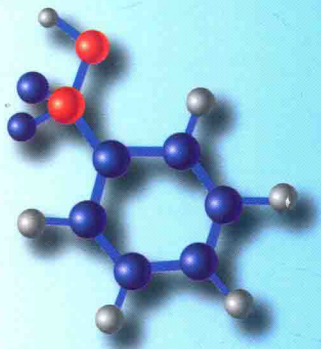




21世纪全国高等院校材料类 **创新型** 应用人才培养规划教材



MATERIALS

金属塑性成形原理

施于庆 祝邦文 编著

M aterials



预览、申请样书



众号: pup6book



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高等院校材料类创新型应用人才培养规划教材

金属塑性成形原理

施于庆 祝邦文 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是编者在多年教学和工程实践经验的基础上,对金属塑性成形的基本原理和共性作了系统地论述。全书共7章,第1章绪论,第2章金属塑性变形的力学基础,第3章影响金属塑性变形的因素及缺陷分析,第4章金属塑性成形的工程法解析,第5章塑性成形的滑移线场理论,第6章塑性成形问题的其他方法,第7章金属塑性成形CAE分析。每章附有思考与练习题。本书的第7章是以有限元分析软件ANSYS/LS-DYNA为平台并结合筒形件拉深和棒料轧制成形,对ANSYS/LS-DYNA软件的模型建立、网格划分、前处理、计算求解及后处理等都作了详尽的介绍,以引导读者快速地掌握应用CAE软件并提高解决工程实际问题的能力。

本书适合作为高校机械类各相关专业的教材,也可供相关工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

金属塑性成形原理/施于庆,祝邦文编著. —北京:北京大学出版社,2016.3

(21世纪全国高等院校材料类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-26849-0

I. ①金… II. ①施… ②祝… III. ①金属压力加工—塑性变形—高等学校—教材 IV. ①TG301

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第025266号

书 名 金属塑性成形原理

JINSHU SUXING CHENGXING-YUANLI

著作责任者 施于庆 祝邦文 编著

策划编辑 童君鑫

责任编辑 李娉婷

标准书号 ISBN 978-7-301-26849-0

出版发行 北京大学出版社

地 址 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址 <http://www.pup.cn> 新浪微博: @北京大学出版社

电子信箱 pup_6@163.com

电 话 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667

印刷者 北京溢漾印刷有限公司

经 销 者 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 14印张 318千字

2016年3月第1版 2016年3月第1次印刷

定 价 35.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话:010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题,请与出版部联系,电话:010-62756370

21 世纪全国高等院校材料类创新型应用人才培养规划教材

编审指导与建设委员会

成员名单 (按拼音排序)

白培康 (中北大学)

崔占全 (燕山大学)

杜振民 (北京科技大学)

关绍康 (郑州大学)

李楠 (武汉科技大学)

林志东 (武汉工程大学)

刘开平 (长安大学)

裴坚 (北京大学)

孙凤莲 (哈尔滨理工大学)

万发荣 (北京科技大学)

王峰 (北京化工大学)

王昆林 (清华大学)

伍玉娇 (贵州大学)

徐鸿 (华北电力大学)

张朝晖 (北京理工大学)

张敏刚 (太原科技大学)

张晓燕 (贵州大学)

赵莉萍 (内蒙古科技大学)

陈华辉 (中国矿业大学)

杜彦良 (石家庄铁道大学)

耿桂宏 (北方民族大学)

胡志强 (大连工业大学)

梁金生 (河北工业大学)

刘爱民 (大连理工大学)

芦笙 (江苏科技大学)

时海芳 (辽宁工程技术大学)

孙玉福 (郑州大学)

王春青 (哈尔滨工业大学)

王金淑 (北京工业大学)

卫英慧 (太原理工大学)

夏华 (重庆理工大学)

余心宏 (西北工业大学)

张海涛 (安徽工程大学)

张锐 (郑州航空工业管理学院)

赵惠忠 (武汉科技大学)

赵玉涛 (江苏大学)

前 言

金属塑性成形是一种利用金属的塑性并通过外力，使金属材料发生转移或变形来获得所需要形状和尺寸的零件或产品的加工方法，被广泛地应用于汽车、航空航天、机电、军工等工业生产领域。本书讲述金属塑性变形的力学基础、塑性成形金属变形与流动问题、金属塑性成形的工程法解析等内容，说明塑性变形的工程法解析等方法的相互间的内在联系及在不同的变形分析方法中所具有的共性问题。编者在编写中尽力汲取国内外同类教材的长处，努力使课程内容的科学性、先进性、系统性与应用性相结合，注重学生学习能力、实践能力和创新能力的培养。

