

铝合金车轮 制造技术

赵玉涛 主编

中国汽车工业协会摩托车分会车轮委员会 组编



63.340.6
46

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

铝合金车轮制造技术

中国汽车工业协会摩托车分会车轮委员会 组编

主 编 赵玉涛

副主编 张子才 夏越璋

参 编 潘增源 梁星才 尤炳良 蒋康毅

主 审 孙国雄



机械工业出版社

本书全面地介绍了铝合金车轮的整个生产过程。由于国际上生产铝合金车轮的材料普遍采用 A356 (相当于我国的 ZL101A), 本书以它为基础, 介绍了合金元素对其性能的影响及现代熔炼技术、铝液处理技术、铝合金的热处理; 铝合金车轮铸造技术 (重点介绍了重力铸造、低压铸造和铸造模具的设计); 铝合金车轮成品生产介绍了车轮的精密加工、涂装技术、铝合金车轮成品的检测。

本书可作为铝合金车轮生产与相关企业改进工艺技术、提高生产效率、提高产品质量及降低制造成本等方面的指导资料; 可作为对技术人员、技术工人进行培训的教材; 对铝合金车轮生产、研究的专业人员, 本书也是较好的参考资料。

图书在版编目 (CIP) 数据

铝合金车轮制造技术/赵玉涛主编. —北京: 机械工业出版社, 2004.6

ISBN 7-111-14423-6

I. 铝… II. 赵… III. ①汽车-车轮-铝合金-熔炼②摩托车-车轮-铝合金-熔炼 IV. TF821.031.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 041753 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 张祖凤 版式设计: 张世琴 责任校对: 吴美英

封面设计: 解辰 责任印制: 闫焱

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·6.625 印张·256 千字

定价: 19.50 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

《铝合金车轮制造技术》编委会

主 任:	陈爱莲	万丰奥特控股集团	董事长
副 主 任:	张文灿	中国汽车工业协会摩托车分会	副理事长
	陈 平	南海中南铝合金轮毂有限公司	总经理
编 委:	张大虎	中国汽车工业协会摩托车分会	副秘书长
	钱仲明	南昌摩托车质量监督检测所	所 长
	张锡康	万丰奥特控股集团摩轮事业部	总经理
	曾 平	重庆市捷力轮毂制造有限公司	总经理
	谢建林	无锡市中联车辆配件有限公司	总经理
	马振新	江苏圆通汽车零部件有限 责任公司	总工程师
	高庆祥	河南天阳铝合金车轮有限公司	总经理
	康定源	亚新科双泰(四川)零部件 有限公司	总经理
	葛炳灶	浙江今飞机械集团有限公司	董事长
	罗华恩	浙江台州天风车轮厂	厂 长
	章晓斌	广州电器科学研究院广州擎天 粉末涂料有限公司	总经理
	赵玉涛	江苏大学材料科学与工程学院	副院长
	张子才	南海中南铝合金轮毂有限公司	总工程师
	夏越璋	万丰奥特控股集团	副总裁
执行编委:	尤炳良	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	

序 言

我国汽车、摩托车工业经过 40 多年的发展，已成为国民经济的一个重要产业。2002 年，我国汽车产量已达到 325 万辆，居世界第五位；摩托车产量已连续 10 年位居世界第一，2002 年又创历史新高，达到 1279 万辆，占全球总产量的 50% 以上。入世以后，我国的汽车、摩托车工业，既有新的发展机遇，也面临严峻的挑战。

