

普通高等教育“十二五”规划教材

金属板料成形工艺 与模具设计

陈文琳 主 编
陈学文 曹晓卿 副主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

金属板料成形工艺 与模具设计

主 编 陈文琳

副主编 陈学文 曹晓卿

参 编 关 明 曹建国 马 勇 张 涵

主 审 李志刚 刘全坤



机 械 工 业 出 版 社

本书是根据教育部高等学校材料成形及控制工程专业人才培养目标和教学计划的要求编写的。主要介绍金属板料冲压成形工艺与模具设计。第1章介绍了板料冲压工艺的特点、分类,冲压技术的发展,冲压材料及冲压设备;第2~4章重点介绍了冲裁、弯曲、拉深等成形工艺的特点、工艺计算以及模具设计;第5章介绍了其他的一些塑性成形方法,如胀形、翻边、缩口与扩口以及旋压和无模多点成形等;第6章介绍了多工位级进模的设计;第7章介绍了汽车覆盖件成形工艺设计及利用计算机技术进行模具设计的方法;第8章介绍了冲压工艺设计及典型实例。

本书可作为高等院校材料成形及控制工程专业、机械制造及自动化专业的本科生教材,也可供企业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属板料成形工艺与模具设计/陈文琳主编. —北京:机械工业出版社, 2011. 12

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-36263-0

I. ①金… II. ①陈… III. ①金属板—成型—高等学校—教材②金属—模具—设计—高等学校—教材 IV. ①TG35②TG38

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第220361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:冯春生 责任编辑:冯春生 丁昕祯

版式设计:张世琴 责任校对:张媛

封面设计:张静 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2012年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·17.5印张·434千字

标准书号:ISBN 978-7-111-36263-0

定价:33.00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

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

普通高等教育“十二五”规划教材 编审委员会

主任委员 李荣德 沈阳工业大学

副主任委员 (按姓氏笔画排序)

方洪渊 哈尔滨工业大学

朱世根 东华大学

邢建东 西安交通大学

李永堂 太原科技大学

聂绍珉 燕山大学

王智平 兰州理工大学

许并社 太原理工大学

李大勇 哈尔滨理工大学

周 荣 昆明理工大学

葛继平 大连交通大学

委 员 (按姓氏笔画排序)

丁雨田 兰州理工大学

王卫卫 哈尔滨工业大学 (威海)

邓子玉 沈阳理工大学

刘金合 西北工业大学

毕大森 天津理工大学

闫久春 哈尔滨工业大学

张建勋 西安交通大学

李 桓 天津大学

李亚江 山东大学

周文龙 大连理工大学

侯英玮 大连交通大学

赵 军 燕山大学

黄 放 贵州大学

薛克敏 合肥工业大学

文九巴 河南科技大学

计伟志 上海工程技术大学

刘永长 天津大学

华 林 武汉理工大学

许映秋 东南大学

何国球 同济大学

李 尧 江汉大学

李 强 福州大学

邹家生 江苏科技大学

武晓雷 中国科学院

姜启川 吉林大学

梁 伟 太原理工大学

蒋百灵 西安理工大学

戴 虹 西南交通大学

秘 书 长 袁晓光 沈阳工业大学

秘 书 冯春生 机械工业出版社

塑性成形及模具教材编委会

顾问

王仲仁 哈尔滨工业大学
聂绍珉 燕山大学

俞新陆 清华大学

主任委员 李永堂 太原科技大学

副主任委员 (按姓氏笔画排序)

邓子玉 沈阳理工大学
华 林 武汉理工大学
陈拂晓 河南科技大学
赵 军 燕山大学

刘建生 太原科技大学
许映秋 东南大学
周文龙 大连理工大学
薛克敏 合肥工业大学

委员 (按姓氏笔画排序)

于宝义 沈阳工业大学
王雷刚 江苏大学
石连升 哈尔滨理工大学
刘守荣 中国农业大学
毕大森 天津理工大学
闫 洪 南昌大学
侯英玮 大连交通大学
郝滨海 山东大学
曹建国 四川大学
董湘怀 上海交通大学

王 群 湖南大学
冯再新 中北大学
刘全坤 合肥工业大学
吕 琳 重庆理工大学
池成忠 太原理工大学
李国禄 河北工业大学
姚兴军 华东理工大学
袁子洲 兰州理工大学
梅 益 贵州大学
霍晓阳 河南理工大学

秘书长 宋建丽 太原科技大学
秘 书 冯春生 机械工业出版社

前言

本书是根据教育部高等学校材料成形及控制工程专业人才培养目标和教学计划的要求编写的。本书的教学参考时数为 32~48 学时。书中的部分内容是兼顾本科生的课程设计与毕业设计的内容与要求而编写的。