为了拓展学生的知识面并应对金属塑性成形分析的要求，本书尽可能多地介绍金属塑性成形中的先进技术，并详细介绍了板料拉深和棒料轧制成形的有限元分析前处理、求解和后处理；前处理设置单元属性、构建模型、划分网格、定义接触、初始条件、载荷及约束、求解时间和输出文件等过程。通过介绍筒形件板厚减薄或增厚的变化及应力应变变化等，使学生能够准确地预测板料成形过程中发生缺陷的可能性，评估板料的极限成形性能；以棒料轧制形状变化，为金属塑性成形及模具等工艺装备设计提供参考依据。

本书由浙江科技学院施于庆和祝邦文撰稿。全书由施于庆统稿。在本书的编写和出版过程中，得到许多专家、同行及朋友们的悉心指导和帮助，并提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。另外，借此机会对为本书编写完稿做了大量工作的王依红、管爱枝、丁明明、郑军，以及所参考文献的作者表示深深的谢意。

由于编者理论水平和经验有限，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2016年1月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 金属塑性成形的特点和分类	3
1.1.1 特点	3
1.1.2 分类	4
1.2 金属塑性成形技术现状与 发展趋势	8
1.3 金属塑性成形原理课程的任务	9
思考与练习题	10
第 2 章 金属塑性变形的力学基础	11
2.1 金属塑性成形过程中的 应力分析	13
2.1.1 接触力	14
2.1.2 体积力	16
2.2 变形体内一点的应力状态分析	17
2.2.1 内力和应力	17
2.2.2 物体内任一点的应力 状态	19
2.2.3 主应力和应力不变量	20
2.2.4 应力椭球面	22
2.2.5 主应力图	23
2.2.6 主切应力和最大 切应力	23
2.2.7 应力偏张量和应力 球张量	25
2.2.8 八面体应力和等效应力	29
2.2.9 应力平衡微分方程	31
2.2.10 应力莫尔圆	32
2.3 变形体内质点的应变状态分析	37
2.3.1 质点的位移和应变	38
2.3.2 主应变、应变张量不变量、 主切应变和最大切应变、 应变偏张量和应变球张量、 主切应变简图	44
2.3.3 八面体应变和等效应变	46
2.3.4 位移分量和应变分量的 关系——小变形几何 方程	47
2.3.5 应变连续方程	49
2.3.6 应变增量和应变速率 张量	50
2.3.7 塑性加工中常用变形程度的 表达式	54
2.3.8 塑性变形体积不变条件	56
2.3.9 平面变形和轴对称变形	59
2.4 屈服准则	60
2.4.1 屈雷斯加塑性条件	60
2.4.2 米塞斯塑性条件	60
2.4.3 米塞斯屈服准则的物理 意义	61
2.5 塑性变形的应力应变关系(本构 关系)	62
2.5.1 弹性变形时的应力应变 关系	62
2.5.2 塑性应力应变关系的 特点	64
2.5.3 塑性变形的增量理论	65
2.5.4 塑性变形的全量理论	68
2.6 金属材料的实际应力-应变曲线	71
2.6.1 实验时的拉伸试验曲线	71
2.6.2 实际应力-应变曲线	72
2.6.3 金属塑性成形中的加工硬化和 硬化曲线	72
2.6.4 包申格效应	74
思考与练习题	74
第 3 章 影响金属塑性变形的因素及 缺陷分析	75
3.1 最小阻力定律	77
3.2 影响金属塑性和塑性变形及流动 的因素	81



