

汽车板精益成形技术

林忠钦 等著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



汽车板精益成形技术

林忠钦 李淑慧 于忠奇 蒋浩民 著



机械工业出版社

汽车工业的飞速发展对汽车板成形技术提出了新的要求。本书介绍了新型的汽车板使用技术——汽车板精益成形技术。

本书共分6章。第1章在精益六西格玛思想的基础上,阐述了汽车板精益成形的技术内涵。第2章针对先进高强度钢板成形过程的塑性力学行为,介绍材料本构模型的建模方法。第3章介绍高强钢板及镀锌钢板冲压成形性能评价方法。第4章介绍金属流动的变压边力控制技术。第5章介绍大规模冲压生产中材料与工艺的稳健设计方法。第6章给出典型汽车板精益成形实例。

本书可供汽车和冶金行业科研和工程技术人员使用,也可供塑性加工领域的大学教师、研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车板精益成形技术/林忠钦等著. —北京:机械工业出版社, 2009. 2
ISBN 978-7-111-26229-9

I. 汽… II. 林… III. 汽车—工程材料—钢板—成型 IV. U465.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第017414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:孔劲 版式设计:霍永明 责任校对:陈立辉

封面设计:姚毅 责任印制:洪汉军

北京瑞德印刷有限公司印刷(三河市胜利装订厂装订)

2009年4月第1版第1次印刷

169mm×239mm·16.5印张·6插页·320千字

0001-3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-26229-9

定价:45.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 68351729

封面无防伪标均为盗版

序

汽车板成形技术是汽车和冶金企业的核心技术。近年来,我国汽车工业迅猛发展,轿车产量持续增长,带动了汽车板成形技术的进步。20世纪90年代,汽车板品种增多,强度级别升高等因素导致车身冲压件废品率居高不下,传统的汽车板成形技术已无法满足高质量、低成本的生产目标要求。汽车板成形技术的主攻方向逐渐向汽车板高强度和非确定性成形质量稳定控制方向转变,进而对汽车板成形体系和方法提出了巨大的挑战。

林忠钦教授从1996年开始致力于汽车车身制造与汽车板使用技术领域的科学与教育事业。针对中国汽车工业的特点,围绕车身冲压件低成本条件下的批量稳定生产开展了大量的产学研合作研究工作。经过十余年的努力,将精益思想和6 σ 质量控制方法相结合应用于汽车板成形技术领域,形成了汽车板精益成形技术体系,与宝钢和上海大众汽车公司等大企业建立了长期的合作基地,加强了钢铁企业和汽车制造企业之间战略合作关系,为钢铁和冶金行业上下游之间建立了桥梁。精益成形技术不仅能够汽车工业得到广泛应用,而且能够在航空和机车等工业得到应用。

《汽车板精益成形技术》一书是近年来林忠钦教授和他的团队科研工作的阶段总结,研究内容均来源于轿车制造过程中的生产实际,因此,该书内容不仅反映了当前的理论研究热点,并且具有很强的工程应用价值,获得2005年度国家科技进步二等奖。全书共分为6章,遵循从理论到实践的脉络,从材料性能的精确评价、金属流动的有效控制和成形过程的稳健设计等方面介绍了精益成形基本理论和关键技术,并通过工程案例分析为精益成形思想的应用作出了诠释。该书的出版将推动我国汽车企业和冶金行业的技术进步,并有利于材料加工学科的发展。我非常乐于向读者推荐此书并作序。

陈忠钦
08年12月

前言

薄板冲压成形工艺促进了汽车大规模生产技术的进步,汽车工业的飞速发展又对汽车板成形技术提出了更高的要求。为此,汽车企业和钢铁企业都把汽车板成形技术作为企业的核心技术,钢铁企业要为汽车企业提供最合适的汽车板,汽车企业要最大限度地发挥汽车板性能,双方围绕成形质量目标紧密协作,实现汽车板成形质量的有效控制。消除确定性的成形质量缺陷是传统成形技术的主要目标,降低非确定性成形质量缺陷率则需要依赖于精益六西格玛质量控制方法,二者的有机结合构成一项新型的汽车板使用技术——汽车板精益成形技术。

