



中国汽车工程学会汽车工程图书出版专家委员会 特别推荐

# 汽车车身 ★ 制造工艺学 (第二版)

●宋晓琳 主 编    ●周水庭 副主编



 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

# 汽车车身制造工艺学

(第二版)

宋晓琳 主编

周水庭 副主编

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书针对现代汽车车身发展的状况,比较详细地阐述了车身制造工艺的整个过程。全书分为三篇十六章。第一篇介绍车身冲压工艺,主要内容包括冲压的基本理论及冲裁、弯曲、拉深、局部成形、车身覆盖件的拉深工艺,并介绍了冲压设备及车身覆盖件冲压成形过程的计算机仿真技术及应用。第二篇介绍车身装焊工艺,主要内容包括车身分块及装焊方法、车身装焊夹具、车身装焊生产线,然后比较深入地阐述了车身装焊质量的控制。第三篇介绍车身涂装工艺,主要内容包括车身用涂料、涂装前表面处理及涂装工艺及设备。

本书可作为高等院校及专科学校汽车及相关专业的教材,也适用于从事汽车车身制造的工程技术人员。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

汽车车身制造工艺学/宋晓琳主编. —2版. —北京:北京理工大学出版社,2006.9(2007.8重印)

ISBN 978-7-81045-311-0

I. 汽… II. 宋… III. 汽车-车体-车辆制造-工艺 IV. U463.820.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第075939号

---

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/<http://www.bitpress.com.cn>

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京圣瑞伦印刷厂

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/17

字 数/395千字

版 次/2006年9月第2版 2007年8月第7次印刷

印 数/13001~16000册

定 价/28.00元

责任校对/张 宏

责任印制/李绍英

---

图书出现印装质量问题,本社负责调换

## 出 版 说 明

为贯彻汽车工业产业政策，推动和加强汽车工程图书的出版工作，中国汽车工程学会成立了“汽车工程图书出版专家委员会”。委员会由有关领导机关、企事业单位、大中专院校的专家和学者组成，其中心任务是策划、推荐、评审各类汽车图书选题。图书选题的范围包括：学术水平高、内容有创见、在工程技术理论方面有突破的应用科学专著和教材；学术思想新颖、内容具体、实用，对汽车工程技术有较大推动作用，密切结合汽车工业技术现代化，有高新技术内容的工程技术类图书；有重要发展前景，有重大使用价值，密切结合汽车工程技术现代化需要的新工艺、新材料图书；反映国外汽车工程先进技术的译著；使用维修、普及类汽车图书。

出版专家委员会是在深化改革中，实行专业学会、企业、学校、研究所等相结合，专家学者直接参与并推动专业图书向高水平、高质量、有序发展的新尝试。它必将对活跃、繁荣专业著作的出版事业起到很好的推动作用。希望各位同仁、专家积极参与、关心、监督我们的工作。限于水平和经验，委员会推荐出版的图书难免存在不足之处，敬请广大同行和读者批评指正。

本书由宋晓琳主编，周水庭副主编，经专家委员会评审通过、推荐出版。

汽车工程图书出版专家委员会

# 前 言

汽车车身是汽车的重要组成部分,是整车零部件的载体,它的质量和制造成本都占到整车的40%~60%以上。最近几年来,我国政府已经将汽车工业作为一项支柱产业进行发展,使我国的汽车产业有了一个蓬勃发展的春天。伴随我国加入WTO组织,国外的汽车纷纷涌入我国市场,促进了汽车行业的发展,也对民族汽车产业提出了巨大挑战。

为了振兴民族汽车产业,迎接市场的挑战,我们必须培养一大批掌握汽车技术的关键人才。而当今汽车的发展现状告诉我们,汽车车身技术已成为汽车竞争的关键砝码,车身技术的发展状况足以反映出一个国家的汽车工业水平。要使我国的汽车工业赶超世界先进水平,关键是提高车身制造技术。

为了适应培养车身技术人才的需要,我们编写此书作为教材。本书内容主要包括车身冲压、装焊和涂装三大部分,比较系统地介绍了汽车车身制造过程中的基本工艺以及先进制造技术,非常适合用作高等院校汽车专业的教材,也可为从事汽车行业的技术人员提供参考。

本书由湖南大学宋晓琳主编,并编写绪论、第二篇和第三篇,其中第十二章由李克和宋晓琳共同编写,周水庭编写第一篇。在编写本书的过程中,硕士研究生张乐栋、李碧军和冯广刚为本书的组织、修改和图稿的处理做了大量工作,在此表示感谢。全书由曹立波教授主审。

由于汽车车身技术发展迅速,可谓日新月异,许多新技术纷纷出现,再加之编者水平有限,书中难免出现错误和疏漏之处,恳请专家和读者在阅读中不吝赐教,以使本书趋于完善,作者将不胜感激。

