

文章编号:1673-9981(2020)04-0284-04

A356 合金轮毂的微观组织及拉伸性能研究

刘 军¹, 咎建玖¹, 莫 海², 孙冬恩²

1. 安徽托普勒汽车科技有限公司, 安徽 安庆 246000; 2. 合肥工业大学材料科学与工程学院, 安徽 合肥 230009



摘 要:研究了低压铸造 A356 合金轮毂重要部位微观组织及拉伸性能. 结果表明:先凝固的部位微观结构细化,二次枝晶间距较小,后凝固的部位随着保温时间的延长,晶粒呈长大趋势,二次枝晶间距尺寸增大,因此最先凝固的内轮缘相较其他部位表现出最优的微观组织与力学性能;辐条处存在缩孔、缩松缺陷,在拉伸过程中,截面上缺陷的存在降低了承受外载荷的有效面积,试样在较小的载荷下发生断裂,因此辐条部位力学性能最差;在拉伸断口表面观察到较少的准解离平面和分布均匀的韧窝形貌,拉伸断裂方式为以韧性断裂为主的韧脆混合型断裂.

关键词: A356 合金轮毂;微观组织;拉伸性能;断口形貌

中图分类号: TG146.2

文献标识码: A

铸造铝合金由于具有优异的铸造性能,良好的耐腐蚀性,能够近终成型等特点,在汽车和航空工业上得到广泛的应用,其中 A356 合金逐渐成为汽车轮毂铸造行业的首选材料^[1-3]. 轮毂是汽车的重要组成部分,作为汽车的主要承载件,影响着汽车的安全性和可靠性,是影响整车性能的安全部件之一,因此安全性是轮毂制造中要考虑的首要因素^[4-5].

在低压铸造铝合金轮毂中,存在的缺陷主要为缩孔、缩松,强烈影响轮毂的力学性能,所以研究轮毂缺陷的种类与成分对铝合金轮毂力学性能的影响具有重要意义. 因此,以一款轮毂为例,对铝合金轮毂重要部位的微观组织进行观察和分析,研究重要部位的拉伸性能,分析拉伸断口形貌及断口纵剖面的微观组织特征.

1 实验材料及方法

实验用 A356 合金轮毂通过低压铸造成型,其主要的化学成分如表 1 所示. 将铸态轮毂进行 T6 热处理,包括 540 °C 固溶处理 5 h 后淬火与 130 °C 人工时效 3.5 h 两个阶段.

表 1 实验材料的化学成分

Table 1 Chemical composition

元素	含量 $w/\%$
硅	7.16
镁	0.31
铈	0.015
钛	0.16
铁	0.11
铝	余量

在轮毂上切取不同部位进行金相试样与拉伸试样制备,切取部位如图 1 所示. 金相试样经过砂纸打磨与抛光处理,用光学显微镜观察和分析微观组织. 拉伸试验在 CZ-8000A 型号伺服控制拉伸试验机上进行,试样尺寸根据 GB/T228-2002 标准将其加工成拉伸试样,拉伸试样尺寸如图 2 所示. 采用 SEM 对断口形貌进行分析,并采用线切割将断口沿拉伸轴向方向纵剖,镶嵌后经过砂纸打磨与抛光处理后观察断口纵剖面的组织形貌.

