DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.05.007

汽车轮毂用新型铝硅镁系铸造铝合金耐磨性能研究

李　宇,金　星,肖振泉
(柳州铁道职业技术学院 汽车技术学院,广西 柳州 545616)

摘　要:铝硅镁系铸造铝合金在汽车工业上应用非常广泛,汽车制造中轮毂用的材料几乎都采用铝硅镁系合金。以ZL101为基体添加了Cu、Si、Mg、Mn等多种合金元素形成一种新型铝硅镁系合金,对改良合金材料及基体材料在变换载荷及润滑状况的条件下进行摩擦磨损试验,对这两种材料的耐磨性进行研究,对磨件为淬火45钢。摩擦磨损试验结果表明,在干摩擦及油润滑摩擦条件下新型铝硅镁系铸造铝合金的耐磨性和减摩性均优于对比材料ZL101合金。

关键词:新型铝合金;耐磨性能;汽车轮毂

中图分类号:TG146.2　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)05-0440-04

Study on Wear-resistant Properties of New Al-Si-Mg Cast Alloy for Automobile Wheel Hub

LI Yu, JIN Xing, XIAO Zhenquan
(Automobile Technical College, Liuzhou Railway Vocational Technical College, Liuzhou 545616, China)

Abstract: Al-Si-Mg casting alloy was widely used in the automotive industry. With ZL101 as the matrix, various alloy elements such as Cu, Si, Mg, Mn and so on were added to form a new type of Al-Si-Mg alloy. Friction and wear tests were carried out on the improved alloy materials and matrix materials under the condition of changing load and lubricating state. The wear resistance of the two materials was studied, the grinding part was quenched 45 steel. The results show that the wear resistance and anti-friction property of the new series of Al-Si-Mg cast alloy are better than that of ZL101 alloy under the condition of dry friction and oil lubrication friction.

Key words: new series of aluminum alloy; wear resistance; car wheels

1　新型铝合金材料成分及实验设备

表1为新型铝合金的化学成分。采用坩埚电阻炉熔炼铸造。在将熔融材料浇铸前,保温10 min,以使合金组织均匀。

表1 基体铝合金ZL101和新型铝合金化学成分 w(%)
Tab.1 Chemical composition of Matrix aluminum alloy ZL101 and new type aluminum alloy

合金元素	Si	Mg	V	RE	Cu	Mn	Ni	Al
ZL101成分	6.5	0.3			0.1	0.1		余量
新型合金成分	7.0	0.5	0.1	0.8	2.0	0.2	0.2	0.2

根据预定的改良合金材料及基体材料的化学成分,计算材料的需要量并进行配料。配料完成后,将两种材料按照熔炼工序依序加入石墨坩埚炉熔炼,保温10 min,扒渣浇铸成圆形试棒,尺寸为ϕ15 mm×200 mm。

试样清砂后,在砂轮机上将试棒表面的氧化层去除,然后在普通车床车削试棒成销状,尺寸为ϕ6.5 mm×30 mm,再用金相砂纸将试样表面磨光,使试样具有一定的光洁度。用金相切割机切取金相试样。用光学显微镜观察试样的金相组织,如图1所示。

2　新型铝合金材料摩擦磨损实验条件

摩擦磨损试验所用试验仪器设备有磨损试验机、电热恒温干燥箱、读数显微镜、游标卡尺等,所用试剂为无水乙醇。对改良合金材料及基体材料在变换载荷及润滑状况的条件下进行摩擦磨损试验,对这两种材料的耐磨性进行研究,对磨件为淬火45钢,其硬度为HRC 51,试样尺寸如图2所示。