汽车、摩托车零部件工业，是汽车、摩托车工业发展的基础。没有零部件工业的进步，汽车、摩托车整车的进步就无从谈起。汽车车轮是汽车行驶系中的重要零部件之一，承受着车辆的垂直负荷、横向力、驱动（制动）扭矩和行使过程中所产生的各种应力。它是高速回转运动的零件，要求尺寸精度高、不平衡度小，支撑轮胎的轮辋外形准确，质量轻并有一定的刚度、弹性和耐疲劳性。长期以来，钢制车轮在汽车车轮中占主导地位。随着技术的进步，汽车各项性能指标的提高，世界各国政府对节能、安全、环保要求的日趋严格，采用铝合金生产车轮就成为最佳选择。国外从 20 世纪 20 年代开始生产汽车铝合金车轮，70 年代起逐步得到推广。今天，汽车铝合金车轮以其美观、节能、散热好、质轻、耐腐蚀、加工性好，正在逐步替代钢制车轮。世界上铝合金车轮的装车率估计已超过 40%，而且几乎覆盖了所有车型。我国的铝合金车轮的生产厂家从 20 世纪 90 年代以来经历了一哄而起，群雄逐鹿的过程，优胜劣汰，健康发展。目前，在汽车、摩托车几十种关键零部件中，铝合金车轮也许可以说是惟一能够替代进口，而且还可向美国、日本、欧洲等发达国家出口的重要零部件。另外，随着汽车工业市场全球化、采购国际化进程的加快，中国的制造业日益成为世界性制造基地。国外各大汽车集团和著名摩托车生产企业，或在中国投资建厂，或在加大采购份额，国内一些技术先进、

管理严谨、质量过硬的铝合金车轮生产企业，已经成为他们的全球供应商。显然，这是千载一遇的机遇，但又是新的挑战。现在的情况是，就我们多数汽车、摩托车铝合金车轮生产厂的制造技术水平而言，我们与发达国家的同行比较还存在着一定的差距。几乎每个企业都面临着一个提升核心竞争力的问题。

掌握先进制造技术是提升核心竞争力的重要方面。我国上百家铝合金车轮生产厂家发展很不平衡，有的起点高、装备好，已接近和赶上发达国家同行的水平；有的相对落后，甚至还很原始，而这些厂家又苦于找不到自己迫切需要的技术来源。为此，我们根据行业内一些厂家的强烈愿望，组织一批长期从事铝合金车轮制造的专家，编写了这本《铝合金车轮制造技术》，旨在把我国的铝合金车轮制造技术提升到一个新水平，以满足我国汽车、摩托车工业发展的需要。铝合金车轮看似简单，其实不然。它除了劳动密集、材料密集、资金密集的特点以外，也是技术密集的产品。说它技术含量低，实在是不了解它的制造工艺过程的人们的偏见。

铝合金车轮制造过程涉及冶金材料、熔炼、铸造、模具、精密加工、热处理、涂装和材料表面处理等多种技术，涵盖三维造型设计、有限元分析、计算机模拟铸造过程、材料力学、结构力学、热力学、金属加工工艺学、表面工程、工业设计学、工程美学、环境保护等多个学科门类，需要跨学科协同作战。这些应用科学和相关技术散见于多种书刊和教材，人们要花相当大的精力才能找到自己所需要的信息。由于这个行业相对狭小，专业性很强，迄今为止，没有一部比较系统的专门著作，不能不让人感到遗憾。本书对铝合金车轮的制造技术作了较为全面、系统的阐述，对近年来在材料研究、铸造工艺、装备开发、技术创新、产品创优方面的新进展也作了介绍，希望能对读者的实际工作提供帮助。

中国汽车工业协会摩托车分会车轮委员会 主任 陈爱莲
万丰奥特控股集团 董事长

2003年6月28日

前 言

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。国外从20世纪70年代开始逐步推广,我国于20世纪80年代中期开始研制,20世纪90年代进入大发展时期。2002年我国生产汽车铝合金车轮1700万件,出口960万件;生产摩托车铝合金车轮1350万件,出口200万件。在汽车、摩托车几十种关键零部件中,可以说铝合金车轮是惟一能够替代进口,而且已向美国、欧洲、日本等发达国家出口的重要零部件。我们可以乐观地预计,再过几年,我国即将成为世界铝合金车轮第一产量大国。但是由于我国技术基础薄弱,从总体上看,距世界发达国家同行的技术水平尚有一定的差距,要成为世界铝合金车轮强国,铝合金车轮生产企业必须掌握最先进的车轮制造技术。编写本书的目的,旨在总结现有的先进技术、反映当今世界最新科技成果,满足我国铝合金车轮高速发展的需要。

铝合金车轮既是劳动密集、材料密集、资金密集型的产品,也是技术密集型的产品,在原材料、熔炼技术、铝液的现代处理、铸造技术(含模具)、热处理、精密加工、涂装技术及检测技术等方面均有较高的技术含量。铝合金车轮制造技术的先进程度,可以反映出国际上先进科技成果的应用情况。在编写本书时,我们尽力将国际上先进的科技成果与我国自己创造的科技成果充分地反映出来。

