

粉末热锻 Al-Si 合金^①

邱光汉

(中南工业大学粉末冶金研究所, 长沙 410083)

摘 要 研究了 Al-Si 合金粉末热锻密实工艺和合金性能。结果表明, 当合金含硅量不超过30% 时, 锻坯的密度可达到理论密度的99% 以上。合金组织中初晶硅分布均匀, 没有针状或大块片状组织出现。添加 Cu、Mg 的 Al-10Si-2Cu-1Mg 和 Al-15Si-2Cu-1Mg 合金性能比相应的 Al-Si 二元合金明显提高, 拉伸强度分别达到284~ 324MPa 和304~ 333MPa, 布氏硬氏124~ 128和122~ 124。

关键词 Al-Si 合金 粉末热锻 机械性能 耐磨性能

Al-Si 合金是最常用的铸造铝合金系列, 现代工业的发展对过共晶 Al-Si 合金产生很大兴趣^[1-4], 这主要是因为过共晶成分合金比常用的亚共晶成分合金具有更小的密度和热膨胀系数, 耐磨性能也明显提高。但过共晶合金在凝固时容易结晶析出针状或大块片状初晶硅, 严重损害合金机械性能。粉末冶金工艺为这类合金的发展提供了重要的手段, 应用制粉技术可以提高合金元素的固溶度, 完全扼制针状或大块片状初晶硅的生成并使其呈均匀细小分布。作者已对 Al-Si 合金粉末喷雾制粉技术进行过系统研究^[5], 本文继续研究粉末热锻密实技术并介绍所得热锻坯的机械性能。

1 实验方法

将通过孔径0.200 mm 筛网的气体喷雾 Al-Si 粉末模压成长条状粉坯。粉坯在分解氨气氛保护下加热, 用63t 摩擦压力机热锻成宽12.6 mm、高约13 mm、长70 mm 的方形锻坯。由锻坯加工成两头带细纹的拉伸样品, 样品检测段直径为5 mm, 长度35 mm。磨损试验在自制的实验装置上进行, 所用样品内径为6 mm, 外径12 mm, 通过横杆向样品端面施加7 MPa 压力, 同材质的对偶样品通过直流马达驱动,

恒定转速174 r/min, 接触端面用变压器油润滑, 磨损试验时间为1 h。

2 实验结果和讨论

2.1 粉坯密度与压制压力的关系

所用合金粉末的化学分析结果列于表1。Al-10Si 粉末的钢模压制实验结果列于表2。从表2可见, 压制压力在392 MPa 以内, 压坯密度增加较快, 超过以后增加速率减慢。粉末在压力作用下发生位移, 填充和变形, 依靠颗粒之间啮合和粘结而获得一定密度和强度。合金中的铝组元塑性好变形能力大, 坯块的密度和强度在压制前期增加较快。后期因铝的加工硬化和颗粒间隙减小, 密度增加进程减慢。

表1 Al-Si 合金粉末成分

序号	合金名称	Si/ %	Cu/ %	Mg/ %
1	Al-10Si	10.82	—	—
2	Al-15Si	14.30	—	—
3	Al-20Si	22.12	—	—
4	Al-25Si	24.45	—	—
5	Al-30Si	31.14	—	—
6	Al-40Si	38.78	—	—
7	Al-45Si	44.15	—	—
8	Al-10Si-2Cu-1Mg	10.37	1.82	0.45
9	Al-15Si-2Cu-1Mg	15.20	1.85	0.52

① 收稿日期: 1995- 11- 08; 修回日期: 1995- 12- 27 邱光汉, 男, 59岁, 副教授

表2 Al-10Si 压坯密度与压制压力关系

压制压力 P/MPa	压坯密度 $\rho/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	相对密度 $\rho/\%$
147	1.88	71.1
196	1.94	73.3
245	2.05	77.5
294	2.09	79.0
343	2.19	82.8
392	2.25	85.1
441	2.28	86.2
490	2.32	87.7
539	2.37	89.6
588	2.40	90.7
637	2.41	91.1
686	2.48	93.8
736	2.51	94.9
785	2.52	95.3

其他 Al-Si 粉末有类似的变化规律,但随着合金中硅含量的增加,粉末变形抗力增大,在相同压制压力下所得密度相应降低,而且产生压制裂纹的可能性也明显加大。对于不同成分的 Al-Si 合金粉末,钢模压制压力可在300~500 MPa 范围内选择,这样获得的压坯密度和强度能满足热锻操作的需要。

2.2 热锻温度的影响

表3列出了压制压力在441 MPa 的 Al-10Si 压坯(相对密度86.2%)在不同温度下锻造所得的密度,表明锻造温度对锻坯密度有明显的影响。在粉末热锻过程中力的作用时间很短,锻坯密度实化过程依靠金属充分流动来填充间隙,因此粉坯必须加热到足够高的温度。表3结果说明对于 Al-10Si 成分450℃的锻造温度是适宜的。对于含硅量较高的合金可以在共晶温度以下选择较高的温度,但对硅含量很高的合金,例如本研究中>38%Si 的合金,即使是提高温度也不能达到完全密实,这是由于初晶硅所占体积分数增加,变形抗力增大,合金流动性差的缘故。

