

Al-P 中间合金对过共晶铝硅合金组织及切削性能的影响

赵红亮<sup>1</sup>, 丁紫阳<sup>1</sup>, 李怀武<sup>2</sup>, 任书卿<sup>2</sup>, 张 洋<sup>1</sup>

(1. 郑州大学 材料科学与工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 河南省银湖铝业有限责任公司, 河南 郑州 450001)

**摘 要:** 采用 Al-P 中间合金变质过共晶铝硅合金, 在室温下通过刀具耐用度对比实验和表面质量对比实验评价切削加工性. 实验表明: 经过 Al-P 中间合金变质后, 初晶硅变得细小、分散且圆钝化, 变质后刀具耐用度是变质前的 1.75 倍、摩擦力-时间曲线变得平滑、失重量变小, 说明经变质后, 材料中硬质点对刀具的磨损变小, 改善了切削加工性.

**关键词:** 过共晶 Al-Si 合金; 初晶硅; 变质; 显微组织; 切削加工性

**中图分类号:** TG136<sup>+</sup>.1      **文献标志码:** A      doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2014.05.025

0 引言

过共晶 Al-Si 合金具有线膨胀系数小、热稳定性好、良好的耐磨耐蚀性等优点, 是理想的活塞及缸体材料<sup>[1]</sup>. 国外已经利用过共晶 Al-Si 合金生产出高性能的增压内燃机活塞, 并取得了良好的使用效果, 而国内内燃机活塞主要采用亚共晶和共晶合金, 过共晶合金在活塞的应用很少, 原因是过共晶 Al-Si 合金随着 Si 含量的提高, 出现粗大不规则的多角形板状初晶硅, 严重割裂铝基体, 造成刀具磨损严重, 切削加工性能变差, 限制了它的应用<sup>[2]</sup>. 目前关于切削加工性能的研究主要集中在切削参数、切削条件、切削机理方面, 例如袁

跃峰<sup>[3]</sup>研究了切削要素对过共晶铝硅合金切削加工性的影响, 但很少有文献从改变合金组织角度研究评价切削加工性<sup>[4]</sup>. 笔者结合河南省银湖铝业有限责任公司生产过程中遇到的切削加工困难问题, 以 Al-20% Si 合金为研究对象, 通过添加 Al-P 中间合金变质剂, 研究了变质对合金组织及其切削加工性能的影响.

1 试验方法

1.1 试验材料

试验样品为 Al-20% Si, 其成分见表 1. Al-P 中间合金(P 质量分数为 3.5%).

表 1 Al-20% Si 的化学成分  
Tab. 1 Chemical component of Al-20% Si

合金成分	Si	Fe	Cu	Mg	Mn	Zn	Ti	Al
含量/%	20	0.128	0.007	0.038	0.003	0.005	0.03	余量

1.2 试验过程

将合金放在 SG2-7.5-12 型坩埚电阻炉中, 加热到 760 ℃, 静置 10 min 后用氩气除气 3 min, 扒渣, 然后将合金液浇铸到预热 250 ℃ 的铸铁模具中. 采用相同的条件再次加热熔化, 按质量分数 1% 加入 Al-P 中间合金, 变质 1 h 后精炼、浇铸, 以制取变质后的样品. 将变质前、变质后的样品分

别制成金相试样, 用 0.5% 的 HF 溶液腐蚀, 在 Olympus H2-UMA 型显微镜上观察、拍照和测量.

通过刀具耐用度对比实验和表面质量实验评价其切削性能. 刀具耐用度对比实验在车床上进行, 将样品在车床上切削加工, 车床刀具采用硬质合金刀具. 选取切削速度  $V$  为变量, 刀具刀面磨损带的平均宽度  $B=0.5\text{ mm}$  为磨损标准, 在其它

收稿日期:2014-05-03;修订日期:2014-07-13  
基金项目:国家自然科学基金资助项目(51174177)  
作者简介:赵红亮(1972-),男,河南项城人,郑州大学教授,博士,主要从事新型铝合金细化剂的研究, E-mail:zhli-wkr@zzu.edu.cn.

相同条件下,对棒料进行切削加工,用读数显微镜测量刀具刀面的磨损,记录达到磨损标准的时间,即为该条件下的刀具耐用度.

表面质量对比实验在 MMU-10G 微机控制高温端面摩擦磨损试验机上进行.摩擦副采用销盘摩擦副,将试样加工成直径为 43 mm、厚度为 3 mm 的圆片,用 800#砂纸打磨后进行实验.圆片实验前后均采用酒精清洗,用精度为 0.000 1 g 的电子天平测量实验前、后的重量.表面形貌用 Olympus H2-UMA 型显微镜观察.

2 实验结果与分析

2.1 Al-P 中间合金变质效果

Al-20% Si 合金经 Al-P 中间合金变质前后的显微组织如图 1 所示.