冲压技术应用十分广泛,特别是近年来随着汽车工业、家电、电子等行业的发展,企业对冲压技术及模具设计的人才需求逐年增多。“金属板料成形工艺与模具设计”这门课成为了机电类专业和材料成形及控制工程专业的主修专业课之一。本书是在吸收同类教材特点以及企业对模具专业人才在冲压技术领域的知识、能力、素质的要求和从事教学所积累的经验 and 体会的基础上编写的。

本书共 8 章,主要介绍金属板料成形工艺与模具设计。第 1 章介绍了板料冲压工艺的特点、分类,冲压技术的发展,冲压材料及冲压设备;第 2~4 章重点介绍了冲裁、弯曲、拉深等成形工艺的特点、工艺计算以及模具设计;第 5 章介绍了其他的一些塑性成形方法,如胀形、翻边、缩口与扩口以及旋压和无模多点成形等;第 6 章介绍了多工位级进模的设计;第 7 章介绍了汽车覆盖件成形工艺设计及利用计算机技术进行模具设计的方法;第 8 章介绍了冲压工艺设计一般步骤及典型实例。

本书的编写原则是使教师在有限的专业课时间内,培养学生以理论知识为基础,学会专业设计的思路和基本方法,达到具有从事实际工作的基本能力的目的,每章中都有大量的图片以增强直观性,用具体的实例加强本章内容的具体性,内容尽可能少而精。本书主要有以下特点:

1) 在阐明冲压工艺基本原理的基础上,让学生掌握设计冲压工艺和冲压模具结构的基本方法,把握冲压工艺、模具、设备、材料、产品质量和冲压经济性之间的关系。

2) 教材中引用了大量的图、表、照片和实例,便于学生的课程设计与毕业设计,增强了教材的实用性和先进性。

3) 每章附有思考题,以引导学生思维,巩固学习成果。

合肥工业大学陈文琳编写第 1 章、第 3 章的 3.1~3.4 节和第 7 章的 7.3、7.4 节以及附录;河南科技大学陈学文编写第 2 章的 2.1~2.3 节、2.5 节;太原理工大学曹晓卿编写第 4 章;太原科技大学关明编写第 6 章;四川大学曹建国编写第 2 章的 2.4 节,第 5 章,第 7 章的 7.1、7.2 节;合肥工业大学马勇编写第 8 章;兰州理工大学张涵编写了第 3 章的 3.5 节。全书由合肥工业大学陈文琳统稿。

本书由华中科技大学李志刚教授和合肥工业大学刘全坤教授主审。本书在编写过程中得到了机械工业出版社的大力支持和帮助,得到了合肥工业大学材料学院同仁和学生的支持,并参考了一些兄弟院校的反馈意见,在此表示诚挚的感谢。

