13

淬火介质对 ZL114A 铝合金性能、变形和组织的影响

肖远伦^{1,2},赵强^{1,2},黄志伟^{1,2},宁海青^{1,2},邓天泉^{1,2},孙昌健^{1,2},赵高瞻^{1,2}

(1. 西南技术工程研究所,重庆 400039; 2. 国防科技工业精密塑性成形技术研究应用中心,重庆 400039)

摘要:绘制了水溶性聚合物 PAG、聚乙烯醇和水等3 种介质的淬火冷却曲线,对介质温度和浓度对介质 淬火冷却能力的影响进行了分析,研究了不同浓度和温度的 PAG 对 ZL114A 铝合金组织、性能与变形的影 响。结果表明,PAG 相比水和聚乙烯醇具有更好的淬火效果;介质温度和浓度越低,PAG 的冷却速度越高; 采用 PAG 作为 ZL114A 铝合金的淬火介质,为使淬火工件获得较好的组织与力学性能,变形量较小,应控制 PAG 的使用温度大约为 40 ℃,质量分数大约为 15%。

关键词: 铝合金; 淬火介质; 性能; 变形; 组织 DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2013.05.004 中图分类号: TG113.12 文献标识码: A

文章编号: 1674-6457(2013)05-00013-05

Effects of Quenching Medium on Mechanical Properties, Deformation and Microstructure of ZL114A Aluminum Alloy

XIAO Yuan-lun^{1,2}, ZHAO Qiang^{1,2}, HUANG Zhi-wei^{1,2}, NING Hai-qing^{1,2}, DENG Tian-quan^{1,2}, SUN Chang-jian^{1,2}, ZHAO Gao-zhan^{1,2}

(1. Southwest Technology and Engineering Research Institute, Chongqing 400039, China;

2. National Defense Research and Application Center of Precision Plastic Forming Technology, Chongqing 400039, China)

Abstract: The cooling curves of PAG, poly and water were drawn, effects of medium temperature and concentration on cooling capacity of quenching medium were analyzed, effects of different concentrations and temperatures of PAG on mechanical properties, deformation and microstructure of ZL114A aluminum alloy were researched. The results show that PAG has the best quenching effects compared with poly and water. The lower the medium temperature and concentration, the higher the cooling rate of PAG. The PAG was used as the quenching medium of ZL114A aluminum alloy, to achieve better mechanical properties, microstructure and small deformation, the temperature and concentration of PAG were controlled to around 40 %, 15%.

Key words: aluminum alloy; quenching medium; properties; deformation; microstructure

ZL114A 铝合金具有很高的强度和韧性,良好的 流动性、气密性和抗热裂性,能铸造复杂形状的高强 度铸件,广泛应用于航空、航天、汽车等领域^[1-2]。 铝合金传统热处理通常采用的淬火介质为水和油, 油的冷却速度较慢,经常出现淬火硬度不足或淬硬 层深度达不到预定要求等现象,而水的冷却速度较 快,容易造成工件的淬火变形,严重时会开裂致使工件报废,淬火过程中汽化产生的气泡还会致使工件 表面冷却不均出现软点^[3-4]。水溶性淬火介质的冷 却速度介于油和水之间,它克服了水和油的上述弊 端,还具有无毒、无有害气体、无火灾危险、不污染环 境、成本低廉等优点。

收稿日期: 2013-08-13

作者简介: 肖远伦(1963-),男,重庆人,技师,主要研究方向为热加工及精密成形技术。

目前液体淬火介质在我国热处理行业中仍然处 于主导地位,如自来水、机油、有机高分子淬火介质 等。淬火介质的冷却性能主要受淬火介质温度、浓 度等因素的影响^[5]。文中以水、聚乙烯醇和水溶性 聚合物 PAG 为研究对象,比较它们在 500 ℃ 淬火 时的冷却曲线,分析淬火介质温度和浓度对淬火介 质冷却能力的影响,对比选择适合 ZL114A 铝合金 的淬火介质。优化淬火介质的浓度和温度因素,研 究淬火介质因素对 ZL114A 铝合金组织、性能与变 形的影响。

1 试验方法

1.1 冷却特性曲线的测定

分别选取 PAG 水溶性聚合物、聚乙烯醇和清水 作为冷却介质。以 ZL114A 铝合金为试验用材^[6], 化学成分见表1。使用郑州科慧 KHR-02 便携式淬 火介质检测仪检测淬火介质的冷却性能。先配制好 淬火介质水溶液,再将加热到某一温度的铝合金试 件迅速投入介质溶液中,在淬火介质特性测试仪上 用银探头(φ16 mm×48 mm)测定铝合金试样温度随 冷却时间变化的曲线,并绘制出介质在不同使用温 度下的冷却特性曲线。