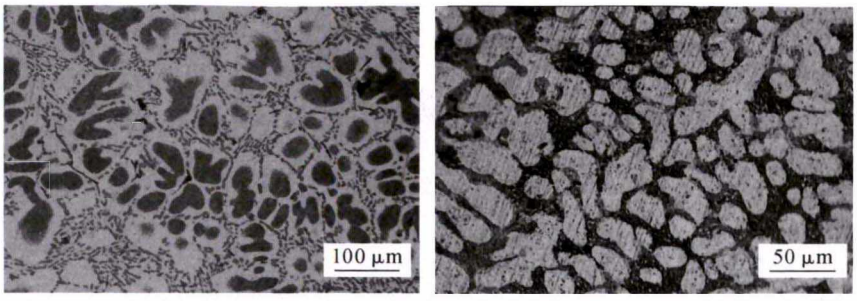
3　实验结果与分析

3.1　干摩擦条件下摩擦磨损实验

图3是基体铝合金ZL101和新型铝合金与摩

收稿日期:2020-01-14

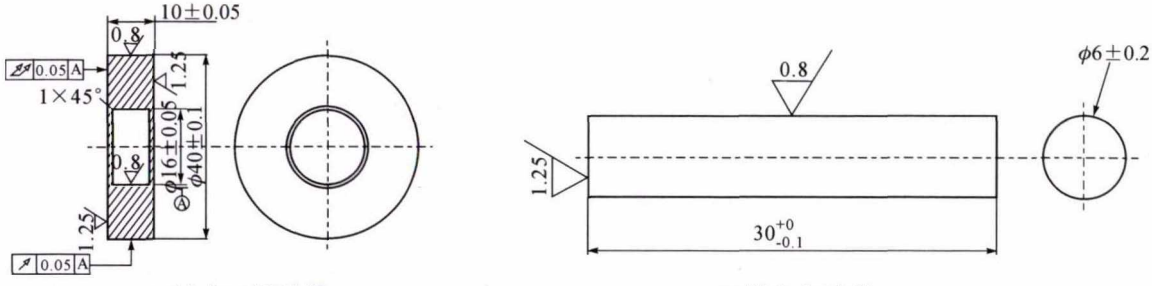
作者简介:李　宇(1981-),辽宁抚顺人,硕士,讲师.主要从事材料加工工程方面的工作.电话:18078207120,E-mail:95113349@qq.com



(a)基体铝合金ZL101　　(b)新型铝合金

图 1 基体铝合金 ZL101 和新型铝合金的金相组织

Fig.1 Microstructure of Matrix Aluminum Alloy ZL101 and new type aluminum alloy



(a)淬火45钢试样　　(b)铝合金试样

图 2 淬火 45 钢及试样尺寸

Fig.2 Size of quenched 45 steel and sample

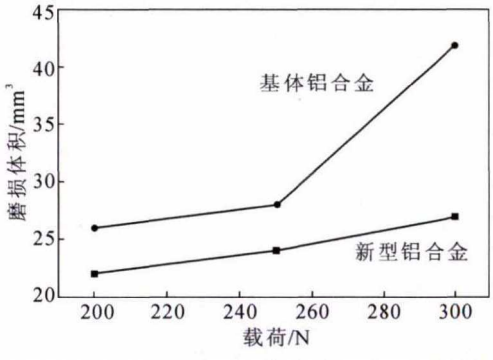


图 3 基体铝合金 ZL101 和新型铝合金干摩擦不同载荷下的体积磨损量

Fig.3 Volumetric wear of aluminum alloy ZL101 and new aluminum alloy under different dry friction loads

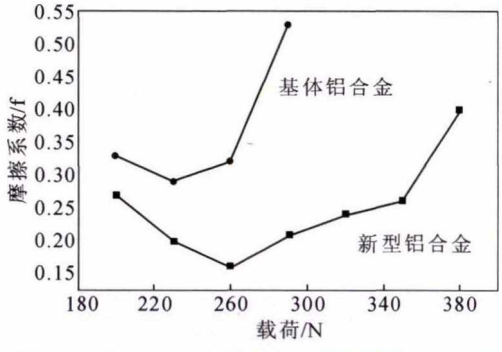


图 4 基体铝合金 ZL101 和新型铝合金不同载荷下的摩擦系数

Fig.4 Friction Coefficient of Matrix aluminum alloy ZL101 and new aluminum alloy under different loads

擦副淬火 45 钢在不同载荷下的体积磨损量。基体材料的体积磨损量随载荷从 200~300 N 的增加而迅速从 25.5 mm^3 增加到 42 mm^3，当载荷超过 300 N 以后基体铝合金 ZL101 迅速过渡到剧烈摩擦状态。基体铝合金 ZL101 的磨损主要是由于它的塑性变形和与淬火 45 钢环表面的切削作用造成的。随载荷的增加，在实验压力下观察到基体材料逐渐软化，由于载荷增加，在摩擦副表面之间的较大的热量不可能迅速扩散出去[1]。新型铝合金随载荷的增加体积损失比基体铝合金 ZL101 低，显示出更好的耐磨性能。