由于作者水平有限,书中难免会有错误和不足之处,恳请读者批评指正。

编者

目 录

前言

第1章 冲压工艺概述 1

1.1 冲压特点及应用 1

1.1.1 冲压成形特点 1

1.1.2 冲压加工在制造业中的应用 2

1.2 冲压工艺分类 2

1.2.1 按冲压工序分类 2

1.2.2 按模具的形式分类 4

1.3 冲压技术的发展 4

1.3.1 冲压工艺的发展 4

1.3.2 冲压模具的发展 5

1.3.3 模具材料与表面处理技术的发展 6

1.4 冲压用材料 6

1.4.1 冲压对材料的基本要求 7

1.4.2 材料力学性能与冲压成形性能的关系 7

1.4.3 冲压常用材料 8

1.4.4 冲压用新材料及其性能 9

1.5 冲压设备 11

1.5.1 曲柄压力机 11

1.5.2 高速压力机 14

1.5.3 伺服压力机 15

1.5.4 液压机 16

思考题 16

第2章 冲裁工艺与模具设计 18

2.1 冲裁分析 18

2.1.1 冲裁变形过程 18

2.1.2 断面分析及冲裁件质量 20

2.2 冲裁工艺设计 26

2.2.1 冲裁件的工艺性分析 26

2.2.2 冲裁工艺设计 29

2.3 冲裁模设计 38

2.3.1 冲裁模的分类及典型结构分析 38

2.3.2 冲裁模的结构设计 43

2.4 精密冲裁工艺及模具 66

2.4.1 精密冲裁的工艺特点 67

2.4.2 精密冲裁工艺 68

2.4.3 精冲模设计要点 71

2.4.4 精冲模结构及特点 74

2.5 冲裁模设计举例 75

思考题 79

第3章 弯曲工艺与模具设计 80

3.1 弯曲变形分析 80

3.1.1 弯曲过程 80

3.1.2 弯曲变形特点 81

3.1.3 弯曲变形区的应力应变分析 81

3.1.4 弯曲变形程度 83

3.2 弯曲质量 83

3.2.1 最小相对弯曲半径 83

3.2.2 回弹 86

3.2.3 弯曲裂纹 89

3.2.4 板料弯曲的其他质量问题 90

3.3 弯曲工艺设计计算 90

3.3.1 弯曲毛坯长度 90

3.3.2 弯曲力的计算 93

3.4 弯曲模设计 94

3.4.1 弯曲件的结构工艺性要求 94

3.4.2 弯曲模结构设计 95

3.4.3 弯曲模工作部分尺寸设计 99



3.5 弯曲模设计举例	102	第5章 局部成形	156
思考题	104	5.1 胀形	156
第4章 拉深工艺及模具设计	105	5.1.1 胀形成形特点及成形极限	156
4.1 拉深变形过程分析	105	5.1.2 起伏成形	157
4.1.1 拉深变形过程	105	5.1.3 管形凸肚	159
4.1.2 拉深过程中毛坯各处的应力应变 状态	106	5.1.4 张拉成形	161
4.1.3 拉深过程的力学分析	107	5.2 翻边	162
4.1.4 拉深缺陷及防止措施	110	5.2.1 内孔翻边	162
4.2 拉深毛坯尺寸的确定	112	5.2.2 外缘翻边	167
4.2.1 毛坯形状和尺寸确定的依据	112	5.2.3 特殊翻边模结构	168
4.2.2 旋转体拉深件毛坯尺寸的确定	113	5.3 缩口与扩口	169
4.2.3 盒形件拉深毛坯的形状与尺寸 的确定	115	5.3.1 缩口	169
4.3 直壁圆筒形件的拉深工艺	116	5.3.2 扩口	172
4.3.1 拉深系数	116	5.4 其他成形工艺	172
4.3.2 拉深次数及工序尺寸的确定	119	5.4.1 旋压	172
4.3.3 压边力与拉深力的确定	120	5.4.2 无模多点成形	175
4.4 其他形状零件的拉深工艺	124	思考题	176
4.4.1 带凸缘圆筒形件的拉深	124	第6章 多工位级进模	177
4.4.2 阶梯形零件的拉深	128	6.1 概述	177
4.4.3 轴对称曲面形状零件的拉深	129	6.1.1 多工位级进模的特点	177
4.4.4 盒形件的拉深	132	6.1.2 多工位级进模设计要点	178
4.5 拉深件的工艺性	136	6.2 多工位级进模排样设计	180
4.5.1 拉深件的公差	136	6.2.1 多工位级进模排样设计原则	181
4.5.2 拉深件的结构工艺性	136	6.2.2 多工位级进模排样设计考虑的 因素	181
4.6 拉深模设计	137	6.2.3 多工位级进模排样载体的设计	184
4.6.1 拉深模分类及典型结构	137	6.2.4 多工位级进模工位与工序顺序 确定	188
4.6.2 拉深模工作部分的结构和尺寸 设计	140	6.2.5 多工位级进模步距与定距方式 的确定	190
4.7 拉深工艺的辅助工序	144	6.3 多工位级进模连续拉深工艺	193
4.7.1 润滑	144	6.3.1 带料级进连续拉深的分类	194
4.7.2 热处理	145	6.3.2 带料级进连续拉深的工艺计算	195
4.7.3 酸洗	145	6.4 多工位级进模结构及零部件 设计	196
4.8 其他拉深方法	146	6.4.1 多工位级进模典型结构剖析	196
4.8.1 软模拉深	146	6.4.2 工作部分零部件设计	199
4.8.2 差温拉深	147	6.4.3 卸料装置设计	202
4.8.3 脉动拉深	148	6.4.4 导正销设计	204
4.8.4 变薄拉深	148	6.4.5 自动送料装置设计	206
4.9 拉深模设计举例	150	6.4.6 安全检测保护装置设计	208
思考题	155		



6.5 多工位级进模设计实例	210	8.1.1 模具设计的原始资料	231
思考题	214	8.1.2 模具设计的基本要求	231
第7章 汽车覆盖件成形	215	8.1.3 模具设计的主要内容及步骤	232
7.1 概述	215	8.2 玻璃升降器外壳的工艺设计	233
7.1.1 汽车覆盖件特点	215	附录	249
7.1.2 覆盖件冲模的分类	216	附录A 冲压常用材料的性能和规格	249
7.1.3 覆盖件的主要成形缺陷及其防止措施	217	附录B 几种冲压设备的技术规格	254
7.2 覆盖件拉深工艺设计	218	附录C 金属冲压件未注公差尺寸的极限偏差	259
7.2.1 拉深件的冲压方向	219	附录D 常用冲模材料及热处理要求	260
7.2.2 工艺补充面	220	附录E 冲模零件的精度、公差配合及表面粗糙度	262
7.2.3 压料面的设计	222	附录F 几种冲模模架	263
7.2.4 拉深筋和拉深槛	223	附录G 中外主要模具用材料对照表	269
7.3 覆盖件模具设计	223	参考文献	271
7.4 覆盖件工艺设计举例	226		
思考题	230		
第8章 冲压工艺设计及典型实例	231		
8.1 冲压工艺与模具设计的内容及步骤	231		