表1 ZL114A 铝合金的化学成分

Table 1 The chemical composition of ZL114A alloy γ_{0}

Si	Mg	Ti	Be	Al	-
6.50~7.50	0.45 ~ 0.60	0.10~0.20	0.04 ~ 0.07	余量	

1.2 试样的性能及变形测定

制备 6 根试杆作性能试样 (如图 1a 所示,编号 a1—a6),6 个圆环作变形试样 (如图 1b 所示,编号 b1—b6),分别对试杆和圆环进行热处理试验。工 艺参数为:300 \mathbb{C} ×0.5 h+400 \mathbb{C} ×0.5 h+535 \mathbb{C} ×14 h+180 \mathbb{C} ×6 h,固溶采用 RJJ-36-6 井式空气循环电 阻炉,淬火时分别在装有不同温度和浓度 PAG 的不 锈钢桶中进行,时效采用 SX2-2.5-10 型箱式电阻 炉。淬火后用游标卡尺检测变形试样的变形 ΔL_i , $\Delta L_i = |L_i - L_0|, \Delta L_i$ 即表示热处理后尺寸变化量,采 用 CMT-5105 微机控制万能材料试验机检测试杆的 抗拉强度 R_m 。



图 1 ZL114A 性能试样和变形试样

Fig. 1 Scheme of ZL114A alloy used for measuring mechanical properties and deformation

2 试验结果及分析

2.1 PAG、聚乙烯醇和水的冷却性能

先把铝合金试样加热到 535 ℃,再将其迅速投入 淬火介质溶液中,把试样温度随时间变化的曲线记录 下来,即可得到试样在不同淬火介质中的冷却特性曲 线。PAG、聚乙烯醇和清水在相同温度下的冷却特性 曲线如图 2 所示,发现 PAG 水溶性聚合物淬火介质 在 450 ℃时的冷却特性与聚乙烯醇十分接近,大大降 低了淬火过程中的热应力;在 450 ~ 250 ℃时的冷却 特性与水接近,保证了合金组织的稳定,防止发生组 织转变,而聚乙烯醇的冷却速度开始下降;在 250 ~ 200 ℃时的冷却速度比聚乙烯醇快,比水慢。



PAG 在相同浓度不同温度下的冷却特性曲线 如图 3 所示,淬火介质在淬火过程中物态变化可以 分成蒸汽、沸腾和对流等 3 个阶段^[7],如图 4 所示。 发现 PAG 在淬火过程中有物态变化,随介质温度的 升高,介质粘度的增大,汽化困难,蒸汽膜阶段增长, 推迟泡状沸腾阶段,使最大冷却速度及其所对应的 温度下降。淬火介质最大冷速的降低伴随着淬火蒸 汽膜时间的延长,说明淬火介质温度对冷却能力的 影响主要是通过延长蒸汽膜的时间来实现的,随着 水温的升高,不仅最大冷速降低,特性温度点也会随 之降低。



图 3 不同温度的 PAG 冷却曲线







PAG 在不同浓度和相同温度下的冷却特性曲 线如图 5 所示,发现在淬火过程中,随着 PAG 浓度 的增加,其最大冷速逐渐降低。主要由于浓度越高, 介质粘度越大,气化困难,蒸汽膜阶段延长,冷却速 度降低,说明 PAG 浓度是影响低温淬火过程中冷却 速度的主要因素之一。对比图 2 和图 3 发现,PAG 在低温冷却过程可以依靠浓度调节其冷却速度,而 水和聚乙烯醇必须依靠改变水温使淬火过程中产生 蒸汽膜来调节冷速,从节能和减小铝合金变形来看, PAG 比水和聚乙烯醇具有更好的效果。



图 5 不同浓度 PAG 淬火时的冷却曲线



2.2 PAG 浓度对试样性能、变形和组织的 影响

将性能和变形试样分为3组,分别在质量分数 为10%,15%和20%的PAG中进行淬火冷却试验, 介质温度为40℃,经不同浓度PAG淬火介质淬火 后试样的抗拉强度和变形见表2。发现随着介质浓 度的增加,试样的抗拉强度逐渐降低,同时变形量逐 渐减少。介质浓度的变化将影响合金淬火时的冷却 速率,随着浓度的逐步增加,冷却速率逐渐减小,导 致试样抗拉强度降低,变形量减少。

表 2 合金在不同浓度的 PAG 中淬火后的强度和变形

Table 2 Strength and deformation of alloy quenchedin PAG at different concentrations