编著者于湖南大学  
2006年5月

# 目 录

绪论.....	( 1 )
---------	-------

## 第一篇 汽车车身冲压工艺

第一章 冲压工艺概论.....	( 4 )
§ 1-1 冲压工艺的特点及冲压工序的分类.....	( 4 )
§ 1-2 金属塑性变形的力学规律.....	( 8 )
§ 1-3 板料的冲压成形性能和成形极限图.....	( 11 )
§ 1-4 车身冲压用材料.....	( 14 )
§ 1-5 汽车冲压技术概论.....	( 19 )
思考题一.....	( 21 )
第二章 冲裁工艺.....	( 22 )
§ 2-1 冲裁的变形过程.....	( 22 )
§ 2-2 冲裁间隙.....	( 23 )
§ 2-3 冲裁模刃口尺寸.....	( 26 )
§ 2-4 冲裁力和冲模压力中心.....	( 27 )
§ 2-5 冲模及冲裁模.....	( 31 )
§ 2-6 冲裁件缺陷原因及分析.....	( 36 )
思考题二.....	( 36 )
第三章 弯曲工艺.....	( 37 )
§ 3-1 弯曲变形分析.....	( 37 )
§ 3-2 弯曲工艺计算.....	( 40 )
§ 3-3 弯曲件质量分析和控制.....	( 43 )
§ 3-4 弯曲模.....	( 49 )
思考题三.....	( 53 )
第四章 拉深工艺.....	( 54 )
§ 4-1 拉深件的类型及特点.....	( 54 )
§ 4-2 圆筒形零件的拉深.....	( 55 )
§ 4-3 盒形零件的拉深.....	( 65 )
§ 4-4 非直壁旋转件的拉深.....	( 66 )
§ 4-5 拉深模.....	( 68 )
思考题四.....	( 70 )
第五章 局部成形工艺.....	( 71 )
§ 5-1 胀形工艺.....	( 71 )

§ 5-2 翻边工艺	( 74 )
§ 5-3 校平和整形	( 78 )
思考题五	( 79 )
<b>第六章 汽车覆盖件冲压工艺</b>	<b>( 80 )</b>
§ 6-1 汽车覆盖件的冲压和拉深特点	( 80 )
§ 6-2 汽车覆盖件拉深工艺设计	( 82 )
§ 6-3 汽车覆盖件拉深模	( 93 )
§ 6-4 汽车典型覆盖件冲压工艺实例	( 99 )
思考题六	( 104 )
<b>第七章 冲压设备和冲压生产的机械化、自动化</b>	<b>( 105 )</b>
§ 7-1 汽车覆盖件冲压设备的特点和压力机的类型	( 105 )
§ 7-2 压力机的技术参数	( 107 )
§ 7-3 冲压生产的机械化和自动化	( 109 )
思考题七	( 115 )
<b>第八章 模具 CAD/CAE/CAM 技术</b>	<b>( 116 )</b>
§ 8-1 汽车覆盖件模具 CAD/CAE/CAM 技术概述	( 116 )
§ 8-2 冲裁模 CAD	( 118 )
§ 8-3 冲压过程的 CAE	( 125 )
§ 8-4 汽车覆盖件模具的 CAM	( 128 )
思考题八	( 134 )

## 第二篇 汽车车身装焊工艺

<b>第九章 汽车车身装焊工艺</b>	<b>( 135 )</b>
§ 9-1 装焊基础	( 135 )
§ 9-2 车身装焊方法的确定原则及内容	( 144 )
§ 9-3 车身焊接方法及其选择	( 150 )
§ 9-4 汽车车身装焊工艺	( 172 )
思考题九	( 175 )
<b>第十章 车身装焊夹具</b>	<b>( 176 )</b>
§ 10-1 概述	( 176 )
§ 10-2 装焊件在夹具上的定位与夹紧	( 177 )
§ 10-3 车身装焊夹具	( 187 )
思考题十	( 193 )
<b>第十一章 车身装配焊接生产线</b>	<b>( 194 )</b>
§ 11-1 焊接生产线基础	( 194 )
§ 11-2 贯通式装焊生产线	( 195 )
§ 11-3 柔性焊接生产线	( 198 )
§ 11-4 其他形式装焊生产线	( 200 )