作者从1997年开始在国家自然科学基金、上海市科委、上海汽车工业科技发展基金以及宝山钢铁股份公司、上海汽车集团、美国通用汽车公司等企业的资助下,围绕汽车板使用技术开展了较为深入和系统的基础理论与应用技术研究,先后共建了宝钢汽车板使用技术联合实验室、美国通用汽车车身制造技术卫星实验室、上海市数字化汽车车身工程重点实验室,产学研紧密合作,取得了多项研究成果。近十年的研究工作可分为两个阶段,第一个阶段主要侧重于汽车覆盖件成形仿真技术的研究,研究内容涉及冲压成形三维仿真分析系统、拉深筋优化以及回弹的预测与控制,研究对象主要是确定性的质量缺陷问题,2004年由机械工业出版社出版的《车身覆盖件冲压成形仿真》一书就是这部分工作的总结。第二阶段研究工作主要针对高强度钢车身开发过程中的“合理选材、优化工艺、稳健控制”,研究对象不仅包括确定性的质量问题,而且包括非确定性的质量控制问题。这一阶段研究成果获得了2005年度国家科技进步二等奖,本书正是这部分研究工作的阶段总结。

本书由6章组成:第1章介绍汽车板使用技术发展历程与研究现状,通过与传统成形技术的比较,在精益六西格玛思想的基础上,阐述汽车板精益成形的技术内涵。第2章针对先进高强度钢板成形过程的塑性力学行为变化,介绍材料本构模型的建模方法,为成形过程的精确预测打下基础。第3章介绍高强钢板及镀锌钢板冲压成形性能评价方法,为指导冲压工艺设计和成形质量改进提供参考。第4章介绍变压边力条件下金属流动的控制方法与工艺设计方法,实现了板料冲压成形过程中的金属流动精确控制。第5章介绍材料与工艺的稳健设计方法,为

提高大规模冲压生产的质量稳定性提供了有效手段。第6章给出典型的汽车板精益成形实例。

本书的编写工作由林忠钦教授、李淑慧教授、于忠奇副教授以及蒋浩民首席研究员共同完成,陈关龙教授负责审核。经过大家的努力,终于将此书奉献给广大读者。

感谢上海交通大学奚立峰教授、宝山钢铁股份有限公司陈新平高工对本书的大力协助,感谢出版社编辑的辛勤工作。

还要特别感谢我们的学生:余海燕博士、王武荣博士、孙成智博士、赵亦希博士、徐春博士、但文蛟博士、单体坤博士、艾健硕士、照日格图硕士等,以及博士生侯英苛、侯波,他们的研究作为本书奠定了良好的基础。

由于时间较紧,书中不足之处在所难免,殷切希望读者对本书提出指正意见。

作者

目 录

序

前言

第1章 绪论	1
1.1 汽车板使用技术	1
1.1.1 汽车板的发展现状	1
1.1.2 汽车板使用技术的研究现状	3
1.1.3 汽车板使用技术的挑战	5
1.2 精益六西格玛与零缺陷冲压	6
1.2.1 精益思想对成形技术的启示	6
1.2.2 精益六西格玛	7
1.2.3 精益六西格玛与零缺陷冲压的关系	9
1.3 汽车板精益成形技术	11
1.3.1 汽车板精益成形的研究内涵	11
1.3.2 高强度钢汽车板精益成形的核心技术	13
1.3.3 汽车板精益成形技术与传统成形技术的比较	14
第2章 高强度钢板本构关系	16
2.1 引言	16
2.2 材料本构模型理论基础	17
2.2.1 材料硬化方程	17
2.2.2 材料屈服准则	23
2.3 双相钢板率相关本构关系	37
2.3.1 高应变率下材料本构关系研究现状	38
2.3.2 应变速率条件下 DP 钢材料本构关系试验分析	39
2.3.3 基于 KH 模型的双相钢 DP600 率相关本构模型	42
2.3.4 本构关系模型校验	45
2.4 相变诱发塑性高强度钢板材料本构关系	46
2.4.1 相变诱发塑性 (TRIP) 效应及其影响因素分析	47