收稿日期: 2020-04-28

作者简介:刘军(1975-),男,工程师,安徽安庆人,主要研究方向为铝合金轮毂制造技术,E-mail:zl04@topplotech.com

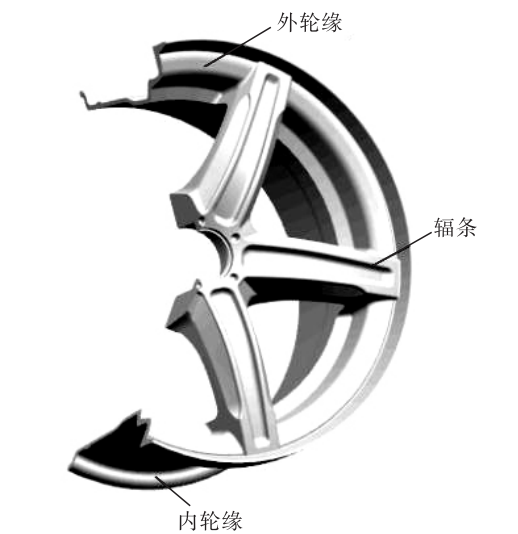


图 1 试样在轮毂中取样位置图
Fig. 1 Sample position

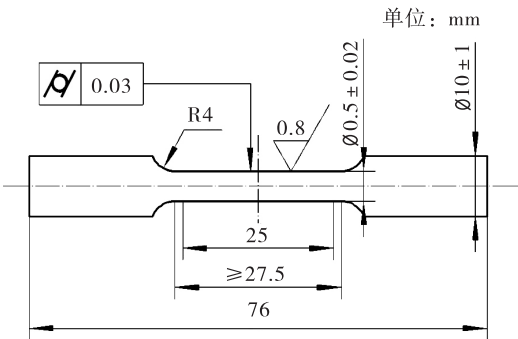


图 2 拉伸试样尺寸
Fig. 2 Specimen size

2 实验结果与分析

2.1 微观组织分析

图 3 为轮毂不同部位的金相显微组织。根据 Al-

Si 二元合金相图,A356 合金属于亚共晶合金,其凝固过程先析出初生 Al 枝晶,然后 Al-Si 共晶体在枝晶臂之间形成,铸态合金冷却过程中析出 Mg₂Si 和 Si 粒子。从图 3 可见:α-Al 基体为树枝状,为典型的亚共晶组织形态,呈片状的相为共晶体 Si,其杂乱无章地分布在 α-Al 基体上;辐条相较内轮缘和外轮缘,其板条共晶硅粒子粗大,初生 α 相较为粗大。

为了能够定量地比较不同部位初生 α 相尺寸的大小,采用 Image-Pro-Plus 软件对微观组织中的晶粒尺寸和形状因子进行了计算分析。等效直径 $D = 2 \times \sqrt{A/\pi}$,形状因子 $K = 4 \times \pi \times A/P^2$,其中 A 为晶粒面积、P 为晶粒周长。平均晶粒尺寸 D 越小,形状因子 K 越接近 1,表明晶粒越圆整。

通过对不同部位微观组织中的初生 α 相的分析,其平均尺寸和形状因子列于表 2。由表 2 可知,辐条部位的初生 α 相等效直径相较其他部位较大,形状圆整性较差。这是因为轮毂的凝固方式对微观结构与二次枝晶间距存在影响,先凝固的部位微观结构细化,二次枝晶间距较小,后凝固的部位随着保温时间的延长,晶粒呈长大趋势,二次枝晶间距尺寸增大^[6-8]。所以,表现为最后凝固的辐条部位其微观结构相对较差。

表 2 不同部位的等效直径与形状因子			
Table 2 Equivalent diameter and shape factor			
位置	内轮缘	外轮缘	辐条
等效直径/ μm	32.79	33.98	35.66
形状因子	0.844	0.821	0.788

2.2 拉伸性能及其断口分析

在室温条件下对不同部位进行拉伸试验,所测得实验结果列于表 3。

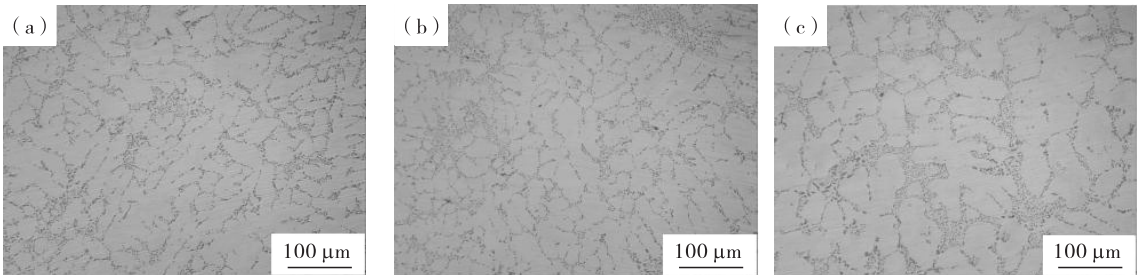


图 3 轮毂不同部位微观组织
(a)内轮缘;(b) 外轮缘;(c) 辐条

Fig. 3 The microscopic structure of different parts of the wheel body
(a) inner rim;(b) outer rim;(c) spokes

从表 3 中可以看出,轮毂的内轮缘抗拉强度、屈服强度均为最高,辐条抗拉强度、屈服强度均最低.这是由于拉伸性能的变化与铸造过程中液态金属的凝固方式与速率有关,在最后凝固部位产生铸造缺陷的可能性最大,因此这些位置的力学性能相对较低.同时,因为 Al-Si 共晶体量和微观空隙的密度随着凝固路径而增大,低压铸造是自上而下顺序凝固,所以最先凝固的内轮缘表现出最好的拉伸性能,最后凝固的辐条力学性能最差.