图 4 为载荷对基体铝合金 ZL101 及新型合金摩擦系数的影响示意图。新型铝合金的 f 值在 260 N 载荷下减小至最小，无论载荷大小，基体铝合金 ZL101 摩擦系数 f 始终高于新型合金的摩擦系数 f。当载荷增至一定值时，两种材料的 f 值降到最低，然后开始上升。当载荷增加到 290 N 时，基体铝合金 ZL101 的摩擦系数曲线提升的非常明显，而新型合金的 f 值直到载荷增至 380 N 时才开始急剧增加。由此表明，新型铝合金具有更高的承载能力和更好的减摩性能。

一般认为，摩擦系统的摩擦系数改变由粘着和犁沟两方面作用引起[2,3]。基体铝合金 ZL101 和新型铝合金在载荷较低的情况下摩擦时，两种材料与 45 钢的接触表面主要由面心立方的 α(Al)微突体组成，其粘着系数较大。随着载荷的增加，α(Al)组织磨损后硬度高的第二相不断突起，开始与 45 钢摩擦。由于第二相的出现，减少了基体与 45 钢之间的接触面

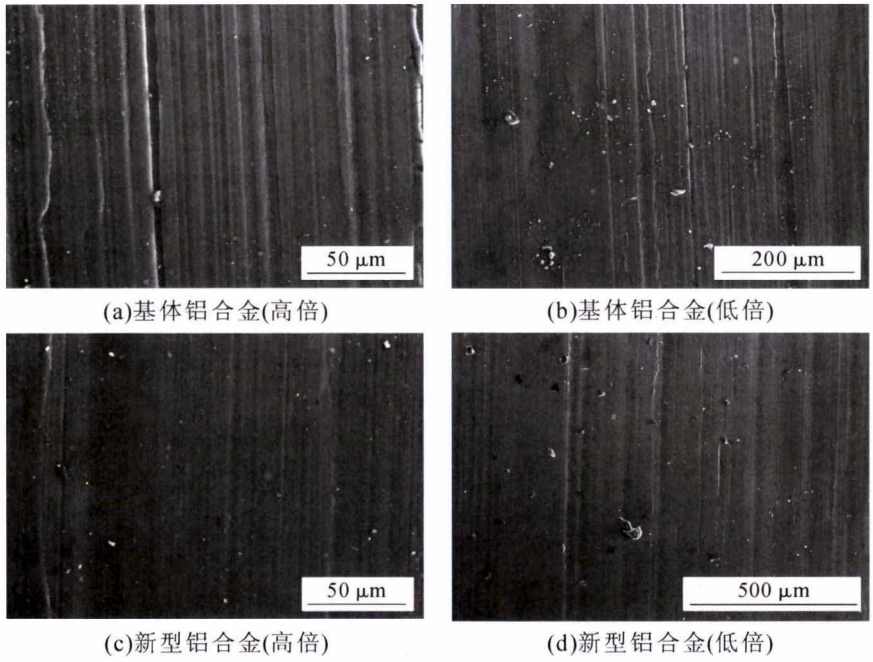
积,降低基体材料与45钢之间的粘着作用,有利于降低摩擦系数。但是,第二相的硬度较大,很容易刮擦45钢的表面并形成犁沟,再反过来作用于合金材料磨损表面。随着外加载荷的进一步增大,少量的第二相被剥落下来并且在外力作用下形成的细小磨粒提高了摩擦面的粗糙度,使得摩擦界面的相对运动阻力增大导致摩擦系数的升高。因此,两种合金材料的摩擦系数均经历由降低到升高这个过程。

图5为基体铝合金ZL101和新型铝合金在干摩擦条件下表面磨损的扫描电镜照片。可以看出,干摩擦条件下基体铝合金ZL101和新型铝合金的表现均有明显的划痕并呈犁沟状。在两者的摩擦面上均存在金属小颗粒,说明粘着磨损和磨料磨损是这两种合金的主要磨损方式。两张图片对比来看,新型铝合金犁沟比较浅,表面附着的金属颗粒小而基体铝合金ZL101犁沟比较宽且深,表面附着金属颗粒较大。