§ 11-5 车身装焊生产线的发展趋势 .....	(203)
思考题十一 .....	(207)
<b>第十二章 汽车车身装焊的质量控制</b> .....	(208)
§ 12-1 引言 .....	(208)
§ 12-2 车身装焊偏差分析及质量控制方法 .....	(208)
§ 12-3 焊装夹具偏差 .....	(212)
§ 12-4 基于知识的车身装配尺寸偏差源快速诊断方法 .....	(213)
思考题十二 .....	(219)
<b>第三篇 汽车车身涂装技术</b>	
<b>第十三章 汽车车身涂装基础</b> .....	(220)
§ 13-1 概述 .....	(220)
§ 13-2 车身涂装特点及功能 .....	(223)
§ 13-3 涂装的三要素 .....	(224)
思考题十三 .....	(225)
<b>第十四章 汽车车身用涂料</b> .....	(226)
§ 14-1 概述 .....	(226)
§ 14-2 车身用底漆 .....	(231)
§ 14-3 车身用中间层涂料 .....	(235)
§ 14-4 车身用面漆 .....	(236)
思考题十四 .....	(238)
<b>第十五章 涂装前表面处理</b> .....	(239)
§ 15-1 漆前表面处理的目及内容 .....	(239)
§ 15-2 脱脂清洗处理 .....	(239)
§ 15-3 除锈和去氧化层 .....	(242)
§ 15-4 磷化处理 .....	(245)
思考题十五 .....	(247)
<b>第十六章 汽车车身涂装工艺及设备</b> .....	(248)
§ 16-1 汽车车身涂装典型工艺 .....	(248)
§ 16-2 涂漆方法及设备 .....	(252)
§ 16-3 涂膜干燥和固化 .....	(258)
思考题十六 .....	(261)
<b>参考文献</b> .....	(262)



# 绪 论

德国人卡尔·本茨于 1886 年制造出第一台汽油发动机的三轮车,这一事件标志着汽车的诞生,也揭开了世界汽车工业发展史的序幕。从汽车诞生至今已经有 100 多年的历史了,它的生产方式经历了单件生产、大规模流水生产,直至今天的多品种、及时化、低成本生产方式。汽车工业在发达国家中都作为一个支柱产业,它对一国的经济及人们的生活有着重要的意义。我国的汽车工业起步较晚,始于 1953 年,但自 1994 年我国政府确立了汽车产业的支柱地位后,我国的汽车工业也开始进入了快速发展时期。

汽车的基本结构大致有发动机、底盘、车身和电器与电子设备四大部分。汽车车身作为汽车的一个重要组成部分,其制造技术是提高汽车产品开发能力的一个重要方面,在汽车工业中占有越来越重要的地位。为了应对 WTO 给我国汽车工业带来的挑战,增强市场的挑战能力,我们必须加快汽车车身技术的发展,提高先进制造技术和产品在汽车车身开发中的应用。

早期的轿车车身沿用了马车车身结构,整个车身以木材料为主。1912 年由爱德华·帕特首次制成了全金属的车身。1925 年文森卓·兰西亚发明了承载式车身,车身由钢板冲压成形的金属结构件和大型覆盖件组成,这种金属结构的车身一直沿用至今,得到不断的完善和发展。

汽车车身按承载形式分为非承载式车身和承载式车身两种。

## 1. 非承载式车身

非承载式车身的汽车有独立的刚性车架,又称底盘大梁架。发动机及传动系的一部分及车身等总成部件用悬架装置固定在车架上,车架通过前后悬架装置与车轮连接。载荷由车架承担,车身和车架间由压缩型或剪切型弹性元件连接。这种非承载式车身比较笨重,质量大,车身高,一般用在货车、客车和越野吉普车上,也在少部分的高级轿车上使用。因为从地面和发动机传来的振动、冲击和噪声被车架质量和弹性元件减缓和吸收,其具有较好的平稳性和安全性。

## 2. 承载式车身

承载式车身的汽车没有刚性车架,只是加强了车头、侧围、车尾、底板等部位,发动机、前后悬架、传动系的一部分等总成部件装配在车身上设计要求的位置,车身负载通过悬架装置传给车轮。这种承载式车身除了其固有的承载功能外,还要直接承受各种负荷力的作用。经过几十年的发展和完善,承载式车身不论在安全性还是在稳定性方面都有很大的提高,具有质量小,车身低,没有悬置装置,装配容易等优点,因此大部分的轿车采用了这种车身结构。例如,我国生产的一汽奥迪、上海桑塔纳等国产轿车均是承载式车身。

(1) 汽车车身按有无骨架形式可以分为无骨架和有骨架形式(图 0-1)。在介绍这两种形式的车身时,为了同时对车身制造过程有一个简单了解,我们给出了这两种结构的车身制造流程图(图 0-2、图 0-3)。