第 1 章 冲压工艺概述

金属板料冲压是金属塑性成型的基本方法之一，它是利用模具在压力机上对板料施加压力使其分离或发生塑性变形，从而得到一定形状，并且满足一定使用要求的零件的加工方法。由于板料冲压大多在室温下进行，所以又称为冷冲压。

1.1 冲压特点及应用

1.1.1 冲压成形特点

板料冲压是现代制造业中高效、先进的金属加工方法之一，其冲压工艺过程如图 1-1 所示。

冲压离不开模具、冲压设备和板料，称其为冲压三要素，如图 1-2 所示。

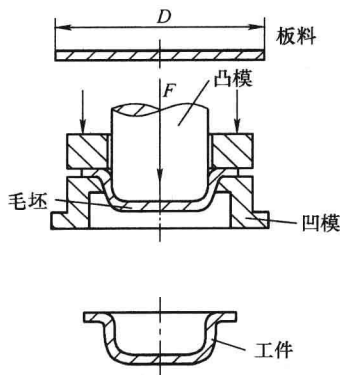


图 1-1 冲压工艺过程简图

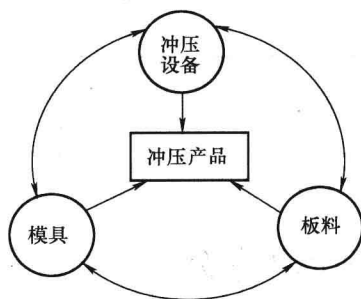


图 1-2 板料冲压三要素

与其他加工方法（如切削）比较，冲压成形具有如下特点：

1) 冲压产品一般不需要加热成形，不像切削加工那样切削金属，产品表面较好，不但节约能源，而且节约材料，材料利用率一般可达 70% ~ 85%，批量生产成本低，经济效益好。

2) 冲压产品的精度和复杂程度由模具精度和形状来保证，可冲压出壁薄、刚性好、质量轻且形状复杂的产品。

3) 冲压产品成形过程是金属板料在模具的作用下，内部产生塑性变形，不仅成形了产品形状，而且改善了金属内部组织，提高了力学性能。



4) 冲压产品利用模具来加工, 产品的质量稳定、互换性好, 在一般情况下可以直接满足使用和装配要求, 同时操作简单, 对工人技术要求不高。

5) 生产效率高, 对于普通压力机每分钟可以生产几十件制品, 而高速压力机每分钟可以生产几百甚至上千件制品, 所以它是一种高效率的加工方法, 便于实现机械化和自动化。

6) 冲压模具要求高、制造复杂、周期长、制造费用高, 因而在小批量生产中受到限制。

7) 冲压加工如采用手工操作则劳动强度大, 安全性差, 易发生事故。

综上所述, 冲压产品具有表面质量好、重量轻、成本低、操作简单的优点, 冲压工艺在制造业中得到了广泛的运用, 有些机械设备往往以冲压件占的比例多少作为评价其结构是否先进的指标之一。

1.1.2 冲压加工在制造业中的应用

冲压作为一个行业, 在国民经济中占有重要的地位。由于冲压工艺具有上述特点, 工业发达国家对冲压生产工艺的发展十分重视。据统计, 在汽车、电机、电气、仪器仪表、玩具制造等机械和民用产品的生产方面, 冲压件的比例占零件总数的 70% ~ 80%; 在日用家电行业中占 85% 以上; 在电子产品中占 90% 以上; 在航空航天工业中, 冲压件也占有较大的比例; 还有搪瓷器皿、不锈钢餐具、饮料易拉罐等都是冲压产品。由工业发达国家钢材品种的构成 (表 1-1) 可以看出冲压应用的广泛性。钢带和钢板占全部品种的 67%, 充分说明冲压这种加工方法已成为现代工业生产的重要手段和工艺发展方向。

表 1-1 工业发达国家钢材品种构成

钢材品种	钢带	钢板	棒材	型材	线材	管材	其他
所占比例 (%)	50	17	13	9	7	2	2

1.2 冲压工艺分类

根据冲压产品的形状、尺寸、公差要求、原材料的性能等的不同, 采用不同的冲压工序和模具。目前, 在生产中所采用的冲压方法很多, 根据不同的角度和不同的特点, 分类的方式也不同。冲压加工主要包括冲压工艺和模具两个方面, 冲压工艺通常可按下述方法分类。

