

普通高等学校职业教育教改示范教材

模具设计与制造

刘靖岩摇主编

郭庆梁摇参编
迟摇旭

宋摇柏摇主审

前 摇 摇 言

根据高职高专人才培养目标和两年学制改革的要求,从生产实际要求出发,依据“以能力为本,培养实用型技术人才”的原则,我们编写了此教材。

本教材内容包括两大部分三方面内容,即模具设计和模具制造两大部分,通过对冲压成型工艺及冲压模具设计、塑料成型工艺及塑料模具设计、模具制造工艺等三方面内容的介绍,使学生掌握模具设计及模具制造的基本知识和基本技能。本书突出理论与实际的联系,设计部分采用设计示例的形式进行编写,用较大篇幅介绍典型模具的设计示例,在每个示例里都安排了工艺分析、主要设计方法和步骤、模具结构分析和主要零部件设计等。制造部分以现代制造技术为主线,兼顾传统制造技术,所选例子均取自于工程实例,从而在此教材里体现出高等职业教育的实用性、灵活性、快捷性、适应性等特点。为了让学生在学习中抓住重点以及培养学生思考问题的能力,我们在每章结束后均附有“本章小结”和“思考题”,并在全书后附有“各章思考题参考答案”。

本教材特点如下:

援教材案例取材自生产工程实例,以强化学生的工程化意识;

圆在设计部分,用对典型模具的设计示例进行分析的方式,讲解加工工艺要点、设计方法和步骤,以加深学生对工程项目的认识;

猿在制造部分,注意了模具加工的特点,以现代制造技术为主,兼顾传统制造技术,并注意避免与“机械制造”课程的重复。

全书共分 员章。第 员 源 员 员 员章由辽宁信息职业技术学院刘靖岩编写;第 远 苑 愿章由辽宁石油化工大学职业技术学院郭庆梁编写;第 圆 猿 缘 圆章由辽宁信息职业技术学院迟旭编写。由刘靖岩担任主编并负责对全书进行统稿和修改,由郭庆梁任副主编,由沈阳职业技术学院宋柏担任主审。

在本书的编写过程中我们得到:广东省高州市金山开发区科技专修学院的毛海青老师;哈尔滨职业技术学院的高波、黄冬梅老师;三峡职业技术学院的张淑会老师;湖北轻工职业技术学院的张安全、李峰老师,绵阳职业技术学院的吕思科老师、天津职业大学的牛玉丽老师;浙江工业专修职业学院的诸葛晓舟、王宇老师;苏州工业园区职业技术学院的魏宣燕、徐兵老师的帮助,特向他们表示感谢。

由于编写时间仓促,书中难免会有不妥或出现编校错误,恳请各位读者和使用本教材的教师及时批评指正,可通过电子信箱:憎憎怨怨岳岳远远猿猿猿与我们联系,以便我们及时调整和改进。此外,本教材参阅了多种同类教材和著作,在此特向“参考文献”中的著者致谢。

编 摇 者

圆 圆 缘 年 远 月

第 1 章 冷冲压成型工艺概论

冷冲压是塑性加工的基本方法之一，它是利用安装在压力机上的模具，在室温下对板料施加压力使其变形或分离，从而获得具有一定形状、尺寸和精度的零件的一种压力加工方法。因为它主要用于加工板料零件，所以也称板料冲压。

在冷冲压加工中，将材料（金属或非金属）加工成零件（或半成品）的一种特殊工艺装备，称为冷冲压模具（俗称冷冲模）。冷冲模在实现冷冲压加工中是必不可少的工艺装备，没有先进的模具技术，先进的冲压工艺就无法实现。

1.1 冷冲压加工的特点及在生产中的地位

1.1.1 冷冲压加工的特点

1) 能冲压出其它加工工艺难以加工或无法加工的形状复杂的零件。例如，从仪器仪表小型零件到汽车覆盖件、纵梁等大型零件，均由冲压加工完成。

2) 冲压件质量稳定，尺寸精度高。由于冲压加工是靠模具成型，模具制造精度高、使用寿命长，故冲压件质量稳定，制件互换性好。尺寸精度一般可达到 $\text{IT}10\sim\text{IT}12$ 级，最高可达到 $\text{IT}6$ 级，有的制件不需再机械加工，便可满足装配和使用要求。

3) 冲压件具有重量轻、强度高、刚性好和表面粗糙度小等特点。

4) 生产率高。例如，汽车覆盖件这样的大型冲压件的生产效率，可达每分钟数件；高速冲压小型制件，每分钟可达到上千件。

5) 材料利用率高。一般为 $90\%\sim 95\%$ ，因此冲压加工能实现少废料，甚至无废料生产。在某些情况下，边角余料也可充分利用。

6) 操作简单，便于组织生产。

7) 易于实现机械化与自动化生产。由于冲压加工所用毛坯多为条料或带料，又是冷态加工，大批量生产时易于实现机械化和自动化。

8) 冷冲压的缺点是模具制造周期长、制造成本高，故不适于单件小批量生产。另外，冷冲压生产多采用机械压力机，由于滑块往复运动快，手工操作时，劳动强度较大，易发生事故，故必须特别重视安全生产、安全管理以及采取必要的安全技术措施。

1.1.2 冷冲压加工在生产中的地位

冷冲压加工的应用范围十分广泛，不仅可以加工金属材料，而且也可以加工非金属材料，在汽车、拖拉机、电机、电器、仪表、玩具以及日常生活用品的生产方面，都占有十分重要的地位。另外，在国防工业生产中，如飞机、导弹、各种枪弹与炮弹的生产，冷冲压加工也占有很大比例。例如某联合收割机有 1500 个零件，其中冲压件为 500 个，占 33% ；某冲锋枪 1000 个零件中有 300 个冲压件，占 30% 。