(2) 无骨架式结构的车身是由薄板冲压零件和装焊的车身构件以及车身覆盖件等组成的

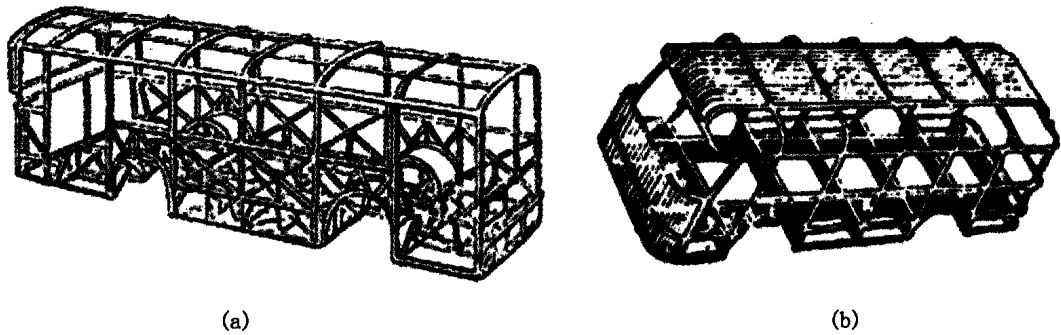


图 0-1 汽车车身有无骨架的分类

(a) 有骨架式车身; (b) 无骨架式车身

车身体,它们之间采用焊接方式进行连接。这种类型的车身多用于现代轿车、部分旅行车、货车驾驶室、篷式赛车和微型车等车型上。

这种结构的车身表面形状完全由覆盖件形成,它以车身板制件冲压成某种形状或是几个车身零件焊合后形成具有某种截面形式的“梁”,以增加其刚性或承受较大载荷。其车身制造流程图如下:

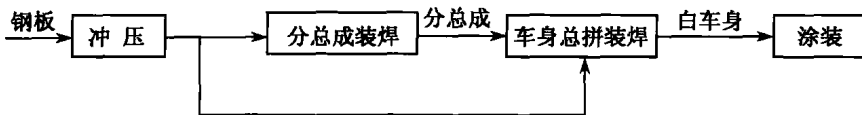


图 0-2 无骨架车身制造流程图

有骨架式结构是大客车车身的主要形式,近年来,大型客车车身要求增大采光面积,扩大视野,因此需车窗大型化和减细窗柱截面。同时要求车身有流线外形和表面光洁,无焊缝痕迹和铆钉,因而采用骨架式大张拉蒙皮车身。一般中型客车用骨架式小张拉蒙皮车身结构。骨架式结构车身,骨架与蒙皮的连接除骨架、蒙皮是铝材采用铆接外,钢结构车身都采用焊接。

这种结构先制造骨架再在骨架上蒙上蒙皮,其车身制造流程图如下:

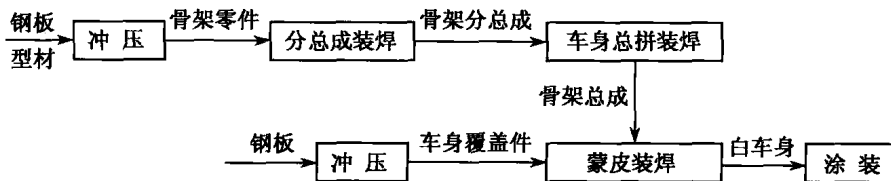


图 0-3 有骨架车身制造流程图

对有骨架和无骨架式车身的制造工艺分析,我们在本书第九章中将会更加详细地介绍。

从上面的流程图我们可以看到贯穿整个流程的三大部分就是冲压、装焊和涂装,这也是本书的三大重点。以下简单介绍这三大工艺的特点。

冲压工艺:车身大致可以划分为发动机盖、车顶盖、行李箱盖、翼子板和前围板五部分,它

们都是由钢板冲压成形。汽车冲压件种类繁多、生产批量大,因此必须采用机械化、半自动化流水生产。这些冲压件曲面形状复杂,并要求有较高的尺寸精度和较小表面粗糙度,这就对冲压件的模具制造水平要求较高。

冲压生产线通常有两种类型,一种是单机连线,另一种是采用多工位压床的生产线。单机连线将压床按工序贯穿排列,采用机械手、传动装置或者机器人完成上下料和零件传送工作,具有独立同步式和全自动同步式两种形式。独立同步式生产线的压床各自独立运转,由输送带控制生产节拍,利用柔性中间存储装置使各压床组形成独立同步机组,其性能比较灵活。全自动同步式生产线的送料、运转等作业同步连续进行,工作效率高。近年来,汽车冲压件生产出现了多工位压床生产线,多工位压床有5工位、6工位、8工位等规格,是目前最先进的、自动化程度最高的冲压设备。先进的多工位压床可以采用可编程控制,自动化程度大大提高。如日本本田公司装备的4 800 t多工位压床,使生产效率从原来7~8件/min提高到14~15件/min。