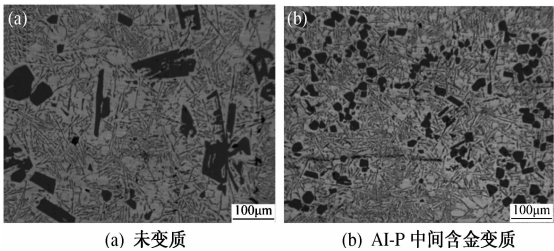


图 1 Al-P 中间合金变质前后的显微组织  
Fig.1 Microstructures with and without Al-P master alloy

由图 1 可以看出,未经变质的 Al-20% Si 合金组织中含有大量粗大的初晶硅,形貌特征多样,有板片状、五瓣星形状、多面体状等,棱角尖锐,平均尺寸在 120 μm 左右.经 Al-P 中间合金变质后,初晶硅形状主要为相对规则的多面体状,数目明显增多,棱角圆滑,尺寸细小,平均尺寸在 30 μm 左右.其变质前后初晶硅的对比见表 2.初晶硅形状变化的原因是加入 Al-P 中间合金后,一方面 P 与铝反应生成 AlP,AlP 与 Si 的晶体结构都是立方晶格,晶格常数相似,AlP 粒子可以起到异质核心的作用,促进了结晶形核,使晶核数目增多,变质细化了初晶硅;另一方面,AlP 粒子改变了初晶硅的结晶驱动力,使其结晶驱动力增大、临界形核功减小,也一定程度上细化初晶硅<sup>[5-8]</sup>.

表 2 变质前后初晶硅对比

Tab.2 Contrasts of primary silicon before and after modification

对比参数	平均尺寸/μm	棱角	形貌
变质前	120	尖锐	多样、不规则
Al-P 变质后	30	圆钝	相对规则

2.2 变质前后切削加工性能对比

刀具耐用度是衡量材料切削加工性能的一项重要指标,刀具耐用度  $T$  越长,则材料的切削加工性能越好<sup>[9-10]</sup>.变质前后刀具耐用度实验数据如表 3 所示.

表 3 变质前后刀具耐用度对比

Tab.3 Contrasts of the tool life before and after modification

测量指标		切削速度 $v/(m \cdot min^{-1})$		
		30	35	40
耐用度 $T/min$	变质前	17.3	13.5	9.8
	Al-P 变质后	28.4	23.8	18.1
耐用度比值	变质后/变质前	1.64	1.76	1.85

变质前后平均耐用度比值为:  $N = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{3} = \frac{1.64 + 1.76 + 1.85}{3} = 1.75$ .

从以上数据可以看出,经过 Al-P 中间合金变质后的 Al-20% Si 合金刀具耐用度均比未变质时的耐用度长,且变质后平均耐用度是变质前的 1.75 倍.因为变质前,过共晶铝硅合金组织中含有粗大的多角块状初晶硅,刀具在切削加工时,刀刃与硬的硅相质点和软的铝相基体交替相迁,会造成刀具磨损严重,而经变质处理后,对刀具的磨损变小,刀具耐用度时间变长,切削加工性得到了一定程度的改善.

切削加工时,常用表面质量为指标衡量切削加工性.凡是容易获得好的加工表面质量的材料,其切削加工性越好.表 4 为相同实验条件下变质前后的平均摩擦力对比.表 5 为实验前后样品的失重量.图 2 为变质前后的摩擦力—时间曲线.

表 4 变质前后平均摩擦力对比

Tab.4 Contrasts of the average friction before and after modification

项目	数值	项目	数值
试验力/N	300	主轴转速/( $r \cdot min^{-1}$ )	100
试验时间/S	600	试验转数	997
变质前平均	2.826	变质后平均	2.589
摩擦力/N		摩擦力/N	

表 5 变质前后失质量对比

Tab.5 Contrasts of the weight loss before and after modification

样品种类	实验前/g	试验后/g	失重量/g
变质前	10.575 5	10.573 2	0.002 3
变质后	10.624 8	10.623 3	0.001 5

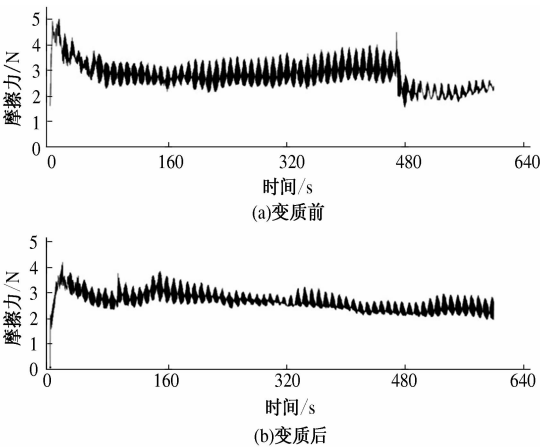


图 2 变质前后摩擦力—时间曲线对比  
Fig. 2 Contrasts of the friction-time curve before and after modification

