Allied 公司采用平流铸造(Planar Flow Casting)新工艺、Inco 公司研究机械合金化Al-Mg-Li 系合金,以及采用液态动力成型研究X 2020合金。相应的性能数据见表4。

近来用LDC技术和机械合金化(MA) 技术研制铝锂合金受到普遍的关注。液态动力成型技术是1984年才发展起来的一种快速凝固新技术。其原理是将雾化制粉与表面喷涂技术融为一体,设计一种特殊的锭

模,保持喷嘴到锭表面的距离不变,加速锭模的冷却,可以直接从雾化粉末获得快速凝固的合金锭,其冷速也可达 10^3 K/s。

机械合金化是一种固态合金化工艺,基本原理是:按比例配制的粉末混合物置于高能球磨机内,在球磨过程中,金属粉末经受反复多次的冷焊合-破碎-再焊合过程,最终获得成分均匀、组织精细(在微米以下,弥散质点和间距在数百Å范围内)的复合粉末。复合粉末经热挤压或其他热压工艺成材。

表3 RSP 粉末冶金铝锂合金性能

类 型	合 金	制造方法	弹性模量 GPa	密 度 10^3 kg/m^3	0.2 % 屈服强度 MPa	抗拉强度 MPa	延伸率 %
A 型Li % (2~3.5) %	Al-2.3Li-1.4Cu-1.0Mg-0.1Zr	P/M		2.54	412	490	7.4
	Al-3.4Cu-3.2Li-1.1Mg-0.6Mn	P/M	77	2.52	571	583	5.1
	Al-3Li-1Mg-0.2Zr	P/M		2.49	453	542	9.0
	Al-3Li-2Cu-0.5Zr	P/M		2.51	442	548	8.8
	Al-3Li-1.5Cu-1Mg-0.2Zr	P/M	80.0	2.49	509 * 568 *	596 * 623 *	3.1 * 4.1 *
B 型Li %: (1~2) %	Al-3Cu-1.6Li-0.8Mg-0.2Zr	P/M	76.9	2.64	387 * 555 *	510 * 622 *	15.3 * 10.3 *
	Al-4.3Cu-1.5Li-0.4Mn-0.2Cd	P/M	78.6	2.62	623	650	5.3
	Al-4.9Cu-1.2Li-0.4Mn-0.1Cd	P/M	77.9	2.68	567	617	14.7
	Al-1.9Li	P/M	79.6	2.59	472	559	2.5
	Al-(1.9~2.6) Li-(2.4~3.0) Cu-0.1Zr 2090 (Alcoa)	I/M		2.59	530	569	7.9
	Al-2.6Li-1.9Cu-0.9Mg-0.12Zr 8091 (Alcan)	I/M		2.55	530	565	5
	Al-(2.2~2.7) Li-(1.0~1.6) Cu-(0.6~1.3) Mg-0.1Zr CP271	I/M		2.53	490	540	7
	7050-T7651	I/M			476	545	7

* 上下两者,热处理制度不同。

表4 不同制造方法P/M铝锂合金性能

合 金	制造方法	密 度 g/cm^3	抗拉强度 MPa	0.2 % 屈服强度 MPa	延伸率 %	研制单位
Al-4Li-2Cu-0.2Zr	RSP*	2.47	510	475	3.2	Douglass
Al-4Li-1Cu-0.2Zr	RSP*	2.41	515	470	4.9	Douglass
Al-2.5Li-11Be	RSP*	2.42	505	430	5.2	Lockheed
Al-3.2Li-2.1Cu-1Mg-0.45Zr	PFC	2.46	525	480	6.0	Allied
Al-4Mg-1.5Li-1.2C-0.4O	MA		525	470	9.0	Inco
X2020	LDC		666	648	7.0	Alcoa
Al-3Li-1Mg-0.2Zr	RSP*	2.49	542	453	9.0	