铝合金车轮行业的产品比较单一,且专业化程度很强,铝合金车轮制造技术涉及到多个学科门类,内容庞大。本书编写的原则是尽量结合生产实际的需要,力求做到以下几点:

(1) 联系实际、技术求新 由于生产技术的高速发展,有些技术知识已经老化、过时。本书力求理论联系实际,反映当前实际生产中成熟、有效的最新技术成果,满足铝合金车轮发展的要求。

(2) 抓住特点、注重效益 汽车铝合金车轮和摩托车铝合金车轮虽然形状相似,但铸造工艺差别较大。编者根据长期从事铝合金车轮制造技术的经验积累,没有固定某种铸造工艺优点的模式,而是从生产技术、经济效益方面阐述两种铝合金车轮选用不同铸造工艺的应用。

(3) 突出重点、满足生产需要 铝合金车轮可选用不同的材料,使用多种成形方法,论述范围较大,会造成叙述繁多、冗余,又不切合生产实际。本书以 A356 (相当我国的 ZL101A) 材料为基础,重点介绍重力铸造、低压铸造技术,满足了实际生产中 95% 的铝合金车轮生产需要。

为提高企业技术水平,本书可作为对技术人员、技术工人进行培训的教材;可作为企业改进工艺技术、提高生产效率、提高产品质量及降低成本等方面的指导资料;对铝合金车轮生产、研究的专业人员,本书也是较好的参考资料。

参加编写工作的有南海中南铝合金轮毂有限公司潘增源 (第 1 章),江苏大学赵玉涛 (第 2、3、4、6、10 章),南海中南铝合金轮毂有限公司张子才 (第 5 章,第 9 章中汽车铝合金车轮性能试验),万丰奥特控股集团夏越璋 (第 7 章),广州电器科学研究院梁星才 (第 8 章),南昌摩托车质量监督检验所尤炳良、蒋康毅 (第 9 章)。本书由赵玉涛博士任主编,张子才、夏越璋任副主编,由东南大学孙国雄教授任主审。

本书在编写过程中,得到了中国汽车工业协会摩托车分会车轮委员会及全体成员单位的大力帮助和支持,得到了相关行业中有企业的大力支持,在此表示衷心的感谢。对所有为本书提供资料和建议的同志也一并表示诚挚的谢意!

由于水平有限,加之时间的仓促,本书在内容和体例上依然存在不少不尽人意之处,遗漏和错误在所难免,期望得到专家和读者的指正,以便再版时改进。

编者

2003 年 10 月

目 录

序言

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 车轮的工作状况	1
1.1.1 车轮的受力状况和安全产品的概念	1
1.1.2 车轮对材料的要求	2
1.2 铝合金车轮的演变史和特点	3
1.2.1 演变史	3
1.2.2 铝合金车轮的优点	4
1.3 铝合金车轮的现状和趋势	6
第 2 章 铝合金车轮材料及微观组织	13
2.1 铝合金车轮材料及结构	13
2.2 Al-Si-Mg 三元合金的微观组织	16
2.2.1 Al-Si 二元合金	16
2.2.2 Al-Si-Mg 三元合金	16
2.3 合金元素对 A356 合金组织和性能的影响	17
2.3.1 硅 (Si) 的影响	17
2.3.2 镁 (Mg) 的影响	17
2.3.3 铁 (Fe) 的影响	18
2.3.4 铜 (Cu)、锌 (Zn) 的影响	18
2.3.5 铬 (Cr) 对铁相形态和 A356 合金性能的影响	19
2.3.6 稀土 RE (La) 对 A356 合金显微组织和性能的影响	20
2.4 铝合金车轮材料成分的快速分析	23
第 3 章 铝合金现代熔炼技术	25
3.1 概述	25
3.2 铝合金的熔炼工艺与直接熔炼法	26
3.2.1 熔炼工艺要点	26
3.2.2 直接熔炼法	27