由图 2 可以看出,变质前摩擦力—时间曲线波动相对较大,而变质后摩擦力—时间曲线相对平滑,这是因为未经变质的 Al-20% Si 合金组织中存在大量粗大的初晶硅,初晶硅具有很高的显微硬度(高达 1 000 ~ 1 300 HV),而铝基体的显微硬度很低,是一种软基体相,摩擦副与软硬质点相互交叉摩擦,造成摩擦力随时间的变化<sup>[11]</sup>. 对比图中变质前、变质后的摩擦力—时间曲线,可说明变质后的组织中软、硬质点相分布较变质前均匀,曲线变的平滑. 结合表 4、表 5,变质后实验中的平均摩擦力比变质前下降了 8.4%,失重量减少,这是因为材料中硬质点越大,形状越尖锐,分布越广,则材料的切削加工性能就越差,经过 Al-P 中间合金变质后,初晶硅硬质点明显细化,对刀具的摩擦力变小,改善了切削加工性<sup>[3,12]</sup>.

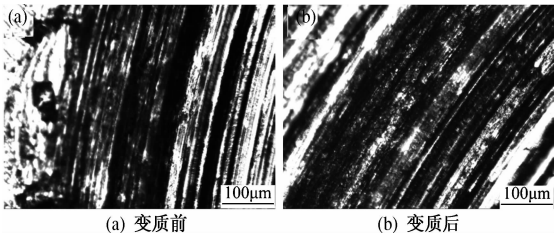


图 3 变质前后摩擦表面形貌  
Fig. 3 Microstructure of friction surface before and after modification

图 3 为变质前后摩擦表面形貌对比. 可以看出,变质前的样品经实验后表面出现轻微的剥落,变质后样品表面相对均匀和平整. 这是因为未变质的 Al-20% Si 含有粗大的初晶硅,不能承受较大的磨损载荷和摩擦力的作用,容易向周围较软的铝基体滑移或者从铝基体上剥落,留下许多面积不一、分布不规则的剥落坑,导致其在切削加工

时,刀具切削刀面受力不平稳,切削加工过程中刀尖、刀刃和后刀面更容易受到初晶硅硅块的强烈摩擦,刀具磨损更严重,切削加工困难,故变质处理能改善过共晶铝硅合金的切削加工性能.

3 结论

- (1)采用 Al-P 中间合金变质 Al-20% Si,可以显著改变合金显微组织,使其初晶硅变的细小、分散、形状圆钝化.
- (2)变质后的 Al-20% Si 合金刀具耐用度是变质前的 1.75 倍,刀具耐用度时间变长,说明变质后改善了切削加工性;表面质量评价实验也表明 Al-P 中间合金变质 Al-20% Si 可以改善其切削加工性能.

参考文献:

[1] 梁国萍,苏勇,刘福东,等. P + RE 变质对过共晶 Al-Si 合金组织的影响[J]. 特种铸造及有色合金, 2010,30(3):273-275+195.

[2] 孔凡校. P、Sr、RE 变质对过共晶 Al-Si 合金组织形态的影响[J]. 有色金属:冶炼部分,2011(12):46-49.

[3] 袁跃峰. 硅铝合金切削加工性研究[D]. 中北大学机电工程学院,2006.

[4] 郑文虎. 金属切削加工技术问答[M]. 北京市:机械工业出版社. 2013.

[5] 胡慧芳. Al-25% Si 合金 Si 相形态、变质及性能研究[D]. 重庆大学材料科学与工程学院,2010.

[6] 余国勋,李华基,张晓萍. 复合变质对过共晶 Al-24% Si 合金组织的影响[J]. 冶金丛刊,2008(4):8-9,29.

[7] 姚书芳,毛卫民,赵爱民,等. 过共晶铝硅合金细化变质剂的研究[J]. 特种铸造及有色合金,2000,115(5):1-3.

[8] 胥锴,刘徽平,袁帮谊,等. 过共晶铝硅合金变质处理的研究进展[J]. 热加工工艺,2009,38(3):32-35.

[9] 毛玺,李航,杨丙乾. 金属材料切削加工性能的测试[J]. 实验室研究与探索,1997(4):60-62.

[10] 孔宪华,王亮. 切削用量对刀具耐用度影响的探讨[J]. 科技创新与生产力,2013(3):96-97.

[11] 杨子润,庞绍平,孙瑜,等. 变质及合金化对过共晶 Al-20% Si 合金组织及磨损性能的影响[J]. 中国有色金属学报,2013,23(5):1217-1225.

[12] 许长林. 变质对过共晶铝硅合金中初生硅的影响及其作用机制[D]. 吉林大学材料学院,2007.

(下转第 115 页)