**装焊工艺:**车身制造与一般的机械制造不同,车身几乎全部由冲压件焊接而成。车身焊接常称为装焊,是将冲压零件组装、焊接成符合产品设计要求的白车身。

车身焊装过程先将整个车身分成总成进行装焊(如地板总成、发动机舱总成、左侧和右侧总成、后围总成、顶盖总称、左车门和右车门总成、发动机罩总成、行李箱盖总成、左翼子板和右翼子板总成等),然后再将这些总成装焊为白车身。小总成一般在单机上装焊,大总成和车身焊装在流水线上完成。生产线上配置各种焊接设备和工具、夹具、机械化运输系统、生产过程控制和质量检测与控制系统以及安全防护设施等。生产线之间的运输常用悬挂式输送机和搬运机械手等完成。车身装焊多采用电阻焊,主要是点焊和凸焊,其生产率高、成本低,约占总焊接量的90%。所用的设备有悬挂式点焊机、固定式点焊机、多点焊机、螺柱式焊机以及焊接机器人等。近年来焊接机器人和激光焊接技术的发展进一步推动着焊接技术向自动化方向的发展。为了能在同一条焊装线上生产不同品种且工艺相似的车身,现在出现了柔性焊装线,通常采用机器人点焊和更换夹具来实现混流生产。

**涂装工艺:**汽车涂装可以起到保护、装饰和标志等作用,并能起到车内隔热、消声、抗振密封等特殊作用。因此,轿车、客车车身和货车驾驶室的涂装不仅装饰性要求高,而且还要求有良好的力学性能和较高的耐腐蚀性。装饰性要求包括涂层光亮、平滑、丰满、美感好等。为了适应汽车行驶中的振动和应变,要求涂层具有一定的硬度、良好的韧性和耐磨性;耐腐蚀性要求包括外观锈蚀、穿孔腐蚀、结构损坏腐蚀等出现时的使用时间,如加拿大规定三种腐蚀出现的使用时间分别为5年、10年、20年。此外还要求能耐汽油、机油和沥青等的腐蚀,在这些介质中浸泡一定的时间不产生软化、变色、失光、溶解或印斑等现象,并要求与清洗剂、肥皂等接触后不留痕迹等。

车身的涂装工艺因汽车级别不同而有所区别。例如:货车和轻型车进行底漆、面漆两次涂装;而轿车则常需要经头道漆、二道漆,面漆三次涂装;高级轿车有时需要四次涂装。

# 第一篇 汽车车身冲压工艺

## 第一章 冲压工艺概论

在现代工业生产中,冲压工艺在机械、汽车、家电、轻工、五金、化工、纺织及航空航天等各工业领域得到了广泛的应用。据统计,汽车上有 60% ~ 70% 的零件是用冲压工艺生产出来的。因此,冲压技术对汽车的产品质量、生产效率和生产成本有着重要的影响。

### § 1-1 冲压工艺的特点及冲压工序的分类

#### 一、冲压工艺的特点

冲压成形工艺是一种先进的金属加工工艺方法,它是建立在金属塑性变形的基础上,在常温条件下利用模具和冲压设备对板料施加压力,使板料产生塑性变形或分离,从而获得具有一定形状、尺寸和性能的零件(冲压件)。

冲压与其他金属加工方法相比,具有下述优点:

(1) 生产效率高,操作简便,便于实现机械化与自动化。故其适用于较大批量生产,对操作者操作技艺的要求相对较低。

(2) 冲压加工零件的尺寸精度是由模具保证的,一般不需要再进行机械切削加工,所以质量稳定,具有较高的尺寸精度。

(3) 冲压工艺能制造出其他金属加工方法所不能或难加工的、形状复杂的零件。

(4) 冲压加工一般不需加热毛坯,也不像切削加工那样需要切除大量金属,所以它不但节能,而且材料利用率高。冲压加工能获得强度高、刚度大且质量轻的零件,适合进行汽车车身零件的加工。

(5) 冲压所用原材料多为轧制板料或带料,在冲压过程中材料表面一般不会被破坏,所以表面质量较好,为后续表面处理工序(如电镀、喷漆)提供了方便条件。

(6) 冲压件有较好的互换性。冲压加工稳定性较好,同一批冲压件,可相互交换使用,不影响装配和产品性能。

总之,冲压生产是一种优质、高产、低消耗和低成本的加工方法,但冲压生产也有一定的局限性。由于模具多为单件生产,精度要求高,制造难度大,制造周期长,因此模具制造费用高,不宜用于单件和批量小的零件生产。