淬火	试样	介质温	介质浓度	抗拉强	变形量
介质	编号	度/℃	(质量分数)/%	度/MPa	/mm
	a1, b1		10	317	0.49
PAG	a2,b2	40	15	304	0.42
	a3,b3		20	298	0.39

性能试样分别在质量分数为 10%,15% 和 20% 的 PAG 中进行淬火试验后,金相显微组织如图 6 所 示。可以看出,ZL114A 铝合金显微组织主要由 α-Al、共晶 Si、Mg₂Si 及杂质铁相等组成^[8]。合金试样 在质量分数为 10% 的介质中淬火后,晶界处共晶硅 大部分呈颗粒状,Mg₂Si 数量较少;质量分数为 15% 时,共晶硅呈杆状或颗粒状,有少量 Mg₂Si 存在;当质 量分数为 20% 时,共晶硅大部分呈杆状,有大量 Mg₂Si 存在。不同浓度 PAG 淬火介质反映的是合金 淬火时不同的冷却速率。合金淬火后,合金形成的是 空位和溶质均为过饱和态的固溶体,而溶质原子容易 偏聚在晶界附近,因此晶界处 Mg 和 Si 含量较高^[9]。 当淬火冷却速率比较高时,如质量分数为 10% 时,沉 淀相没有充足的时间形核析出,因此晶界上很少或基 本没有析出相。随淬火冷却速率降低,溶质原子有较 充足的时间形核析出并扩散到晶界,沉淀相在晶界析 出的数量增加,且沉淀相的尺寸相应增大^[10-11]。



a 40 °C,10%



b 40 °C,15%

с 40 °С,20%

图 6 合金在不同浓度的 PAG 中淬火后的显微组织

Fig. 6 Microstructure of alloy quenched in PAG at different concentrations

2.3 PAG 温度对试样性能、变形和组织的 影响

将性能和变形试样分别在温度为 25,40 和 55 ℃的 PAG 中进行淬火试验,介质质量分数为 15%。 经不同温度 PAG 淬火介质淬火后试样的抗拉强度 和变形见表 3,发现随着介质温度的增加,试样的抗

表 3 合金在不同温度的 PAG 中淬火后的强度和变形 Table 3 Strength and deformation of alloy guenched

in PAG at different temperatures

淬火	试样	介质浓度	介质温	抗拉强	变形量
介质	编号	(质量分数)/%	度/℃	度/MPa	/mm
	a4, b4	15		321	0.52
PAG	a5,b5	40	25	306	0.41
	a6,b6	55		294	0.38

拉强度逐渐降低,同时变形量逐渐减少,介质温度变 化将影响合金淬火时的冷却速率。随着温度的逐步 增加,冷却速率逐渐减小,导致试样的抗拉强度降 低,变形量减少。

性能试样分别在温度为 25,40 和 55 ℃的 PAG 中进行淬火试验后,金相显微组织如图 7 所示。发 现合金试样在温度为 25 ℃的 PAG 中淬火后,因冷 却速率较高, Mg_2 Si 没有足够的时间形核析出,在晶 界上很少或基本没有 Mg_2 Si 存在,共晶硅大部分呈 颗粒状;温度为 40 ℃时,冷却速度降低,有少量 Mg_2 Si 存在,共晶硅呈杆状或颗粒状;温度为 55 ℃ 时,冷却速度大幅降低,有大量 Mg_2 Si 存在,共晶硅 大部分呈杆状。



25 ℃,15%



b 40 °С,15%

с 55 °С,15%

图 7 合金在不同温度的 PAG 中淬火后的显微组织

Fig. 7 Microstructure of alloy quenched in PAG at different temperatures

3 结语

1) PAG 可以通过改变其浓度调节冷却速度,降 低 ZL114A 铝合金淬火过程中冷却能力的影响主要 通过延长形成蒸汽膜的时间来实现,相比水和聚乙 烯醇具有更好的淬火效果。

 PAG 使用温度和浓度越低时,淬火后 ZL114A 铝合金试样获得的强度越高,组织越细小且 比较均匀,但变形量却较大。

3) 采用 PAG 作为 ZL114A 铝合金的淬火介质, 为使其获得较好的组织与力学性能,同时保持较少

的变形量,PAG的使用温度应大致控制在 40 ℃,质 量分数在 15% 左右。

参考文献:

[1] 宁爱林,曾苏民,蒋寿生,等.7A04 铝合金高温固溶的 微观组织和力学性能[J].轻合金加工技术,2005,33 (5):48-50.

