

现代汽车板的 质量控制与成形性

康永林 著



冶金工业出版社

现代汽车板的质量控制 与成形性

康永林 著

北 京
冶金工业出版社

内 容 简 介

本书总结了近年来国内外汽车板研究、开发及应用的最新成果,系统地介绍了现代汽车用薄板的冶金控制原理、板材质量生产工艺控制方法、成形性能以及汽车板在汽车(尤其轿车)冲压成形部件上的应用等。

全书共分11章,包括:概述、超深冲钢板的冶金成分控制、超深冲钢板的热轧工艺控制、超深冲钢板的冷轧及退火工艺控制、汽车用涂镀层钢板、汽车用高强度钢板、特殊性能汽车板、汽车板的表面质量控制、板材成形性及其评价方法、典型板材的成形性及成形技术、板材成形中的动态摩擦等。

本书可供冶金及汽车行业薄钢板生产、应用企业的工程技术人员及科研院所的研究人员阅读,也可供大专院校有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代汽车板的质量控制与成形性/康永林著. —北京:
冶金工业出版社, 1999. 8

ISBN 7-5024-2362-1

I. 现… II. 康… III. ①汽车-工程材料-钢-质量控制
②汽车-工程材料-钢-成形-技术 IV. U465.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 20960 号

出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 张登科 美术编辑 李 心 责任校对 王贺兰

北京源海印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

1999 年 8 月第 1 版, 1999 年 8 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 10.75 印张; 287 千字; 331 页; 1-2000 册

25.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010) 64044283 传真: (010) 64013877

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号 (100711) 电话: (010) 65289081

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)



作者简介

康永林, 男, 1954年11月生, 吉林通化人。1985年毕业于北京科技大学压力加工专业, 获硕士学位, 1986~1988年为北京科技大学压力加工系博士研究生, 1989~1991年在日本东京大学留学, 获博士学位。现任北京科技大学压力加工系系主任、教授、博士生导师。

曾先后承担并负责多项国家科技攻关项目、国家自然科学基金项目、国家重点推广项目等。主要从事的科研工作有: 大断面高塑性有限元模拟, 轿车用薄钢板的研究开发, 薄板、镀层板成形性及弹塑性有限元模拟, 成形极限理论预报, 组织性能及微观缺陷定量分析, 变截面轧制技术及设备的开发、推广等工作。曾获部级一等奖及国家教委科技进步三等奖各一项, 获国家专利7项。1993年被评为北京高校青年学科带头人, 1994年获IET优秀青年教师奖及国家教委资助优秀青年教师基金项目等。主要论著有: 《陶瓷镀层》(译著), 《轧制理论》(编著), 《粉末塑性加工原理及其应用》(合著), 在国内、外刊物上发表有关学术论文80余篇。

前 言

自从第一辆汽车问世以来,汽车工业已有 100 多年的历史。现代汽车工业的发展已成为现代社会文明的标志。从 20 世纪 60~70 年代起,北美、西欧、日本以及韩国的汽车工业得到了迅速发展,中国的汽车工业在近年来也开始高速发展。据统计,近几年来世界汽车年产量平均在 5000 万辆左右。随着计算机、新材料以及各种新技术的日新月异,现代汽车正在向着高性能化、多样化和高级化方向发展。

我国汽车工业发展目标是到 2010 年把汽车工业基本建成为国民经济支柱产业,年生产能力将达到 600 万辆,其中轿车占 400 万辆,汽车工业总产值将超过一万亿元。

汽车工业的发展与原材料工业有着密不可分的关系,据德国联邦统计局统计,生产一辆汽车的费用按比例分配为:原材料占 53%、制造占 30%、设计开发占 5%、其它占 12%。因此,高质量原材料的准备非常重要。汽车工业需要的原材料主要为钢材,约占总用材量的 70%,而钢材中用量最大的是薄钢板,一辆轿车约使用薄钢板 600~800kg,薄板成形件 500 多件。同时,汽车板应满足轿车轻型、安全、舒适、美观、防腐等项要求。由此可见,汽车行业是高质量薄钢板的最大用户,同时也是对薄钢板品质要求最高的部门。