2.4.2	应变诱发马氏体相变动力学模型	49
2.4.3	TRIP 钢多相混合硬化准则	53
2.4.4	考虑体积变形的各向异性屈服方程	56
2.4.5	基于剪切带形核理论的 TRIP 钢本构关系	57
2.4.6	TRIP 钢多相混合硬化准则验证	58
2.4.7	冲压成形条件下马氏体相变规律预测	61
	参考文献	67
第3章	高强度钢板冲压成形性能	71
3.1	引言	71
3.2	汽车钢板成形极限预测	71
3.2.1	成形极限图建立方法	71
3.2.2	基于 M-K 理论的 TRIP 钢板成形极限曲线建立	78
3.2.3	基于厚度梯度准则的成形极限曲线建立	89
3.3	高强钢板冲压成形抗拉毛性能	94
3.3.1	冲压成形中拉毛现象	94
3.3.2	表面拉毛缺陷评价方法	97
3.3.3	钢板抗表面拉毛性能研究	100
3.4	镀锌板的粉化评价方法与成形特性	111
3.4.1	镀锌板粉化智能评价方法	111
3.4.2	镀锌板表面摩擦行为研究	122
3.4.3	合金化镀锌钢板成形性能研究	124
	参考文献	127
第4章	金属流动的精确控制	132
4.1	引言	132
4.2	变压边力压力机和压边圈结构	133
4.2.1	变压边力压力机	133
4.2.2	压边圈结构设计	136
4.3	变压边力对提高板料成形性能的规律研究	139
4.3.1	变压边力对板料成形应变路径的影响	139
4.3.2	变压边力对板料成形极限的影响	142
4.4	基于压边力的成形窗口	144
4.4.1	基于压边力成形窗口的定义	144
4.4.2	基于压边力成形窗口的建立方法	147
4.4.3	变压边力优化路径的选定	148
4.5	随行程和位置联动的自适应模拟变压边力优化	149

4.5.1 成形过程中各质量指标的评价方法	149
4.5.2 基于PID闭环控制的自适应模拟变压边力优化模型	154
4.5.3 基于自适应模拟的压边力优化设计实例	160
参考文献	182
第5章 汽车板冲压成形质量稳健控制技术	185
5.1 引言	185
5.2 冲压成形稳健设计方法	186
5.2.1 稳健设计概念与基本方法	186
5.2.2 板料成形影响因素和质量评价指标	189
5.2.3 冲压成形稳健设计流程	193
5.3 冲压板料材料性能统计分析	194
5.3.1 板料成形中材料性能的统计学描述	194
5.3.2 DC03 钢板的统计学描述实例	196
5.3.3 结果与讨论	200
5.4 板料冲压成形过程中工艺参数分析	204
5.4.1 模具因素	204
5.4.2 冲压因素	206
5.4.3 坯料因素	207
5.4.4 互动因素	208
5.5 板料冲压成形的分区间高精度响应面模型	208
5.5.1 板料成形分区间响应面模型建立方法	209
5.5.2 板料成形分区间响应面模型的校验	213
5.6 特征件冲压成形稳健解及容差设计	214
参考文献	222
第6章 精益成形技术的应用	224
6.1 引言	224
6.2 冲压成形敏感因素分析	226
6.2.1 某车型车门内板成形过程仿真	226
6.2.2 车门内板成形敏感因素分析	228
6.3 基于变压边力的大梁回弹控制	232
6.3.1 大梁回弹现象描述	232
6.3.2 基于变压边力的大梁回弹控制方法	233
6.4 行李箱盖内板冲压成形工艺稳健设计	236
6.4.1 行李箱盖内板产品质量指标	237
6.4.2 成形影响因素分析	239

6.4.3 响应面模型的建立与分析	243
6.4.4 成形质量指标的随机分析	246
6.4.5 考虑随机波动偏差的稳健工艺优化	247
参考文献	252

第1章 绪论

1.1 汽车板使用技术

汽车板技术包括冶炼技术、轧制技术和使用技术三个方面。前两个方面是以钢铁企业为中心的技术，而汽车板使用技术是钢铁企业以自身产品特点为出发点，满足汽车企业规模化生产的要求，向汽车企业延伸的技术。随着现代汽车技术的发展，车身制造亦面临着轻量化、柔性化、全球化生产的迫切要求，汽车板材料性能日趋多样化，冲压件形状和成形工艺日趋复杂化，汽车板使用技术在轿车的设计与制造中占有非常重要的地位。

1.1.1 汽车板的发展现状

汽车工业经过 100 多年的快速发展，2007 年全球汽车年产量达到 7400 多万辆，保有量达到 9.2 亿辆。汽车工业的发展对汽车板不断提出新要求，2007 年世界汽车板用量达到 5000 多万吨。我国是近 10 年来汽车工业发展最快的国家，实现了年均 15% 的增长率，超过世界同期汽车年均增长率的 10 倍，其中轿车的增长率最高。我国汽车板的发展与汽车工业同步增长，10 年来国内汽车板供应能力在直线上升。2007 年我国汽车产量 880 万辆，汽车板供货达到 550 万吨。据预测，我国乘用车市场将以每年 15% 以上的速度增长，国内汽车钢板的市场规模到 2010 年将增至 800 万吨以上。

汽车轻量化和高安全性需求推动钢铁企业加速开发新的汽车板材品种。为抢夺汽车板材市场，全球钢铁企业正在进行一场品质、技术升级的竞争。目前新日铁在亚洲，法国阿塞洛（Arcelor）在欧洲，美国钢铁公司（USS）在美洲的汽车板市场都占有举足轻重的地位，韩国浦项（POSCO）及中国宝钢发展迅猛。国内，除宝钢外，鞍钢、首钢、武钢等国内主要钢厂也将汽车板定位为主导产品。

车身部件可分为覆盖件、结构件和增强部件。根据汽车设计的要求，不同车身零件对钢板的要求也不尽相同，主要体现在钢板的性能、规格和表面状态等方面。如车身外覆盖件用钢板需要高的表面质量、较强的抗凹陷性能和良好的形状稳定性，车身后内覆盖件用钢板需要良好的成形性和耐蚀性，车身结构件用钢板则需要高强度、高抗疲劳性能、良好的焊接性能和高碰撞吸收能等性能。如此众多的个性化需求，导致汽车板品种繁多。由过去 CQ、DQ 低冲压级别的低碳钢板

发展到 DDQ、EDDQ、SEDDQ 深冲、超深冲级别钢板和深冲性能良好的铝板、不锈钢板等。

为满足减重节能的要求,汽车钢板的强度级别也不断上升,20 世纪 70 年代初是微合金钢和含磷合金钢,80 年代前期是双相钢 (DP)、烘烤硬化钢 (BH) 及无间隙原子钢 (IF),90 年代开发出强度更高的微合金钢 (各向同性钢)、相变诱发塑性 (TRIP) 钢。最近研制出室温抗拉强度达到 1400MPa 以上的高合金超高强度钢。各种高强度钢板的性能和应用如图 1-1 所示。汽车钢板表面状态由过去的纯裸板发展到各种电镀、热镀、合金化镀、复合镀层及涂层板、光亮板等。根据钢板厚度和表面状态的不同可将汽车板分为热轧板、热轧酸洗板、冷轧板、电镀锌板、电镀锌镍板、热镀锌和热镀锌合金化钢板等。

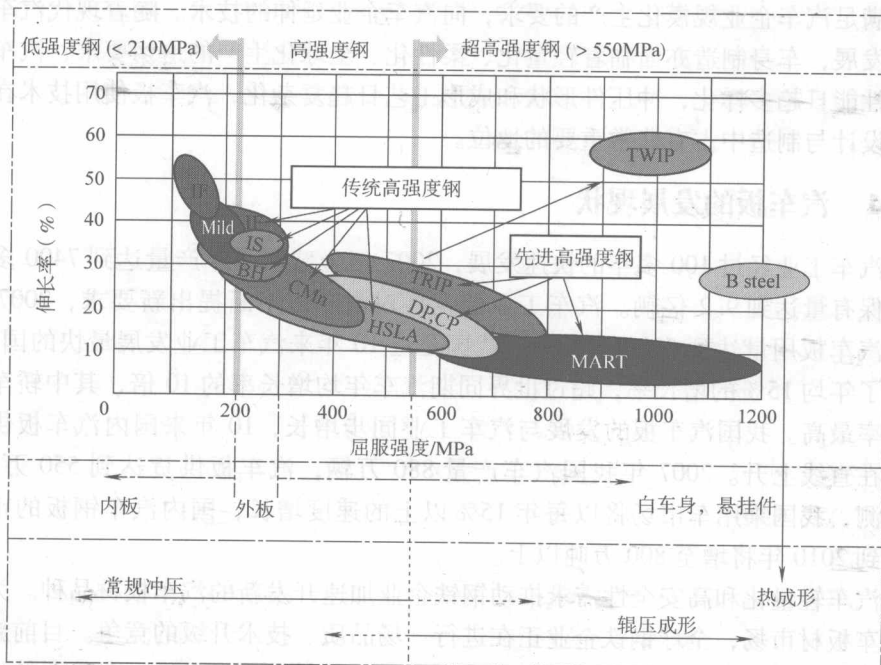


图 1-1 各类型钢板的强度分类及其应用

IF—无间隙原子钢 Mild—软钢 IS—各向同性钢 BH—烘烤硬化钢 CMn—碳锰钢 DP—双相钢
CP—复相钢 HSLA—高强度低合金钢 TRIP—相变诱发塑性钢
MART—马氏体钢 TWIP—孪生诱发塑性钢 B steel—硼钢

目前,高强度钢板是汽车用钢板的主要发展趋势,在国外汽车工业的规模化生产中已经得到了普遍应用。代表汽车轻量化技术先进水平的国际超轻车身项目 (ULSAB) 经过 10 多年的研究表明,先进高强度钢板的使用代表了未来汽车轻量化用材的发展方向。该计划预计 2010 年推出的概念车型中先进高强度钢板在

整车用材的比重将超过 60%。以通用、福特和克莱斯勒三大汽车公司为代表的北美汽车用高强度钢板表现出同样的发展趋势,预计 2010 年后北美汽车用钢板将更新换代,目前以 IF 钢为主的软钢系列将被高强度钢板系列替代,高强度低合金钢将被双相钢和超高强度钢板替代。在保时捷 Cayenne (2002) 车型中,已经将多种先进的高强度钢板应用于 A 柱、B 柱、后纵梁、座椅横梁、前纵梁等零件的制造中,使得该车型中高强度钢板用量占 65% 以上,其中 DP600 占 20%, TRIP700 占 4%, CPW900 占 2%。相比之下,我国汽车车身用高强度钢板明显不足,仅为 8%~10% 左右。随着车型的不断更新换代和国内汽车燃油政策的出台,国内汽车轻量化的需求越来越高,对汽车用高强度钢板的需求也越来越强烈。

1.1.2 汽车板使用技术的研究现状

汽车板使用技术能够促进钢铁企业与汽车企业上下游之间技术的衔接,对汽车车身制造缺陷进行早期的预测和控制,实现钢铁工业的汽车板新品种与汽车制造企业的新车型同步开发,为汽车制造提供适合设计和工艺要求的系列化汽车板,使汽车企业实现最合理用材。

20 世纪 80 年代,钢铁企业和汽车制造企业之间尚未形成完整的产业链,钢铁企业对汽车企业采取“牌号供货”的模式,而汽车企业也往往忽略了汽车板产品的个性特点,缺少针对性地进行成形工艺和模具设计,造成废品率升高和制造成本上升。近 30 年来,许多生产汽车板的钢铁企业相继与汽车企业建立了战略合作关系,联合开展汽车板使用技术的研究。

汽车板产量位居世界第一的米塔尔—阿塞洛公司在企业内部设有阿塞洛汽车部 (Arcelor Auto),专门从事汽车板的生产、研发及技术服务。阿塞洛公司在欧洲有 23 个与汽车工业相关的技术服务中心和 5 个研发试验室,约有 150 名研究人员长期从事汽车板的钢种与应用技术的研究,如冲压模拟、部件性能和焊接等研究工作。阿塞洛在全球钢铁企业界中第一个与汽车制造公司建立起紧密的战略协作关系,直接参与汽车产品的开发、设计和生产的全过程。2002 年以来,阿塞洛集团在西欧、东欧、底特律和东京建立了新的技术中心,进一步强化了与轿车厂和设备制造商的合作关系。

新日铁是日本最大的钢铁公司,也是亚洲地区汽车用钢板最具有竞争力的企业。该公司的汽车用镀锌板和高性能汽车板材的生产技术在世界上具有优势。它生产汽车钢材实行产品“差异化”市场战略,即避免与其它钢铁业界同行生产雷同化的产品,坚持不懈地开发生产其他企业生产不了或生产量较少的市场短线、高档产品。这与其不断加强自身研发投入,保持“技术尖端”的地位是分不开的。

USS 是美国最大的汽车板生产企业。为适应汽车生产对钢材需求的迅速扩大和质量性能不断提高的要求, USS 钢铁公司将它的汽车板生产部门专门分离出来, 成立汽车中心。汽车中心最主要的职能特征是将汽车用钢材的研究开发机构和销售机构结合为一个整体, 其内部设有研究开发、试验检验和营业销售三个部门。

德国蒂森克虏伯公司与日本钢铁株式会社 (JFE) 建立的 EVI 项目是世界上汽车板使用技术的典范。EVI (Early Vendor Involvement) 项目使材料供应商参与到日本汽车厂商和零部件供应商有关新车型零部件的早期研发阶段, 充分了解用户对原材料的性能要求, 从而为客户提供更高性能的材料以及个性化的服务。

宝钢是我国最大的汽车板生产企业。截至 2006 年 11 月, 宝钢汽车板产量累计达 1500 万吨, 满足了国内 2000 万辆轿车的原材料需要。历年宝钢汽车板产量与中国汽车产量发展情况如表 1-1 所示。目前我国轿车工业的汽车板已从 20 世纪 90 年代基本依赖进口转变为主要立足于国内供货, 国产板占有率升至 70% 以上, 进口板的比例已降至 20% 左右, 其中宝钢汽车板的国内占有率持续稳定在 50% 左右。

表 1-1 历年宝钢汽车板产量与中国汽车产量发展

年 度	1994	1996	1998	2000	2002	2004	2007
国内汽车产量/万辆	130	150	160	200	320	420	880
国内轿车产量/万辆	25	30	50	60	100	220	480
宝钢汽车板产量/万 t	50	60	75	90	130	190	340

我国汽车工业生产具有欧系、日系、美系等世界各“流派”的车型, 车型品种非常繁杂, 我国钢铁企业要在如此复杂汽车板需求市场上占据较高的市场份额, 必须具备较为全面的汽车板供求的适应能力。针对中国轿车工业的特点, 宝钢 1999 年开始对国内各大汽车厂的市场进行细分, 尝试实施先期介入, 将用户技术服务贯穿于从设计开始的整个汽车制造过程。于 2000 年建立汽车板使用技术中心, 先期介入汽车新车型的研发, 通过合作开发来提升国产汽车板的研发和生产水平, 加快中国汽车板的发展。宝钢的汽车板牌号已从 1992 年不到 10 种, 至 2005 年增加到 200 多种, 覆盖了热轧、酸洗、普冷、热镀锌、电镀锌等品种。汽车板的研发重点也从 20 世纪 90 年代初期以深冲性能、表面质量、镀层为主, 逐步转变为以高强汽车板为主攻方向。

宝钢汽车板使用技术先后经历了 4 种模式, 即以一汽小红旗国产化为代表的产品开发延伸型工作模式, 以通用别克为代表的用户投产支持型工作模式, 以一汽海南为代表的模具设计支持型工作模式, 及以奇瑞汽车为代表的成本、性能优化型工作模式。现在以上海大众新一代轿车帕萨特 B5 和 POLO 轿车用钢板国产

化为代表,形成了包括从钢板开发、制造到使用的系统技术,实现了国内轿车用钢板从“零件国产化”到“材料国产化”的转变,带动了汽车板生产整体工艺水平和产品质量的大幅提高,实现了汽车板的研发与新车型技术发展的“同步”,为汽车新车型开发提供了有力支撑。