2.3 锻造 Al-Si 合金的组织 and 性能

锻造合金的组织如附图所示。所用浸蚀剂为混合酸水溶液。从金相组织照片中可见初晶硅比较细小,分布均匀,完全没有针状或割裂基体的大块片状初晶硅存在,显示出粉末冶金

工艺明显的优越性。

热锻 Al-Si 合金的性能结果如表4所列。

粉末锻造合金与成分类似的铸造合金相比,机械性能明显提高,例如我国铸造铝合金 2L102(Al-10%~13%Si)^[6]、2L109(Al-11%~13%Si-0.5%~1.5%Cu-0.8%~1.5%Mg-0.5%~1.5%Ni)^[7]的 σ_b 分别为150~160 MPa 和220~250 MPa, HB 为50和90~100。粉末锻造二元合金的硬度和耐磨性随硅含量增加而增加,这是合金组织中硬质硅相的贡献。拉伸强度 Al-15Si 达到最大值,硅含量超过20%后强度逐渐下降,这与脆性硅相和残留孔隙的增加有关。添加 Cu、Mg 合金元素的四元合金的各项性能与对应的 Al-Si 二元合金比较均有较大提高。Cu、Mg 是铝合金的固溶强化组元,并能生成 Mg_2Si 、 CuAl_2 和 Al_2CuMg 沉淀强化相,对合金基体起强化作用。

表3 热锻温度对锻坯密度的影响

锻造温度 $t/^\circ\text{C}$	锻坯密度 $\rho/\text{g}\cdot\text{cm}^3$	相对密度 $\rho/\%$
250	2.56	96.8
300	2.57	97.2
350	2.60	98.3
400	2.64	99.8
450	2.65	100.2
500	2.65	100.2
550	2.65	100.2

3 结论

(1) 能够通过粉末热锻达到99%以上致密度的硅含量是在30%以下,对 Al-10Si 合金的适宜锻造温度是450℃左右。对含硅量较高的合金可在共晶温度以下选择较高的温度。

(2) Al-Si 二元合金的硬度和耐磨性能随硅含量增加而增加,但拉伸强度最好的合金是含15%~22%Si 的合金。

(3) 添加 Cu、Mg 合金元素能提高该合金机械性能,Al-10Si-2Cu-1Mg 和 Al-15Si-2Cu-1Mg 合金的 σ_b 分别达到284~324 MPa 和304~333 MPa, HB124~128和122~124,其耐磨性能明显高于类似成分的 Al-Si 二元合金。

附图 Al-Si 合金的金相组织(锻造态), × 400
(a) Al-15Si; (b) Al-25Si; (c) Al-45Si; (d) Al-15Si-2Cu-1Mg

表4 粉末热锻 Al-Si 合金的机械性能

合金名称	密度		拉伸强度 σ_b /MPa	布氏硬度 HB	1 h 磨损 / 10^{-3} g
	ρ /g·cm ⁻³	δ /%			
Al-10Si	2.65	100.2	186~216	74~78	—
Al-15Si	2.64	99.6	235~245	74~77	100
Al-20Si	2.61	99.6	216~235	77~82	76
Al-25Si	2.60	99.6	196~235	79~84	56
Al-30Si	2.57	99.6	196~226	95~100	56
Al-40Si	2.50	97.8	157~176	114~118	53
Al-45Si	2.48	97.6	—	138~142	46
Al-10Si-2Cu-1Mg	2.70	—	284~324	124~128	84
Al-15Si-2Cu-1Mg	2.66	—	304~333	122~124	72

参考文献

1 Estrad J L, Duszczyk J. J Mater Sci, 1990, 25(2A): 886.

2 Zhou J, Duszczyk J, Korevar B M. J Mater Sci, 1991, 26(11): 3041.

3 Sn. Metal Powder Report, 1990, 45(9): 589.

4 Amano N, Odani Y, Takeda Y *et al.* Metal Powder Re-

port, 1989, 44(4): 186.

5 邱光汉. 中南工业大学学报, 1995, 26(4): 484.

6 工程材料实用手册编委会. 工程材料实用手册(3). 北京: 中国标准出版社, 1989: 306~311.

7 郑明新. 工程材料(第2版). 北京: 清华大学出版社, 1991: 191~197.

THERMAL FORGING OF Al-Si POWDER PREFORM

Qiu Guanghan

Powder Metallurgy Research Institute,

Central South University of Technology, Changsha 410083

ABSTRACTA Thermal forging for a series of Al-Si alloy powder preforms was investigated, and the mechanical properties and wear resistance of the alloys were presented. The results showed that the forging billet might reach 99 per cent theoretical density when silicon content was not beyond 30%. Primary silicon crystal had fine and homogeneous distribution without needle or large plate shape. Tensile strength of Al-10Si-2Cu-1Mg and Al-15Si-2Cu-1Mg were 284~324MPa and 304~333MPa, hardness (HB) 124~128 and 122~124, respectively, higher than relative alloys without Cu and Mg.

Key words Al-Si powder thermal powder forging mechanical property wear resistance

(编辑 朱忠国)

(上接116页)

THE MACHINING OF Ni-Ti-Nb SHAPE MEMORY ALLOY WITH WIDE HYSTERESIS

Zheng Yufeng, Han Rongdi, Cai Wei, Zhao Liancheng

School of Materials Science and Engineering,

Harbin Institute of Technology, Harbin 150001

Zhang Tinghua

Second Department of Jiamusi Institute of Technology, Jiamusi 154007

ABSTRACT The machinability of Ni-Ti-Nb alloy at various cutting speed, feeds and cutting depth was investigated by orthogonal experimental method. The results showed that the effect of cutting speed, feeds and cutting depth for Ni-Ti-Nb alloy on cutting force and average cutting temperature is similar to that for 45 steel. K type carbide tool is suitable for cutting Ni-Ti-Nb alloy and the optimal cutting speed is about 40m/min.

Key words Ni-Ti-Nb alloy machining high temperature tensile behavior

(编辑 朱忠国)