汽车工业一直是工业发达国家国民经济的支柱产业,钢铁生产中的薄板产品,特别是深冲钢板,也一直伴随着汽车工业的发展而发展,几乎所有新品种的产生和新技术的采用都直接或间接地使汽车工业受益;同样,汽车工业对钢板质量和品种也提出了越来越高的要求,并促使冶金生产部门不断革新工艺和改进质量。

现代汽车的发展趋势是减重、节能、防腐、防污染、防噪声和安全、舒适等。为适应这一发展的需要,除传统的结构性能和

经济性能以外,汽车用钢板在质量上还必须满足一系列新的特殊要求,其中包括:优良的成形性能、焊接性能、表面形貌和光洁程度;良好的抗凹陷能力及足够的强度和结构刚度;高的耐蚀性能;良好的板形、板面平直度和严格的尺寸精度及性能均匀性;部分零件用钢板应具有吸声减振效果以减少汽车在行驶中的雷鸣效应等。

要实现汽车高性能化、多样化、高级化和较低成本这个目标,必须以冶金工业的密切配合为依托。为了适应现代汽车对薄板品质的要求,冶金工业不断开发和采用新的生产技术,逐步形成了具有不同特点的冷轧及热轧汽车薄板系列化产品,其中包括:(1)以减重节能为目标的高强度钢板系列;(2)以提高成形性能为目标的深冲和超深冲钢板系列;(3)以提高汽车防腐能力为目标的表面处理钢板系列;(4)以发展高性能汽车为目标的减振消音用的复合钢板和改善外观质量、提高反光性能的镜面钢板等。

实际上,现代汽车板的质量控制及成形性能与冲压工艺控制密不可分。汽车板的质量控制涉及冶金生产的全流程,是一个复杂的冶金系统工程;同时,板材的成形性能与冲压工艺控制也是一个系统工程。将这两个系统紧密结合起来是实际的需要和必然。现代汽车板的研制、开发及生产人员需要了解有关板材冲压工艺的基本环节、特点以及汽车使用环境条件对板材成形件影响的知识,同时,汽车板的应用部门及与冲压工艺控制有关人员也需要了解板材的冶金生产过程及其质量控制的基本知识。编写本书的目的就是为与现代汽车板的研制、开发、生产以及应用部门有关的广大科研及生产技术人员提供一本较为系统、全面的参考书。

本书包含了作者及与部分合作者完成的工作,并参考了近10多年来尤其是近年来的有关文献300余篇,旨在总结国内外关于汽车板冶金工艺质量控制的研究开发及应用的最新成果,努力将现代汽车板主要品种从冶金工艺的质量控制及成形性能、冲压工艺评价及控制的理论、工艺方法以及应用技术作一较系统的反映。书中许多资料的图表、数据不仅来自实验室实验,而且来自

生产实践，对指导汽车板的冶金生产和冲压工艺控制具有重要的参考价值。

本书主要内容包括：超深冲钢板的冶金成分控制、超深冲钢板的热轧工艺控制、超深冲钢板的冷轧及退火工艺控制、汽车用高强度钢板；特殊性能汽车板（树脂复合减振钢板，激光拼焊板）、汽车板的表面质量控制、板材成形性及其评价方法、汽车冲压件成形分类及应用、典型板材的成形性及成形技术（涂镀层钢板、高强度钢板、不锈钢板）以及板材成形中的动态摩擦等。

在从事汽车板冶金工艺及板材成形性能的研究过程中，作者曾得到了王先进教授的精心指导和热情帮助，在此谨致以衷心的感谢。同时，还要感谢唐荻教授、茹铮教授以及吴洪军、郑建平等同志与作者的真诚合作及热忱的帮助和支持。

由于本人水平有限，书中难免存在一些疏漏、不妥之处，恳请广大读者批评指正。

作 者

1999年2月

目 录

1 概 述

1.1 现代汽车的发展与汽车板	1
1.2 现代汽车板的质量品种要求	3
1.2.1 现代汽车薄板的质量要求	3
1.2.2 现代汽车薄板的品种要求	4
1.3 汽车板的分类和牌号	6
1.3.1 汽车板的分类	6
1.3.2 汽车板的牌号及薄宽板规格	9
1.4 现代板带生产的冶金流程简介	10