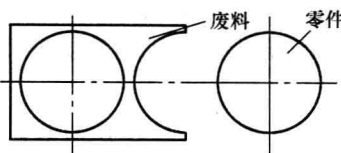
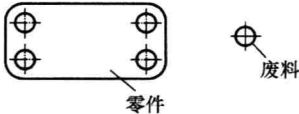
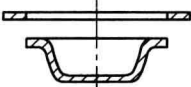
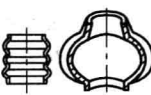
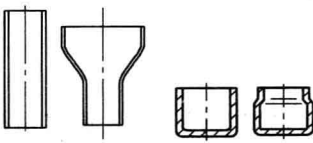
1.2.1 按冲压工序分类

根据材料的变形特点, 将冲压工艺分为分离工序和成形工序, 见表 1-2。

板料在外力作用下产生变形, 当作用在变形部分的等效力达到了材料的抗剪强度, 材料便产生剪切而分离, 从而形成一定形状和尺寸的产品。这类冲压工序统称为分离工序。

板料在外力作用下, 变形部分应力介于材料的屈服强度与抗拉强度之间, 产生塑性变形, 从而得到一定形状和尺寸的产品, 这类冲压工序统称为成形工序。

表 1-2 冲压工序分类

工序名称	简图	特点及应用范围
分离工序	落料 	用冲模沿封闭轮廓线冲切，冲下部分是零件，或为其他工序制造毛坯
	冲孔 	用冲模沿封闭轮廓线冲切，冲下部分是废料
	切边 	将成形零件的边缘修切整齐或切成一定形状
	切断 	用剪刀或冲模沿不封闭线切断，多用于加工形状简单的平板零件
成形工序	弯曲 	将板材沿直线弯曲成各种形状，可以加工形状复杂的零件
	拉深 	将板材毛坯拉成各种空心零件，还可加工覆盖件
	翻边 	将制件的孔边缘或外边缘翻出竖立或成一定角度的直边
	胀形 	在双向拉应力作用下的变形，可成形各种空间曲面形状的零件
	扩口 	使空心毛坯或管状毛坯的某个部位的径向尺寸扩大的变形方法
	校正 	为了提高已成形零件的尺寸精度或获得小的圆角半径而采用的成形方法

1.2.2 按模具的形式分类

模具是冲压三要素之一,模具的设计与制造决定着制件的质量、生产效率和生产成本。冲压模具的形式很多,分类也多种多样,可按工序的组合形式和工艺性质进行分类。

1. 按工序的组合形式分类

(1) 单工序模 当产品批量不大、形状简单、要求不高、尺寸较大时,在工艺上常采用单个工序的方案,即在一副模具内只完成产品的一个工序,此工序使用的模具称为单工序模。

(2) 多工序模 当产品批量较大、尺寸较小、公差要求较严时,用若干个分散的单工序来冲压产品是不经济的或难以达到要求的。这时在工艺上多采用工序集中的方案,即将两种或两种以上的单工序集中在一副模具内完成,称为组合工序。根据工序组合的方法,又可将冲压模具分为三类:

1) 复合模。在压力机的一次行程中,在一副模具的同一位置上同时完成两种或两种以上的单工序的冲压工序的模具。

2) 连续模(级进模)。在压力机的一次行程中,在一副模具的不同位置上同时完成两种或两种以上的单工序的冲压模具。连续冲压所完成的冲压工序依次分布在条料送进方向上,压力机每一次行程中,条料送进一个步距,同时完成相应的冲压工序。除最初几次冲压行程外,以后每次冲压行程都可以完成一个零件。

3) 连续-复合模。在一副模具内包括连续冲压和复合冲压的组合工序。

连续工序和连续-复合工序是高效率的组合工序,可使复杂零件在一副模具内冲压成形,在大批量生产中广泛采用。

2. 按工艺性质分类

在生产中,模具所完成的工序性质非常明显,也常常直接用工艺的性质来命名模具,如冲裁模、拉深模、弯曲模、胀形模、翻边模等。

1.3 冲压技术的发展

随着科学技术水平的不断提高和工业生产的迅猛发展,产品性能和质量不断提升,使得现代冲压产品正呈现多品种、大型、复杂、精密、更新换代速度快等变化特点,因此对冲压技术提出了更高的要求。而冲压技术的不断发展与工艺、理论、模具等各个方面的发展都息息相关,现分别从以下几个方面简述冲压技术的发展。

1.3.1 冲压工艺的发展

冲压成形工艺的发展与汽车、航空航天以及家用电器等行业的发展密切相关。至今,冲压产品已经深入到工业生产、生活的各个领域,因此各个国家对发展冲压生产技术都给予了高度重视,目前已发展了一些诸如精密冲裁、无毛刺冲裁、特种拉深、柔性模(软模)成形、超塑性成形等先进冲压工艺,并已广泛应用到生产实践中。随着计算机技术、信息技术、现代测控等高新技术的发展,又形成和发展了一些先进的冲压成形工艺,诸如无模多点成形、激光拼焊板成形、液压成形、电磁成形、渐进成形、爆炸成形、复合材料成形等。