此外,基体铝合金ZL101磨损表面上的磨屑主要以块状为主,几乎所有磨屑的颜色为亮白色,说明磨屑的氧化现象并不严重不是以氧化磨损为主。相对于基体铝合金ZL101而言新型合金磨损表面上的块状和颗粒状的磨屑色泽较灰暗。之所以这些颗粒状磨屑的颜色比较暗淡,是因为这些磨屑被氧化的结果,实验过程中看到了红色的颗粒推测其为Fe的氧化物,说明氧化磨损对新型合金的磨损起了很大的作用。Fe元素在新型铝合金表面附着较多,而在基体铝合金ZL101表面附着很少,说明基体铝合金ZL101向对磨件45钢表面转移,而对磨件45钢的一部分材料转向新型铝合金的摩擦表面,从这一点也可说明两者耐磨性的关系。

3.2 油润滑条件下摩擦磨损实验

图6为基体铝合金ZL101和新型铝合金在油润滑条件下摩擦磨损体积和摩擦系数随载荷变化曲线。可以看出,随着载荷的逐渐增大基体铝合金ZL101和新型铝合金的磨损体积曲线均呈上升趋



(a)基体铝合金(高倍) (b)基体铝合金(低倍)

(c)新型铝合金(高倍) (d)新型铝合金(低倍)

图5 基体铝合金ZL101和新型铝合金干摩擦磨损表面形貌

Fig.5 The dry friction and wear surface SEM images of matrix ZL101 alloy and new Al alloy

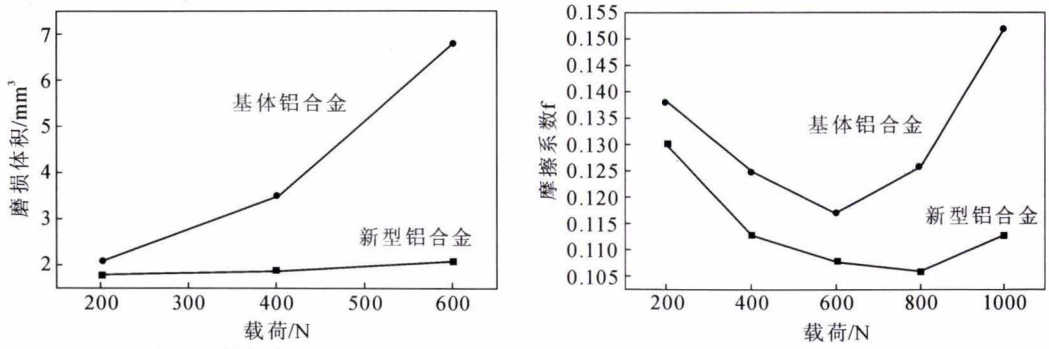


图6 基体铝合金ZL101和新型铝合金油润滑摩擦不同载荷下的体积磨损量

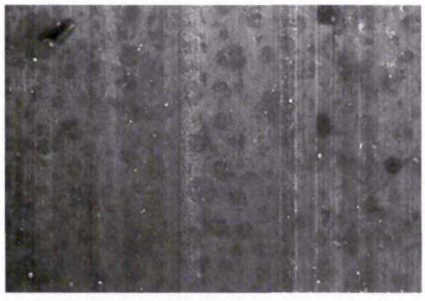
Fig.6 Volume wear and friction coefficient of matrix ZL101 and new Al alloy under oil lubrication with different loads

势，在施加相同载荷的情况下基体铝合金 ZL101 的磨损体积大于新型铝合金的磨损体积，这表明在耐磨性方面新型铝合金要好于基体铝合金 ZL101。载荷相同的情况下，基体铝合金 ZL101 的摩擦系数总是大于新型铝合金的摩擦系数，说明在减摩性方面新型铝合金好于基体铝合金 ZL101。