在汽车板成形技术领域,30多年来许多学者进行了大量的研究工作,为汽车板使用技术奠定了坚实的理论基础。日本学者中川威雄在20世纪80年代初出版的《板料冲压加工》一书中,对低碳钢的冲压成形工艺,包括模具设计和工艺规划,进行全方位的研究,做出了较大贡献。近年来,美国福特汽车公司 C. T. Tang 领导的先进制造组,美国俄亥俄州立大学 Taylan Altan 教授领导的 Net Shape Manufacturing 研究中心、美国密西根大学吴贤铭先进制造技术中心、美国西北大学曹简教授领导的金属板料成形研究试验室、加拿大滑铁卢大学 M. J. Worswick 教授领导的管液压胀形和金属板料成形研究所、德国斯图加特大学 Mathias Liewald 教授所带领的金属板料成形研究所、亚琛工业大学塑性成形研究院,以及国内的上海交通大学、湖南大学、哈尔滨工业大学、吉林大学、北京航空航天大学等均在这一领域针对新型汽车板材和成形技术开展了大量的工作,包括材料本构模型开发、仿真分析、模具设计与制造、成形工艺与设备等。

1.1.3 汽车板使用技术的挑战

在市场竞争日益激烈的情况下,如何保证车身冲压件在低成本条件下批量稳定生产成为各汽车制造厂和汽车板生产企业共同面临的难题。解决这一难题必须实现以下三个基本目标:①合理选材;②最大限度地利用材料性能;③采用最低成本控制成形质量的稳定性。根据当前汽车板材料和成形工艺发展的特点,实现低成本条件下冲压件废品率的控制是对汽车板使用技术提出的重大挑战。

先进汽车企业的冲压件废品率控制目标为3‰~4‰(如大众汽车集团)。20世纪90年代末,国内汽车企业冲压件的废品率较高,尤其是大型复杂车身覆盖件废品率高达5%,如侧围外板、翼子板、门内板、后盖内外板等冲压件的废品率普遍较高。在批量稳定供货之前,冲压件往往需要经历较长的产品设计、模具开发调试周期,某些车身覆盖件前期调试阶段需要耗费500张以上的板料进行试模,才能进入小批量生产调试阶段。近年来,随着冲压工艺的发展,起皱、开裂等缺陷大幅减少,而瘪塘、波纹、硬点、拉毛、过度减薄、颈缩等在整个缺陷中所占的比例有所上升。因此,冲压件质量控制重点已经从20世纪90年代末侧重于起皱、开裂等缺陷的控制发展到现阶段的形状尺寸精度和面型畸变质量控制,冲压件质量控制难度也相应增大。

车身冲压件废品率由设计因素和随机因素两方面决定。设计因素包括产品、

模具及冲压工艺设计、汽车板选材等方面。设计因素不合理往往造成冲压模具及工艺调试初期的起皱、开裂及尺寸精度等质量缺陷问题,消除这一类缺陷只有通过提高材料变形行为的预测精度、不断发展先进的塑性成形理论来解决。随机因素包括汽车板材料性能的波动、工艺及设备参数的波动等,属于不可控因素。随机因素的波动往往造成产品批量试制及生产期间废品率的升高,表现为尺寸异常波动、表面缺陷增加等,这类缺陷很难通过正常的工艺调试来消除,6 σ 理论为消除这类质量波动提供了有效手段。然而,单独应用先进塑性成形理论或6 σ 理论,都无法全面消除以上两大类质量问题,因为先进塑性成形理论无法消除随机因素对冲压件质量稳定性的影响;6 σ 理论将冲压件废品率控制在5 σ 水平后就很难再进一步提高。因此,只有在精益思想的指导下,通过先进塑性成形理论和6 σ 理论的结合,才能有效解决低成本条件下冲压件批量稳定生产的难题。