随着汽车和家用电器等行业的飞速发展，在工业发达国家，对发展冷冲压生产给予了高度重视。据近年来的统计表明，美、日等国的模具工业年产值已经超过机床工业年产值的

远% ~ 员圆%。冷冲压模具历史悠久、用途广、技术成熟，在各种模具中所占比例最大。汽车、摩托车、家电行业是模具最大的市场，占整个模具市场的 远圆% 以上。因此冷冲压加工在我国现代化建设中有着非常广阔的发展前景。

员圆 冷冲压工序的分类

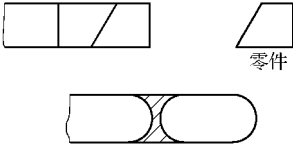
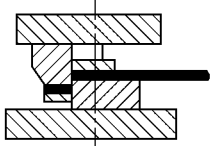
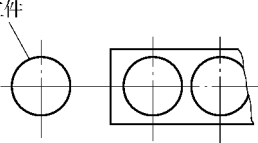
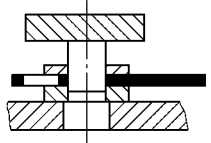
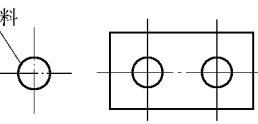
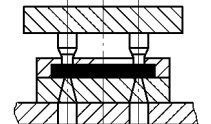
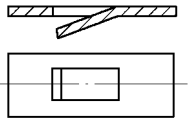
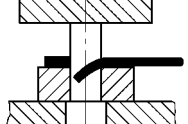
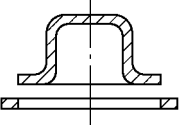
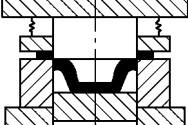
由于冲压件的形状、尺寸和精度要求不同，因此，冷冲压加工的方法是多种多样的。根据材料的变形特点及企业现行的习惯，冷冲压的基本工序可分为分离工序与变形工序两大类。

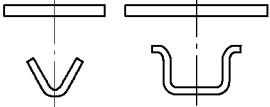
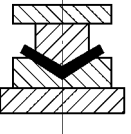
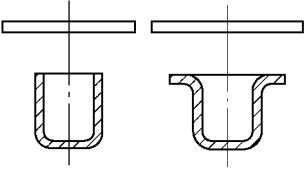
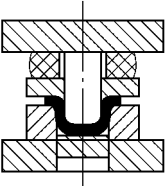

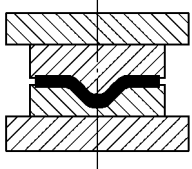
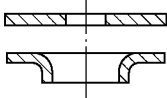
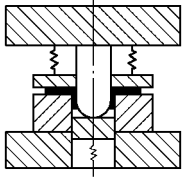
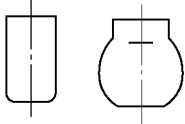
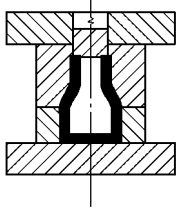
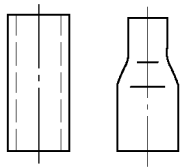
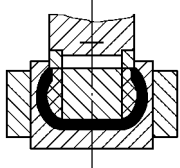
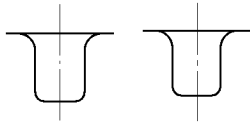
员) 分离工序是使冲压件与板料沿要求的轮廓线相互分离，并获得一定断面质量的冲压加工方法。

圆) 变形工序是使冲压毛坯在不破裂的条件下发生塑性变形，以获得所要求的形状、尺寸的零件的冲压加工方法。

为了提高劳动生产率，常将两个以上的基本工序合并成一个工序，称为复合工序。主要冲压工序的分类见表 员圆。

表 员圆 主要冲压工序的分类

类别	工序名称	工序简图	工序特征	模具简图	
分离工序	切断		摇用剪刀或模具切断板料，切断线不是封闭的		
	冲裁	落料		摇用模具沿封闭线冲切板料，冲下的部分为工件	
		冲孔		摇用模具沿封闭线冲切板料，冲下的部分为废料	
分离工序	切口		摇用模具将板料局部切开而不完全分离，切口部分材料发生弯曲		
	切边		摇用模具将工件边缘多余的材料冲切下来		

类别	工序名称	工序简图	工序特征	模具简图	
变 形 工 序	弯曲		摇用模具使板料弯成一定角度或一定形状		
	拉深		摇用模具将板料压成任意形状的空心件		
	成 型	起伏 (压肋)		摇用模具将板料局部拉深成凸起和凹进形状	
		翻边		摇用模具将板料上的孔或外缘翻成直壁	
	缩口		摇用模具对空心件口部施加由外向内的径向压力,使局部直径缩小		
	胀形		摇用模具对空心件加向外的径向力,使局部直径扩张		
	整形		摇将工件不平的表面压平;将原先弯曲或拉深件压成正确形状	同拉深模具	

冷冲压材料

对冷冲压材料的基本要求

冷冲压所用的材料，不仅要满足产品设计的技术要求，还应当满足冲压工艺的要求和冲压后的加工要求（如切削加工、电镀、焊接等）。冲压工艺对材料的基本要求主要有以下几点。

对冲压成型性能的要求

对于成型工序，为了有利于冲压变形和制件质量的提高，材料应具有：良好的塑性（均匀伸长率 $\delta_{\text{道}}$ 高）、屈强比（ $\sigma_{\text{转道}}$ ）小、板厚方向性系数大、板平面方向性系数小、材料的屈服强度与弹性模量的比值（ $\sigma_{\text{转道}}$ ）小。不同冲压工序对板材性能的具体要求如表 1-1 所示。