3.2.3 铝液的供给与运输	28
3.3 车轮用铝合金熔化炉	29
3.3.1 熔化炉的种类	29
3.3.2 熔化炉的选择	33
3.3.3 现代熔化炉快速加热系统与新型炉衬材料	36
3.4 铝合金废料的再生重熔	39
3.4.1 预处理	39
3.4.2 重熔方法	39
第4章 铝合金液的现代处理技术	41
4.1 精炼技术	41
4.1.1 精炼原理	41
4.1.2 精炼方法	48
4.1.3 精炼效果检验	53
4.2 变质技术	55
4.2.1 变质处理	56
4.2.2 变质机理	59
4.2.3 变质效果检验	63
4.3 细化技术	65
4.3.1 晶粒的细化处理	65
4.3.2 晶粒细化机理	66
4.3.3 硼的晶粒细化作用	67
4.3.4 晶粒细化现象的衰退原因	68
4.3.5 晶粒细化的中毒现象	68
4.3.6 不同形态 $TiAl_3$ 的形成条件及其细化作用	69
4.3.7 有效的抗衰退元素——稀土	69
第5章 铝合金车轮铸造技术	70
5.1 金属型重力铸造	70
5.1.1 成形原理	71
5.1.2 工艺过程	71
5.1.3 铸造工艺和特点	72
5.1.4 重力铸造机	75
5.1.5 实例	79
5.2 低压铸造	82
5.2.1 成形原理	82
5.2.2 低压铸造工艺流程	83
5.2.3 低压铸造工艺特点	84
5.2.4 低压铸造机	87

5.2.5 实例	90
5.3 铸造模具	92
5.3.1 模具设计	92
5.3.2 浇注系统和冒口设计	93
5.3.3 模具结构设计	95
5.3.4 模具排气系统设计	96
5.3.5 铸件顶出机构设计	97
5.3.6 模具的保温和冷却	98
5.3.7 模具材料的选用	99
5.3.8 模具寿命	99
5.3.9 模具制造	100
第6章 铝合金的热处理	103
6.1 铸造铝合金热处理的目的和种类	103
6.1.1 铸造淬火	104
6.1.2 等温淬火	104
6.2 铸造铝合金热处理的特点和原理	105
6.2.1 铸造铝合金热处理特点	105
6.2.2 铸造铝合金热处理强化的基本原理	105
6.3 A356 铝合金车轮的热处理工艺	107
6.3.1 热处理工艺参数的影响	107
6.3.2 铝合金车轮热处理工艺规范	110
6.4 热处理设备	110
6.4.1 铝合金车轮竖式淬火炉	110
6.4.2 辊棒式铝合金固溶-时效连续炉	112
6.4.3 铝合金车轮燃气辊道式淬火-时效炉	117
6.4.4 新一代辊棒式铝合金车轮淬火-时效连续炉	118
6.5 热处理常见缺陷及其防止	119
6.5.1 力学性能不合格	119
6.5.2 过烧	119
6.5.3 变形和开裂	120
第7章 铝合金车轮的机械加工	121
7.1 铝合金机械加工的工艺和原理	121
7.1.1 铝合金的切削加工特点	121
7.1.2 铝合金车轮的机械加工工艺	121
7.1.3 加工方法	124
7.1.4 数控程序	124
7.2 机械加工设备	126

7.2.1 数控机床	126
7.2.2 加工工艺	127
7.2.3 数控机床防护	128
7.2.4 刀具及夹具	129
7.2.5 冷却与润滑	134
7.3 机械加工质量与检测	136
7.3.1 检测内容	136
7.3.2 检测手段	136
7.3.3 易出现的质量问题	137
7.3.4 常见问题与解决方法	137
第8章 铝合金车轮涂装技术	139
8.1 铝合金车轮涂装的目的与意义	139
8.2 涂装工艺材料	139
8.2.1 预处理材料和工艺	139
8.2.2 涂层材料和涂装工艺	141
8.3 涂装设备	144
8.4 涂装质量的检验	146
8.4.1 各类环境因素对涂层质量的影响	146
8.4.2 评价项目及检验方法	147
8.4.3 关于铝合金车轮国内标准的建议	155
第9章 铝合金车轮成品检测	157
9.1 概述	157
9.1.1 铝合金车轮出厂检验项目	157
9.1.2 铝合金车轮型式试验项目	157
9.1.3 其他需做型式试验情况	157
9.1.4 有关规定	158
9.2 车轮标志	158
9.2.1 标志内容	158
9.2.2 标志的作用	158
9.2.3 标志的国家规定	159
9.2.4 摩托车轮辋规格表示方法	159
9.3 铝合金车轮外观检验	160
9.3.1 铝合金车轮的铸造外观质量	160
9.3.2 铝合金车轮的涂层外观质量	160
9.3.3 车轮表面加工质量	160
9.3.4 车轮外观质量检查	160
9.4 轮辋尺寸参数检验	161