2 超深冲钢板的冶金成分控制

2.1 超低碳钢的发展	14
2.2 冶金成分在钢中的作用及控制	18
2.3 IF 钢的冶金工艺	25
2.4 IF 钢的微合金化	29
2.5 IF 钢的二次冷加工脆性及控制	32

3 超深冲钢板的热轧工艺控制

3.1 IF 钢的热轧及卷曲工艺	34
3.1.1 板坯加热温度 (SRT)	34
3.1.2 终轧温度 (ST)	35
3.1.3 卷取温度 (CT)	36
3.2 IF 钢热轧组织及二相粒子	40

3.3 铁素体区热轧深冲钢板	44
3.3.1 成分对热轧深冲板的影响	45
3.3.2 热轧工艺及润滑条件的影响	46
3.4 超低碳热轧拉延板	51

4 超深冲钢板的冷轧及退火工艺控制

4.1 冷轧及退火工艺对钢板性能的影响	55
4.1.1 冷轧压下量对钢板性能的影响	55
4.1.2 冷轧板的退火工艺	57
4.2 冷轧板的退火再结晶与组织性能	64
4.2.1 冷轧板的退火再结晶规律	64
4.2.2 冷轧退火板的组织特征及力学性能	67
4.3 冷轧退火过程中二相粒子析出规律	76
4.4 冷轧板的再结晶组织	83
4.4.1 板材 r 值与再结晶组织的关系	83
4.4.2 IF 钢再结晶组织形成机理	84
4.4.3 影响 IF 钢再结晶组织的因素	87
4.4.4 罩式退火工艺对 IF 钢组织的影响	89

5 汽车用涂镀层钢板

5.1 涂镀层钢板在汽车上的应用及质量品种要求	92
5.1.1 涂镀层钢板在汽车上的应用	92
5.1.2 涂镀层钢板的生产技术及其发展	95
5.1.3 汽车用涂镀层钢板的质量要求及品种	97
5.2 涂镀层钢板的镀层结构特性及抗粉化剥落性能	99
5.2.1 涂镀层钢板的镀层结构特性	99
5.2.2 涂镀层钢板的抗粉化、剥落性能	103
5.3 涂镀层钢板的耐腐蚀性能	110

6 汽车用高强度钢板

6.1 汽车的轻型化与高强度钢板	115
6.1.1 汽车减重与能源、环境	115
6.1.2 高强度钢板在汽车中的应用	115
6.2 高强度钢板的强化机制、产品特点及应用	119
6.2.1 高强度钢板的强化机制	119
6.2.2 高强度钢板的产品特点及应用	120
6.3 热轧高强度钢板	126
6.3.1 热轧高强度钢板的特点	126
6.3.2 热轧马氏体双相钢板	129
6.3.3 热轧贝氏体钢板	131
6.3.4 耐蚀性热轧高强度钢板	137
6.3.5 含 Cu 热轧高强度钢板	138
6.3.6 热轧 TRIP 钢板	142
6.4 冷轧高强度钢板	146
6.4.1 冷轧高强度钢板的特点	146
6.4.2 含 P 冷轧高强度超深冲钢板	149
6.4.3 含 Mn、Cu 冷轧高强度超深冲钢板	153
6.4.4 冷轧超高强度钢板	163
6.4.5 超低碳烘烤硬化钢板 (BH 钢板)	167

7 特殊性能汽车板

7.1 树脂复合减振钢板	178
7.1.1 减振钢板的结构、基本特性及类型	178
7.1.2 减振钢板的生产	183
7.1.3 减振钢板的特性及成形性	184
7.1.4 减振钢板的应用	194
7.2 拼焊板	196
7.2.1 拼焊板的发展及其在汽车上的应用	196