板料、模具和冲压设备是冲压生产的三大要素。为了获得质优价廉的冲压零件,必须提供优质的板料、先进的模具和性能优良的冲压设备;还应该掌握板料的成形性能和变形规律,设

计并制造出各种精密的复杂模具,必须生产出各种满足工艺要求的通用和专用冲压设备。目前世界各国不断研制出冲压性能良好的板料,研究板料的冲压成形性能,不断改善模具加工设备,生产出了对冲压生产具有关键作用的高效率、高精度和高寿命的大型复杂模具,从而使冲压生产与模具工业进入了一个崭新的阶段。

## 二、冲压工序分类

由于冲压加工零件的形状、尺寸、精度要求、批量大小、原材料性能等的不同,其冲压方法有多种多样,但冲压工序按加工性质的不同,可以分为两大类型:分离工序和成形工序。分离工序是使冲压件或毛坯在冲压过程中沿一定的轮廓相互分离,同时冲压零件的分离断面要满足一定的断面质量要求;成形工序是板料在不产生破坏的前提下使毛坯发生塑性变形,获得所需求的形状及尺寸的零件。

车身制造中常用的分离工序见表 1-1,常用的成形工序见表 1-2。

表 1-1 车身制造工艺中常用的分离工序

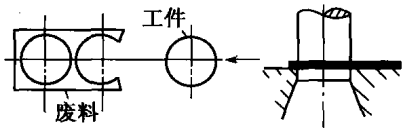
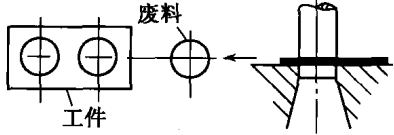
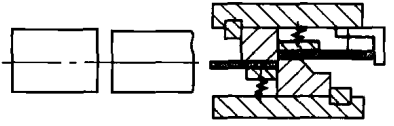
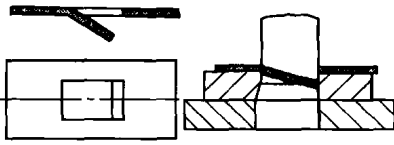
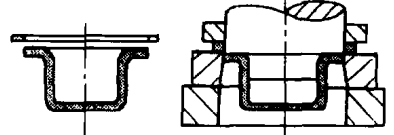
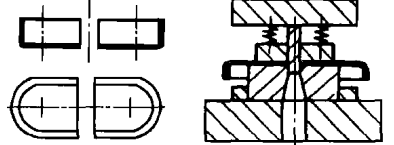
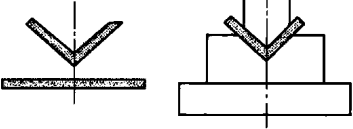
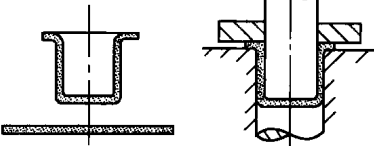
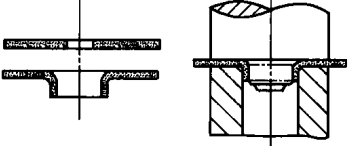
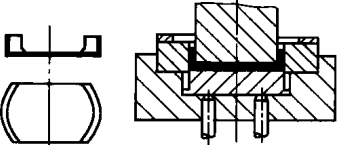
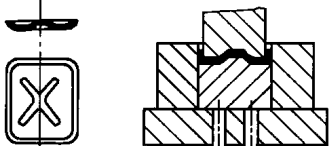
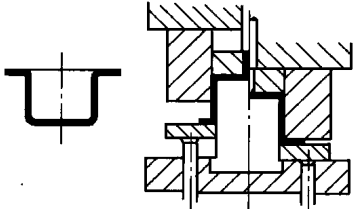
工序	图 例	工序性质
落料		用落料模沿封闭轮廓曲线冲切,冲下部分是零件
冲孔		用冲孔模沿封闭轮廓曲线冲切,冲下部分是废料
剪切		用剪刀或模具切断板材,切断线不封闭
切口		在坯料上将板材部分切开,切口部分发生弯曲
切边		将拉深或成形后的半成品边缘部分的多余材料切掉
剖切		将半成品切开成两个或几个工件,常用于成双冲压

表 1-2 车身制造工艺中常用的成形工序

工序	图 例	工序性质
弯曲		把板料沿直线弯成各种形状
拉深		将板料压制开口空心零件
内孔翻边		将板料上的孔的边缘翻成竖立边缘
外缘翻边		将工件的外缘翻成圆弧或曲线状的竖立边缘
胀形		在板料或工件上压出筋条、花纹或文字
整形		把形状不太准确的工件校正成形

这些冲压工序中最常用的、典型的四个基本工序为：冲裁（包括冲孔、落料、修边、剖切等）、弯曲、拉深、局部成形（包括翻边、胀形、校平和整形工序等）（见图 1-1 所示）。