表 3 不同部位拉伸性能
Table 3 Emergent property

部位	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	延伸率/%
内轮缘	260	130	9
外轮缘	245	125	8
辐条	210	95	4

不同部位拉伸断口形貌如图 4 所示.从图 4 断口形貌可以看出,A356 合金轮毂的断裂方式为以韧性断裂为主的韧脆混合型断裂.从图 4(a)和图 4(b)可以发现:断口表面具有分布均匀的韧窝,能观察到明显的撕裂棱;同时在断口表面发现有较为平坦的小平面.由于 α -Al 基体是面心立方结构,基本上不

存在解理断裂,时效铝合金的拉伸断裂形式一般分为滑移带开裂、沿晶开裂和韧窝型开裂,因此这些平坦的小平面为准解离面^[9-10].从图 4(c)可以看出,辐条部位的拉伸断口存在明显的铸造缩孔、缩松缺陷.由于辐条部位存在热节,在凝固过程中补缩通道提前关闭,辐条部位无法得到补缩,从而产生缩孔、缩松缺陷.结合力学性能可以看出,辐条的抗拉强度、屈服强度、伸长率均低于内、外轮缘,其原因是在辐条部位存在缩孔、缩松缺陷导致.

断口纵剖面微观组织如图 5 所示.从图 5 可以观察到:很多硅粒子分布在断口边缘处,裂纹是沿着簇状共晶硅粒子扩展的;在枝晶胞周围共晶区域中可以明显观察到裂纹(图 5(a)、图 5(b)、图 5(c)中箭头 A,B,C 所指),而在胞内无发现裂纹,所以裂纹是沿着枝晶胞进行扩展,其断裂方式为穿晶断裂.在断口边缘存在断裂的共晶硅粒子,图 5(a)、图 5(b)、图 5(c)中白色箭头所指.裂纹萌生于共晶硅粒子与基体结合处,裂纹沿着共晶硅与 α -Al 基体结合面进行扩展,由于共晶硅粒子杂乱无章的分在 α -Al 基体上,因此当裂纹遇到与裂纹前进方向相异的共晶硅粒子时,将截断共晶硅粒子,使硅离子发生断裂.在外力的作用下,多处萌发的裂纹发生长大并连接在一起,形成较长的裂纹,最后导致试样发生失效.

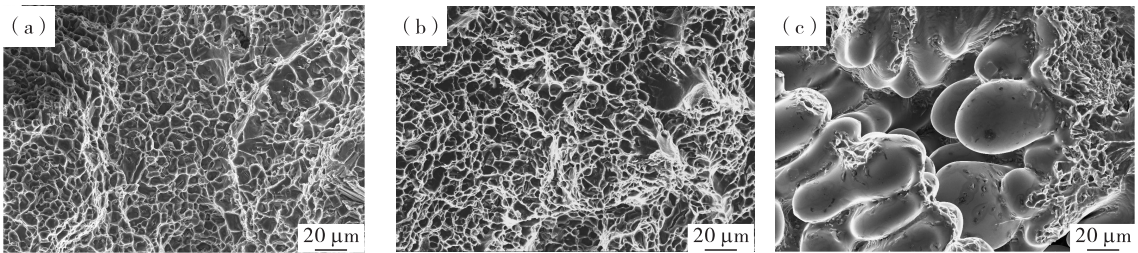


图 4 不同部位拉伸断口形貌
(a)内轮缘;(b)外轮缘;(c)辐条
Fig. 4 Tensile fracture morphology
(a) inner rim;(b) outer rim;(c) spokes