冲压件的成形精度、生产率、产品质量越来越高,精密冲压的范围也越来越广,由平板零件精密冲裁拓宽到精密弯曲、精密拉深以及立体精密成形等。可加工的工件厚度由5~8mm及以下的中板或薄板发展到25mm的厚板,为了适应一些工业产品的要求,现已研制与开发了一些适合冲压成型的新材料,诸如高强度、高伸长率的钢板,以及旨在减轻重量和减少振动的各种复合板材、高强度铝合金板材等。

1.3.2 冲压模具的发展

模具是工业的基础工艺装备,在汽车生产中90%以上的零部件都需要依靠模具成形。制造一辆普通轿车约需1500套模具,其中冲压模具约占1000余套。在新车型的开发中,90%的工作量都是围绕车身型面的改变而进行的。在新车型的开发费用中,约60%用于车身和冲压工艺及装备的开发,在整车制造成本中约40%为车身冲压件及其装配的费用。

冲压模具的制造周期是影响新产品上市快慢的重要因素。以汽车模具为例,汽车冲压模具的质量在很大程度上决定了汽车本身的外观和质量,所以冲压模具是决定汽车新车型开发是否成功的关键因素。因此,国外各大汽车公司都对汽车模具的设计和制造技术的发展极为重视,各大汽车公司都有自己的模具制造厂,生产汽车关键零件的模具,特别是主要外观件所用的模具。

专业化生产是模具行业的一个显著特点,专业化分工是提高生产效率、缩短模具设计制造周期和保证模具产品质量的必然发展趋势。例如,某汽车模具中心一年承担多个整车车型的模具任务,但他们仅制造整体侧围、前翼子板、发动机罩内外板、车门内外板、行李箱内外板等主要覆盖件模具,其余均由外围协作厂完成。除了专业的汽车模具厂家外,国外还出现了一批汽车模具试制专业公司,从汽车概念设计到主模型制造,最后到样车出厂,为汽车厂提供一条龙服务,最后除了向客户提交模具设计、模具型面数字模型、试制样件外,还要提交冲压成形过程的仿真分析报告。

模具专业化生产使模具企业更加突出了自己的核心业务,有利于积累丰富的产品开发、生产管理和服务的经验,为汽车制造业客户在短期内提供高质量、低成本的模具。

模具行业发展的另一个显著特点就是各种高新技术的广泛应用,如数字化模具技术、冲压成形过程模拟、高速加工、自动化加工、拼焊板和高强度钢板冲压技术以及信息化管理技术等。数字化模具技术和冲压成形过程模拟技术的应用,使冲压工艺和模具设计正逐渐摆脱传统的依靠经验设计的方式,转变为科学的设计。汽车轻量化技术,如拼焊板和高强度钢板的应用,将汽车冲压工艺和模具设计制造技术推向了一个更高的水平。以高速加工和自动化加工为代表的先进制造技术,使汽车模具制造设备精良化,大大提高了模具的生产效率和加工精度。以管理信息系统(MIS, Management Information System)、制造执行系统(MES, Manufacturing Execution System)和企业资源计划系统(ERP, Enterprise Resource Planing)为代表的信息化管理技术,大幅提升了模具企业的管理水平,使管理更加科学化,对于缩短模具制造周期和降低模具成本发挥了重要作用。

近5年来,我国上市的数十款自主开发和合资生产的汽车,所需的模具和夹具中有50%以上是由国内汽车模具企业制造的。例如,轿车整体侧围模具过去一直依赖进口,现在国内的几家大型的汽车模具企业均能生产了。我国汽车模具行业现已具备了生产中档轿车整车模具的能力。有的轿车OEM厂商已经将B级轿车的整车模具交由我国模具企业制造,这



体现了我国汽车模具行业设计制造水平的快速提升。多功能模具、高效多件冲压模具、多工位模具以及大中型骨架件级进模等新型模具开始起步,拼焊板和高强度板模具的开发水平稳步提升。作为部分企业的新产品,这些类型的模具已开始逐步占领国内市场,有的甚至进入了国际市场。

近年来我国汽车模具行业在装备水平方面得到显著改善,无论是新兴的汽车模具企业,还是经过技术改造的老企业,都大量购置了先进的模具加工设备,包括3~5轴高速加工中心、大型龙门式加工中心、数控铣床、多轴数控激光切割机等,以及大型测量和调试设备。除了硬件设备外,大部分企业还同时配备了先进的软件,包括CAD/CAE/CAM软件和企业信息化软件。

1.3.3 模具材料与表面处理技术的发展

模具材料的质量和性能是影响模具质量、寿命和成本的重要因素。近年来,除了不断有多种高韧性和高耐磨性冷作模具钢、火焰淬火冷作模具钢、粉末冶金冷作模具钢推出外,铸铁材料也在大中型冲压模具上选用。球墨铸铁具有良好的强韧性和耐磨性,其焊接性能、可加工性、表面淬火性能也都较好,而且成本比合金铸铁低,因此在汽车冲压模具中应用较多。

小型和小批量生产用模具,常选用HT250和ZG230-450制造;大型和大批量生产用模具,多选用球墨铸铁QT600-3,QT700-7等制造;采用基体与刃口一体化的特殊铸铁材料来制作修边模,使模具的制造成本大大降低。铸铁整体刃口经表面淬火处理后,用于薄板料修边模寿命可达几十万次。新型汽车冲模材料的研究与应用,是影响汽车模具发展的一个重要问题。由于汽车模具的尺寸大、用材多,降低模具材料的成本对于增强模具产品的市场竞争力具有重要意义。

模具的表面处理除了常用的火焰淬火,一些新的表面强化处理技术也已开始应用。例如,汽车公司应用辉光等离子氮化技术,对汽车拉深模型面进行强化处理,有效提高了拉深模的表面性能。

激光表面强化技术发展迅速,并已成功地应用于汽车冲压模具中。激光表面强化技术在模具上的应用主要包括两个方面,即激光淬火和激光熔覆。激光表面强化技术,可对不同材料的模具工作表面进行强化处理,以提高模具的使用寿命和修复磨损面。对于采用合金铸铁制造的覆盖件模具,火焰淬火的硬度一般为40~50HRC,激光淬火的模具表面硬度则可达55~65HRC,硬化层的有效深度为0.5~0.7mm。激光淬火层硬度均匀,与基体有很强的结合力。由于激光加热速度快,热影响区小,所以被处理的模具变形很小。激光淬火具有较高的处理速度,通常可达 $0.5\text{m}^2/\text{h}$ 。激光熔覆技术可对模具表面局部损伤部位进行修复,覆层可与模具零件基体形成最佳的冶金结合,修复效果明显优于其他焊接方法。

1.4 冲压用材料

板料冲压性能是指板料对冲压成形工艺的适应性。板料是冲压加工三要素之一,板料的冲压性能对冲压工艺和模具设计、制造都起着至关重要的作用,掌握冲压材料的性能是制订合理工艺和模具设计的依据,对冲压工艺及模具设计具有很大的实际意义。

1.4.1 冲压对材料的基本要求

冲压对板料的要求,首先要满足产品的使用要求,如强度、刚度等力学性能要求以及某些物理要求等;其次还要满足冲压工艺要求和后续加工要求。冲压工艺对板料的基本要求如下:

(1) 对力学性能的要求 板料力学性能与冲压成形性能有着密切的关系,力学性能的指标很多,其中尤以伸长率(δ)、屈强比(σ_s/σ_b)、弹性模量(E)、硬化指数(n)和厚向异性系数(r)影响较大。一般来说,伸长率大、屈强比小、弹性模量大、硬化指数高和厚向异性系数大的有利于各种冲压成形工序。

(2) 对化学成分的要求 板材的化学成分对冲压成形性能影响很大,如在钢中的碳、硅、锰、磷、硫等元素的含量增加,就会使材料的塑性降低、脆性增加,导致材料冲压成形性能变坏。一般低碳沸腾钢容易产生时效现象,拉深成形时出现滑移线,这对汽车覆盖件是不允许的。为了消除滑移线,可在拉深之前增加一道辊压工序,或采用加入铝和钒等脱氧剂的镇静钢,拉深时就不会出现时效现象。

(3) 对金相组织的要求 由于对产品的强度要求与对材料成形性能的要求,材料可处于退火状态(或软态)(M)也可处于淬火状态(C)或硬态(Y)。使用时可根据产品对强度要求及对材料成形性能的要求进行选择。有些钢板对其晶粒大小也有一定的要求,晶粒大小合适、均匀的金相组织拉深性能好,晶粒大小不均易引起裂纹,深拉深用冷轧薄钢板的晶粒为6~8级,过大的晶粒在拉深时会产生粗糙的表面。此外,钢板中含有的带状组织与游离碳化物和非金属夹杂物,也会降低材料的冲压成形性能。

(4) 对表面质量的要求 材料表面应光滑,无氧化皮、裂纹、划伤等缺陷。表面质量高的材料,成形时不易破裂不易擦伤模具,零件表面质量好。优质钢板表面质量分为3组:I组(高质量表面)、II组(较高质量表面)和III组(一般质量表面)。

(5) 对材料厚度公差的要求 在一些成形工序中,凸、凹模之间的间隙是根据材料厚度来确定的,尤其在校正弯曲和整形工序中,板料厚度公差对零件的精度与模具寿命会有很大的影响。厚度公差分A(高级)、B(较高级)和C(普通级)3种。