表 1-1 不同冲压工序对板材性能的具体要求

工序名称	性能要求
冲裁	摇具有足够的塑性，在进行冲裁时板料不开裂；材料的硬度一般应低于冲模工作部分的硬度
弯曲	摇具有足够的塑性、较低的屈服极限和较高的弹性模量
拉深	摇高塑性、屈服极限低和板厚方向性系数大，板料的屈强比（ $\sigma_{\text{转道}}$ ）小，板平面方向性系数小

对于分离工序，并不需要材料有很好的塑性，但应具有一定的塑性。塑性越好的材料，越不易分离。

对材料厚度公差的要求

材料的厚度公差应符合国家规定标准。因为一定的模具间隙适用于一定厚度的材料，材料厚度公差太大，不仅直接影响制件的质量，还可能导致模具和冲床的损坏。

对表面质量的要求

材料的表面应光洁平整，无分层和机械性质的损伤，无锈斑、氧化皮及其它附着物。表面质量好的材料，冲压时不易破裂，不易擦伤模具，工件表面质量也好。

选择材料时要认真考虑材料供应情况以及经济因素，应最大限度地利用材料的冲压性能。必要时，应修改一些过高的设计要求和工艺要求，或采用代用材料。

常用冷冲压材料

冷冲压用材料大部分是各种规格的板料、带料和块料。板料的尺寸较大，一般用于大型零件的冲压。对于中小型零件，多数是将板料剪裁成条料后使用。带料（又称卷料）有各种规格的宽度，展开长度可达几十米，适用于大批量生产的自动送料，材料厚度很小时也可做成带料供应。块料只用于少数钢号和价钱昂贵的有色金属的冲压。

冷冲压常用材料有如下几种。

(1) 黑色金属摇普通碳素结构钢、优质碳素结构钢、合金结构钢、碳素工具钢、不锈钢、电工硅钢等。

对冷轧钢板，根据国家标准 GB 708—1966 规定，按轧制精度（钢板厚度精度）可分为 2 级：2 级表示较高精度；1 级表示普通精度。

对厚度 0.5mm 以下的优质碳素结构钢冷轧薄钢板，根据 GB 912—1989 规定，按钢板表面质量可分为 I、II、III 三组：I 表示高级的精整表面；II 表示较高级的精整表面；III 表示普通的精整表面。按拉深级别又分为 A、B、C 三级：A 表示最深拉深级；B 表示深拉深级；C 表示普通拉深级。

(圆) 有色金属摇纯铜、黄铜、青铜、铝等。

(狗) 非金属材料摇纸板、胶木板、橡胶板、塑料板、纤维板和云母等。

在冲压工艺资料和图样上，对材料的表示方法有特殊的规定。现以优质碳素结构钢冷轧薄板标记为例：08F 钢，尺寸 1000×500×0.5，普通精度，较高级的精整表面，深拉级的冷轧钢板表示为：钢板

08F 1000×500×0.5 普通精度 较高级的精整表面 深拉级

关于材料的牌号、规格和性能，可查阅有关设计资料和标准。

常用冷冲压设备

用来完成冲压件各种冲压工艺的机床通称为冲压设备或压机。冲压设备与其它机械加工设备相比有以下几个特点：一是，在冲压生产中，制件的成型主要是由模具完成的，因此冲压设备的工作机构运动仅为简单的往复运动，这样机床的传动结构大为简单，且制造容易，操作简便，并具有很大的万能性；二是，冲压设备工作部分有良好的导向，故所冲压成的制件精度高，互换性较好；三是，冲压设备的传动系统灵敏可靠，具有规律的往复运动，因而易于实现机械化和自动化生产。

冲压设备种类很多，主要有以下几种：

① 机械压力机类：包括曲柄压力机、偏心压力机、拉深压力机、摩擦压力机、粉末制品压力机、模锻精压机、挤压用压力机和专用压力机等。

② 液压机类：有冲压液压机、一般用途液压机、弯曲校正压紧用液压机、打包压块用液压机和专门化液压机。

③ 自动锻压机：如板料自动压力机。

④ 弯曲校正机、校正弯曲机和板料凸缘折压机等。

常用冷冲压设备

曲柄压力机

曲柄压力机是主要的冲压设备。它能进行冲裁、弯曲、拉延和挤压等冲压工艺。曲柄压力机又有曲轴压力机和偏心压力机两种。各种曲柄压力机虽然吨位大小和形状不同，但是它们的基本结构都由下面三个部分组成，如图 1-1 所示。

(1) 传动系统摇由带轮、皮带、齿轮及传动轴组成。它的作用是将电动机的能量和运动传递给工作机构。

(2) 工作机构摇主要由曲轴、连杆和滑块组成。它的作用是将曲轴的旋转运动变为滑块的往复运动，从而带动上模完成冲压工作。

(3) 床身摇是机床传动系统、工作机构等部件安装的基体。床身把压力机所有部分连接成一个整体。

此外，传动系统中还装有离合器和制动器。为了保护人身和机器的安全，压力机还设有人身安全装置和过载保护装置。

曲柄压力机的工作过程为：电动机启动后，通过带轮、皮带和传动轴带动飞轮不停地旋转。当踏下脚踏板时，制动器松开，随即离合器接合，将传动系统与工作机构连接起来，曲轴的旋转运动经过连杆带动滑块上下往复运动。松开脚踏板时，离合器脱开，飞轮空转，曲轴被制动器刹制在最高点。滑块即停在上死点位置。