7.2.2 拼焊板的焊接方法及焊缝特性	200
7.2.3 拼焊板的冲压成形性	203

8 汽车板的表面质量控制

8.1 现代汽车板对表面质量的要求	214
8.2 热轧带钢表面质量检测及控制	214
8.3 冷轧带钢表面质量检测及控制	216
8.4 钢板表面形貌控制及其对使用性能的作用	218
8.4.1 钢板表面形貌控制	218
8.4.2 激光毛面钢板对使用性能的作用	220
8.5 冷轧板退火过程表面质量控制	223
8.5.1 冷轧钢板表面的光亮度及清洁度	223
8.5.2 碳元素对钢板表面质量的影响	223
8.5.3 影响钢板表面光亮度及清洁度的因素	224
8.5.4 防止钢板表面碳沉积的措施	225

9 板材成形性及其评价方法

9.1 板材的成形性	226
9.1.1 板材成形性的基本概念	226
9.1.2 基本成形性参数的表示方法及意义	227
9.2 评价板材成形性的常用实验分析方法	232
9.2.1 基本成形性实验	232
9.2.2 模拟成形性实验	235
9.2.3 基本成形性与模拟成形性的相关性	241
9.2.4 成形极限图 (FLD)	241
9.3 影响板材冲压成形性能的因素分析	243
9.3.1 板材成形缺陷分析及与材料特性的关系	243
9.3.2 板材成形极限破裂的微观本质	245
9.3.3 材料特性与成形条件的控制	247
9.4 汽车冲压件成形分类及应用	251

9.4.1 板材冲压成形变形状态分类	251
9.4.2 轿车冲压件成形分类及实际应用	252

10 典型板材的成形性及成形技术

10.1 不同冲压级别钢板的成形性	261
10.2 涂镀层钢板的成形性及成形技术	263
10.2.1 涂镀层钢板成形性的模拟实验评价方法	263
10.2.2 涂镀层钢板成形中的摩擦特性及影响因素	265
10.2.3 涂镀层钢板模拟成形性及实冲实验评定	276
10.3 高强度钢板的成形性及成形技术	280
10.3.1 高强度钢板的成形性	280
10.3.2 高强度钢板成形问题分析	281
10.3.3 成形裕度降低及对策	283
10.3.4 尺寸精度不良及对策	286
10.3.5 形状精度不良及对策	286
10.4 不锈钢板成形性及成形技术	287
10.4.1 不锈钢板冲压加工的基本特点	287
10.4.2 奥氏体系不锈钢板的材料特性与成形性	288
10.4.3 铁素体系不锈钢板的材料特性与成形性	291
10.4.4 实用不锈钢板的冲压成形性	293
10.4.5 不锈钢板的温冲压加工	295

11 板材成形中的动态摩擦

11.1 板材成形过程动态摩擦测试系统的原理与方法	301
11.2 不同材料及板材表面状态对摩擦系数的影响	303
11.2.1 不同表面镀层材料的摩擦特性	303
11.2.2 同种镀层板不同表面状态时(有无灰变、红锈)的摩擦特性	305
11.2.3 镀锌板与其基板的摩擦特性	306
11.2.4 板材取向差异及厚度的摩擦特性	307

11.3	润滑条件对摩擦系数的影响·····	308
11.4	冲压成形速度对摩擦系数的影响·····	309
11.5	模具温度对摩擦系数的影响·····	312
11.6	模具尺寸、形状对摩擦系数的影响·····	316
	参考文献·····	319

1 概 述

1.1 现代汽车的发展与汽车板

自从 19 世纪 80 年代第一辆汽车问世以来,尤其是从 20 世纪 60、70 年代起,北美、日本和西欧的汽车工业得到了迅猛发展。作为移动手段的汽车的基本功能(行驶,转弯,停止)至今虽然没有变,但随着计算机、新材料以及各种新技术日新月异的发展,汽车的性能得到飞速的提高,不断增添了新的活力。现代汽车正在向着高性能化,多样化和高级化方向发展。