9.4.1 轮辋轮廓尺寸检验	161
9.4.2 摩托车轮辋标定直径 D 检验	163
9.5 铝合金车轮轮辋的径向、端面圆跳动量检验	168
9.5.1 跳动量要求	168
9.5.2 测量部位	168
9.5.3 测量方法	168
9.6 无内胎摩托车铝合金车轮气密性检验	169
9.6.1 气密性要求	169
9.6.2 试验方法	169
9.6.3 判定	169
9.7 汽车铝合金车轮气密性试验	169
9.8 摩托车铝合金车轮强度性能试验	170
9.8.1 旋转变曲疲劳性能试验	170
9.8.2 径向载荷疲劳性能试验	171
9.8.3 扭转疲劳性能试验	172
9.8.4 径向冲击试验	173
9.8.5 强度性能试验方法讨论	174
9.9 汽车铝合金车轮性能试验	178
9.9.1 动态弯曲疲劳试验	178
9.9.2 径向滚动疲劳试验	179
9.9.3 冲击试验	180
9.10 摩托车车轮动平衡的检验	181
9.10.1 车轮动平衡	181
9.10.2 试验方法	181
9.11 汽车车轮动平衡的检验	182
9.11.1 跳动	182
9.11.2 动不平衡	183
第 10 章 铝合金车轮主要缺陷分析	184
10.1 非金属夹杂物缺陷的形成与防止	184
10.1.1 炉料的质量	184
10.1.2 熔炼过程影响	185
10.2 气孔、针孔缺陷的形成与防止	190
10.2.1 气孔	190
10.2.2 针孔	191
10.3 疏松(缩松)缺陷的形成与防止	191
10.4 缩孔(缩眼)缺陷的形成与防止	191
10.5 欠注(浇不足、轮廓不清、边角残缺)缺陷的形成与防止	192

10.6 裂纹（冷裂、热裂）缺陷的形成与防止	193
10.7 冷隔（冷接、对接）缺陷的形成与防止	193
10.8 凹陷（缩凹、缩陷）缺陷的形成与防止	194
参考文献	195

第 1 章 绪 论

1.1 车轮的工作状况

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，是左右整车性能最重要的安全部件。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之考验。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，又直接影响到整车行驶中的平稳性、抓地性、偏摆性、制动性等行驶性能。说“车轮的优劣是衡量整车质量和档次的最主要象征之一”，绝非言过其实。

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，无疑对车轮提出了必须“绝对安全”的当然要求。所有主机厂对车轮都要求经过 3、(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的受力情况的试验，是确保车轮安全最起码的必要条件，我们就其车轮的受力情况来分析一下所谓安全产品的内涵是什么。

车轮从制造出来本身就存在着残余应力，其大小取决于制造方法和消除应力的手段，也受着车轮形状和结构本身的影响。当车轮被安装到车上后，车轮便承受着整车垂直方向的自重力。其中轮辋部分是通过轮胎的充气压力传递而来的，轮辐部分的力是通过轮毂传递来的车辆自重力，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，所以车轮装车后原始状态的受