通用曲柄压力机亦称冲床，这种压力机通常只有一个滑块，根据其床身结构不同，可分为开式冲床和闭式冲床。开式冲床的床身前面、左面和右面三个方向是敞开的，因此模具的安装、调整和操作等都很方便，开式冲床吨位较小，大都在 1000kN 压力之下，如图 1-10 所示。闭式冲床亦称龙门冲床，这种冲床床身为龙门式，刚度大、精度高，一般吨位较大，属于大、中型压力机。

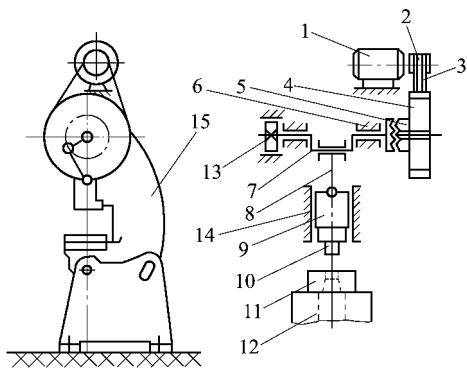


图 1-10 通用曲柄压力机结构

- 1—电动机；2—带轮；3—皮带；4—源—飞轮；5—缘—离合器；
- 6—远—轴承；7—苑—曲轴；8—愿—连杆；9—怨—滑块；10—上模；
- 11—下模；12—工作台；13—制动器；
- 14—导块；15—床身

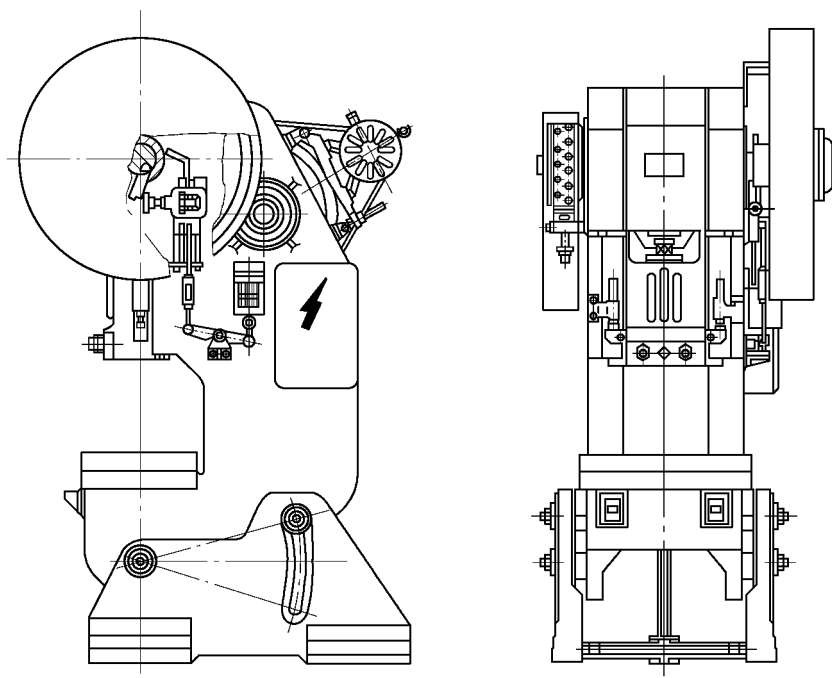


图 1-11 通用型开式双柱可倾压力机总图

摩擦压力机

摩擦压力机是一种螺旋压力机，通过螺杆相对于螺母旋转带动滑块沿导轨做上下往复运动。螺杆的旋转力矩是靠飞轮与摩擦盘之间的摩擦力获得的。摩擦压力机有单盘式、双盘

式、三盘式等几种，其中双盘式压力机应用最广泛。图 苑 所示为双盘摩擦压力机总图，它由四部分组成。

(员) 传动部分由皮带、带轮、左右摩擦盘和传动轴组成。

(圆) 工作部分包括飞轮、螺杆、螺母和滑块等。

(猿) 床身部件是由床身、上横梁、拉紧螺栓和左右支臂等组成。

(源) 附属装置包括制动装置、缓冲装置、顶料装置和安全装置等。

双盘摩擦压力机的工作过程为：电机启动后，带动传动轴和摩擦盘空转，当按下操纵手柄通过杠杆系统将传动轴水平向右拖动，这时左摩擦盘侧面与飞轮外缘接触而产生一摩擦力矩，使螺杆顺时针转动，带动滑块远往下运动；拉起操纵杆时，则滑块远便向上运动。

摩擦压力机的特点是：构造简单，价格较便宜，滑块的行程不固定，当工作中超负荷时，仅仅只会引起飞轮与摩擦盘之间滑动，而不会折断机件。摩擦压力机既可进行冲裁、弯曲、校平等冲压工艺，还可用来进行锻造工艺，如热模锻和挤压等。摩擦压力机的缺点是：飞轮轮缘的磨耗甚大，滑块行程速度低，故生产效率不高。

液 压 机

液压机是进行拉深、弯曲、成型和挤压等工艺的重要设备。液压机虽有多种规格，但其工作原理是一致的。

液压机的基本工作原理是液体静压力传递原理。图 苑 所示为液压机原理图。图中，一端有一个面积为 S_2 的小柱塞，另一端有一个面积为 S_1 的大柱塞，两个柱塞之间以连通管相连，且设有密封装置，使连通管内形成一个密闭的空间，不使液体外泄。这样，若小柱塞上施加一个外力 F_2 时，作用在液体上的单位压力为 p ；按照液体静压力传递原理，这个单位压力 p 将传递到液体的全部，其数值不变，而方向为垂直物体的表面，故大柱塞上产生的推力 F_1 。

各种液压机都由三部分组成。

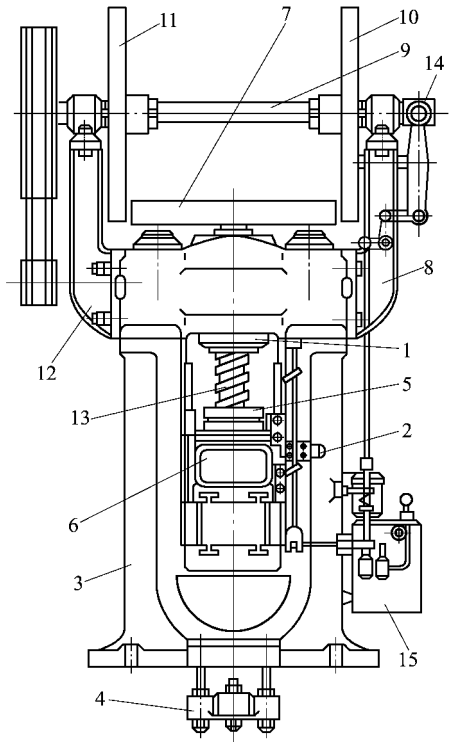


图 苑 双盘摩擦压力机总图

- 员—缓冲装置；圆—安全装置；猿—床身；源—顶料装置；
- 缘—制动装置；远—滑块；苑—飞轮；愿—右支臂；
- 怨—传动轴；员—右摩擦盘；员—左摩擦盘；
- 员—左支臂；员—螺杆；员—杠杆系统；
- 员—液压装置

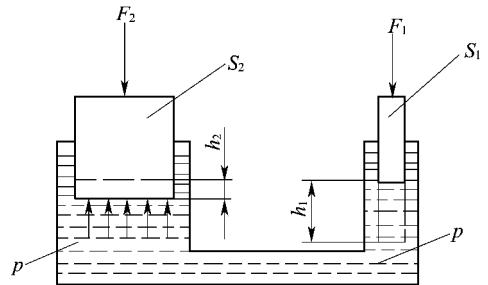


图 苑 液压机原理图

(员) 本体部分摇包括立柱、下横梁、活动横梁、工作缸、顶出器。

(圆) 动力部分摇为工作缸和顶出缸提供高压油的高压泵。

(猿) 操纵部分摇包括操纵箱和一些操纵阀。通过这些操纵阀来控制 and 分配给各工作油缸高压液体的流量和流动方向, 以实现液压机的活动横梁快速下行, 并加压、保压、卸压、快速回程、顶出缸活塞顶出和回程等动作。

液压机的结构如图 5-2 所示。液压机的特点为: 在全行程内都能实现全压和长时间保压; 工作速度可调节, 如空行程和回程时可快速, 合模时慢速, 既利于操作, 又可提高生产效率; 此外, 还具有工作平稳、撞击和振动轻、噪声小等优点。

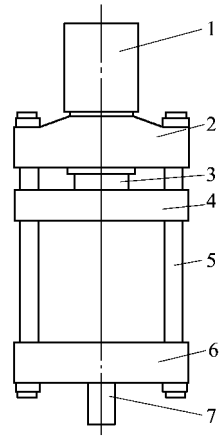


图 5-2 摇压机结构图
员—充液罐; 圆—上梁; 猿—主缸及活塞;
源—活动横梁; 缘—立柱;
远—下梁; 苑—顶出缸

5.2 摇冷冲压设备的选用

5.2.1 冲压设备类型的选择

根据所要完成的冲压工艺的性质、生产批量的大小、冲压件的几何尺寸和精度要求来选择设备的类型。

对于中小型的冲裁件、弯曲件或拉深件的生产, 主要应采用开式机械压力机。虽然开式冲床的刚度差, 在冲击力的作用下床身的变形能够破坏冲裁模的间隙分布, 降低模具的寿命或冲裁件的表面质量。可是, 由于它提供了极为方便的操作条件和非常容易安装机械化附属装置的特点, 使它成为目前中、小型冲压设备的主要形式。

对于大中型冲压件的生产, 多采用闭式结构形式的机械压力机, 其中有一般用途的通用压力机, 也有台面较小而刚度大的专用挤压压力机、精压机等。在大型拉深件的生产中, 应尽量选用双动拉深压力机, 因其可使所用模具结构简单, 调整方便。

在小批量生产中, 尤其是大型厚板冲压件的生产多采用液压机。液压机没有固定的行程, 不会因为板料厚度变化而超载, 而且在需要很大的施力行程加工时, 与机械压力机相比具有明显的优点。但是, 液压机速度小, 生产效率低, 而且零件的尺寸精度有时因受到操作因素的影响而不十分稳定。

摩擦压力机具有结构简单、造价低廉、不易发生超负荷损坏等特点, 所以在小批量生产中常用来完成弯曲、成型等冲压工作。但是, 摩擦压力机的行程次数较少, 生产率低, 而且操作也不太方便。

在大批量生产或形状复杂零件的大量生产中, 应尽量选用高速压力机或多工位自动压力机。

5.2.2 冲压设备规格的确定

在冲压设备的类型选定之后, 应该进一步根据冲压件的尺寸、模具的尺寸和冲击力来确定设备的规格。具体有:

① 所选压力机的公称压力必须大于冲压所需的总冲击力, 即

② 压力机的行程大小应适当。由于压力机的行程影响到模具的开模高度，因此对于冲裁、弯曲等模具，其行程不宜过大，以免发生凸模与导板分离（导板模）或滚珠导向装置脱开的不良后果。对于拉深模，压力机的行程至少应大于成品零件高度的两倍以上，以保证毛坯的放进和成型零件的取出。