1.2 精益六西格玛与零缺陷冲压

20世纪80年代,生产管理和质量管理领域分别基于企业实践,并加以理论提升形成了两个革命性的理论,即精益生产与六西格玛管理。分别发源于日本与美国的这两种理论,在美国、欧洲、日本的汽车行业得到了很好的推广和实践。精益生产侧重提高流程效率,六西格玛侧重降低流程波动,两者结合,产生巨大的变革能量和创造利润的动力。随着中国汽车行业的发展,精益生产和六西格玛逐渐在我国汽车行业得到重视。宝钢等汽车板生产企业与上海通用、上海大众等汽车制造企业均通过精益生产和六西格玛的综合实施,提高了产品质量,降低了成本,提高了企业的全球竞争力。

1.2.1 精益思想对成形技术的启示

精益生产起源于日本丰田生产方式。丰田生产方式是丰田英二和大野耐一“以彻底杜绝浪费的思想为基础,追求制造汽车的合理性而创造出来的生产方式。”“精益(Lean)”,精,即少而精,不投入多余的生产要素,只是在适当的时间生产必要数量的市场急需产品(或下道工序急需的产品);益,即所有经营活动都要有益有效,具有经济性。精益生产是当前工业界最佳的一种生产组织体系和方式,可以确保产品质量并降低成本。汽车板的精益成形就是最大限度地发挥材料性能,生产最好质量的冲压件。

在设计过程解决产品的质量问题的话可以达到事半功倍的效果,越是在产品生命周期的前端采取措施,对产品质量提高的效果就越明显。质量是设计出来的,提高产品质量,应该从设计源头入手。在汽车板的工艺设计中,贯彻精益生产的思

想和方法,有助于从系统工程的角度及早发现质量问题,将质量问题消灭在产品设计的源头,从而降低成本,提高效率。

1. 在产品前期解决质量问题 汽车板的精益成形技术通过加强钢铁企业和汽车制造企业之间的协作,围绕高质量低成本的目标,解决高强材料性能精确评价、复杂成形工艺优化设计和成形质量稳定控制技术的难题,通过“合理选材、优化工艺、稳健设计”的综合,从产品设计的源头建立新的汽车板成形技术体系和方法,形成涵盖材料、成形工艺以及质量稳定控制技术等方面的系统工程。

2. 精益设计整体优化 精益设计是从整体上、系统上进行优化,从而达到高水平的一种设计状态。精益设计是对整个设计进程、设计流程及设计系统本身在市场上具备竞争力的具体的支撑和体现。

3. 精益设计获取较低的成本 以前在生产制造环节讲求质量效能、成本控制,现在在设计过程也需要追求高质量、高效能、低成本,就是将“精益”的思想从制造向设计环节延伸。在设计的一个环节、步骤、流程中都尽可能地使用最优的方案,同时又能够在设计活动中对产品设计的流程和状态进行精确控制和优化,实现设计产品价值最高,成本最低,避免产品生产后期对设计的更改,也就是精益设计。数字化技术为精益设计的实现提供了强大的工具,扩展了精益在制造企业中应用的范围。

1.2.2 精益六西格玛

六西格玛的目标是把缺陷产品控制在低于百万分之3.4。六西格玛的典型步骤包括D(定义)、M(测量)、A(分析)、I(改善)、C(控制)五大阶段,简称DMAIC。侧重以数据驱动的观点,结合许多统计方法和工具,如FMEA(失效模式后果分析)、SPC(统计过程控制)、MSA(测量系统分析)、ANOVA(方差分析)、DOE(试验设计)等方法以及相关软件的应用,达到降低制造的偏差,降低成本的目标。

将精益和六西格玛相互融合就能发挥最佳效果。传统的精益是一种消除浪费的方法,而六西格玛则是一种消除缺陷并减少流程波动的方法,主要偏向于对企业流程质量的控制。精益六西格玛能够改进流程,消除缺陷,减少波动。

在车身覆盖件制造过程中,除了板料性能的波动造成冲压成形质量的波动外,由工艺参数的波动造成冲压质量波动的控制更加困难。冲压工艺参数波动可分为以下四类:①模具因素:坯料在模具中位置、模具对中、模具抛光、模具所用材料及刚度等;②冲压因素:冲头与冲床的垂直度与平行度、闭合高度、压边力、压机类型、压机刚度等;③坯料因素:坯料尺寸、坯料形状、上料机械手位