从全世界和北美、欧洲、日本自 1969 年以来的汽车生产辆数变化来看^[1],世界汽车的生产辆数因 20 世纪 70 年代的两次石油危机曾出现过下跌,从 1983 年起开始逐年上升,到 1997 年接近 5620 万辆,尤其是日本的汽车产量连年增加,到 1997 年已达到 1100 万辆/a,形成现在日本、美国、西欧三足鼎立的局面。而我国在 1997 年汽车产量也已达 159 万辆,其中轿车 49 万辆。世界汽车的保有辆数和普及率按地区来看,差别相当大。工业发达的美国、日本的汽车普及率为 1.3 人/辆和 1.7 人/辆,处于发展中的地区亚洲和非洲的汽车普及率为 35.8 人/辆和 45 人/辆,而我国在 1997 年的汽车保有量为 1700 万辆,汽车普及率仅为 70 人/辆。据英国 DRI/MCGraw-Hill 的最新预测,在未来几年内,世界轿车的产销量增长率将超过其原来的预测值。到 20 世纪末,全球轿车的需求量将达到约 4300 万辆。据认为,此需求的增长主要不是来自传统的西欧、日本和美国市场,而是来自经济高速增长的中国、泰国、韩国等国家和拉美、东欧等地区。

20 世纪 50 年代以来,我国汽车生产的历史主要是中型载货车的生产,形成了“缺重少轻,轿车近于空白”的状态。近些年

情况有所好转,但载货车与客车、轿车的比例仍为 3:1:1,致使客车和轿车供不应求,大量进口。国产汽车与国际水平相比,在自重、油耗、可靠性、寿命及新材料用量等方面存在明显的差距。

近年来,我国先后从德国、美国、法国等国家引进奥迪、桑塔纳、切诺基、别克和标致等整车制造技术,这些轿车均达到了国际 20 世纪 80 年代和 90 年代水平。据 1996 年 5 月统计^[2],主要乘用车型的国产化率在 25%~87%。

我国汽车工业发展目标是,到 2000 年,要形成 300 万辆汽车生产能力,其中轿车 150 万辆。到 2010 年要把汽车工业基本建成国民经济支柱产业,其主要目标为:汽车达到 600 万辆生产能力。其中轿车占 400 万辆;汽车工业总产值将超过 1 万亿元,出口汽车 35~40 万辆。这就是说到 2010 年我国汽车的年产量将是 1997 年的 3.75 倍,轿车产量将是 1997 年的 8 倍。

汽车工业的发展与原材料工业有着极为密切的关系,没有原材料工业作基础,汽车工业就成为“无米之炊”。据德国联邦统计局统计,生产一辆汽车的费用为“原材料占 53%、制造占 30%、设计开发占 5%、其它占 12%。由此可见原材料之重要。汽车工业需要的原材料主要为钢材,约占总用材量的 70%,而钢材中用量最大的是薄钢板,一辆轿车约使用薄钢板 600~800kg,薄板成

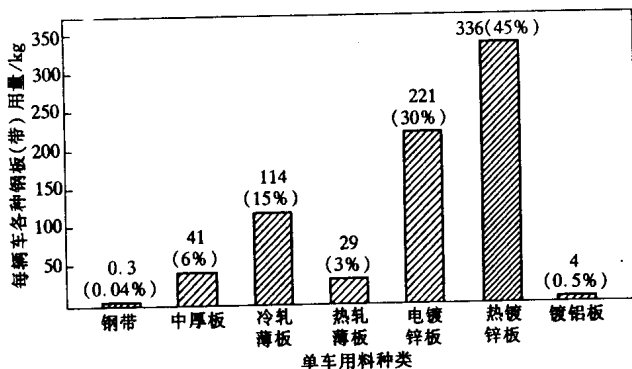


图 1-1 典型轿车单车用钢板量直方图
(百分数指各用料占全部用料量的比例)

形件 500~600 件。图 1-1 表示典型轿车单车用钢板量直方图, 图 1-2 表示典型轿车单车涉及零件数目直方图。同时, 汽车板又应满足轿车轻型、舒适、美观、防腐等项要求。由此可见, 汽车行业是薄钢板的最大用户, 同时也是对薄钢板品质要求最高的部门。

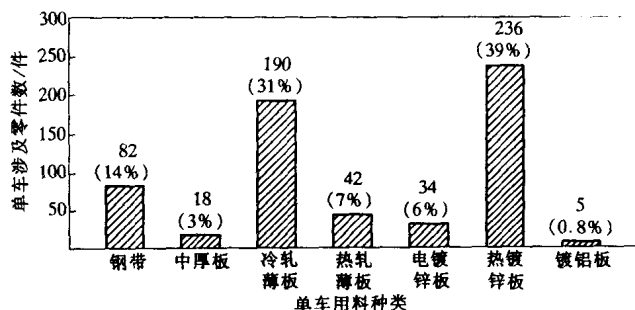


图 1-2 典型轿车单车涉及零件数目直方图

1.2 现代汽车板的质量品种要求

1.2.1 现代汽车薄板的质量要求

汽车工业一直是工业发达国家国民经济的支柱产业, 所以钢铁生产中的薄板产品, 特别是深冲钢板, 一直伴随着汽车工业的发展而发展, 几乎所有新品种的产生和新技术的采用都直接或间接地使汽车工业受益, 同样汽车工业对钢板质量和品种也提出了越来越高的要求, 并促使冶金生产部门不断革新工艺和改进质量。

现代汽车的发展趋势是减重、节能、防腐、防污染、防噪声和安全舒适等。为适应这一发展的需要, 对汽车用钢板的要求除传统的结构性能、经济性能以外, 还必须满足新的一系列质量上的特殊要求, 其中包括^[3]:

(1) 优良的成形性能, 即: 高的塑性应变比 r 值, 高的均匀伸长率 δ_u , 高的总伸长率 δ_t , 低的屈服强度 σ_s , 低的时效指数 AI 和低的屈服伸长, 只有具备以上性能的钢板, 才能够用于冲制复杂的汽车覆盖件;

(2) 良好的抗凹陷能力和足够的结构刚度, 以避免在制造和

使用中产生凹陷，特别是能在突发的冲撞事故中能最大限度地吸收能量，保护乘员的安全，这要求钢板有较高的强度和刚度，即高的 σ_b 和适当的烘烤硬化性与加工硬化能力；

(3) 良好的焊接性能，保证零件有效的连接及焊点和焊点周边区域的强度和性能不发生大的变化；

(4) 优良的表面形貌和光洁程度，良好的喷涂性能和对油漆涂镀层的附着性能，以求表面美观；

(5) 高的耐蚀性能；

(6) 良好的板形和板面平直度，严格的尺寸精度和性能均匀性；

(7) 为减少汽车在行驶中的雷鸣效应，部分零件用钢板应有吸声减振效果。

1.2.2 现代汽车薄板的品种要求

要实现汽车高性能化、多样化和高级化，且价格便宜这一目标，必须以冶金工业的密切配合为依托。为了适应现代汽车对薄板品质的要求，冶金工业在不断改进和完善生产技术后，逐步形成了具有不同特点的冷轧汽车薄板系列化生产，包括：(1) 以减重节能为目标的高强度钢板系列；(2) 以提高成形性能为目标的深冲钢板系列；(3) 以提高汽车防腐能力为目标的表面处理钢板系列；(4) 以发展高性能汽车为目标的减振消音用的复合钢板和改善外观质量、提高反光性能的镜面钢板等。

1.2.2.1 高强度钢板

目前，高强度汽车板分为普通冲压级、深冲级和超深冲级三大类。按强化机理主要有四种类型：

(1) 固溶强化型加磷钢板。通过加磷使铁素体固溶强化以提高强度，其强度级别为 320MPa、360MPa。加磷高强板具有满意的成形性能，深冲级 r 值为 1.4~1.6，超深冲级可达 2.0；

(2) 弥散强化型高强度低合金钢板。通过加入 Mn、Cu、Mo、V、Ti、Co 和适当的控轧控冷工艺产生弥散强化、晶粒细化、回复强化以提高强度。其强度级别为 380MPa、420MPa、460MPa、