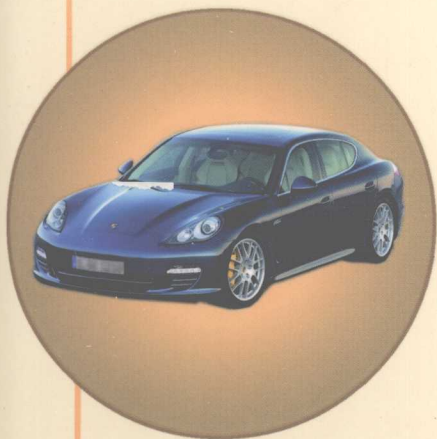




现代汽车板 工艺及成形理论与技术



THEORY AND TECHNOLOGY OF
PROCESSING AND FORMING FOR
ADVANCED AUTOMOBILE STEEL SHEETS

康永林 著



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

现代汽车板 工艺及成形理论与技术

THEORY AND TECHNOLOGY OF PROCESSING AND
FORMING FOR ADVANCED AUTOMOBILE STEEL SHEETS

康永林 著

北 京

冶金工业出版社

2009

内 容 简 介

本书全面、系统地介绍和论述了现代汽车板工艺及成形理论与技术,是一部将与现代汽车板的内在和外在质量有关的冶金生产工艺全过程控制及其成形与应用技术融为一体的专著。内容包括:绪论、低(微)碳铝镇静钢板、超深冲 IF 钢板、热轧高强钢和先进高强度钢板、冷轧高强钢和先进高强度钢板、汽车用表面处理钢板、薄板坯连铸连轧工艺生产汽车板、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、汽车板的先进成形技术、板材成形中的动态摩擦等。

本书可供冶金工业、汽车工业及薄板冲压成形企业的工程技术人员、研究人员、设计人员以及从事金属材料产品开发、深加工和应用部门的专业人员阅读,同时也可作为大专院校有关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代汽车板工艺及成形理论与技术/康永林著. —北京:
冶金工业出版社,2009.2

ISBN 978-7-5024-4780-9

I. 现… II. 康… III. 汽车—工程材料—钢板—研究
IV. U465.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 214269 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 张登科 美术编辑 李 心 版式设计 张 青

责任校对 王贺兰 李文彦 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4780-9

北京盛通印刷股份有限公司印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2009 年 2 月第 1 版,2009 年 2 月第 1 次印刷

169mm×239mm;35.5 印张;670 千字;548 页;1-3300 册

99.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

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

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

序

多年来,汽车工业不仅一直是工业发达国家经济的支柱产业之一,而且在一些发展中国家汽车工业也占有重要的地位。汽车的生产、销售和使用已同国家的经济、交通、物流、能源、资源、环境以及人民的生活密不可分。我国的汽车工业从21世纪初开始进入迅猛发展阶段,2007年,国内汽车产量突破888万辆,汽车销售量达到879.15万辆,成为世界第三大汽车生产国和第二大汽车消费国。

从现代汽车的设计、制造、使用和市场要求来看,动力性能、安全、节能与环保仍然是首要的问题。汽车车体轻量化、外形多样化、制造低成本以及材料的可回收再利用等在不断推动着现代汽车材料技术的发展,汽车工业的发展与原材料工业,尤其是钢铁工业已形成密切的关系。在汽车制造所使用的原材料中,钢铁材料占有最大的比重(约占三分之二左右),而钢铁材料中用量最大的是薄钢板。在汽车轻量化发展的过程中,尽管近年来一直存在钢铁材料同铝合金、镁合金、塑料及复合材料的竞争,但到目前为止,大量的研究结果表明,从汽车安全性、制造成本、材料的回收循环再利用以及轻量化与节能的综合效果来看,积极开发和采用高性能、高强度钢及其先进的设计与加工成形技术仍然具有明显的优势和良好的前景。

近年来,国内外在汽车用高性能钢,尤其是先进高强钢的基础研究和应用技术研究开发方面十分活跃,超高强钢板的强度已达到或超过1500MPa。在针对和解决汽车用高强钢随着强度增加,塑性和成形性能下降,开裂、起皱、回弹、成形件尺寸与形状精度控制、模具磨损和焊接等问题明显增加,以及如何进一步提高抗冲撞能量吸收值等关键问题时,从高性能先进高强钢的冶金与材料工艺原理出发,国内外许多研究者和公司相继研究开发了具有低屈强比的高强和超高强双相

钢(DP 钢)、兼有高强度和良好塑性的相变诱导塑性钢(TRIP 钢)、孪晶诱导塑性钢(TWIP 钢)、热冲压成形钢(含 B 钢)、马氏体钢、Q&P 钢以及纳米粒子析出强化钢(NANO-HITEN 钢)等新一代高性能先进高强度钢。总的趋势是朝着高成形性能、高强或超高强兼备的新一代汽车用钢的冶金、材料以及应用科学相关的理论与技术研究方向发展,并以此指导新型汽车板的冶金工艺控制技术和成形应用技术开发,以适应现代汽车安全、节能环保和社会可持续发展的总要求。

从现代汽车板的质量性能要求(如优良的成形性能、高表面质量和耐腐蚀性能、高强度及抗凹陷性、严格的板形、尺寸精度及性能均匀性,以及良好的焊接性能等)来看,其生产过程涉及到钢的冶炼、精炼、连铸、热轧、冷轧、退火和表面处理等全流程严格精确的控制,可以说现代汽车板的冶金质量与工艺控制水平已成为现代冶金生产技术水平标志,是一项复杂的系统工程;另一方面,现代汽车板的成形应用涉及到汽车车体外观设计、复杂的成形模具与毛料设计、冲压成形工艺控制(如起皱、开裂、回弹、尺寸形状精度、成形件表面质量等)、成形板料性能、厚度与强度等的合理选材、板料激光拼焊与成形件连接、新型成形技术(如液压成形、热冲压成形、辊压成形等)、车体涂装等,也同样是一项复杂的系统工程。两个系统中均涉及到一系列多学科的相关理论与技术。

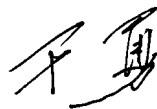
本书作者康永林教授是我国较早从事现代汽车板的冶金工艺及冲压成形理论与技术研究和产品开发的学者之一,多年来在该方向作了大量系统的理论与技术方面的研究和开发工作,颇有造诣和贡献。本书不但系统地总结了作者近年来在现代汽车板这一前沿领域取得的研究、开发、生产和应用方面的成果,同时也吸收了目前国内外有关汽车板的最新成果和进展,全面、深入、系统地论述了现代汽车的发展对材料的要求、现代汽车板主要品种的冶金质量与生产工艺控制、组织形成与强化机理,以及板材成形性能评价、冲压成形和应用等相关理论和工艺技术。书中许多资料和图表、数据来自生产实践,这对汽车板的冶金生产工艺和应用技术研究及产品开发具有重要的参考

价值。

在书中,作者将现代汽车板的冶金工艺与冲压成形这两个复杂系统中相关的理论与技术紧密而有机地结合起来,既包含现代汽车板生产工艺理论与技术,又包含现代汽车板成形理论与技术,综合研究,整体讨论,科学论述,这既体现了研究工作的广泛性、深入性和创新性,也使本书内容更加全面、系统、厚重和富有新意,这正是现代汽车技术与冶金材料技术发展的客观需要。事实上,对于从事现代汽车板研究开发及生产人员来说,他们需要了解板材成形应用理论和相关的技术知识,以便为用户提供更好的应用技术服务和开发更适合用户和市场需求的汽车板新产品;同样,汽车板应用部门的有关人员也需要了解汽车板冶金生产过程及其冶金工艺控制的一些相关技术和知识,从而为经济地选材、合理地用材、低成本高效率地制造汽车提供科学的依据。

因此,该书不仅是现代汽车板相关理论与技术的总结和阐述,而且理论与生产实践结合,具有较强的实用性,对从事现代汽车板冶金生产工艺和成形应用技术研究及产品开发人员具有相当的参考价值,这将对我国现代汽车板的冶金工艺技术和应用技术发展起到一定的促进作用。

钢铁研究总院院长
中国工程院院士



2008年12月

前 言

自 1886 年世界上第一台汽车问世以来,汽车工业已有 120 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 世纪六七十年代起,北美、欧洲、日本以及韩国的汽车工业得到了迅速发展。近几年,世界汽车年产量已超过 6000 万辆。

中国的汽车工业从 1953 年第一汽车制造厂奠基开始,在经历了 40 多年的发展历程后,已跃上年产 200 万辆台阶,到 21 世纪初开始进入腾飞发展阶段。2000 年,中国汽车产量 207 万辆,到了 2007 年,汽车产量突破 888 万辆,进而成为世界第三大汽车生产国。

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%、其他占 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铁材料,约占 70%,而钢铁材料中用量最大的是薄钢板。一辆轿车使用薄钢板约 600 ~ 800 kg,薄板成形件 500 多件。同时,汽车板亦必须满足汽车的安全、节能与低排放、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行业。随着计算机、新材料以及各种新技术的日新月异,现代汽车正在朝着轻量化、高性能化、多样化和高级化方向发展。

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,特别是深冲钢板和高强钢板,也一直伴随着汽车工业的发展而发展,几乎所有新产品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越来越高的需求,也促使冶金生产部门不断革新工艺技术和改进质量。

为适应现代汽车的减重、节能、环保、防腐、防噪声和安全、舒适这一发展的需要,除传统的结构性能、经济性能以外,汽车用钢板还必须满足一系列新的质量上的特殊要求,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;部分零件钢板应具有吸声减振效果以及减少汽车在行驶中的雷鸣效应等。

要实现汽车安全、轻量化、高性能化、低排放和较低成本这个目标,在与轻合金、塑料及复合材料等竞争的过程中,钢铁工业的技术发展和创新十分重要。为了适应现代汽车对薄板品质的要求,近年来,钢铁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生产技术,其中包括:(1)以安全和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声用的复合钢板和改善外观质量、提高反光性能、涂漆性与美观的无缺陷高表面质量钢板等。

实际上,现代汽车板的质量控制与成形应用技术密不可分。汽车板生产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,板材的成形应用技术也是一个系统工程。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、应用技术的基本环节原理和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、冲压工艺控制有关人员也需要了解汽车板材的冶金生产过程及其质量控制的基本知识,从而为合理经济地选材、用材,高质量、高效率地制造汽车提供科学的依据。

作者曾于1999年撰写出版了《现代汽车板的质量控制与成形性》一书,经过近10年的发展,国内外,尤其是我国生产汽车板的冶金工艺技术和汽车板应用技术发生了巨大变化和进步,同时冶金和汽车行业对汽车板的生产和应用技术提出了许多新的要求。为此,作者在本人及合作者近年来承担完成的国家自然科学基金重点项目、国家“973”项目、国家“863”项目、国家科技攻关和支撑计划项目,以及与国内大型和特大型钢铁企业关于新一代钢铁材料及汽车板相关理论与工艺技术、产品开发生产及应用技术等研究工作的密切合作,多学科结合,在当今国际上最先进的汽车板研制、开发、生产和应用这一前沿领域取得创新性成果的基础上,吸收了目前国内外有关现代汽车板研制、生产和应用的最新成果和经验,撰写了本书。本书对现代汽车

板主要品种从冶金工艺的质量控制、生产工艺、组织形成控制与强化机理,以及板材成形性能、冲压成形工艺评价设计和控制等方面的工艺理论和应用技术进行了全面、系统和深入的论述。书中许多资料和图表、数据来自生产实践,同时参考了近十几年尤其是近几年来国内外有关文献(这些文献均在相关处列出)。这对汽车板的冶金生产工艺和应用理论与技术研究及产品开发具有重要的参考价值。本书内容主要包括:

(1) 简要地介绍了现代汽车的发展及对材料的要求,汽车减重节能与排放要求,汽车用钢面临的挑战、轻量化与高强度钢板及先进高强度钢板,现代汽车板的质量品种要求、分类,以及板带生产的冶金工艺流程等。

(2) 从理论上重点论述了汽车板生产工艺控制技术及相关机理。主要包括:低(微)碳铝镇静钢板(冶金成分、热轧、冷轧与退火工艺,以及钢板的组织性能和 AlN 形成控制机理等);超深冲 IF 钢板(冶金成分、热轧、冷轧与退火工艺,钢中第二相粒子析出规律与再结晶规律,IF 钢的二次冷加工脆性及控制等);热轧高强钢板及先进高强钢板(强化机制、热轧 DP 钢、TRIP 钢、贝氏体钢,以及含铜热轧高强钢板等);冷轧高强钢板及先进高强钢板(冷轧高强钢板的特点,含磷、含铜冷轧高强钢板, BH 钢板,冷轧 DP 钢、TRIP 钢,含硅、锰超高强钢板,超高强 TWIP 钢板,水淬(WQ)超高强钢板、Q & P 钢等);汽车用表面处理钢板(品种质量要求,镀层结构特性及抗粉化剥落性能,耐腐蚀性能,超深冲 IF 钢镀锌板与先进高强镀锌板,表面处理钢板的成形技术,轿车组装后的表面处理技术等);薄板坯连铸连轧工艺生产汽车板(热轧冷冲压用钢成分与工艺控制,热轧低碳高强汽车大梁板,热轧 DP 钢、TRIP 钢、IF 钢等);特殊性能汽车板(树脂复合减振钢板,激光拼焊板,汽车用铝合金板等);汽车板的表面质量控制(表面质量要求,汽车面板用薄钢板性能要求及设计,钢中夹杂物与铸坯表面质量控制,热轧及冷轧过程中的表面缺陷及控制,表面质量检测及控制,以及冷轧板退火过程表面质量控制)等。

(3) 在系统论述汽车板生产工艺控制技术及相关机理的同时,详细阐述了汽车板成形及应用的相关理论与技术。主要包括:板材成形性及其评价方法(板材的成形性能,评价板材成形性的实验分析方法,

影响板材冲压成形性能的因素分析,汽车冲压件成形分类及应用等);汽车板的先进成形技术(先进高强钢板应用所面临的课题,涂镀层钢板、高强钢板以及不锈钢板的成形性及成形技术,超高强钢板的热成形技术,液压成形技术,数值模拟-CAE技术在汽车板冲压成形中的应用等);板材成形中的动态摩擦(成形过程动态摩擦测试系统的原理与方法,不同材料及板材表面状态对摩擦系数的影响,润滑条件对摩擦系数的影响,冲压成形速度、模具温度、模具尺寸、形状对摩擦系数的影响)等。

中国工程院院士千勇教授在百忙中为本书作序,并就书稿结构和内容同作者进行了深入的讨论,提出了重要的观点和建议,使作者受益匪浅,在此深表谢意。

作者在研究工作过程中,曾得到殷瑞钰院士、李正邦院士、王国栋院士、翁宇庆教授、洪及鄙教授、李文秀教授、陈其安教授、李世俊教授、傅杰教授、王新华教授、刘浏教授等多方面关心、指导和支持,在此表示衷心的感谢。

作者在早期从事汽车板冶金工艺及板材成形应用技术的研究中,曾得到王先进教授的热情指导和帮助,在此表示真诚的谢意。感谢刘仁东、孔庆福、孙长杰、柏建仁、王中丙、毛新平、陈贵江、温德智、吴光亮、陆匠心、郑建平、方圆、刘晓等教授级高工近年来与作者的真诚合作和热情帮助。同时,还要感谢许多钢铁企业及校内的有关同志和老师多年来在汽车板相关研究与作者的密切合作和给予的大力支持。作者的一些研究生在汽车板的有关研究工作中做出了重要贡献,并对本书的文字编排和图表整理做了大量工作,在此表示谢意。

本书中许多内容的工作曾得到国家自然科学基金项目、国家科技支撑计划项目、国家“973”项目、国家“863”项目以及相关钢铁企业的支持,在此一并表示诚挚的感谢。同时感谢国家科学技术学术著作出版基金对本书出版的资助。

由于本人水平有限,书中不妥之处,恳请广大读者批评、指正。

作 者
于北京科技大学
2008年12月

目 录

1 绪论	1
1.1 现代汽车的发展及对材料的要求	1
1.2 汽车发展面临的减重节能与排放要求	5
1.3 汽车用钢面临的挑战	9
1.3.1 汽车轻量化与高强钢板的挑战	9
1.3.2 先进高强钢(AHSS)的开发应用面临客户的挑战	13
1.3.3 先进高强钢(AHSS)在成形加工方面的挑战	14
1.4 现代汽车板的质量品种要求	15
1.4.1 现代汽车薄板的质量要求	15
1.4.2 现代汽车薄板的品种要求	16
1.5 汽车板的分类	18
1.6 现代板带生产的冶金流程简介	20
参考文献	23
2 低(微)碳铝镇静钢板	25
2.1 低(微)碳铝镇静钢板的冶金成分与性能	25
2.2 低(微)碳铝镇静钢板的热轧工艺与组织性能	26
2.3 低(微)碳铝镇静钢板冷轧与退火工艺	28
2.3.1 冷轧压下率对板材成形性的影响	28
2.3.2 退火工艺对低(微)碳铝镇静钢板材成形性能的影响	31
2.4 低碳铝镇静钢板的平整与拉矫	38
2.5 钢中 AlN 的形成及对板材成形性能的影响	41
参考文献	43
3 超深冲 IF 钢板	44
3.1 超深冲 IF 钢的冶金成分控制	44
3.1.1 超低碳钢的发展	44
3.1.2 冶金成分在钢中的作用及控制	47
3.1.3 IF 钢的冶金工艺简介	51
3.1.4 IF 钢的微合金化	55
3.2 超深冲 IF 钢的热轧工艺控制	57

3.2.1 IF 钢的热轧及卷取工艺	57
3.2.2 IF 钢热轧组织及第二相粒子	62
3.2.3 铁素体区热轧深冲钢板	65
3.2.4 超低碳热轧拉延板	70
3.3 超深冲 IF 钢板的冷轧及退火工艺控制	73
3.3.1 IF 钢板的冷轧及退火工艺	73
3.3.2 IF 钢冷轧板的退火再结晶组织	81
3.3.3 退火工艺对冷轧 IF 钢力学性能的影响及控制	87
3.4 IF 钢冷轧退火过程中的第二相粒子析出规律	93
3.5 IF 钢冷轧板的再结晶组织	99
3.5.1 板材 r 值与再结晶组织的关系	99
3.5.2 IF 钢再结晶组织形成机理	100
3.5.3 影响 IF 钢再结晶组织的因素	102
3.5.4 退火工艺对 IF 钢组织的影响	103
3.6 超深冲高强 IF 钢	106
3.7 IF 钢的二次冷加工脆性及控制	107
参考文献	112
4 热轧高强钢及先进高强钢板	117
4.1 先进高强钢板的成分与组织性能特征	117
4.1.1 高强钢的种类和成分特点	117
4.1.2 热轧高强钢的组织特征	119
4.2 高强钢板的强化机制、产品规格及应用	123
4.2.1 高强钢板的强化机制	123
4.2.2 采用不同强化机制的热轧高强钢板产品规格及应用	124
4.3 热轧双相钢(DP 钢)	130
4.3.1 热轧马氏体双相钢板	130
4.3.2 热轧贝氏体钢板	131
4.4 热轧 TRIP 钢	146
4.4.1 TRIP 钢的冶金学机制	146
4.4.2 TRIP 现象的影响因素	147
4.4.3 Nb 和 Mo 对热轧 TRIP 钢板力学性能的影响	150
4.5 热轧耐候高强钢	155
4.5.1 热轧耐候高强钢板的成分及组织设计	155
4.5.2 热轧耐候高强钢板的基本特性	156
4.6 含铜热轧高强钢	157

4.7 纳米粒子析出强化高强钢	159
4.8 超高强复相钢及马氏体钢	163
参考文献	163
5 冷轧高强钢及先进高强钢板	166
5.1 冷轧高强钢板的组织性能特点	166
5.2 冷轧高强钢板的产品规格及应用	169
5.3 冷轧高强超深冲钢板	175
5.3.1 冷轧含磷高强超深冲钢板	175
5.3.2 加锰冷轧高强超深冲钢板	178
5.3.3 加铜冷轧高强超深冲钢板	183
5.3.4 超细晶高强深冲钢板	186
5.3.5 添加铝或硅高强 IF 钢板	189
5.4 冷轧烘烤硬化钢板(BH 钢板)	192
5.4.1 BH 钢的特点及强化机理	192
5.4.2 冶金成分对 BH 性能的影响	194
5.4.3 热轧及冷轧退火工艺对 BH 钢组织性能的影响	200
5.4.4 退火方式对超低碳 BH 钢组织和性能的影响	204
5.4.5 时效时间、预变形量与 BH 性	212
5.4.6 热镀锌超低碳 BH 钢烘烤硬化效应与时效	214
5.4.7 BH 钢板抗凹陷性能实验评价	220
5.5 冷轧双相钢(DP 钢)	230
5.5.1 冷轧 DP 钢的成分、组织性能特征	230
5.5.2 连续退火工艺对冷轧 DP 钢组织性能的影响	237
5.5.3 热镀锌 DP 钢的工艺与组织性能	242
5.5.4 冷轧 DP 钢的应用性能	247
5.6 冷轧 TRIP 钢	254
5.6.1 冷轧 TRIP 钢的成分、组织性能特征	254
5.6.2 连续退火工艺对冷轧 TRIP 钢组织性能的影响	262
5.6.3 热镀锌 TRIP 钢的退火工艺与组织性能	264
5.6.4 冷轧 TRIP 钢的应用性能	265
5.7 TWIP 钢	270
5.7.1 TWIP 钢的技术原理、成分和性能特征	270
5.7.2 TWIP 钢的组织 and 变形机理	274
5.7.3 TWIP 钢的应用性能	278
5.8 冷轧超高强钢板	283

5.8.1	加 Si、Mn 冷轧超高强钢板	283
5.8.2	水淬(WQ)超高强冷轧钢板	295
5.9	Q&P 钢	300
5.9.1	Q&P 钢简介	300
5.9.2	Q&P 钢的生产工艺	301
5.9.3	Q&P 钢的冶金成分、组织性能特征	302
5.9.4	Q&P 与 Q&T 工艺的区别	304
	参考文献	304
6	汽车用表面处理钢板	311
6.1	表面处理钢板在汽车上的应用及质量品种要求	311
6.1.1	表面处理钢板在汽车上的应用	311
6.1.2	汽车用表面处理钢板的生产技术概况	315
6.1.3	汽车用表面处理钢板的品种及质量性能要求	316
6.2	表面处理钢板的镀层结构特性及抗粉化剥落性能	320
6.2.1	表面处理钢板的镀层结构特性	320
6.2.2	表面处理钢板的抗粉化、剥落性能	324
6.3	表面处理钢板的耐腐蚀性能	331
6.4	超深冲 IF 钢镀锌板与先进高强镀锌板	334
6.4.1	超深冲及高强 IF 钢热镀锌板	334
6.4.2	先进高强热镀锌钢板	338
6.5	表面处理钢板的成形技术	342
6.5.1	采用滑动试验分析镀锌钢板的摩擦特性	343
6.5.2	成形速度和应变路径对合金化镀锌钢板性能的影响	345
6.6	轿车组装后的表面处理技术	349
6.6.1	涂装技术	349
6.6.2	磷化技术	349
6.6.3	电泳涂装技术	350
	参考文献	350
7	薄板坯连铸连轧生产汽车板	352
7.1	薄板坯连铸连轧生产冷冲压用钢	352
7.1.1	薄板坯连铸连轧的工艺特征分析	352
7.1.2	冲压用冷轧板对冷轧料性能的要求及控制方法	354
7.2	薄板坯连铸连轧生产 IF 钢	369
7.2.1	薄板坯连铸连轧生产 IF 钢关键技术简析	369
7.2.2	薄板坯连铸连轧生产 IF 钢的工艺试验	370

7.3 薄板坯连铸连轧生产汽车结构钢板	373
7.3.1 薄板坯连铸连轧生产低碳高强汽车结构钢板	373
7.3.2 薄板坯连铸连轧生产微合金化汽车结构钢板	381
7.4 薄板坯连铸连轧生产 DP 钢	383
7.5 薄板坯连铸连轧生产 TRIP 钢	386
参考文献	388
8 特殊性能汽车板	392
8.1 树脂复合减振钢板	392
8.1.1 减振钢板的结构、基本特性及类型	392
8.1.2 减振钢板的生产	396
8.1.3 减振钢板的特有性能及成形性	397
8.1.4 减振钢板的应用	405
8.2 拼焊板	406
8.2.1 拼焊板的发展及其在汽车上的应用	406
8.2.2 拼焊板的焊接方法及焊缝特性	410
8.2.3 拼焊板的冲压成形性	414
8.3 汽车用铝合金板	421
8.3.1 铝合金板的应用及成形性能	421
8.3.2 铝合金板冲压成形中的问题	423
参考文献	424
9 汽车板的表面质量控制	427
9.1 现代汽车板对表面质量的要求	427
9.2 汽车面板用薄钢板性能要求及设计	428
9.2.1 汽车面板的性能要求与基本设计	428
9.2.2 发展烘烤硬化钢板(BH 钢板)	428
9.2.3 期待用于复杂形状大型面板的高强度薄板	429
9.2.4 期待能用于覆盖件的高强度薄板	429
9.2.5 面板用薄板防锈设计	430
9.2.6 面板部件的进一步高强度化技术	430
9.3 钢中夹杂物与铸坯表面质量控制	431
9.3.1 由夹杂物引起的表面缺陷特点分析	431
9.3.2 夹杂类表面缺陷的控制	432
9.4 热轧过程中的表面缺陷及控制	433
9.4.1 热轧氧化皮的产生特征及控制	433
9.4.2 热轧终轧及卷取温度对氧化铁皮生成和酸洗的影响	434

9.5 热轧带钢表面质量检测及控制	438
9.6 冷轧带钢表面质量检测及控制	440
9.7 钢板表面形貌控制及对使用性能的作用	441
9.7.1 轧辊表面毛化技术及应用	441
9.7.2 钢板表面形貌控制	443
9.7.3 激光毛面钢板对使用性能的作用	444
9.8 冷轧板退火过程表面质量控制	446
9.8.1 冷轧钢板表面的光亮度及清洁度	446
9.8.2 碳元素对钢板表面质量的影响	447
9.8.3 影响钢板表面光亮度及清洁度的因素	447
9.8.4 防止钢板表面碳沉积的措施	448
参考文献	448
10 板材成形性及其评价方法	450
10.1 板材的成形性能	450
10.1.1 板材成形性的基本概念	450
10.1.2 基本成形性参数的表示方法及意义	450
10.2 评价板材成形性的常用实验分析方法	454
10.2.1 基本成形性实验	454
10.2.2 模拟成形性实验	457
10.2.3 基本成形性与模拟成形性的相关性	461
10.2.4 成形极限图(FLD, Forming Limit Diagram)	461
10.3 影响板材冲压成形性能的因素分析	463
10.3.1 板材成形缺陷分析及与材料特性的关系	463
10.3.2 板材成形极限破裂的微观本质	464
10.3.3 材料特性与成形条件的控制	466
10.4 不同冲压级别钢板的成形性	469
10.5 汽车冲压件成形分类及应用	470
10.5.1 板材冲压成形变形状态分类	470
10.5.2 轿车冲压件成形分类及实际应用	471
参考文献	478
11 汽车板的先进成形技术	479
11.1 先进高强钢板应用所面临的课题	479
11.2 涂镀层钢板的成形性及成形技术	481
11.2.1 涂镀层钢板成形性的模拟实验评价方法	481
11.2.2 涂镀层钢板成形中的摩擦特性及影响因素	482

11.2.3 涂镀层钢板模拟成形性及实冲实验评定	490
11.3 高强钢板的成形性及成形技术	493
11.3.1 高强钢板的成形性能	493
11.3.2 高强钢板成形问题分析	495
11.3.3 成形裕度降低及对策	496
11.3.4 尺寸及形状精度不良及对策	499
11.4 不锈钢板成形性及成形技术	500
11.4.1 不锈钢板冲压加工的基本特点	500
11.4.2 奥氏体系不锈钢的材料特性与成形性	501
11.4.3 铁素体系不锈钢的材料特性与成形性	503
11.4.4 实用不锈钢的成形性	505
11.4.5 不锈钢板的温冲压成形	506
11.5 超高强钢板的热成形技术	509
11.5.1 热成形技术工艺特点	509
11.5.2 热处理条件和热处理用钢板	511
11.5.3 热冲压成形技术的应用和课题	515
11.5.4 局部淬火的应用和课题	516
11.6 液压成形技术	517
11.7 数值模拟 - CAE 技术在汽车板冲压成形中的应用	521
11.7.1 板材冲压成形数值模拟技术	521
11.7.2 采用 CAE 技术进行冲压成形工艺评价	528
参考文献	531
12 板材成形中的动态摩擦	533
12.1 板材成形过程动态摩擦测试系统的原理与方法	534
12.2 不同材料及板材表面状态对摩擦系数的影响	536
12.2.1 不同表面镀层材料的摩擦特性	536
12.2.2 同种镀层板不同表面状态时(有无灰变、红锈)的 摩擦特性	537
12.2.3 镀锌板与其基板的摩擦特性	538
12.2.4 板材取向差异及厚度的摩擦特性	539
12.3 润滑条件对摩擦系数的影响	540
12.4 冲压成形速度对摩擦系数的影响	541
12.5 模具温度对摩擦系数的影响	543
12.6 模具尺寸、形状对摩擦系数的影响	546
参考文献	548