1.4.2 材料力学性能与冲压成形性能的关系

板料在失稳之前可以达到的最大变形程度叫做成形极限。成形极限分为总体成形极限和局部成形极限。总体成形极限反映板料失稳前总体尺寸可以达到的最大变形程度,如极限拉深系数、极限胀形高度和极限翻孔系数等。这些极限系数通常作为规则形状板料零件工艺设计的重要依据。而局部成形极限反映板料失稳前局部尺寸可以达到的最大变形程度,如复杂零件成形时,局部极限应变即属于局部成形极限。成形极限越高,说明板料的冲压成形性能越好。

板料的冲压成形性能应包括抗破裂性、贴模性和定形性等几个方面。在目前的冲压生产中,主要用抗破裂性作为评定板料冲压成形性能的指标。

板料力学性能指标与板料冲压性能有密切的关系。一般来说,板料的强度指标越高,产生相同变形量所需的力就越大;塑性指标越高,成形时所能承受的极限变形量就越大;刚性指标越高,成形时抗失稳起皱的能力就越大。

对板料冲压成形性能影响较大的力学性能指标有以下几项：

(1) 屈服强度 σ_s 屈服强度 σ_s 值小，材料容易屈服，则变形抗力小，产生相同变形所需变形力就小，并且当压缩变形时，因易于变形而不易出现起皱，对弯曲变形则回弹小，即贴模性与定形性均好。

(2) 屈强比 σ_s/σ_b 屈强比小说明 σ_s 值小而 σ_b 值大，即容易产生塑性变形而不易产生拉裂，也就是说，从产生屈服至拉裂有较大的塑性变形区间。尤其是对压缩类变形中的拉深变形而言，具有重大影响，当变形抗力小而强度高时，变形区的材料易于变形而不易出现起皱，而传力区的材料又有较高强度而不易出现拉裂，有利于提高拉深变形的变形程度。

(3) 伸长率 拉伸试验中，试样拉断时的伸长率称为总伸长率或简称伸长率 δ ，而试样开始产生局部集中变形（缩颈时）的伸长率称均匀伸长率 δ_u 。

δ_u 表示板料产生均匀的或稳定的塑性变形的能力，它直接决定板料在伸长类变形中的冲压成形性能。从试验中得到验证，大多数材料的翻孔变形程度都与均匀伸长率成正比。可以得出结论，即伸长率或均匀伸长率是影响翻孔或扩孔成形性能的最主要参数。

(4) 硬化指数 n 单向拉伸硬化曲线可表示为 $\sigma = c\varepsilon^n$ ， n 即为硬化指数，表示在塑性变形中材料的硬化程度。当 n 值大时，硬化使材料强度的提高得到加强，因而增大了均匀变形的范围。对伸长类变形， n 值大的材料变形均匀，变薄减小，厚度分布均匀，表面质量好，增大了极限变形程度，零件不易产生裂纹。

(5) 厚向异性系数 γ 由于板料轧制时出现的纤维组织等因素，板料的塑性会因方向不同而出现差异，这种现象称为塑性各向异性。厚向异性系数是指单向拉伸试样宽度应变和厚度应变的比值，即

$$\gamma = \varepsilon_b / \varepsilon_t \quad (1-1)$$

式中， γ 为厚向异性系数； ε_b 和 ε_t 分别为宽度和厚度方向的应变。

厚向异性系数表示板料在厚度方向上的变形能力。 γ 值越大，表示板料越不易在厚度方向上产生变形，即不易出现变薄或增厚。 γ 值对压缩类变形的拉深影响较大，当 γ 值增大，板料易于在宽度方向变形，可减小起皱的可能性，而板料受拉处厚度不易变薄，又使拉深不易出现裂纹，因此 γ 值大时，有助于提高拉深变形程度。

板料在轧制时形成纤维组织，各向力学性能不均匀，所以 γ 值在不同方位也不一样。因此常取板料方向（板料轧制方向）、横向和 45° 方向的试件所得数据的平均值作为厚向异性系数，用 γ 表示，即

$$\gamma = (\gamma_0 + \gamma_{90} + 2\gamma_{45})/4 \quad (1-2)$$

式中， γ_0 、 γ_{90} 和 γ_{45} 分别为纵向试样、横向试样和与轧制方向呈 45° 试样的厚向异性系数。

(6) 板平面各向异性系数 $\Delta\gamma$ 板料在不同方位上厚向异性系数不同，造成板平面内各向异性。用 $\Delta\gamma$ 表示，即

$$\Delta\gamma = (\gamma_0 + \gamma_{90} - 2\gamma_{45})/2 \quad (1-3)$$

$\Delta\gamma$ 越大，表示板平面内各向异性越严重，拉深时在零件端部出现不平整的凸耳现象，就是材料的各向异性造成的，它既浪费材料又要增加一道修边工序。

1.4.3 冲压常用材料

1. 冲压常用材料种类