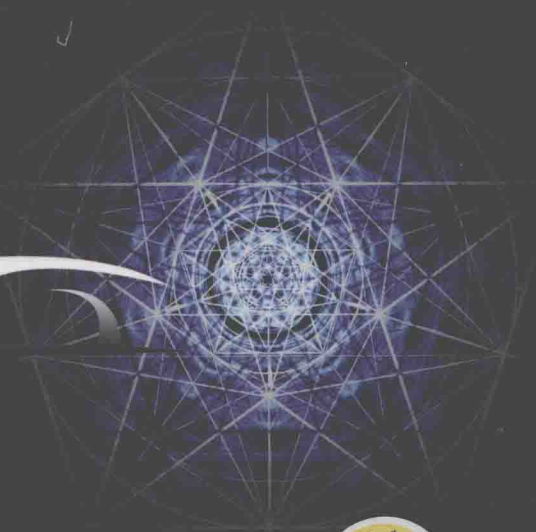
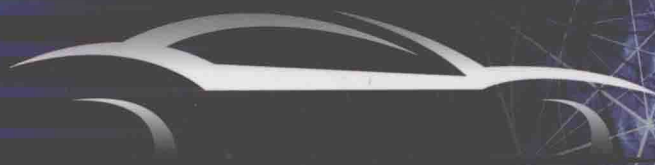


Manufacturing Technology of Light-alloy Wheels

轻合金车轮 制造技术

主 编◎赵玉涛

副主编◎陆仕平 陈刚



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

轻合金车轮制造技术

主 编 赵玉涛
副主编 陆仕平 陈 刚
主 审 潘 冶



机械工业出版社

车轮产业集材料、合金熔炼、制造成形、机械加工、涂装、检测等技术为一体,涉及多学科交叉,技术密集,其发展与材料、先进制造、汽车零部件等产业息息相关。轻合金车轮是车辆轻量化的重要安全部件,我国已成为世界铝车轮制造第一大国。为适应国内外车轮技术快速发展的新趋势,提高我国轻合金车轮技术的整体水平,由中国汽车工业协会摩托车分会车轮委员会组织,长期从事该领域研究和生产实践的教授、工程师和管理者执笔编写了本书。全书坚持科学性、实用性、前瞻性相结合的原则,系统介绍了铸造铝合金车轮的材料、制造和检测,又分章专门介绍了变形铝合金车轮、镁合金车轮等新近出现的新型轻合金车轮,系统性、针对性强。

本书内容全面、观点新颖,可作为高等院校材料学院与机械工程学院本科生、研究生教学用书,或作为轻合金车轮制造企业工程技术人员的技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

轻合金车轮制造技术/赵玉涛主编. —北京:机械工业出版社, 2017. 11
ISBN 978-7-111-59230-3

I. ①轻… II. ①赵… III. ①轻有色金属合金-车轮-制造
IV. ①U260.331

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第035578号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:丁昕祯 责任编辑:丁昕祯 责任校对:刘秀芝
封面设计:张静 责任印制:张博
三河市宏达印刷有限公司印刷
2018年3月第1版第1次印刷
184mm×260mm·13.5印张·358千字
标准书号:ISBN 978-7-111-59230-3
定价:39.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com

机工官博: weibo.com/cmp1952

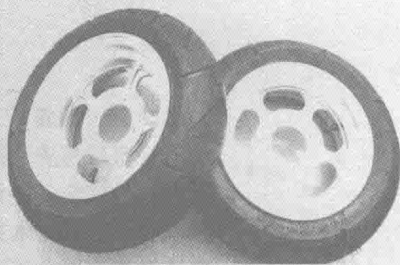
教育服务网: www.cmpedu.com

金书网: www.golden-book.com

编 委 会

- | | | | |
|--------|--------------------|----------------|------|
| 主 任： | 赵玉涛 | 江苏大学 | 教 授 |
| 副 主 任： | 陆仕平 | 浙江万丰摩轮有限公司 | 总经理 |
| 编 委： | 陆文锋 | 南昌摩托车质量监督检验所 | 所 长 |
| | 葛炳灶 | 今飞控股集团有限公司 | 董事长 |
| | 吴 彬 | 重庆捷力轮毂制造有限公司 | 总经理 |
| | 李 娜 | 江苏中联铝业有限公司 | 董事长 |
| | 罗惠敏 | 南海中南铝车轮制造有限公司 | 总工程师 |
| | 李创奇 | 浙江康利金属制品有限公司 | 总工程师 |
| | 周德福 | 南京长江工业炉科技有限公司 | 董事长 |
| | 肖双喜 | 镇江裕久智能装备股份有限公司 | 董事长 |
| 执行编委： | 张申明 | 中汽协会摩托车分会车轮委员会 | 秘书长 |
| 策 划： | 中国汽车工业协会摩托车分会车轮委员会 | | |

前言



《铝合金车轮制造技术》2004年出版以来，已历时十多年，先后多次印刷，因其内容丰富、深入浅出、通俗易懂、贴近现场而深受广大读者欢迎。国内很多高等院校及铝合金车轮生产企业已采用此教材，为行业快速培养了一批又一批操作技术合格的技能人才。

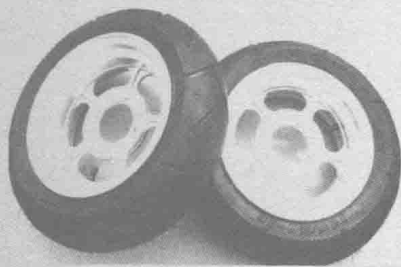
车轮产业的发展与人才发展息息相关，企业的竞争归根结底是人才的竞争、科技的竞争。人才发展首先要做好员工的培训工作，由于企业中一线操作工人大部分是未经专业技能培训的普通员工，对其培训已是当务之急。为适应新的形势和企业培训的需要，中国汽车工业协会摩托车分会车轮委员会组织原作者单位，对此书进行了全面修订。本次修订在保持原书科学性、实用性的基础上，根据行业高速发展的实际，对某些章节重新审核，做了增删；对某些提法和观点做了必要的修订；增补了一些新的知识，进一步增强了本书的规范性和针对性，使其内容更全，观点更具现代意识。

本书是在《铝合金车轮制造技术》的基础上编写而成的，参加本书编写工作的有江苏大学赵玉涛、李桂荣、焦雷、张振亚、怯喜周（第1、2、3、11章），江苏中联铝业有限公司李娜（第4章），今飞控股集团有限公司王健、陈国华（第5.2、5.3节），镇江裕久智能装备股份有限公司肖双喜（第5.1节），浙江万丰摩轮有限公司陆仕平、刘建平、邓乾昆（第6、12章），浙江康利金属制品有限公司李创奇和南京长江工业炉科技有限公司张进（第7章），重庆捷力轮毂制造有限公司刘程、梁德林（第8章），南海中南铝车轮制造有限公司罗惠敏、李锐锋、范振标、李锐江（第9章，第10.10节）和南昌摩托车质量监督检验所陈建发、张申明（第10.1~10.9、10.11~10.12），江苏大学陈刚、陈飞参与了全书的修改工作。本书由江苏大学赵玉涛教授任主编，由东南大学潘冶教授主审。

行业与企业共同成长，企业与行业共同辉煌。我们希望广大读者多提宝贵意见，以使本书得到进一步完善。

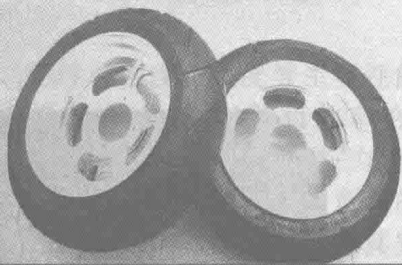
中国汽车工业协会摩托车分会车轮委员会

目 录



前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 车轮的工作条件	1
1.2 轻合金车轮的特点和分类	4
1.3 轻合金车轮的现状和趋势	9
第 2 章 铝合金车轮材料及微观组织	18
2.1 铝合金车轮材料概述	18
2.2 Al-Si-Mg 三元系合金的相组成	20
2.3 车轮用铸造铝合金及元素对组织和性能的影响	21
2.4 车轮用形变铝合金及其组织	27
第 3 章 铝合金现代熔炼技术	30
3.1 铝合金熔炼概述	30
3.2 铝合金的熔炼工艺与直接熔炼法	31
3.3 铝合金的化学成分调整	33
3.4 车轮用铝合金熔化炉	34
3.5 铝合金废料的再生重熔	41
第 4 章 铝合金液的现代处理技术	43
4.1 精炼技术	43
4.2 变质技术	54
4.3 细化技术	61
第 5 章 铝合金车轮铸造技术	65
5.1 金属型重力铸造	65
5.2 低压铸造	71
5.3 铸造模具	81
第 6 章 铝合金车轮塑性成形技术	89
6.1 铝合金车轮旋压技术	89
6.2 铝合金车轮锻旋技术	97
第 7 章 铝合金的热处理	105
7.1 铸造铝合金热处理的种类	105
7.2 铸造铝合金热处理的特点和原理	106
7.3 铸造铝合金车轮的热处理工艺及设备	108
7.4 塑性成形铝合金车轮的热处理	116
7.5 A356 铝合金车轮热处理后的金相组织和力学性能	117
第 8 章 铝合金车轮的机械加工	120
8.1 机械加工的工艺和工艺	120
8.2 轻合金车轮机械加工设备	127
8.3 机械加工质量与检测	135
第 9 章 铝合金车轮涂装技术	137
9.1 涂装工艺、材料	137
9.2 涂装设备	142
第 10 章 轻合金车轮成品检测	146
10.1 车轮成品检验概述	146
10.2 车轮标志	147
10.3 轻合金车轮外观检验	148
10.4 轮辋尺寸参数检验	149
10.5 轻合金车轮几何公差检验	154
10.6 轻合金车轮的径向圆跳动量和轴向圆跳动量检验	154
10.7 无内胎摩托车轻合金车轮气密性检验	155
10.8 汽车轻合金车轮气密性试验	156
10.9 摩托车轻合金车轮强度性能试验	157
10.10 汽车轻合金车轮性能试验	167
10.11 摩托车车轮动不平衡的检验	173
10.12 汽车车轮动平衡的检验	174
第 11 章 铝合金车轮主要缺陷分析	177
11.1 非金属夹杂物缺陷的形成与防止	177
11.2 气孔、针孔缺陷的形成与防止	182
11.3 疏松(缩松)缺陷的形成与防止	183
11.4 缩孔(缩眼)缺陷的形成与防止	184
11.5 欠铸(浇不足、轮廓不清、边角残缺)缺陷的形成与防止	185
11.6 裂纹(冷裂、热裂)缺陷的形成与防止	185
11.7 冷隔(冷接、对接)缺陷的形成与防止	186
11.8 凹陷(缩凹、缩陷)缺陷的形成与防止	187
11.9 塑性成形缺陷形成与防止	188
第 12 章 镁合金车轮制造技术	191
12.1 镁合金车轮材料	191
12.2 镁合金熔炼及熔体处理	193
12.3 镁合金车轮铸造技术	198
12.4 镁合金车轮后续处理	202
12.5 镁合金车轮常见缺陷	204
12.6 镁合金的回收重熔	207
参考文献	208

第1章



绪 论

1.1 车轮的工作条件

能源、环境和安全是当今备受关注的三大问题。无论是汽车还是摩托车，作为整车行驶部分的主要承载件——车轮，是影响整车性能最重要的安全部件（图 1-1）。它不仅要承受静态时车辆本身垂直方向的自重载荷，更需经受车辆行驶中来自各个方向因起动、制动、转弯、石块冲击、路面凹凸不平等各种动态载荷所产生的不规则应力的考验。不仅如此，作为旋转体的车轮，它的轴向跳动和径向跳动精度，又直接影响整车行驶中的平稳性、抓地性、偏摆性、制动性等行驶性能。因此，车轮的优劣已成为衡量整车质量和档次的最主要特征之一。



图 1-1 铝合金车轮在汽车和摩托车上的应用

从车轮结构和部位来看，车轮是介于轮胎和车轴之间承受负荷的旋转组件。从车轮组成结构来看，主要由轮辋与轮辐构成。轮辋是车轮上安装和支承轮胎的部件，也就是俗称的轮圈，作用是配合轮胎装配，支撑轮胎。至于轮辐，是在车轮上介于车轴和轮辋之间的支撑部件，最简单的理解就是支撑轮辋的条幅。轮辋和轮辐可以是整体式、永久连接式和可拆卸式。如图 1-2~图 1-5 所示。

1.1.1 车轮的受力状况和安全产品的概念

被整车定为 A 级安全件的车轮，无疑必须绝对安全。所有主机厂对车轮都要求经过 3 或 4 项型式试验（指强度性能）的考验才能使用。而这些模拟整车行驶时受力情况的试验，是确保车轮安全最基础的必要条件，本节就车轮的受力情况来分析一下安全产品的内涵。

车轮制造出来本身就存在残余应力，其大小取决于制造方法和消除应力的手段，也受车轮形状和结构本身的影响。当车轮被安装到整车上后，车轮便承受着整车垂直方向的自重力，

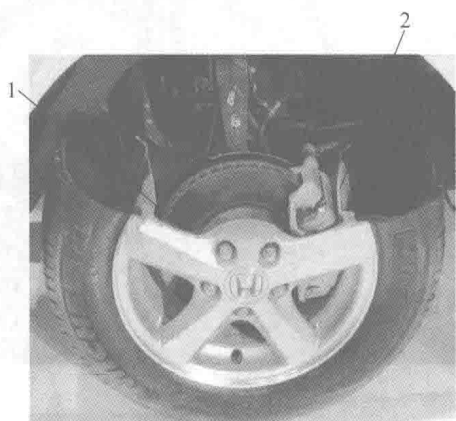


图 1-2 车轮实物

1—轮辐 2—轮辋

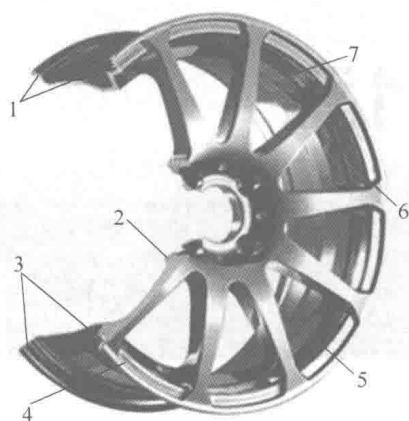


图 1-3 车轮各部位名称

1—轮辋 2—偏距 3—胎圈座 4—轮缘
5—槽底 6—气门孔 7—轮辐

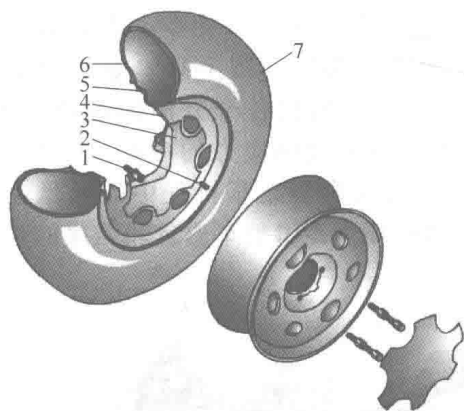


图 1-4 车轮总成

1—车轮螺栓 2—气门嘴 3—车轮饰板
4—轮辐板 5—轮辋 6—子午线轮胎
7—平衡块及夹子

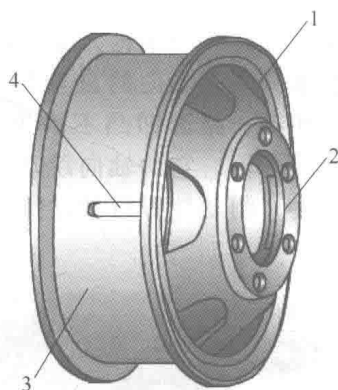


图 1-5 辐板式车轮

1—挡圈 2—辐板 3—轮辋 4—气门嘴伸出口

其中轮辋部分的力是通过轮胎的充气压力传递而来的，轮辐部分的力是通过车轮传递的车辆自重，这些力都属于静态应力。由于残余应力和车辆重力的方向并非都一致，所以车轮装配整车后原始状态的受力情况应该是两种力的叠加，如图 1-6 所示。

这种叠加有可能是相加，也有可能是相减，这就是车轮在安装后形成的初始动态应力。当车辆行驶时（即车轮在承受垂直重力下做旋转运动），车轮的应力分布如图 1-7 所示。可以看出，车轮在长时间行驶中有可能承受超过疲劳极限的峰值负荷，因而在疲劳强度允许范围内，负荷的大小对车轮使用寿命有很大

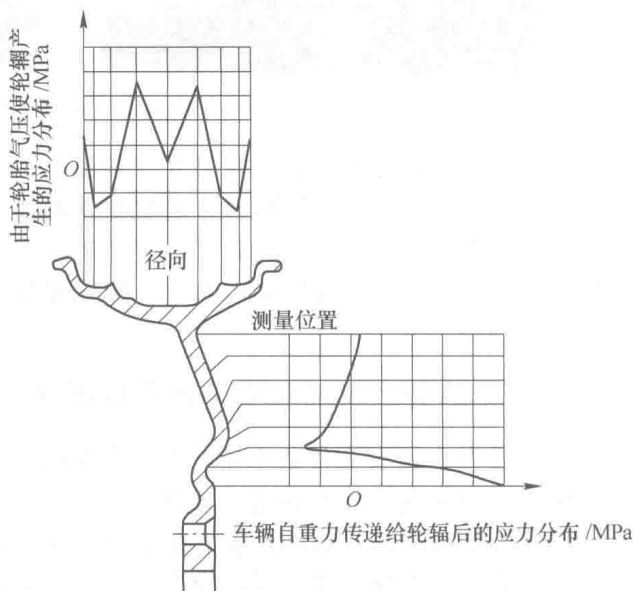


图 1-6 车轮静态初始应力分布

影响。反过来说，由于车辆负荷的多变因素，除了车轮强度、塑性、刚度、硬度等主要性能指标外，车轮的疲劳强度成了确保安全尤为重要的因素。任何未经型式试验认可的车轮，都不能说是安全产品。尤其是摩托车的前车轮，在行驶中除承受上述静、动态负荷应力外，还潜伏着更多难以预测的因素，诸如凹凸不平路面的干扰，路边石块的冲击，突然意外的碰撞等均首先由前轮直接承受，所以在型式试验中，根据用户的要求，还有可能调整其安全系数。

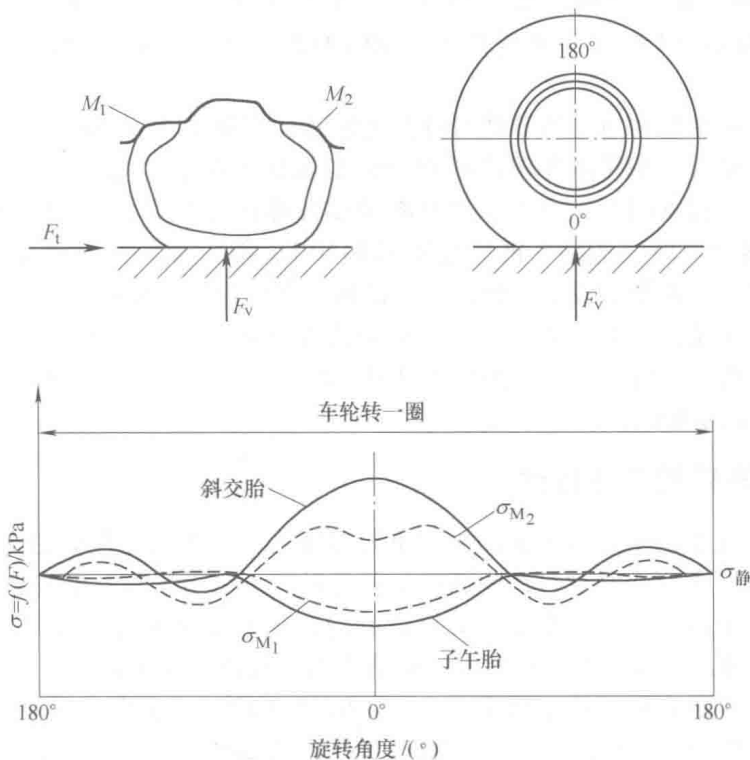


图 1-7 车轮转动一周，轮辋上 M_1 、 M_2 点应力变化图

1.1.2 车轮对材料的要求

至今，车轮用的材料有钢材和轻合金材料两大类。前者是用合金钢板材通过轧制和冲压制成轮辋、轮辐（或钢丝）的坯料，再经铆接、焊接、挤压等工序装配组合而成。这类车轮由于适宜大批量生产，经济性好，作为传统性轧制车轮，在汽车、摩托车市场中占领着很大的市场。目前中国汽车市场中，钢质车轮已经不多见，只在一些低端车市场出现或被用作备用车轮，铝合金车轮已经成为市场的绝对主力产品。随着高级轿车发展，目前有一定量镁合金车轮逐渐成为车轮市场的新宠。