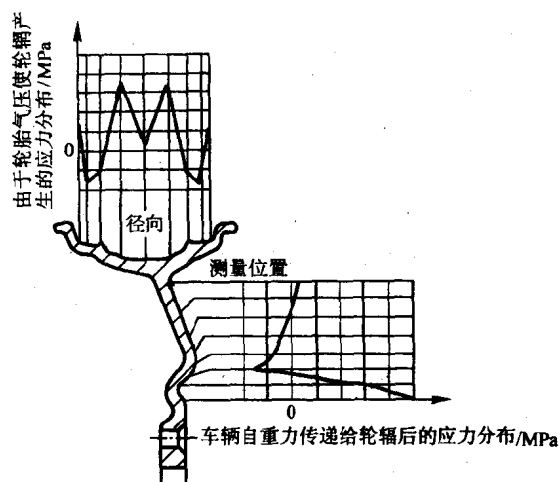


图 1-1 车轮静态初始应力分布

2 铝合金车轮制造技术

力情况应该是两种力的叠加,如图 1-1 所示。这种叠加有可能是“相加”,也有可能是“相减”的关系,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作旋转运动),车轮的应力分布如图 1-2 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,负荷的大小对车轮寿命有着很大影响。反过来说,由于车辆负荷的多变因素,就要求除了车轮强度、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品种,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,还潜伏着更多的“难以预测袭击因素”,诸如凹凸不平路面的干扰、路边石块的冲击、突然意外的碰撞等都首先由前轮直接来承受,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。

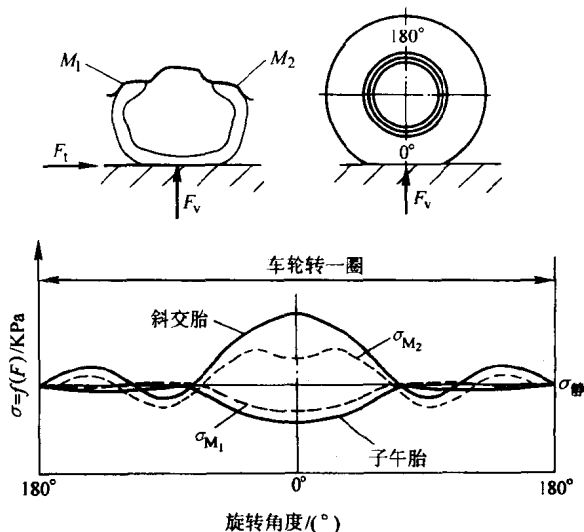


图 1-2 车轮转动一周,轮辋上 M_1 、 M_2 点应力变化

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辊和冲压制成轮辋、轮辐(或钢丝)的坯料,再经铆接、点焊、二氧化碳电弧焊、挤压等工序装配组合而成。这类车轮由于很适宜大批量生产,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。

本书主要阐述的是近年来新兴起的轻合金车轮。镁和铝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用于市场,主要原因是镁合金极易氧化的特点给熔炼、铸造所涉及的环保和生产成本等因素,带来了诸多暂时难于大量生产的难题,而且还有许多产业化的问题有待我们去研究解决。所以,本书所谈及的轻合金车轮也

是以已经实现产业化的铝合金而言的。

无论是钢车轮还是轻合金车轮,确保安全的根本原则。铝合金的力学性能虽然比不上钢材,但通过结构、壁厚、选材、热处理、抛丸等强化措施来提高材质和产品本身性能,完全可满足整车对安全的要求(实践证明,铝合金车轮在强度、刚度和韧性上能像钢车轮一样满足整车安全和使用要求)而且还具有钢车轮无法比拟的许多优点。

并非所有铝合金材料都适合用来做车轮。近几年,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,适合各种需要的合金材料也在不断开发,如欧洲有少数国家,为降低材料成本,减少热处理费用,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,使材料的强度和韧性都处于临界状态,往往要通过适当调整车轮结构和增加壁厚的办法来弥补,大的主机厂也不太愿采用。在液态挤压和压铸工艺中也有类似开发的新材料和新工艺,车轮产量均很少。目前,全世界用得最为普遍的材料是 A356 (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如果像对待普通铝铸件那样来使用这种材料,仍是无法达到产品要求的,因铝合金车轮需要特殊的疲劳强度和韧性指标,因此必须采取各种措施来强化这些方面的性能。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 $> 60 \text{ HBS (W)}$;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。本书将以 A356 材料为基础,介绍铝合金车轮的制造技术。

1.2 铝合金车轮的演变史和特点

1.2.1 演变史

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,正式将钢制辐条式轮毂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。二次世界大战和世界性的能源危机大大刺激了汽车商的“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