> NIN Ai-lin, ZENG Su-min, JIANG Shou-sheng, et al. Microstructure and Mechanical Properties of 7A04 Aluminum Alloy in Higher Temperature Solid Solution[J]. Light Alloy Fabrication Technology, 2005, 33(5):48–50.

[2] 戴晓元,夏长清,吴安如,等.含钪超高强铝合金的研究现状及发展趋势[J].材料导报,2006,20(5):104-107.

DAI Xiao-yuan, XIA Chang-qing, WU An-ru, et al. Present Research and Developing Trends of Ultra High Strength Aluminium Alloys Contained Scandium Element [J]. Materials Review, 2006,20(5):104–107.

 [3] 中国机械工程学会热处理学会.热处理手册[M].北京:机械工业出版社,2002:122.
 Chinese Mechanical Engineering Society Heat Treatment Association, Heat Treatment Manual [M]. Bei Jing: Ma-

chinery Industry Press, 2002:122.

[4] 安运铮. 热处理工艺学[M]. 北京:机械工业出版社, 1988:57-63.

AN Yun-zheng. Technology of Heat Treatment [M]. Bei Jing: Machinery Industry Press, 1988:57-63.

[5] 李晓宇,马勤.新型淬火介质的应用[J].热加工工艺, 2010,39(22):151-154.

LI Xiao-yu, MA Qin. Application of a New Type of

(上接第8页)

LI Chu-hong. Study on Improving the Quality of Multicore Solder Wire and Anti-oxidation solder stick [J]. Journal of Guangdong Non-Ferrous Metals, 1998, 8(2): 145-148.

[11] 杜长华.电子微连接技术与材料[M].北京:机械工业 出版社,2008.

> DU Chang-hua. Technology and Materials of Electronic Microconnections[M]. Beijing: China Machine Press, 2008.

- [12] 傅献彩.物理化学[M].北京:高等教育出版社,2006.
 FU Xian-cai. Physical Chemistry[M]. Beijing: Higher Education Press,2006.
- [13] 肖衍繁. 物理化学[M]. 天津:天津大学出版社,2004. XIAO Yan-fan. Physical Chemistry[M]. Tianjing: Tianjin

Quenching Medium [J]. Hot Working Technology, 2010, 39(22):151-154.

- [6] 李卫超,邹勇志,曾建民,等.固溶工艺对 ZL114A 合金 组织和性能的影响[J].铸造,2008,57(6):565-568.
 LI Wei-chao,ZOU Yong-zhi,ZENG Jian-min, et al. Influence of Solution Treatment on Microstructure and Properties of ZL114A Alloy[J]. Foundry,2008,57(6):565-568.
- [7] 李敬民,周丹晨,李昌安,等. 淬火温度对液体淬火介质冷却能力的影响[J]. 材料热处理学报,2011,32 (10):30-32.
 LI Jing-min, ZHOU Dan-chen, LI Chang-an, et al. Influence of Quenching Temperature on the Cooling Capacity of Quenchant [J]. Transactions of Materials and Heat

Treatment, 2011, 32(10): 30-32.

- [8] 陈康华,刘允中,刘红卫. 7075 和 2024 铝合金的固溶 组织与力学性能[J].中国有色金属学报,2000,10 (6):819-822.
 CHEN Kang-hua, LIU Yun-zhong, LIU Hong-wei. The Solid Solution Microstructure and Mechanical Properties of 7075 and 2024 Aluminum Alloy[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals,2000,10(6):819-822.
- [9] HAAS M D E. Grain Boundary Phenomena and Failure of Aluminum Alloys [D]. Groningen; University of Groningen,2002.
- [10] PORTER D A, EASTERLING K E. Phase Transformation in Metals and Alloys[M]. Oxford: Alden Press, 1981.
- [11] 陈强. 合金加工流变学及其应用[M]. 北京:冶金工业 出版社,2012:123.
 CHEN Qiang. Rheological Alloy Processing and Its Applica-

tion[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2012:123.

University Press, 2004.

- [14] 方洪渊. 材料连接过程中的界面行为[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2005.
 FANG Hong-yuan. Material Interface Behavior in the Process of Connection [M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press,2005.
- [15] 杜长华,陈方,甘贵生,等. 液态 Sn-2. 8Ag0. 5CuX 钎料
 性能的研究[J]. 稀有金属材料与工程,2010,39(3):
 486-489.

DU Chang-hua, CHEN Fang, GAN Gui-sheng, et al. Investigation on Properties of Melting Sn-2. 8Ag0. 5CuX Solder [J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2010, 39 (3):486-489.