本书主要阐述的是近年来兴起的轻合金车轮。铝和镁是最适宜制造车轮的理想轻合金材料，它们有着传统钢车轮所无法比拟的许多优点，更能适应整车高速化、节能化、现代化、高档次发展的需要。尤其是镁合金有着极高的比强度、疲劳强度和比弹性模量，是极为理想的车轮制造材料。使用镁合金制造的车轮具有极佳的减振性能。但目前除飞机、跑车等一些特殊场合外，镁合金车轮还未能像铝合金车轮那样广泛，主要原因是镁合金极易氧化和腐蚀，给熔炼、铸造、机加工及涂装等工艺环节带来了诸多难题，而且还有其他产业化的问题有待研究解决。所以，本书所涉及的轻合金车轮也是以已经实现产业化的铝合金车轮为主。

无论是钢车轮还是轻合金车轮，确保安全是选材的根本原则。铝合金的力学性能虽然比

不上钢材,但是通过结构、壁厚、选材、热处理、抛丸等强化措施来提高产品本身性能,完全可满足整车对安全的要求,而且还具有钢车轮无法比拟的许多优点。

近年来,随着整车对车轮需求量的逐年提高和生产技术的日益完善,满足不同需要的合金材料也在不断开发。例如,欧洲有少数国家,为达到降低材料成本、减少热处理费用的目的,在原 Al-Si 合金的基础上添加了强化元素来制造铝合金车轮。但在使用过程中,往往会使材料的强度和韧性都处于临界状态,此时就需要通过适当调整车轮结构和增加壁厚的办法来弥补,增加了车轮质量,因此该方法不被广泛推崇。目前,全世界用得最为普遍的材料是 A356.2 (相当我国的 ZL101A) 合金,也是我国铝合金车轮行业普遍使用的材料。

需要指出的是在车轮制造中倘若像对待普通铝铸件那样来使用 A356.2 材料,仍是无法达到产品要求的,因铝合金车轮需要较高的疲劳强度和韧性要求,因此必须采取各种措施来改善这些方面的性能。根据国外铝合金车轮材料的试棒标准介绍(已作为我国该行业的参考标准),试棒经 T6 热处理后应达到:抗拉强度 $>214\text{MPa}$,伸长率 $>7\%$,硬度 $>60\text{HBW}$;铝合金车轮标定的最大设计载荷则需根据车轮的不同结构、部位与用户协商决定。

整体式铝合金车轮的成形工艺有铸造、锻造两大方法。目前,全世界 95% 的铝合金车轮采用铸造工艺,且铝合金铸造材料普遍使用 A356.2 合金。本书在介绍铝合金车轮的制造技术时将以 A356.2 合金为基础。

1.1.3 轻合金车轮的工作条件

车轮是汽车(或摩托车)行驶系统中的重要部件之一,承受着车辆的垂直负荷、横向力、驱动(制动)转矩及车辆在行驶过程中所产生的各种应力。由于车轮是高速回转运动的零件,因此要求其尺寸精度高,不平衡量小,支撑轮胎的轮辋外形(轮廓、尺寸、形状)准确、质量轻并具有一定的刚度、弹性和耐疲劳性。综合来看,可以总结为以下 3 点:

(1) 载重条件 静态时承受车辆垂直方向的自重载荷,动态行驶时要经受来自多方向的因起动、转弯、障碍冲击等动态载荷引起的不规则应力。要满足该条件,需选择高强度等性能参数达标的材料。

(2) 稳定行驶条件 因为车轮的旋转造型,其轴向和径向跳动精度直接影响行驶中的稳定性和制动性等行驶性能。要满足该条件,需要在车轮制造环节,特别是铸造和机加工环节确保车轮尺寸精度。

(3) 高速行驶条件 随着生活节奏加快,对汽车(或摩托车)高时速的要求与日俱增,除改良发动机外,通过减轻车体质量以提高行驶速度是实现高速行驶条件的重要手段。车轮是车体质量的重要组成部分,开发应用轻合金车轮是满足高速行驶条件的重要保证。

1.2 轻合金车轮的特点和分类

1.2.1 轻合金车轮的发展

早在 20 世纪初,一些热衷于赛车的爱好者,为了能使车辆更轻以提高赛车的速度,便想方设法对车辆各零部件作轻量化的改进,其中车轮是重点减轻的主要对象。1923 年 Bugatti 公司大胆地将砂型铸造的铝合金车轮装上了赛车,20 世纪 30 年代,联邦德国汽车联合会、拜尔(BMW)发动机公司及戴姆勒-奔驰汽车公司,正式将钢制辐条式车轮与铝质轧制轮辋相结合的车轮装上了汽车,为铝合金车轮的发展奠定了基础。两次世界大战和世界性的能源危机大大刺激了汽车厂商的轻量化需求。1945 年汽车厂商纷纷开展批量生产铝合金车轮的研究,主

要集中在铝合金车轮材质和成形工艺方面,但由于车轮的特殊安全要求,仍未能实施批量生产。直至20世纪50年代末,联邦德国才开始少量生产铝合金车轮。1970年后,拜尔发动机公司首先将铸造铝合金车轮作为特殊部件装到了2002型轿车上,1972年又在双门小轿车上成批装上了铸造铝合金车轮,开创了铸造铝合金车轮批量用于轿车的新局面。

日本铝合金车轮工业是在1970年至1984年之间迅猛发展起来的,在1984年的年产量达640万件。意大利在1979年曾生产150万件。到1980年,西欧共生产700多万件铝合金车轮(其中50%是铸造铝合金车轮),并以每年6%~7%的速度递增。1988年,美国生产的车辆中,铝合金车轮已作为好几种车型的系列部件。21世纪初,铝合金车轮得到迅猛发展,进入国内外OEM(Original Equipment Manufacture)配套体系。

我国的铝合金车轮工业起步较晚,最早使用铝合金车轮是在20世纪80年代初,国营洪都机械厂将砂型铸造的铝合金车轮装在边三轮摩托车上,但数量很少,也未形成气候。到20世纪80年代末,我国出现了第一个具有现代规模的戴卡车轮制造有限公司,其规模和设备都步入了世界先进行列。20世纪90年代初在广东出现了既生产汽车又生产摩托车铝合金车轮的南海中南铝合金车轮有限公司,这两个生产厂的生产装备都已达到国际水平。20世纪90年代初,因国内汽车和摩托车对铝合金车轮的需求还很低,钢圈还占据着绝对统治的地位。随着我国公路设施的飞速发展,铝合金车轮以极其迅猛之势在全国得到推广,生产铝合金车轮的工厂也像雨后春笋,在全国迅速蔓延。2002年,我国轿车的铝合金车轮装车率已接近45%,摩托车的铝合金车轮装车率已超过50%。随着汽车工业的发展,到目前为止,几乎所有的新车型都采用了铝合金车轮。

1.2.2 轻合金车轮的特点

1. 轻合金车轮的优点

以铝合金为代表的轻合金车轮有着许多钢制车轮无法比拟的特点,主要表现为以下特点:

(1) 质量轻,节能效果明显 铝的密度是 $2.76 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,而钢的密度是 $7.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,同样规格的铝或钢车轮相差约2kg。众所周知:整车减少自重后可以节油,尤其是车轮处于整车重心最低位置的行驶部位,对整车的节能效果更是举足轻重。我国第一汽车集团公司对奥迪车用铝合金车轮作节油统计试验,结果表明:“铝合金车轮自重为4.92kg,比同类钢车轮减轻质量39.5%,整车按平均车速90~120km/h行驶的条件下,油耗可减少0.051L/100km,如果在城市低速行驶,也可减少油耗0.04L/100km,即奥迪轿车每行驶10万km,减少油耗40L”。而英国某公司的研究报道:“若车轮质量平均减1kg,对普通轿车而言,每行驶100km路程可节油0.6L”。根据日本实验室提供的数据:“5座轿车质量每减轻1kg,一年约节省20L汽油”。美国汽车工程学会的研究报告指出:“铝合金车轮虽然比一般钢质车轮贵,但每辆汽车行驶2万km时,其所节省的燃料费足以抵回成本”。

国际市场上镁合金车轮因能承受高载荷、强冲击,又能降低整车质量,很受消费者欢迎。镁合金密度 1.738 g/cm^3 ,是铝合金密度的2/3,如果用镁合金汽车车轮取代铝合金车轮,每只平均减重1.98kg,单车减重7.9kg。目前,镁合金车轮主要用于高级轿车。

(2) 散热快,整车安全性高 A356铝合金的热导率为 $128 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$,而碳的质量分数为0.5%的低碳钢热导率为 $54 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$,铝合金具有高散热特征。对于高速行驶的汽车来说,因钢车轮变形、制动等产生的高温导致爆胎、制动效能降低等现象屡见不鲜。而铝合金的热导率比钢高2~3倍,长途高速行驶时,也能使轮胎保持在适当温度。铝合金车轮的高热导率,极有利于轿车因高速行驶轮胎发热后的散热,与相同条件下的钢车轮比较,减少了轿车长距离高速行驶产生爆胎的可能,从而增强了制动效能,明显提高了轿车高速行驶的安全性能。不仅如此,由于铝合金车轮的散热效果,凡与其直接接触的零配件(如制动闸、制动盘、轮

胎等)也相对提高了使用寿命,有效地保障了汽车的安全行驶。

(3) 尺寸精度高,整车行驶性能好 铸造铝合金车轮最终均需经数控机床进行机械加工,车轮的直径精度、轴向跳动精度和径向跳动精度都更为突出,制造精度高,所以在高速转动时变形小、惯性阻力也小,这使整车在行驶中的抓地性、偏摆性、平稳性和遇意外时的制动性等,都优于传统的辗轧钢车轮。车轮的尺寸精度直接影响整车的行驶性能,高速行驶的车轮必须具有足够精度,才能确保整车的高速和平稳行驶。通常情况下,传统钢车轮的径向和轴向允许跳动值为 $\pm 1\text{mm}$,而普通铝合金车轮的控制范围为 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内,高档铝合金车轮为 $\pm 0.3\text{mm}$ 以内,更高端车轮要求达到 0.05mm 的精度。同样,车轮的高精度也有利于提高车辆起动和变速的灵敏度。

同时,铝合金车轮的结构和精度更有利于安装子午线轮胎,更易实现现代车轮的无内胎化,无内胎轮胎(Tubeless Tires)结构如图1-8所示。无内胎轮胎,俗称原子胎或真空胎,这种轮胎没有内胎和垫带,是利用轮胎内壁和胎圈的气密层保证轮胎与轮辋间良好的气密性,外胎兼起内胎的作用。装有铝合金车轮的汽车一般都采用子午线轮胎,子午线轮胎的缓冲和吸振性能优于普通轮胎。这样,汽车在不平的道路上或高速行驶时,舒适性将大大提高。

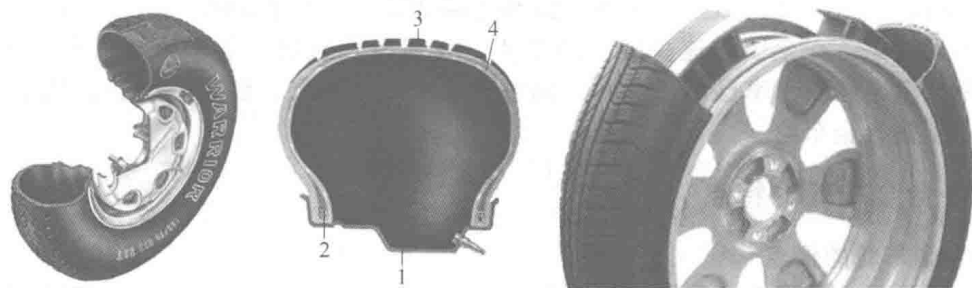


图 1-8 无内胎轮胎结构

1—轮辋 2—钢丝圈 3—胎面 4—气密层

由此可见,无内胎车轮直接由铝轮辋代替了原来的橡胶内胎,如果外轮胎在行驶中插入了钉子之类的穿刺物,只要不拔出,就不会像有内胎车轮那样出现因车胎突然泄气而翻车的安全事故。无内胎车轮遇上穿刺物后,一般至少都能坚持使用1h甚至更长时间,这对行驶在高速公路上的轿车的安全来说,有着极为重要的意义。

(4) 款式多变,美观大方,更适应现代化整车的造型要求 用铸造法生产的铝合金车轮,可以制作出任意空间曲面和形状,以符合不同车型,满足不同用户的要求。随着汽车、摩托车外观日新月异的更新和市场竞争的需要,车轮作为“绿叶衬红花”的地位越来越突出,铝合金车轮成了现代汽车、摩托车时尚化的必然产物(图1-9、图1-10)。而且铝合金车轮不易藏污纳垢,不会产生铁锈,易清理,广受驾驶人员的欢迎。

(5) 坚固耐用 铝合金车轮的耐冲击力、抗张力等各项强度指标比钢车轮高,这也是铝合金在国防工业、航空工业中扮演重要角色的原因之一。

2. 轻合金车轮的不足

轻合金车轮具有许多传统钢车轮无法取代的优点,有广阔的市场。但目前用铝合金车轮完全取代钢车轮是不现实的,原因如下:

1) 目前铝合金车轮的直径基本上是中、小直径,大直径铝合金车轮的制造在技术上尚有一定的难度,如客车和载货汽车使用的大直径车轮。

2) 铝车轮的造价大致是钢车轮的2~3倍。

3) 就弹性模量而言,钢车轮有一定的优势。碳钢的弹性模量在 $196\sim 206\text{GPa}$,而铝合金

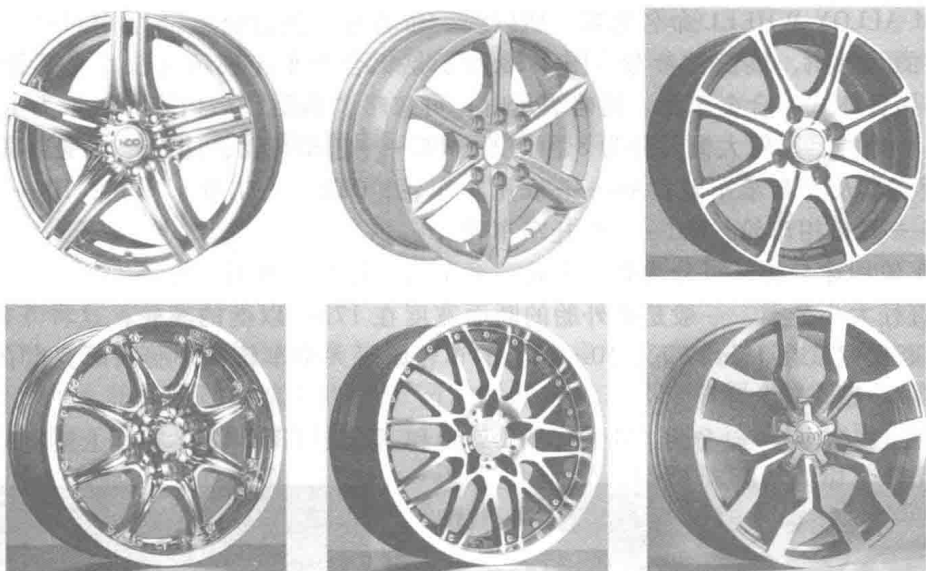


图 1-9 现代汽车铝合金车轮常用造型示例

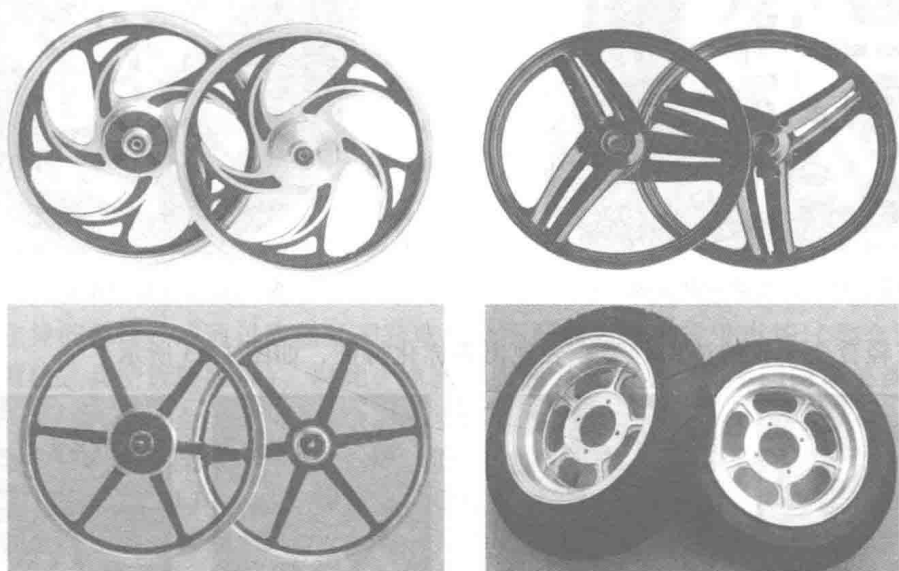


图 1-10 现代摩托车铝合金车轮常用造型示例

的弹性模量为 72GPa 左右。如果整车行驶速度不高、道路又较差的路面条件下，钢车轮会显示出其优势来。

综上所述，铝合金车轮是汽车、摩托车高速化、节能化和现代时装化的产物，随着汽车、摩托车日新月异地开发和发展，用铝合金车轮来代替传统钢车轮的趋势已越来越显现，有着无限广阔的市场前景；但鉴于铝材性能的限制和公路条件的现实，传统钢车轮仍将扮演整车不可或缺的配件角色。

1.2.3 轻合金车轮的分类

1. 铝合金车轮的命名

我国目前对轻合金车轮的命名，有着众多极不规范的名称，如铝合金车轮就有诸如“铝车轮”“铝合金车轮”“铝轮圈”“铝圈”等名称，在本书编写过程中，笔者征集了许多业内人士和专家的意见，较多专家认为应该同国际接轨，名称也应规范化，用国际普遍采用的

ALUMINIUM ALLOY WHEEL 命名为妥, 所以统一命名为“铝合金车轮”。图 1-17 所示为行业统一命名的示意图, 供读者参考。图 1-18 所示是铝合金车轮表示方法, 主要针对乘用车、轻型商用车用整体式铝合金车轮。简略表示时, 可忽略“偏距”后内容, 表示为 18×8J。

按照车种分类, 车轮大概可分为 8 种, 即: PC——轿车车轮; LT——轻型载货汽车车轮; TB——载货汽车及大客车车轮; AG——农用车车轮; OTR——工程车车轮; ID——工业用车车轮; AC——飞机用车轮; MC——摩托车车轮。

1) 按车轮用途分类, 可分为载重车轮、客车用车轮及矿山用车轮等。

2) 按直径大小分类, 一般是指外胎的断面宽度在 17in[⊖] 以上的车轮, 这种车轮属于巨型车轮; 外胎断面宽度在 17in 以下、10in 以上的车轮属于大型车轮; 外胎断面宽度在 10in 以下的车轮属于中小型车轮。

3) 按照组装结构分类, 分为二片式 (图 1-11) 和三片式 (图 1-12), 市面上整装式比较常见。

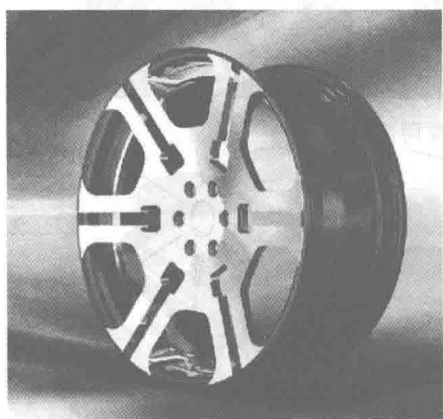


图 1-11 二片式车轮示例

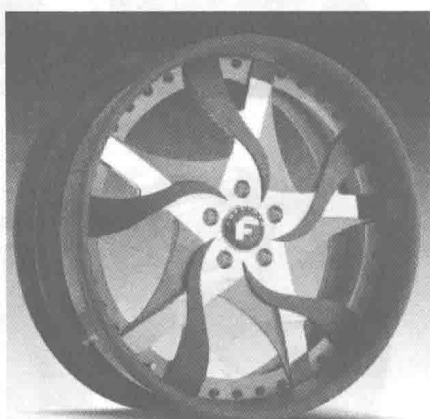


图 1-12 三片式车轮示例

4) 按照轻合金车轮的造型分类, 表现出多样化特征, 如图 1-13 所示。

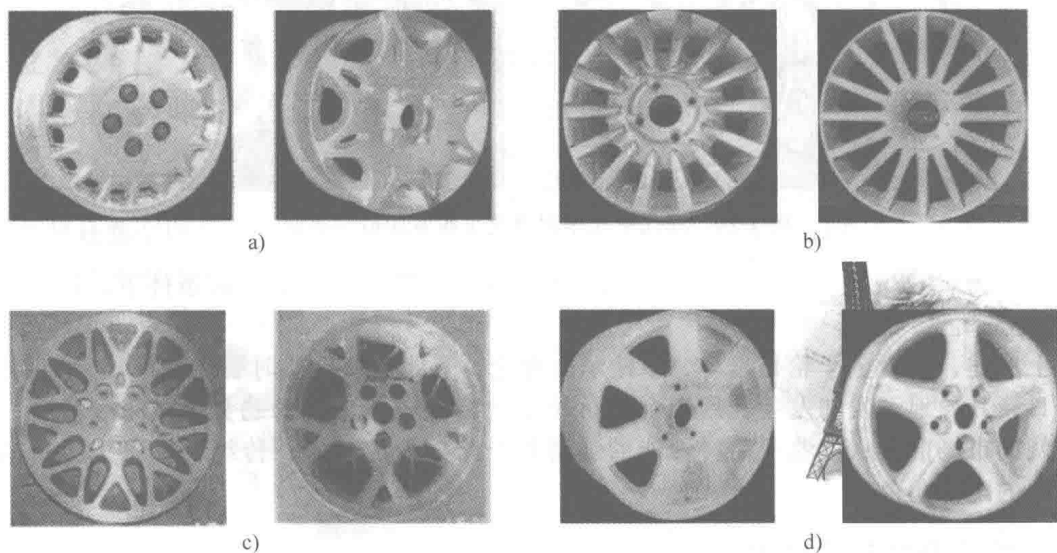


图 1-13 轻合金车轮分类造型

a) 盘状花样造型 (Dish) b) 辐条状花样造型 (Fin)
c) 网状花样造型 (Mesh) d) 肋骨状花样造型 (Spoke)

⊖ 英寸, 1in=25.4mm。

- 5) 按照使用轻合金种类不同,分为铝合金车轮和镁合金车轮。
- 6) 按照表面处理效果不同,分为全涂装亚光轮、抛光轮、电镀轮、真空镀膜轮等。

1.3 轻合金车轮的现状和趋势

1.3.1 国内外轻合金车轮产品现状和趋势

1. 汽车用轻合金车轮产品

(1) 规格 汽车的高速化迫使车轮朝“三化”(扁平化、子午线化、无内胎化)迅猛发展。国外轿车车轮已日趋大直径、宽轮辋发展的格局,原来常见的12~13in的小径轮已越来越少,目前主流已是15in以上规格,并逐步向17~19in大径宽辋发展,甚至已出现20~26in车轮装在汽车上的报道。同时,一些发达国家,特别是美国等以公路运输为主的国家,已开始将铝合金车轮装到集装箱车和大巴车上,22.5in以上的大径轮目前还主要采用锻坯制造,铸造的铝合金车轮很少,还未形成大批量生产的气候,市场处于供不应求的局面。

(2) 结构与外观 从成本考虑,除特殊场合安装使用二片式和三片式复合车轮外,整体铸造的铝合金车轮已成为当今世界整个轻合金车轮的主流,我国的铝合金车轮也几乎是整体式铸造铝合金车轮结构。

作为象征整车档次之一的车轮外观,在点缀整车时装化的作用中,越来越向着艺术化方向发展,多变且时髦的铝合金车轮轮辐形态和迷人的色泽成了抢占市场的主要手段之一。传统单调的辐条式演变成了辐板式;平面的辐板变成了带空间曲面和弧形面状态,甚至由中心对称演变至不对称的动物、人像和其他艺术图案(如熊猫、美女等),以增加模仿制造的难度,提高竞争力。对主机来说,更多地要求车轮与整车的匹配和色泽的协调,但零售市场上却是以标新立异的色泽,或通过表面处理获取与众不同的效果来竞争市场(如全涂装亚光色、抛光轮、电镀轮、真空镀膜轮等)。对此,欧洲和亚洲因文化差别和不同的审美观点,形成了千姿百态的世界汽车铝合金车轮市场。

(3) 材料 在铸造铝合金车轮方面,目前广泛使用的材料是Al-Si-Mg系合金(美国牌号A356.2,相当于我国的ZL101A,日本的AC4CH)。

对这种合金必须严格控制Fe含量,并作完善的T6热处理。也有少数国家在Al-Si-Mg系合金中添加适量Cu和Zn,与Al-Si合金类似,这种材料铸造性能好,且有基本的力学性能,但其韧性对铝合金车轮来说只处于临界值,且机械加工后色泽欠明亮,故应用很少。随着科技的进步,各国开发商也正在开发更新型的材料,如材料界和工业界正在研究使镁合金车轮大量生产的工艺和设备,高校和相关企业合作开发原位纳米强化A356.2合金重载汽车车轮或高档新能源汽车车轮,有关企业在不断探索降低铸造温度,接近半固态的凝固成形技术,甚至已有单位在尝试镶嵌式的中空复合轮(即在车轮中衬嵌了一种高强度的轻质骨材,让铝液充填时将骨材全部包住),进一步提高轻量化效果,并可获得比铝合金车轮更高的比强度和弹性模量。

2. 摩托车用轻合金车轮产品

(1) 规格 目前,摩托车用铝合金车轮基本上采用整体式铸造铝合金车轮,国外除日本和少数欧洲国家外,摩托车铝合金车轮大都在亚洲生产,其产品规格也大都以日本市场需求的产品为主,最初大都以中低排量的男式摩托车,即17~18in直径为主,轮辋也以1.4~2.1in宽为主体。近几年,随着踏板式摩托车广受用户青睐,8~10in小径轮的需求量急速爆增,最为典型的是日本和意大利。

(2) 结构与外观 铝合金车轮安装在摩托车上,虽然也具有汽车用铝合金车轮的类似好处,但相对而言,这些好处没有汽车用铝合金车轮那么明显,原因是:①铝合金车轮在摩托车整车上轻量化的相对效果没有汽车那么明显,所以节能效果也不可能像汽车那么突出,只有排量很大的摩托车才会有较大的节能效果;②中低排量摩托车在实际使用中,不会像汽车那样的高速,那些因汽车轮散热好、精度高所带来的优点自然也就不可能像汽车用铝合金车轮那么突出。相反,如果同样在凹凸不平的路面上行驶,由于钢圈辐条装配式车轮的结构优势,其减振性明显优于铝合金车轮。铝合金车轮之所以受广大用户欢迎还是因为时装化、不生锈、清洗方便等原因。既然摩托车车轮以时装化为主要目的,对其外观的要求也就处于主要地位。鉴于摩托车车轮在整车上被遮挡的面积比汽车轮大(尤其是后轮),加上摩托车本身的价格与汽车不属于同一档次,所以实际上摩托车车轮的外观要求,无论在亮度上、色泽上都不像汽车车轮那样苛刻,但作为整车,必须确保装车后的外观协调和匹配。

(3) 材料 从车轮受力的事实看,摩托车的使用受力条件比汽车更具有危险性,车辆在行驶中的难于预测因素也更多,特别是前轮,在型式试验时考虑的安全系数绝不能掉以轻心。同理,摩托车车轮所用的材料,绝非像通常所认为的可比汽车车轮用材差一些。虽然型式试验是综合考验材料和产品结构的主要标准,但型式试验只是批量生产时带抽查性的破坏性试验,如果没有性能稳定的优质材料作为保证,型式试验也只能说是侥幸,而不安全隐患时时刻刻都潜伏在行驶中。摩托车铸造铝合金车轮的材料,在重力铸造和低压铸造工艺下,全世界普遍采用与汽车车轮同样的材料 A356 合金,经 T6 处理,且以与汽车车轮相似的性能指标作为标准来生产摩托车铝合金车轮。