③ 所选压力机的闭合高度应与冲模的闭合高度相适应。即满足：冲模的闭合高度介于压力机的最大闭合高度和最小闭合高度之间的要求。

④ 压力机工作台面的尺寸必须大于模具下模座的外形尺寸，并还要留有安装固定的余地。但在过大的工作台上安装过小尺寸的冲模时，对工作台的受力条件也是不利的。

本章小结

本章主要讲述了冷冲压加工的特点、冷冲压基本工序的分类、常用的冷冲压材料、常用的冷冲压设备及其选用原则。

思考题

1. 冷冲压成型加工与其它加工方法相比有何特点？

2. 什么是冷冲模？

3. 如何选择冲压设备？

4. 常用的冲压材料有哪些？

5. 常用的冷冲压成型工序有哪些？

第 四章 冲裁工艺及冲裁模具设计

冲裁是指利用模具在压力机上使板料产生分离的冲压工艺。冲裁可直接冲出所需形状的零件，也可为其它工序制备毛坯。冲裁时所使用的模具称为冲裁模。

冲裁工艺的种类很多，常用的有落料、冲孔、切断、切边、切口等，其中落料和冲孔应用最多。从板料上冲下所需形状的零件（或毛坯）称为落料；在零件（或毛坯）上冲出所需形状的孔（冲去部分为废料）称为冲孔。落料与冲孔的变形性质完全相同，但在进行模具设计时，模具尺寸的确定方法不同，因此，工艺上必须作为两个工序加以区分。冲制外形件的冲裁工序为落料，如图 4-1(a) 所示；冲制内孔件的工序为冲孔，如图 4-1(b) 所示。

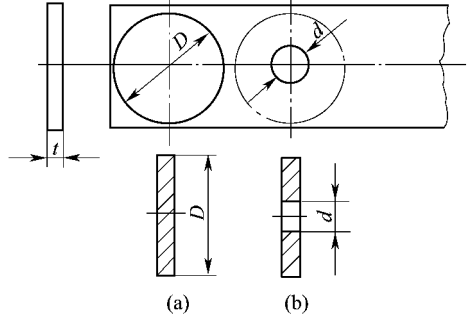


图 4-1 落料与冲孔冲裁中的落料与冲孔

根据冲裁的变形机理不同，冲裁工艺可以分为普通冲裁和精密冲裁两大类。精密冲裁断面较光洁，精度较高，但需专门的精冲设备与模具。

4.1 冲裁过程分析

4.1.1 冲裁的变形阶段

冲裁变形过程，如图 4-2 所示，大致可分为三个阶段。

(1) 弹性变形阶段 如图 4-2(a) 所示，当凸模下压接触板料时，材料将产生短暂的、轻微的弹性变形。此时如果提升凸模，变形将完全消失。

(2) 塑性变形阶段 如图 4-2(b) 所示，凸模继续下压，板料变形区的应力将继续增大。当应力状态满足屈服极限时，材料便进入塑性变形阶段。这一阶段突出的特点是材料只发生塑性流动，而不产生任何裂纹，凸模继续切入板料，同时将板料的下部挤入凹模孔内。

(3) 断裂分离阶段 如图 4-2(c)、(d)、(e) 表示了断裂分离的全过程。其中图 4-2(c) 表示当凸模切入板料达到一定深度时，在凹模侧壁靠近刃口处的材料首先出现裂纹，这表明塑性剪切变形的终止和断裂分离的开始。图 4-2(d) 表示裂纹发展与贯通的情形。图 4-2(e) 表示冲裁结束时板料被完全分裂分离的情形；被冲入孔的一块料在落料时为工件，冲孔时为废料；留在凹模面上的材料在冲孔时为工件，落料时为废料。

普通冲裁件的剪切断面状况如图 4-3 所示，其精度一般在 $\pm 0.1\%$ 以下，表面粗糙度 R_a 可达 $1.6\sim 3.2\mu m$ 。

如图 4-3 所示，断面明显分四个特征区：a 为圆角区，即塌角；b 为光亮带，表面光滑，表面质量最好；c 为剪裂带，表面粗糙并略带斜度，不与板面垂直；d 为毛刺。在四个特征区中，光亮带越宽，断面质量越好。但四个特征区在其整个断面上所占比例大小随材料种类、状态、板厚、冲裁条件（冲裁间隙、刃口形状、冲裁速度）等不同而变化。

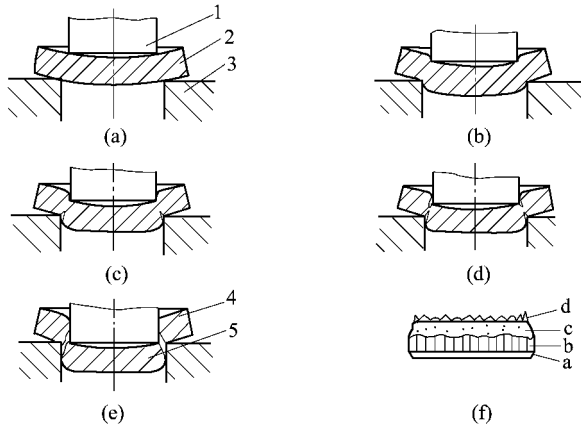


图 1-10 冲裁变形过程及冲裁件剪切断面

(1) 弹性变形；(2) 塑性变形；(3) 出现裂纹；(4) 裂纹贯通；(5) 板料完全断裂分离；(6) 剪切断面
 1—凸模；2—板料；3—凹模；4—冲孔为工件，落料为废料；5—落料为工件，冲孔为废料

冲裁件的质量分析

冲裁件质量是指断面状况、尺寸精度和形状误差。断面状况尽可能垂直、光洁、毛刺小。尺寸精度应该保证在图样规定的公差范围之内。零件外形应该满足图样要求；表面尽可能平直，即拱弯小。

(1) 尺寸精度 冲裁模的制造精度对冲裁件尺寸精度的影响最直接，冲裁模的制造精度越高，冲裁件的精度越高。

由于在冲裁过程中材料产生一定的弹性变形，冲裁结束后发生“回弹”现象，使落料件尺寸与凹模尺寸不符，冲孔的尺寸与凸模尺寸不符，从而影响其精度。对于比较软的材料，弹性变形量较小，冲裁后的回弹值也较小，因而零件精度较高。硬的材料，情况正好相反。

材料相对厚度 t/D (t 为板厚， D 为冲裁件直径) 越大，弹性变形量越小，因而冲裁零件尺寸精度就高。

冲裁间隙对冲裁件的精度影响很大。落料时，如间隙过大，材料除受剪切外还产生拉伸弹性变形，冲裁后由于“回弹”将使冲裁件尺寸有所减小，减小的程度也随着间隙的增大而增加；如间隙过小，材料除受剪切外还产生压缩弹性变形，冲裁后由于“回弹”而使冲裁件尺寸有所增大，增大的程度随着间隙的减小而增加。冲孔时，情况与落料时正好相反，即间隙过大，使冲孔尺寸增大；间隙过小，使冲孔尺寸减小。

冲裁件尺寸越小，形状越简单其精度越高。

(2) 断面质量 对于断面质量起决定作用的是冲裁间隙。如间隙选的合理，冲裁时上、下刃口处所产生的裂纹就能重合，如图 1-10 所示。所得工件断面虽不很光滑，且带有一定锥度，但已满足要求。

当间隙值过小或过大时，就会使上、下裂纹不能重合。间隙过小时，凸模刃口附近的裂纹比合理间隙时向外错开一段距离，上、下两裂纹中间的一部分材料，随着冲裁的进行，将被第二次剪切，在断面上形成第二光亮带。间隙过大时，凸模刃口附近的裂纹较合

理间隙时向里错开一段距离，材料受很大拉伸，使断面光亮带减小，毛刺、圆角和锥度都会增大。

(獠) 毛刺摇凸模或凹模磨钝后，其刃口处形成圆角。在冲裁时，冲裁件的边缘就会出现毛刺。在冲裁工作中，产生很大的毛刺是不允许的，应查明原因加以解决。如有不可避免的微小的毛刺出现，应在冲裁后设法消除。一般生产中允许的毛刺高度，可查相关资料。

图 10-10 摇冲裁件的工艺性

在进行冲压工作之前，应对冲裁件的形状、尺寸和精度等方面进行分析。从工艺角度分析零件设计是否合理，是否符合冲裁的工艺要求。

冲裁件的工艺性是指冲裁件产品对冲压工艺的适应性，主要包括以下几个方面：

- ① 冲裁件的形状应力求简单、对称，尽可能采用圆形或矩形等规则形状，应避免过长的悬臂和窄槽，悬臂和窄槽的宽度要大于板厚 t 的 0.5 倍，即 $a \geq 0.5t$ 如图 10-10(a) 所示。
- ② 冲裁件的外形和内形的转角处，要避免尖角，应以圆弧过渡，以便于模具加工，减少热处理或冲压时在尖角处开裂的现象。同时也能防止尖角部位的刃口过快磨损。
- ③ 冲裁件上孔与孔之间，孔与边缘之间的距离 b 要 $b \geq t$ ，受凹模强度和冲裁件质量的限制，也不宜太小，一般取 $b \geq 1.5t$ 如图 10-10(b)、(c) 所示。

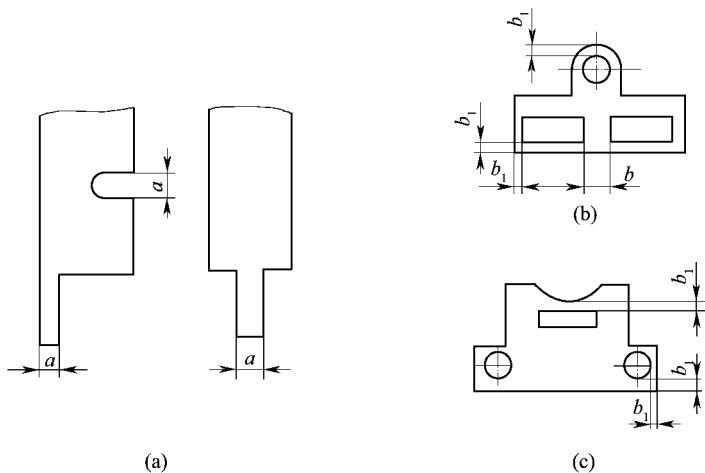


图 10-10 摇冲裁件悬臂与窄槽尺寸

④ 冲孔时，由于受到凸模强度的限制，孔的尺寸不应太小，其数值与孔的形状、板厚 t 和材料的力学性能等有关。用一般冲模可冲出的最小孔径见表 10-11 表 10-12

⑤ 冲裁件的尺寸精度和粗糙度。普通冲裁件的尺寸精度一般在 $IT12 \sim IT13$ 级以下，粗糙度 Ra 低于 $3.2 \mu m$ ，冲孔精度比落料精度高一级。普通冲裁件内、外形所能达到的经济精度、孔中心距公差、以及剪切断面的近似表面粗糙度值，分别见表 10-13~ 表 10-15

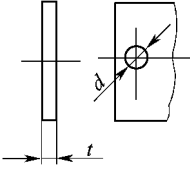
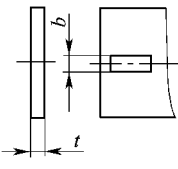
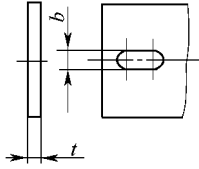
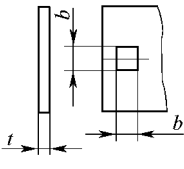
表 10-11