* RSP为一般快速凝固技术。

参 考 文 献

- [1] W. R. D. Jones and P. P. Das, *J. Inst. Met.* (1959~60) Vol. 88, P435~443.
- [2] H. K. Hardy, *J. Inst. Met.* (1955~56) Vol. 84, P429~439.
- [3] Z. 'N. Archakoua, *Russ. Met. Fuels* (1960) No 4, P73~79.
- [4] J. W. Evarcho, Development of an Al-Mg-Li Alloy, Final Report on Naval Air Development Center contract No N62269-76-c-0772 (1974).
- [5] W. E. Quist and G. H. Narayanar, *Int Conf. II on Al-Li Alloys*, AIME, 1983 P313~334.
- [6] K. K. Sankaran, Ph. D. Thesis MIT, Cambridge, M. A. 1978.
- [7] T. E. Tietz and I. G. Palmer, *Advances in Powder Technology* 1981, P 189~224.
- [8] M. Lebo and N. J. Grant, *Met. Trans.* 5 (1974) 1547.
- [9] D. Webster, *Met. Trans. A*, 10A (1979) 1913.
- [10] K. K. Sankaran and N. J. Grant, *Al-Li Alloys Int. Conf. II*, P 101.
- [11] H. K. Hardy and J. M. Silcock, *J. Inst. Met.* 84 (1955~56), P423~428.
- [12] N. J. Grand, S. Kang and W. Wang, *Al-Li Alloys I*, AIME 1981 P171~188.
- [13] I. G. Palmer, R. E. Lewis and D. D. Crooks, *Rapid Solidification Processing Principles and Technologies II*, LA, 1980, P 342~353.
- [14] I. G. Padmer, R. E. Lewis and D. D. Crooks, *Al-Li Alloy I*, P 241~262.
- [15] P. J. Meschter, R. J. Lederich and J. E. O'Neal, *Modern Development In P/M Vol 16*, P437~454.
- [16] I. G. Palmer, R. E. Lewis, D. D. Crooks, E. A. Starke, Jr. and R. E. Crooks, *Al-Li Alloys II*, P91~110.
- [17] K. K. Sankaran, J. E. O'Neal and S. M. L. Sastry, *Met. Trans. A*, 1983, 14A, 2174~78.
- [18] P. S. Pao, K. K. Sankaran and J. E. O'Neal, *Al-Li Alloys I*, AIME, 1981, P 307~323.
- [19] P. J. Meschter, R. J. Lederich and J. E. O'Neal, *Al-Li Alloys II*, 1985, P85~96.
- [20] J. Wadsworth, A. R. Polton, D. D. Crooks and R. E. Lewis, *J. Mater. Sci. Nov.* 1986, 21, P 3850~3858.
- [21] J. Wadsworth, T. G. Nieh and A. E. Vidoz, *AD-A171 642/01WMS* Aug. 1986, PP133.
- [22] *Proceeding of the Sec. Int. Conf. on Rapid Solidification Processing* Roston, UA, 1980, R. Mehrabian, M. Cohen, eds.
- [23] *Proceeding of the third Conf. on Rapid Quenched Metals*, University of Sussex, Brighton England, July, 1978, B. Conter, eds.
- [24] P. J. Meschter, J. E. O'Neal and R. J. Lederich, *Al-Li Alloys II*, AIME, 1983, P 419~432.
- [25] A. Gysler, R. Crooks and E. A. Starke, Jr., *Al-Li I*, P263.
- [26] W. Wang and N. J. Grant, *Al-Li Alloys II*, 1983, P447~467.
- [27] R. E. Lewis, et al, interim Technical Report Air Force Contract F33615 ~78-C-5203, March 1980.
- [28] K. K. Sankaran, J. E. O'Neal, *Al-Li Alloys II*, AIME, P 393~405.
- [29] S. M. L. Sastry and J. E. O'Neal, *Al-Li Alloys II*, P79~90.
- [30] Y. Zhang and H. J. Grant, *Mater. Sci. Eng* 1984, 68, 119~124.
- [31] a) J. Wadsworth and A. R. Pelton, *Scripta Met.* 1984, 18, 387~397.
b) M. C. Pandley and J. Wadsworth, *Scripta Met.* 1985, 19, 1229~1234.
- [32] a) R. J. Lederich and S. M. L. Sastry, as ref. 57 (6), PP137~151
b) R. J. Lederich and R. J. Meschter, *Scripta Met.* 1985, 19, 177~180
- [33] 航空制造工程, 12, 1987.
- [34] A. R. C. Singer, *MPR* Feb. Mar. 1986.

KF-1 抗老化涂料通过鉴定

北京航空材料研究所研制的KF-1 橡胶软油箱抗老化涂料,能大幅度延长橡胶软油箱的寿命,喷该涂料后的油箱寿命由原来的4.5~6年延长至20年。自1986年以来已喷涂20个油箱(其中包括强五、歼六、歼七机的7个新油箱、13个旧油箱,含各种厚壁、薄壁油箱),并分别装机发往不同地区部队飞行使用。最近获悉中国人民解放军39431、39825、39914等部队的反馈信息:使用情况良好。

继1988年3月8日航空部对该涂料鉴定后,1988年8月5日空军工程部又会同航空航天工业部对空军5704厂将该涂料用于飞机油箱生产工艺定型组织鉴定。空军工程部工管部刘德维副部长参加了会议,对该所

材料工程

急部队所急,在短时间内研制出性能优异的油箱抗老化涂料给予高度评价,航空航天部生产调度司陈宝珍副司长也参加了会议。

1988年8月8日两部又举办了KF-1 涂料喷涂工艺学习班,来自5701等空军修理厂和沈阳飞机制造公司等26名学员参加了学习班,5701厂已超期的米-8机油箱和372厂仅有三年寿命的直-8机油箱喜获新生。

鉴定会后空军工程部即将下发文件,要求所有修理厂采用此新材料。

预计今后返厂修理的飞机和新制造的飞机软油箱采用该涂料后,寿命将会大幅度延长,给使用和外贸带来良好的经济效益。(张元宁)