3. 轻合金车轮发展趋势

(1) 铝合金车轮 当前车轮行业不仅要面对轻量化、可靠性和高精度的技术要求,同时还要适应车轮的外形美观、大直径和宽轮辐的发展方向。铝合金车轮不仅外形美观、性能优良,且具有耐腐蚀、成形性好、减振性能好、轮胎使用寿命长、尺寸精确、平衡好、加工精准、材料利用率高等显著优点,符合现代汽车安全、节能、环保三大主题的要求,对降低汽车自重、减少油耗、减轻环境污染与改善服役性能等有着重大意义。随着世界各国都极为关注汽车(摩托车)的节能减排,铝合金车轮将迎来新的发展机遇和挑战。

目前,我国汽车铝合金车轮行业存在企业多极化、产品多样化、市场复杂化、竞争国际化等特点。由于国内材料、人工及能源成本的不断增加,而成品价格持续下跌,使得本行业的利润空间越来越小,市场的竞争越来越激烈,企业面临的压力越来越大、形势越来越严峻。未来几年,铝合金车轮行业中优势企业要加大品牌宣传力度,提升品牌的影响力和知名度,让铝合金车轮品牌深入消费者之心。品牌就是质量的代名词,品牌就是安全的代名词,引导消费者购买铝合金车轮,在保证质量的基础上首先看品牌。

同时,节能降耗依然是铝合金车轮生产企业在未来几年中需要持续改进的重点方向。除此之外,汽车用铝合金车轮在实现节能降耗的过程中,发展趋势还包括绿色使用,即铝合金车轮具有质量轻的特点,报废车轮回收利用处理能够实现低成本、无污染回收,这也进一步体现了铝合金车轮在使用过程中回收环节上的节能减排。

在售后方面,铝合金车轮一直是汽车改装技术中普遍使用的产品。在未来几年中,随着我国汽车保有量的增加,汽车改装市场个性化车轮的需求量将逐年提高,这方面潜力巨大。此外,随着三包政策推出,汽车零部件定损寻查产品来源追溯必将成为汽车售后重要的一个环节。在铝合金车轮行业,铝合金车轮作为安全件、外观件、结构件,需要采用粘贴条形码方式标注制造厂家证明信息,这样可以保障车轮产品的制造厂商的身份便于追溯,从而阻止假冒伪劣铝合金车轮制品在市场上流通,规范商业行为,引领行业健康发展。

(2) 镁合金车轮 与其他结构材料相比, 镁合金具有以下几个特点:

1) 镁合金的密度是钢的 23%, 铝的 67%, 塑料的 170%, 在金属结构材料中最轻, 镁合金的屈服强度与铝合金大体相当, 只稍低于碳钢, 是塑料的 4~5 倍, 其弹性模量更远远高于塑料, 是它的 20 多倍, 因此在相同的强度和刚度的情况下, 用镁合金做结构件可以大大减轻零件质量, 这对航空、船舶、汽车、军工、电子等领域均有十分重要的意义。

2) 镁合金与铝合金、钢铁相比具有较低的弹性模量, 在同样受力条件下, 可消耗更大的变形功, 具有降噪、减振功能, 可承受较大的冲击振动负荷。

3) 镁合金具有良好的加工性能和尺寸稳定性。镁合金有相当好的切削加工性能, 切削时对刀具的消耗很低, 切削功率很小。切削同样尺寸的镁合金、铝合金、铸铁、低合金钢零件消耗的功率比值为 1 : 1.8 : 3.5 : 6.3。镁合金有较高的尺寸稳定性、稳定的收缩率, 铸件和加工件尺寸精度高, 除镁-铝-锌合金外, 大多数镁合金在热处理过程及长期使用中由于相变而引起的尺寸变化接近于零。

在节能环保的要求下, 国外已有部分企业试制并生产镁合金车轮, 其应用领域包括高档摩托车和高级轿车, 随着镁合金相关技术的不断发展, 其成本必将降低, 未来的车轮将逐步采用镁合金材料。虽然目前国内尚无系统化生产镁合金车轮的企业, 但其发展潜力极大, 现已有部分企业开始研制镁合金车轮。

目前制造镁合金车轮最先进的技术是旋压成形技术。国内外已有企业及研究机构开始着手研究镁合金旋压成形技术, 但尚无旋压成形镁合金车轮技术研究报告, 国外该技术已在镁合金车轮上有成功的应用经验。随着国内镁合金产业化的飞速进步, 镁合金旋压车轮将可能获得巨大发展。

(3) 钛合金车轮 钛合金车轮是轻合金车轮的重要发展方向之一。钛合金因具有质量轻、强度高及良好的耐热、耐蚀等优异性能而成为航空、航天和兵器等行业重要的结构材料。由钛合金制成的车轮轮辋是太空飞行器的重要构件。随着各国空间技术的高速发展, 钛合金车轮制造技术逐渐得到关注。由于钛合金车轮壁厚较薄、径厚比较大, 零件质量要求高, 因而相比铝合金等车轮, 其成形难度较大。如果采用常规冲压工艺成形钛合金轮辋, 零件两侧均需翻边, 使得模具结构较为复杂, 且翻边后脱模困难。同时, 由于钛合金室温塑性差、容易回弹, 需要采用热成形工艺, 对冲压模具和设备要求较高, 不适合钛合金轮辋单件、小批量和多品种的生产特点。目前多用旋压工艺进行翻边, 模具工装简单, 周期短、成本低, 适合小批量生产。在旋压翻边成形过程中, 利用旋轮对毛坯施加外力使其逐步贴模, 所需的变形力小, 工艺较为灵活, 因而采用旋压工艺成形钛合金轮辋具有较大的发展潜力。

(4) 碳纤维复合材料车轮 碳纤维复合材料车轮是新材料车轮家族中的新成员。福特汽车公司目前推出碳纤维车轮, 质量只有 8.1kg, 与传统车轮质量 (14.9kg) 相比明显降低, 有助于提升底盘性能, 改善加速性、制动性和操控性, 还有助于减少油耗。此外, 由于碳纤维车轮具有轻质、高强等特性, 对汽车噪声、振动等也有抑制作用。

4. 摩轮、汽轮产销量及发展趋势

从摩托车车轮产销量及发展趋势看, 2015 年国内实体经济呈现近年来发展的低点, 多数行业发展不景气, 摩托车整车市场也受到巨大冲击, 导致行业内摩托车车轮发展受到较大的影响, 产销量呈现一定震荡, 产销量继续下滑, 达到近年来的新低。2016 年整个外部环境没有明显好转, 摩托车车轮产销情况没有得到明显的改善, 出口形势依然严峻。

从汽车车轮产销量和发展趋势看, 纵观 2008—2014 年的中国汽车车轮行业结构表, 轻质铝车轮的产量在逐年攀升, 详见表 1-1。