带保护套凸模可冲压的最小孔径

单位：毫米

材料	高碳摇钢	低碳钢、黄铜	铝、锌
圆孔直径 d	$0.15 \sim 0.25t$	$0.15 \sim 0.25t$	$0.15 \sim 0.25t$
长方孔宽度 b	$0.15 \sim 0.25t$	$0.15 \sim 0.25t$	$0.15 \sim 0.25t$

注： t 为材料厚度。

材料料				
钢 τ 低碳钢	0.25~0.30	0.25~0.30	0.25~0.30	0.25~0.30
钢 τ 中碳钢	0.25~0.30	0.25~0.30	0.25~0.30	0.25~0.30
钢 τ 高碳钢	0.25~0.30	0.25~0.30	0.25~0.30	0.25~0.30
黄铜、铜	0.25~0.30	0.25~0.30	0.25~0.30	0.25~0.30
铝、锌	0.25~0.30	0.25~0.30	0.25~0.30	0.25~0.30
纸胶板、布胶板	0.25~0.30	0.25~0.30	0.25~0.30	0.25~0.30
硬纸、纸	0.25~0.30	0.25~0.30	0.25~0.30	0.25~0.30

摇摇注：贼为材料厚度。

表 101

冲裁件内、外形可达到的经济精度

单位：毫米

摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇基本尺寸 材料厚度 贼摇摇摇摇摇摇摇摇	≤ 猿	猿- 远	远- 员园	员园- 员愿	员愿- 缘园
≤ 员	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15
员- 圆	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15
圆- 猿	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15
猿- 缘	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15

表 102

两孔中心距公差

单位：毫米

材料厚度 贼	一般精度（模具）			较高精度（模具）		
	孔距基本尺寸					
	≤ 缘	缘- 员园	员园- 猿园	≤ 缘	缘- 员园	员园- 猿园
≤ 员	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15
员- 圆	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15
圆- 源	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15
源- 远	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15	0.10~0.15

摇摇注：员缘表中所列孔距公差，适用于两孔同时冲出的情况。

圆缘一般精度指模具工作部分达 0.10 级，凹模后角为 员缘- 猿园的情况；较高精度指模具工作部分达 0.05 级以上，凹模后角不超过 员缘。

表 103

一般冲裁件剪切断面表面粗糙度

材料厚度 贼	≤ 员	员- 圆	圆- 猿	猿- 源	源- 缘
剪切断面表面粗糙度 贼	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10

摇摇注：如果冲裁件剪切断面表面粗糙度要求高于本表所列，则需要另加整形工序。

圆排样设计

圆排样

冲裁件在条料或板料上的布置方式称为排样。排样方案对材料利用率、冲裁件质量、生产率、生产成本和模具结构形式都有重要影响。

圆排样的设计

(员) 排样设计原则

提高材料利用率：冲裁件生产批量大，生产效率高，材料费用一般会占总成本的 30% 以上，所以材料利用率是衡量排样经济性的一项重要指标。在不影响零件性能的前提下，应合理设计零件外形及排样，提高材料利用率。

改善操作性：冲裁件排样应使工人操作方便、安全、劳动强度低。一般说来，在冲裁生产时应尽量减少条料的翻动次数，在材料利用率相同或相近时，应选用条料宽度及进距小的排样方式。

使模具结构简单合理，使用寿命高。

保证冲裁件质量。

排样的分类按照材料的利用率，排样可分为有废料排样、少废料排样和无废料排样三种，如图 1-1 所示。废料是指冲裁中除零件以外的其它板料，包括工艺废料和结构废料。

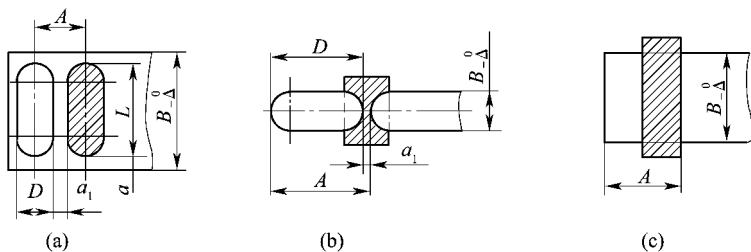


图 1-1 排样方式

有废料排样：有废料排样是指在冲裁件与冲裁件之间、冲裁件与条料侧边之间均有工艺废料，冲裁是沿冲裁件的封闭轮廓进行的，如图 1-1(a) 所示。

少废料排样：少废料排样是指只在冲裁件之间或只在冲裁件与条料侧边之间留有搭边，如图 1-1(b) 所示。冲裁只沿冲裁件的部分轮廓进行，材料利用率可达 $70\% \sim 80\%$ 。

无废料排样：无废料排样是指在冲裁件与冲裁件之间、冲裁件与条料侧边之间均无搭边存在，冲裁件实际上是直接由切断条料获得的，如图 1-1(c) 所示。材料利用率可高达 $85\% \sim 95\%$ 。

采用少废料、无废料排样时，材料利用率高，不但有利于一次行程获得多个冲裁件，还可以简化模具结构、降低冲裁力，但受条料宽度误差及条料导向误差的影响，冲裁件尺寸及精度不易保证，另外，在有些无废料排样中，冲裁时模具会单面受力，影响模具使用寿命。有废料排样时，冲裁件质量和模具寿命较高，但材料利用率较低。所以，在排样设计中，应全面权衡利弊。

排样的形式根据冲裁件在板料上的布置方式，排样形式有直排、单行排、多行排、斜排、对头直排和对排斜排等多种排列方式，见表 1-2