3.2.1	塑性、塑性指标和 塑性图	81	3.8.3	描述接触表面上摩擦力的 数学表达式	107
3.2.2	变形条件对金属塑性的 影响	83	3.8.4	影响摩擦的因数	107
3.2.3	化学成分和组织对塑性的 影响	87	3.8.5	金属塑性成形中的 润滑	108
3.2.4	提高金属塑性的途径	89	3.8.6	不同塑性加工条件下的 摩擦因数	111
3.2.5	摩擦对金属塑性变形和 流动的影响	89	思考与练习题		112
3.2.6	工具形状对金属塑性变形和 流动的影响	90	第4章 金属塑性成形的工程法解析 ... 113		
3.2.7	金属各部分之间的关系对塑性 变形和流动的影响	92	4.1	主应力法的基本原理	115
3.2.8	金属本身性质不均匀对塑性 变形和流动的影响	93	4.2	墩粗变形	116
3.3	加工硬化	93	4.2.1	长矩形板墩粗	116
3.3.1	加工硬化的现象和机理 ...	93	4.2.2	圆柱体墩粗	118
3.3.2	加工硬化的效果及运用 ...	93	4.3	圆筒形件拉深	121
3.4	不均匀变形、附加应力和残余 应力	95	4.3.1	拉深时的应力和应变 状态	122
3.4.1	均匀变形与不均匀变形 ...	95	4.3.2	拉深过程的力学分析	123
3.4.2	附加应力	95	4.3.3	筒壁传力区的受力 分析	126
3.4.3	残余应力	96	思考与练习题		128
3.5	金属的断裂	97	第5章 塑性成形的滑移线场理论 ... 129		
3.5.1	塑性成形锻造时金属的 断裂	97	5.1	理想刚塑性平面应变问题	131
3.5.2	塑性加工挤压时金属的 断裂	99	5.1.1	平面变形应力状态	131
3.6	塑性成形件中的折叠	100	5.1.2	滑移线与滑移线场的 基本概念	132
3.6.1	折叠特征	100	5.1.3	α 滑移线和 β 滑移线 及 ω 夹角	133
3.6.2	折叠的类型及其形成 原因	100	5.1.4	滑移线的微分方程	134
3.7	塑性加工中的失稳	102	5.2	汉基应力方程	134
3.7.1	拉伸失稳	102	5.3	滑移线的基本性质	135
3.7.2	压缩失稳	103	5.3.1	滑移线的沿线特性	135
3.8	金属塑性成形中的摩擦和 润滑	104	5.3.2	滑移线的跨线性质	136
3.8.1	塑性成形时摩擦的分类和 机理	105	5.4	塑性区的应力边界条件	137
3.8.2	塑性成形中摩擦的特点及 其影响	106	5.5	滑移线场的建立方法	139
			5.5.1	常见的滑移线场	139
			5.5.2	滑移线场的数值积分法 和图解法	141
			5.6	滑移线法理论在塑性成形中 的应用	142

思考与练习题	143	7.2 基于 LS-DYNA3D 的金属	
第 6 章 塑性成形问题的其他方法 ...	145	塑性分析方法	157
6.1 变形功法及应用	147	7.2.1 LS-DYNA 的特色	
6.1.1 变形功法的基本原理	147	和功能	157
6.1.2 应用举例	148	7.2.2 ANSYS 与 LS-DYNA	
6.2 Johnson 上限模式及应用	149	的关系	157
6.2.1 Johnson 上限模式的		7.3 筒形件拉深有限元模拟	
基本原理	150	分析	161
6.2.2 Johnson 上限模式解析		7.3.1 筒形件拉深模具及	
成形问题的能力	150	材料参数	161
6.2.3 Johnson 上限法解析成形		7.3.2 交互式操作分析	161
问题的基本步骤	150	7.4 一字型旋杆工件头部轧制	
6.2.4 应用举例	151	成形	189
思考与练习题	152	7.4.1 一字型旋杆工件头部	
第 7 章 金属塑性成形 CAE 分析	153	轧制成形分析	189
7.1 有限元基本思想	155	7.4.2 一字型旋杆工件头部	
7.1.1 有限元法的主要特点	155	轧制成形分析说明	189
7.1.2 有限元法的计算步骤	155	7.4.3 交互式操作分析	190
		思考与练习题	210
		参考文献	212

第 1 章

绪 论



本章教学要点

知识要点	掌握程度	相关知识
变形体内点的应力状态	了解金属塑性成形与外力(包括成形工具和设备)的关系; 了解金属塑性成形特点; 熟悉金属塑性成形分类方法	金属变形由弹性进入塑性状态后的可加工性质; 体积成形和板料成形用途
金属塑性成形学习要求	了解金属塑性成形技术现状与发展趋势; 明确金属塑性成形原理的课程的任务要求	金属塑性加工的难点和期待解决的问题; 金属塑性成形中计算变形力与设计模具及选取成形装备的关系



导入案例

塑性加工零件在汽车生产中扮演的作用

无论是轿车或载重车及特种车辆(图 1.0), 一辆车都约有 2 万多个零件, 其中 80% 的零件是由塑性成形的方法加工出来的, 这些零件是无法用切削加工生产的。汽车车身或驾驶室中许多零件如挡泥板、顶盖、地板、前围板、车门内外板、发动机盖、水箱等都是采用厚度 $\leq 1.1\text{mm}$ 的板料通过板料冲压加工(拉深工序)制成的。底盘中如纵梁和横梁等零件的板厚也不大于 13mm, 所有这些在汽车生产减轻质量方面起到了不可替代的作用。

而有些零件如汽车前轴是在一定的温度下通过模具压制成形的。汽车后桥早先是采用铸造成形的, 而现在采用冲压成形, 这不但提高了强度和刚度又减轻了质量。如果汽车零件都采用通常铸造并用切削加工的方法, 就会变的非常重而且在一般的道路上难以行驶。为了减轻质量, 近年来, 铝合金和变形镁合金材料逐渐被用于生产汽车零件。这两种材料通过塑性成形(冲压拉深)后的比强度和比刚度更高, 电磁屏蔽效果好, 抗振减振能力强, 易于回收。



图 1.0 载重车和轿车

利用铝合金和变形镁合金材料制作汽车零件, 可以大大减轻整车的重量, 降低油耗, 对减少排放和污染起到了很大的作用。然而铝的晶体是面心立方结构, 镁合金的结构是密排六方结构, 而钢的晶体是体心立方结构, 而且大部分的铝合金和变形镁合金零件是用压铸工艺生产的, 由于压铸件的组织不够致密并会产生一些空洞, 因而在使用性能上难以满足承力构件的强度要求。变形镁合金, 在常温下变形时, 只有基面滑移系参与, 从而限制了其塑性变形能力。镁合金在较高温度($\geq 200^\circ\text{C}$)并在适当的工艺条件下, 会显现良好的拉深成形性能, 铝合金在常温下通过塑性成形加工, 但是拉深性能远不如钢板, 所以目前这两种材料还只能用于生产一般的如支架一类的零件。随着新工艺新技术的不断研发, 不久的将来, 这两种材料必然会越来越多地被采用。

我们在日常生活中经常可以看到由金属塑性成形或加工的零件或产品, 如餐厅或食堂用的不锈钢餐具、钟表的指针、轿车的外形件、飞机蒙皮、火车的连杆等。这些零件都是通过材料的塑性成形或加工生产出来的。金属材料通过施加载荷并借助于压力机及模具的生产过程就是塑性成形或塑性加工。目前采用塑性成形或加工的零件已占到了所有机械零件的 60% 左右。

那么, 什么形状的零件可运用塑性成形? 金属材料通过塑性成形加工后会显现哪些特性? 金属材料采用塑性加工工艺和切削加工生产有什么区别? 塑性加工有哪些工序或方式? 这些都是我们需要了解的。本章通过介绍塑性成形特点和工序, 明确本课程的学习任务和要求。

金属在外力作用下, 将产生一定的变形。一般来说, 当外力较小时, 物体处于弹性状态, 此时物体的应力与应变之间有着——对应关系。如此时除去外力, 物体能恢复到其初始状态, 而当外力逐渐增大到某一值时, 物体中的某一点的应力状态达到某一极限值, 此时除去外力, 物体就不能完全恢复到原始状态, 而会产生一部分的残余变形, 这种残余变形属于永久变形, 即塑性变形。金属所具有的这种塑性变形能力称为金属的塑性。塑性加工或压力加工, 是利用金属的塑性, 在外力作用下, 依靠成形设备并借助于工(模)具, 使金属体积发生转移或形状及尺寸发生变化, 从而获得所需要的产品或零件的一种金属加工方法。图 1.1 所示为部分塑性加工的零件。



图 1.1 部分塑性加工的零件

1.1 金属塑性成形的特点和分类

1.1.1 特点

金属塑性加工与金属切削和铸造及焊接等加工方法不同, 主要有以下特点。

1. 金属材料组织和性能得到改善和提高

金属材料塑性成形过程中, 除尺寸和形状发生改变外, 其内部组织和性能会得到改善和提高。尤其是对于铸造坯料, 其内部组织初始状态一般比较疏松并有多孔现象, 晶粒粗大且不均匀, 然而经过塑性加工, 其结构会更致密, 组织粗晶破碎细化和均匀, 从而使力学性能得到提高。如铸锭经过锻造和轧制及挤压, 金属的流线分布合理, 零件或产品的性能会有大幅度的提高。又如非规则形状冲裁件的冲裁模具中的凸、凹模的制造, 一般都采



用锻造过的 T10 或 T10A 等钢材。

2. 材料利用率高

金属塑性加工主要依赖于金属在受外力作用下,金属材料进入塑性状态时的体积变化或转移来实现,这个过程不会产生切屑或者只有少量的工艺废料,材料利用率很高。图 1.2 所示为杯形冲压件生产过程。图 1.3 所示为圆柱体锻粗制坯过程。

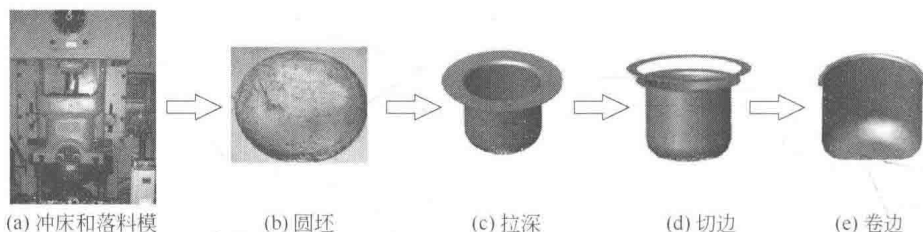


图 1.2 杯形冲压件生产过程

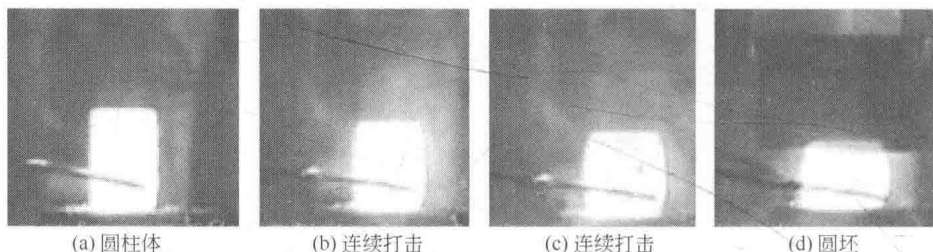


图 1.3 圆柱体锻粗过程

3. 便于组织自动化大批量生产和生产效率高

金属塑性加工中的冲压生产,随着生产机械化与自动化程度的提高,生产率也相应得到提高,而在金属的轧制和拉拔及挤压等工艺中更显示了其生产效率高的特点。例如,在双动压力机上生产复杂冲压件如汽车覆盖件仅需几秒,生产大型冲压件如汽车纵梁,在专用大吨位压力机上也仅需几十秒。

4. 尺寸精确高和互换性好

如冲压件的尺寸公差与形状精度由冲模保证,所加工出的零件质量稳定,互换性好,如垫圈和游标卡尺等零部件。

由于金属塑性加工具备了上述这些特点,因而被广泛应用于汽车、航空航天、军工、电机、仪表、家用电器等工业生产部门。

1.1.2 分类

对金属塑性加工工序进行分类是为了便于对其分析和研究,然而目前分类方法还不统一。按照被加工材料的形状特征,一般把塑性加工分为体积成形(块料成形)和板料成形两大类。按照加工时金属变形的特点,塑性加工又可分为轧制、拉拔、挤压、锻造和冲压五大类。这五类当中各自又包括多种加工方法,形成其各自的工艺领域。在轧制和拉拔及挤压的成形过程中,变形区是不变的,属稳定的塑性流动过程,适于连续的大量生产,提供

型材、板材、管材和线材等金属原材料,属于冶金工业领域;而锻造和冲压成形的变形区随变形过程而变化,属非稳定的塑性流动过程,适于连续的或间歇性的生产,用于提供机器零件或坯料,属于机械制造领域。锻造属体积成形,而冲压属于板料成形,故也称为板料冲压或冷冲压。虽然金属塑性成形都是借助于外力并依赖于工艺装备(模具等)进行的,但外力的形式也可分为压力、拉力、弯矩、剪力等。

1. 靠压力作用使金属体积产生变形

1) 轧制

轧制是坯料通过旋转的轧辊受到压缩,使其横截面减小,形状改变,长度增加。根据轧辊和轧件的运动关系,轧制可分为纵轧、横轧和斜轧。

(1) 纵轧。两工作轧辊旋转方向相反,轧件的纵轴线与轧辊轴线垂直。

(2) 横轧。两工作轧辊旋转方向相同,轧件的纵轴线与轧辊轴线平行。轧件获得绕纵轴的旋转运动。

(3) 斜轧。两工作轧辊旋转方向相同,轧件的纵轴线与轧辊轴线成一定的倾斜角,轧件在轧制过程中,除了绕其轴线旋转运动外,还有前进运动,如图 1.4 所示。

2) 锻造

锻造是指靠锻压机的锻锤打击工件产生压缩变形的一种方法。锻造通常分为自由锻造和模锻,如图 1.5 所示。自由锻一般是在锻锤或水压机上利用简单的工具将金属锭或块料锻成所需形状和尺寸的加工方法。自由锻时不使用专用模具,因而锻件的尺寸精度低,生产率也不高,主要用于轴类和曲柄及连杆等单件和小批量生产及大锻件生产或冶金厂的开坯。模锻是在模锻锤或热模锻压力机上利用模具来成形。由于金属的成形受模具控制,因此模锻件具有相当精确的外形和尺寸,也有很高的生产率,适合于大批量生产。



图 1.4 轧制成形



(a) 自由锻



(b) 模锻

图 1.5 锻造成形

3) 挤压

挤压是指将坯料放入挤压机的挤压筒中,在挤压杆的压力作用下,使金属从一定形状和尺寸的模孔中流出的方法。根据挤压过程中金属流动方向与凸模运动方向之间的关系,可将挤压分为以下几种类型。

(1) 正挤压。挤压时金属材料的流动方向与凸模运动方向相同,如图 1.6(a)所示。

(2) 反挤压。挤压时金属材料的流动方向与凸模运动方向相反,如图 1.6(b)所示。

(3) 复合挤压。挤压时一部分金属材料的流动方向与凸模运动方向相同,一部分金属材料的流动方向则与凸模运动方向相反,如图 1.6(c)所示。

(4) 减径挤压。它是一种变形程度较小的变态正挤压,坯料断面仅作轻度缩减,如



图 1.6(d)所示。

(5) 径向挤压。挤压时金属材料的挤出方向与凸模运动方向垂直，如图 1.6(e)所示。

(6) 镦挤。挤压时金属材料的流动具有挤压和镦粗的特点，即一部分金属沿凸模轴向流动，另一部分金属则沿径向流动，如图 1.6(f)所示。

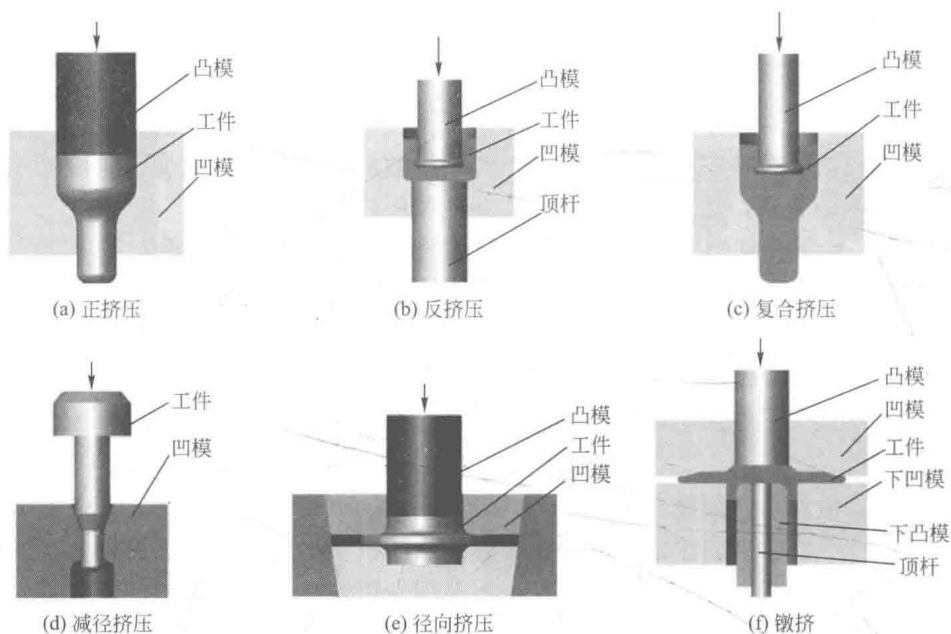


图 1.6 几种挤压类型

用挤压工艺可生产各种断面的型材、管材及机器零件。

2. 主要靠拉力作用使金属产生变形

1) 冲压拉深

拉深等成形工序是在曲柄压力机或油压机上用模具把板料拉进模腔中成形(图 1.7)，用以生产各种薄壁空心零件，如各种空间曲面零件及覆盖件等。

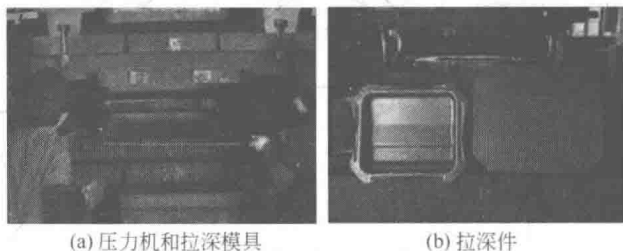


图 1.7 异形件拉深

2) 拉拔

拉拔是将金属坯料从一定的形状和尺寸的模孔中拉出，以获得一定截面形状材料的塑性成形方法(图 1.8)。拉拔用于管材、型材及线棒材制品的生产。拉拔变形区在拉拔模内，在拉拔过程中变形区形状基本保持不变，可视作稳态变形过程。



图 1.8 拉拔成形

3) 拉形

拉形是板料两端在拉力作用下沿一定形状的模具并贴模成形(图 1.9), 如飞机蒙皮等大型曲面零件。带材的拉力矫直也属于这种方式。

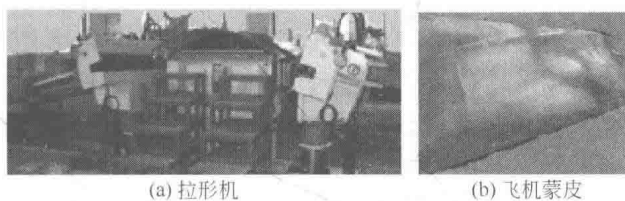


图 1.9 拉形成形

3. 主要靠弯矩和剪力作用使金属产生变形

1) 弯曲

弯曲是指坯料在弯矩的作用下成形, 如板料弯曲(图 1.10), 板带材的折弯成形、钢材的弯曲或矫直等。

2) 剪切

坯料在剪力作用下进行剪切变形, 如板料在模具中的冲孔、落料、切边、板材和钢材的剪切等, 图 1.11 所示为在冲床上落料。

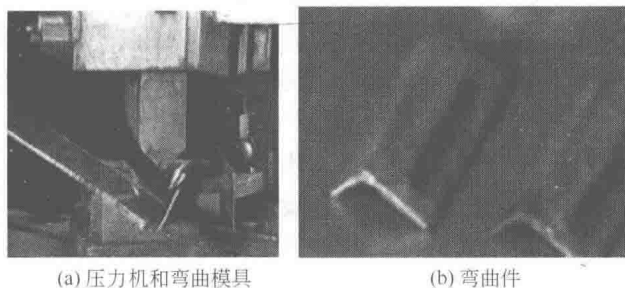


图 1.10 板料弯曲成形



图 1.11 冲床上落料

为了扩大加工产品品种, 伴随着生产技术的不断进步, 人们对许多基本加工变形方式进行了研究, 并相继研发出了许多组合加工变形方式, 进一步扩大了塑性成形的应用范围。例如, 拉深与轧制相结合的旋压法; 纵轧和锻造组合成为辊锻工艺, 用于生产变断面零件(如连杆等); 横轧和锻造组合变成纵轧组合的楔横轧工艺, 可生产锥形轴和阶梯轴; 锻造扩孔和横轧组合的辗环工艺, 可生产不同断面的冷弯型材及焊管等。

塑性成形按成形工件的温度还可分为热成形、冷成形、温成形三类。



热成形是指在充分进行再结晶的温度以上所完成的加工,如热轧、热锻及热挤压等。冷成形是指在不产生回复和再结晶的温度以下进行的加工,如冷轧、冷冲压、冷挤压及冷锻等;而温成形是指在介于冷热成形之间的温度下进行的加工,如温锻和温挤压等。

1.2 金属塑性成形技术现状与发展趋势

金属塑性加工可以追溯到远古时期的造币压印。伴随着冶金技术的发展,各种金属加工方法应运而生。到目前为止,金属塑性加工不但能加工很微小的零件,也能加工很大的零件,原先采用切削加工或其他加工方法的许多零件正逐步被金属塑性加工方法所取代,而且占机械零件中的比例越来越高,甚至达到了60%。如一辆汽车约有20000多个零件,而其中的80%都采用金属塑性加工(板料冲压成形)方法。近几年,我国金属塑性成形领域的科学技术取得了许多科研成果,主要进展如下。

(1) 大锻件成形。有限元数值模拟取得了明显进展,预测锻造过程中材料组织演化已在生产上得到应用;世界最大自由锻造液压机已投入使用;特大型复杂锻件成形工艺取得高水平成果;第三代核电站主要锻件均已试制成功。

(2) 回转成形。楔横轧成形理论研究深入发展,避免产生轧件内部缺陷的方法已在生产实践中得到应用;世界最大楔横轧机已生产出世界最大楔横轧件;辊锻和旋压等回转加工工艺在生产中发挥重要作用。

(3) 板材与管材成形。高强钢板材热冲压与淬火联合工艺已在汽车零件生产上得到应用;多点成形工艺在汽车与船舶复杂工件生产上发挥作用;内高压成形技术进步明显,400MPa内高压发生装置已开始在液压机上使用。

(4) 局部加载近净成形。基本原理与近净成形工艺开发取得进展,已应用这一新技术生产出近净成形大型钛合金结构件;复杂形状大型环件已应用于许多工业领域。

(5) 精密体积成形。基本理论与新工艺研究取得较快进展;国内企业已能生产汽车工业所需的大批量精密冷锻件与温锻件;复杂零件成形所需模具设计与制造能力增强,大部分模具不再需要进口。

展望今后一段时期国内外塑性成形技术,大约会呈现以下几个发展趋势。

(1) 提出了流动方向假说。质点沿着该点处平均应力梯度最大的方向流动。通过二维和三维问题数值模拟结果观察,流动方向与平均应力梯度的一致度很好,但是,还需要实验验证或理论证明。

(2) 研究金属塑性成形内部的应力应变和位移,温度、硬度及晶粒度分布。

(3) 研究金属塑性成形力学中非线性力学与数学问题的线性化解法,采用较精确的初始和边界条件并能反映金属材料实际流变特性的变形抗力模型,提高金属塑性成形力学解析性与严密性。

(4) 通过塑性理论证明轴对称变形流动分界面定理:轴对称变形中,流动分界面与罗德系数的零值面重合。推论:流动分界面上的应变类型为平面应变类型,流动分界面两侧的应变类型相反。

(5) 提出了定量测量体积变形体内部流线和应变的新方法——嵌入螺柱法和套环螺

纹。优点是变形前不剖分试样,且不受温度和受力条件的限制,可以同时获得应变分布和流线。

(6) 进一步拓宽成形零件的形状复杂程度,即根据成形件的形状特征,设法运用不同的成形方法,包括运用温锻方法,以提高复杂形零件的成形率。

(7) 着力研究更积极有效的润滑和材料软化处理方法,以期进一步改善现行金属塑性材料的成形条件,并扩大金属塑性成形材料的品种。

(8) 开发以塑性成形和塑性精整为终结工序的高附加值复合工艺技术,使塑性成形或塑性精整工序与其他如热锻、铸造、板料冲压、粉末冶金、切削加工等工序相结合,充分发挥各自的优势,使所生产的产品,不仅符合精度、性能方面的要求,而且可以大大降低成本。

(9) 从方便金属塑性成形并能直接满足产品使用要求相结合的角度,开发新一代的金属塑性成形材料,以谋求最理想的金属塑性成形经济效益。

(10) 进一步开发和完善快捷、有效的工业试验方法,以期针对不同的生产预期(包括锻件尺寸精度、各项性能要求、生产批量、生产率要求等),对锻件塑性成形各环节的难易、优劣等作出正确的鉴别。

(11) 全面推广应用 CAD/CAM/CAE 技术,为适应零件的不同形状与尺寸的加工需要。在构建目标函数、优化设计变量和提高优化程序通用性等方面,进一步探索和完善基于有限元分析的优化设计方法在金属体积塑性成形工艺和模具设计中的合理应用。

1.3 金属塑性成形原理课程的任务

由上述介绍可知,金属塑性成形方法虽然多种多样,并且每种方法具有各自的特点,但是它们有着共同的物理基础和变形规律,即都要利用金属的塑性,并借助于一定的外力使其产生变形。金属塑性成形原理课程的目的和任务就在于科学地、系统地阐明这些物理基础和变形规律,为合理制订塑性成形工艺奠定理论基础。因此,本课程的任务主要如下。

(1) 阐明金属塑性变形的物理基础和力学条件,分析塑性变形的机理及塑性变形条件对金属的组织 and 力学性能的影响。

(2) 阐述金属的塑性变形行为及变形条件对其塑性和变形抗力的影响,以使工件在成形时获得最佳的塑性状态、最高的变形效率和优质的性能。了解塑性成形时的金属流动规律和变形特点,分析影响金属塑性流动的各种因素,以便合理地确定坯料尺寸和成形工序,使工件顺利成形。

(3) 论述应力、应变及应力应变之间的关系和屈服准则等塑性理论知识,能对金属产品零件受力时的变形过程进行应力和应变分析,并寻求塑性变形物体的应力和应变分布规律及所需的变形力和变形功的计算等。

(4) 运用金属塑性成形力学问题的各种解法及其在具体工艺中的应用,分析解决成形零件生产中常见的产品质量和工艺等问题,并能够合理地选择成形设备及设计模具。