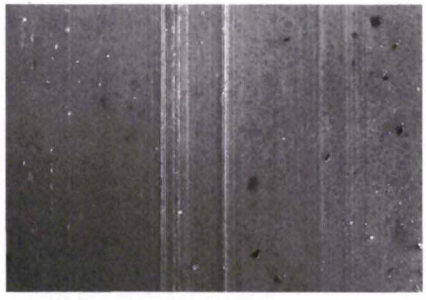
相对运动的摩擦副表面的磨损形式可分为磨粒磨损（又可细分为对磨面硬微凸点产生的犁削即二体磨粒磨损和由磨屑产生的三体磨粒磨损），粘着磨损，磨面的氧化、腐蚀和疲劳磨损等。究竟以哪种或哪几种磨损形式为主，取决于摩擦副的材料匹配，运动形式和速度，加载方式和载荷大小，环境介质及润滑条件等因素[4]。对于油润滑条件下的滑动摩擦磨损，由于润滑油在磨擦面铺展形成吸附膜，减少了对磨面的直接接触面积，因此可大幅度降低磨面的粘着磨损。由图 7 可以看出，当机器施加的载荷到 300 N 时，对于较软的基体铝合金 ZL101 来说，基体铝合金 ZL101 摩擦后的磨面上存在大量浅和细的磨粒磨损沟槽，同时还可以看到少量的粘着磨损。

随着外界施加的载荷越来越大，摩擦产生的热量也越来越多，最终的结果是降低了润滑油的粘度，油膜的厚度也变的越来越薄，导致基体铝合金 ZL101 与对磨件 45 钢的接触面积也随之增大，增大了粘着磨损。同时摩擦产生的热量使基体铝合金 ZL101 进一步变软，导致基体铝合金 ZL101 的塑性变形也进一步加大，对磨件 45 钢对基体铝合金的剪切作用也随之增大，相应的对磨件 45 钢与基体铝合金 ZL101 的接触面积也增大，因此基体铝合金 ZL101 磨面的划痕更加明显磨粒磨损和粘着磨损更加严重。

图 8 为新型铝合金在油润滑状态下表面磨损形貌。可以看出，在油润滑条件下新型铝合金磨损表面也有犁沟出现同时有少量的金属颗粒，但磨损表面的犁沟较细小、无裂纹。对于新型铝合金材料来说，由于稀土的加入使组织细化，形成的第二相组织颗粒较小，均匀分布在新型铝合金里，硬度较高的第二相与对磨件接触，这样较软的基体合金与对磨件 45 钢的接触面积就变小了，而且对磨件 45 钢的表面磨痕加深，有利于存储润滑油，形成的油膜厚度也增大了。而油膜在降低摩擦副接触表面温度的同时还能隔绝合金同空气中氧的接触，从而抑制氧化磨损，因此两种合金在润滑条件下几乎不发生氧化磨损。



(a)300 N



(b)600 N

图 7　不同载荷下基体铝合金 ZL101 油润滑摩擦磨损表面

Fig.7　Friction and wear surface SEM images of ZL101 alloy under oil lubrication

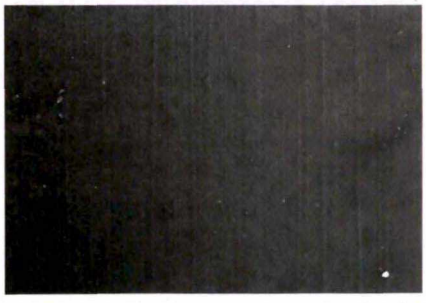


图 8　新型合金油润滑摩擦磨损表面形貌

Fig.8　Friction and wear surface SEM image of new Al alloy under oil lubrication

4　结论

通过对基体铝合金 ZL101 与新型铝合金摩擦磨损实验研究，得出在不同的摩擦条件下新型铝合金的减摩性和耐磨性都好于基体铝合金 ZL101。在汽车工业上，尤其是作为制造轮毂的材料来说具有很好的应用前景。

参考文献：

[1]　高彩桥. 摩擦金属学[M]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学出版社，1988.

[2]　张 斌. AlSi7Mg1 复合材料的摩擦和磨损特性[J]. 大连铁道学院学报，2000，20(3)：76-79.

[3]　辛社伟. 一种高性能铸造 Al-Si 系合金的研制及应用研究[D]. 辽宁：辽宁工程技术大学，2004.

[4]　韩建民. Al-Si 系铸造高强度铝合金的制备技术研究 [D]. 北京：北京交通大学，2007.