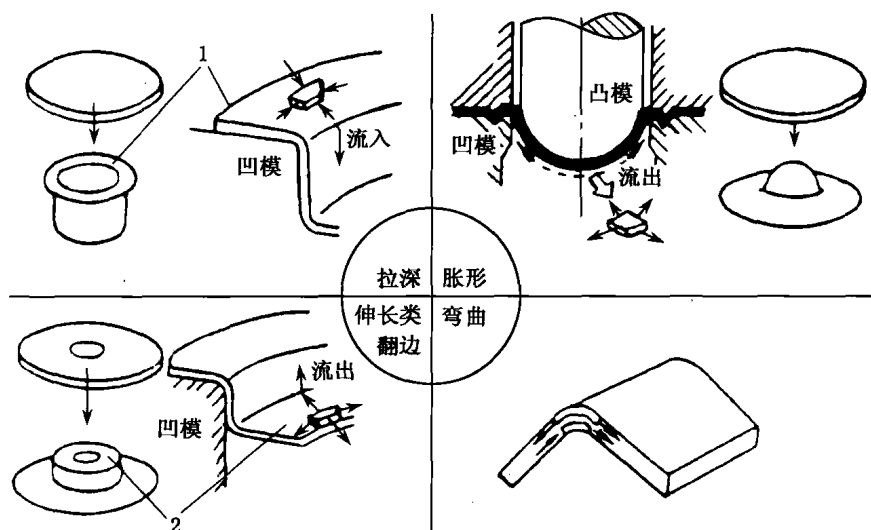


图 1-1 典型的冲压成形工序

1—拉伸件；2—翻边件

复杂冲压件的成形，其板料变形区往往是几种基本成形工序的复杂组合。图 1-2 所示的框板，外缘相当于拉深，内缘相当于翻边，而腹板上兼有翻孔和胀形性质。因此在分析一个具体的冲压件时，一方面必须将不同的变形性质部分加以明确区分，利用翻边、弯曲、拉深和胀形等基本工序，作为分析零件变形特点的主要依据；另一方面，还必须注意它们之间的相互联系，不能将不同变形性质的部分，作为一个个单纯的基本成形工序孤立地看待。

表 1-3 列出了几种汽车覆盖件在大批量生产时采用的冲压工艺过程。

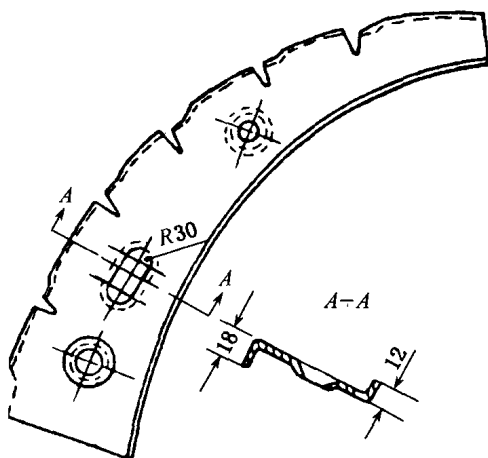
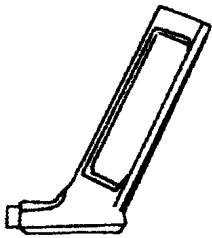
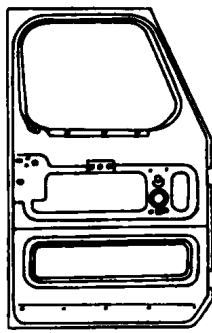
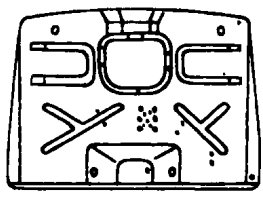


图 1-2 框板

表 1-3 几种汽车覆盖件的冲压工艺

制作名称	制作简图	冲压工艺过程
前围外盖板		(1) 拉深 (2) 修边冲孔 (3) 翻边 (4) 冲窗口压圆角 (5) 修边冲孔 (6) 翻边翻口
门里板		(1) 拉深 (2) 整形并压圆角 (3) 修边冲孔 (4) 翻边冲孔压圆角 (5) 翻边 (6) 冲孔 (7) 校平
地板		(1) 拉深 (2) 修边冲孔 (3) 翻边压筋

## § 1-2 金属塑性变形的力学规律

冲压成形时,外力通过模具或其他工具作用在板料上,使板料内部产生应力。由于外力的作用状况、板料的形状和模具的尺寸千差万别,因而引起板料内各点的应力与应变也各不相同,因此必须研究变形物体内各点的应力状态、应变状态以及产生塑性变形时各应力之间及应力应变之间的关系。