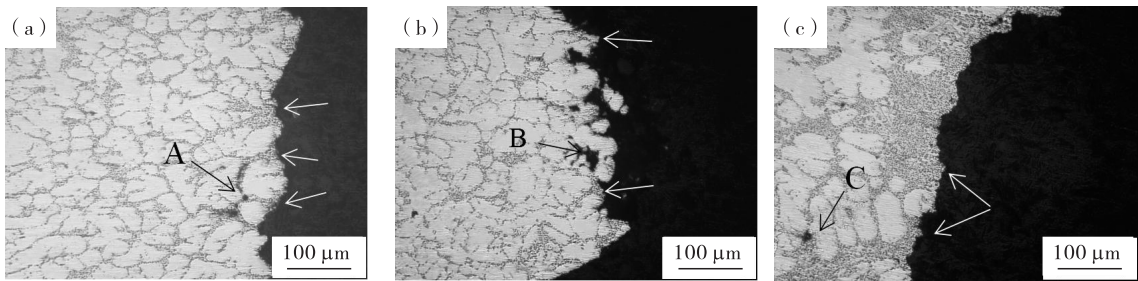


图 5 拉伸断口纵剖面微观组织
(a)内轮缘;(b)外轮缘;(c)辐条
Fig. 5 Longitudinal microstructure
(a) inner rim;(b) outer rim;(c) spokes

3 结 论

(1)低压铸造轮毂自下而上充型,自上而下凝固,先凝固的部位微观结构细化,二次枝晶间距较小,后凝固的部位随着保温时间的延长,晶粒呈长大趋势;二次枝晶间距尺寸增大;同时,因为 Al-Si 共晶体量和微观空隙的密度随着凝固路径而增大,所以最先凝固的内轮缘表现出最好的微观组织和力学性能,最后凝固的辐条表现出最差的微观组织和力学性能。

(2)辐条部位存在热节,补缩通道提前关闭,从而导致辐条部位存在缩孔、缩松缺陷,在拉伸过程中,截面上缩孔、缩松的存在降低了承受外载荷的有效面积,所以试样在较小的载荷下发生断裂,因此辐条部位力学性能最差。

(3)拉伸断口表面观察到准解离平面和韧窝形貌,拥有深且分布均匀的韧窝,断裂方式为以韧性断裂为主的韧脆混合型断裂。

参考文献:

[1] 戴志雄. 交通用铝为中国制造减重[J]. 有色金属工业,

2005(8): 70-71.

[2] 毛协民. 汽车轮毂用 A356 铝合金特点[J]. 资源再生, 2010(11): 74-77.

[3] 原海峰. A356 铝合金汽车轮毂的热处理工艺研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2016.

[4] 扈晓燕,代学蕊,刘金海. 低压铸造铝合金轮毂裂纹成因分析及改进措施[J]. 金属加工, 2008(3):58-59.

[5] 沈高荣. 低压铸造铝合金轮毂裂纹的形成及消除措施[J]. 风机技术, 2010, 37 (3): 37-38.

[6] 陈旷,关绍康,胡保健,等. 铸造铝合金轮毂 T6 热处理工艺的优化研究[J]. 热加工工艺, 2006,35 (6): 30-32.

[7] 冉广,周敬恩,王永芳,等. 铸造 A356 铝合金的微观组织及其拉伸性能研究[J]. 金属热处理, 2007, 32 (3): 13-18.

[8] 冉广,周敬恩,王永芳. 铸造 A356 铝合金的拉伸性能及其断口分析[J]. 稀有金属材料与工程, 2006, 35 (10): 1620-1624.

[9] 宫林松,童胜坤,唐良文,等. A356.2 铝合金轮毂拉伸性能及断口分析[J]. 汽车工艺与材料, 2012, 10: 42-46.

[10]范宋杰,何国球,刘晓山,等. A356 铝合金显微结构及拉伸断口分析[J]. 金属功能材料, 2007, 14 (2): 24-27.

Study on microstructure and tensile properties of A356 alloy wheel

LIU Jun¹, ZAN Jianjiu¹, CHENG Hefa², SUN Dongen²

1. Anhui Topler Automotive Technology Co., Ltd, Anqing 246000, China; 2. School of Materials Science and Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China

Abstract: This paper studies the microstructure and tensile properties of important parts of low-pressure cast A356 alloy wheels. The results show that the microstructure of the first solidified part is refined, and the secondary dendrite spacing is small. With the extension of the holding time, the grains tend to grow and the secondary dendrite spacing increases. Compared with other parts, the solidified inner rim shows the best microstructure and mechanical properties. There are shrinkage holes and shrinkage defects at the spokes. During the stretching process, the existence of defects on the cross-section reduces the effective area to withstand external loads. The specimen breaks under a smaller load, so the spokes have the worst mechanical properties. A small quasi-dissociation plane and a uniformly distributed dimple morphology were observed on the fracture surface, so the fracture mode was a ductile-brittle mixed fracture mainly composed of ductile fracture.

Key words: A356 alloy wheels;microstructure;tensile properties;fracture morphology