### 一、变形物体的应力应变状态

假设在变形物体内任意点取一个六面单元体,该单元体上应力状态可取其互相垂直表面上的应力来表示,沿坐标方向可将这些应力分解为九个应力分量,其中包括三个正应力和六个剪应力,如图 1-3(a)所示。由于单元体处于静力平衡状态,故单元体各轴的合力矩为零,可得出互相垂直平面上的剪应力互等,  $\tau_{xy} = \tau_{yx}$ ,  $\tau_{yz} = \tau_{zy}$ ,  $\tau_{zx} = \tau_{xz}$ , 因此已知三个正应力和三个剪应力,那么该点的应力状态就可以确定了。由于坐标轴所取的方位不同,这六个应力分量的大小也不一样,可以证明,对任何一种应力状态,总存在这样一组坐标系,使得单元体各表面上只



有正应力而无剪应力,如图 1-3(b)所示。这时,三个坐标轴就称为主轴,三个坐标轴的方向就称为主方向,而三个正应力就叫做主应力,一般按其代数值大小依次为  $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$  和  $\sigma_3$ ,即  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ 。

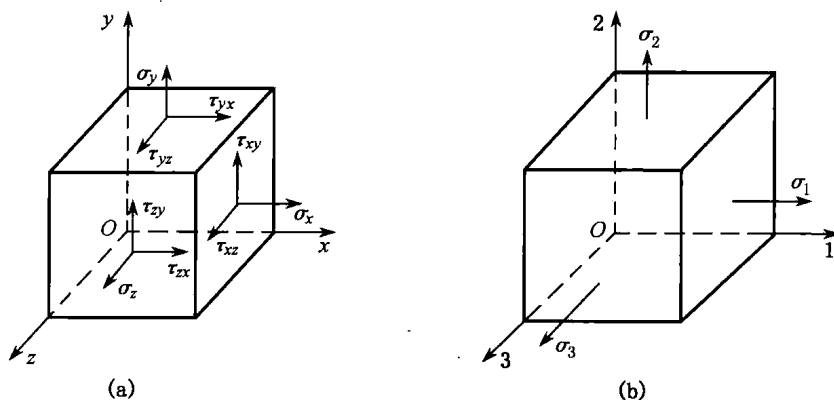


图 1-3 点的应力状态  
(a) 任意坐标系; (b) 主轴坐标系

一般情况下,单元体的三个主应力存在,这种应力状态称为三向应力状态,或称空间、立体应力状态,如宽板弯曲变形。但板料的大多数成形工序,沿板料厚度方向的厚向应力  $\sigma_t$  与其他两个垂直方向的主应力(即径向应力  $\sigma_\rho$  与切向应力  $\sigma_\theta$ )比较,相对来说往往很小,可以忽略不计,如拉深、翻孔、相胀形变形,这种应力状态称平面应力状态或两向应力状态。三个主应力中有两个为零,只在一个方向有应力,称为单向应力状态。在板料的内孔边缘和外形边缘常常是自由表面,故径向应力  $\sigma_\rho$  为零,而板料大多数成形的厚向应力  $\sigma_t$  也为零,故此处为单向应力状态。

应力产生应变,应变也具有与应力相同的表现形式,单元体上的应变也有正应变与剪应变,也可以找到一组坐标轴,使单元体各表面上剪应力为零,这样坐标轴称应变主轴,沿应变主轴方向上的正应变称主应变,主应变也有三个,分别为  $\epsilon_1$ 、 $\epsilon_2$  和  $\epsilon_3$ ,按代数值排列,  $\epsilon_1 \geq \epsilon_2 \geq \epsilon_3$ 。

实践证明,塑性变形时物体主要发生形状的改变,而体积的变化很小,可以忽略不计,即认为:  $\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0$ 。这就是塑性变形体积不变定律,它反映了三个主应变值之间的相互关系。根据体积不变定律可知:塑性变形时只能有三向应变状态和平面应变状态,而不可能有单向应变状态。在平面应变状态时(若  $\epsilon_2 = 0$ ),则另外两个应变绝对值必然相等,而符号相反(即  $\epsilon_1 = -\epsilon_3$ )。

## 二、塑性变形条件(屈服准则)

当物体中某点处于单向应力状态时,只要该点的应力达到材料的屈服极限,该点就进入塑性状态。可是对于复杂的三向应力状态,就不能仅根据某一个应力分量来判断该点是否屈服,而要同时考虑其他应力分量的作用。只有当各个应力分量之间符合一定的关系时,该点才开始屈服。这种关系就称为塑性变形条件,或称屈服准则。

屈斯加(H. Tresca)屈服准则:任意应力状态下,只要最大剪应力达到某临界值时材料就屈服。这就是最大剪应力理论,可表达为: