

绪 论

在每天的工作生活中,我们经常接触使用冲压加工生产的产品,如图 0-1 中的汽车、飞机以及不锈钢锅、易拉罐等。这些产品都是利用金属板材,通过安装在压力机上的模具冲压加工而成。那么压力机和模具是什么样子的?是不是所有的金属材料都能用于冲压加工呢?



图 0-1 常见冲压加工产品

1. 冲压加工概念

冲压加工是塑性加工的基本方法之一。它是建立在金属塑性变形的基础上,通过安装在压力机上的模具对毛坯施加压力,使之产生变形或分离,从而获得一定形状、尺寸和性能的零件的加工方法。金属板料、模具、设备和加工工艺是冲压加工的四大要素。冲压加工是一种金属冷变形加工方法,冲压原材料主要是各种金属板料,这种方法又称为冷冲压或板料冲压。冲压模具设计是实现冷冲压工艺的核心。

2. 冲压加工的特点

冲压加工是一种先进的加工方法,与机械加工方法相比,具有以下一些特点:

(1) 用冲压加工方法可以得到形状复杂、用其他加工方法难以加工的工件,如薄壳零件等。

(2) 由于利用模具来成形,加工出来的零件表面光洁,精度较高,尺寸稳定,互换性好。

(3) 冲压加工生产率高,操作简单,采用高速多工位压力机或多工位连续模,利用自动送料,取件装置容易实现机械化和自动化,特别适合于成批大量生产。在冲压加工中,一台冲压设备每分钟可生产零件几十件到几百件。

(4) 在材料消耗不多的情况下冲压加工可获得强度高、刚度大、质量高的零件。

(5) 冲压加工一般不需加热,也不像切削加工那样产生切屑,所以它不但节省能源,而且节约金属材料。

(6) 冲压加工中所用的模具结构一般比较复杂,生产周期较长、成本较高。因此,在单件、小批量生产中采用冲压工艺受到一定限制。冲压工艺多用于成批、大批量生产。近年来发展的简易冲模、组合冲模、锌基合金冲模为单件、小批量生产采用冲压工艺创造了条件。

据不完全统计,飞机、汽车、拖拉机、电机、电器、仪器、仪表等产品,有 60% 左右的零件是用模具加工出来的;而自行车、手表、洗衣机、电冰箱及电风扇等轻工产品,有 90% 左右的零件是用模具加工出来的;至于日用五金、餐具等物品的大批量生产基本上完全靠模具来进行。显而易见,模具作为一种专用的工艺装备,在生产中的决定性作用和重要地位逐渐为人们所共识。

3. 冲压模具工业现状

19 世纪,随着军火工业、钟表工业、无线电工业的发展,模具开始得到广泛使用。第二次世界大战后,随着世界经济的迅速发展,它又成了大量生产家用电器、汽车、电子仪器、照相机、钟表等零件的最佳方式。从世界范围看,当时美国的冲压技术走在最前列,瑞士的精冲、德国的冷挤压技术、苏联对塑性加工的研究也处于世界先进行列。20 世纪 50 年代中期以前,模具设计多凭经验、参考已有图纸和通过感性认识,根据用户的要求,制作出能满足产品要求的模具,但对所设计模具零件的机械性能缺乏了解。从 1955 年到 1965 年,人们通过对模具主要零件的机械性能和受力状况进行数学分析,对金属塑性加工工艺及原理进行深入探讨,使得冲压技术得到迅猛发展。在此期间归纳出的模具设计原则,使得压力机械、冲压材料、加工方法、模具结构、模具材料、模具制造方法、自动化装置等领域面貌一新,并向实用化的方向推进。进入 20 世纪 70 年代,不断涌现出各种高效率、高精度、高寿命的多功能自动模具。其代表是五十多个工位的级进模和十几个工位的多工位传递模。在此期间,日本以“模具加工精度进入微米级”而站到了世界工业的最前列。从 20 世纪 70 年代末期至今,计算机逐渐进入模具生产的设计、制造、管理等各个领域。计算机辅助进行零件的图形输入、毛坯展开、条料排样、确定模座尺寸和标准、绘制装配图和零件图、输出 NC 程序(用于数控加工中心和线切割编程)等工作,使得模具设计、加工精度与复杂性不断提高,模具制造周期不断缩短。当前国际上计算机辅助设计(CAD)和计算机辅助制造(CAM)的发展趋势是:

继续发展几何图形系统,以满足复杂零件和模具的要求;在 CAD 和 CAM 的基础上建立生产集成系统(CIMS);开展塑性成形模拟技术(包括物理模拟和数学模拟)的研究,以提高工艺分析和模具 CAD 的理论水平和实用性;开发智能数据库和分布式数据库,发展专家系统和智能 CAD 等。

20 世纪 80 年代末,伴随家电、轻工、汽车生产线模具的大量进口和模具国产化的呼声日益高涨,我国先后引进了一批现代化的模具加工机床。在此基础上,参照已有的进口模具,我国成功地复制了一批替代品,如汽车覆盖件模具等。模具的国产化虽然使我国模具制造水平逐渐达到国际先进水平,但计算机应用方面仍然存在很大差距。

我国模具 CAD/CAM 技术从 20 世纪 80 年代起步,长期处于低水平重复开发阶段,所用软件多为进口的图形软件、数据库软件、NC 软件等,自主开发的软件缺乏通用性,商品化价值不高,对许多引进的 CAD/CAM 系统缺乏二次开发,经济效益不显著。针对上述情况,国家有关部门在“九五”期间制定了相关政策和措施;到 90 年代后期,我国 CAD 软件产业从无到有,创造出一批具有自主知识产权的三维 CAD 软件,如清华英泰、北航 CAXA、武汉开目等,打破了国外产品一统天下的局面。目前,我国模具工业发展迅速,模具行业产业结构有了很大改善,模具商业化水平大幅度提高,中高档模具占模具总量的比例也明显提高,模具进出口比例逐步趋向合理。

在许多先进的工业国家里,冲压生产和模具工业得到高度的重视,例如:美国和日本,模具工业的产值已经超过了机床工业,模具工业成为重要的产业部门,而冲压生产优质先进机电产品的重要手段。

4. 冲压生产的发展方向

冲压生产的发展方向简单介绍如下:

(1) 努力提高冲压产品的质量和精度,而冲压产品的精度一般受冲模及压力机精度的影响较大。要想提高冲压产品的质量及精度,除尽快提高普通冲模的精度和提高压力机精度外,还应尽快发展精密冲裁技术。精密冲裁可以提高工件的表面及断面质量精度,可以大大降低工件的生产成本。

(2) 大力发展先进冲压工艺,扩大冷冲压应用范围,以更多的取代其他工艺方法,提高劳动生产率。扩大冷冲压应用范围,有必要发展高效率、大吨位压力机,以加大冲压件的冲压面积和厚度。此外,要努力研制和发展冷挤压工艺及冷挤压设备,以替代一般筒形件的车削加工,达到节约材料、降低成本的目的。同时,要努力发展与研制冲压与冲焊综合工艺,以替代铆接、铆焊等工艺,提高生产率。并且,还要发展新的冷冲压工艺及尽量采用新的冲压方法。如精密冲压、液压成形、超塑冲压等。

(3) 大力推广冷冲压生产机械化与自动化,提高生产率和保证操作安全。

(4) 努力提高冲模生产制造技术,力求降低冲压产品成本。

(5) 编制和研究新的先进冷冲压工艺规程,提高冷冲压零件设计的工艺性。尽可能发展无废料及少废料冲裁,合理利用余料、废料,降低材料的消耗。

(6) 进一步改善及加强冷冲压生产的科学管理及组织工作,适应冷冲压生产迅速发展的需要。

5. 冲压工艺及模具设计课程特点及学习要求

冲压工艺及模具设计是专业课程,综合性、实践性、灵活性较强,且对实践经验要求比较高,对初学者来说,应在学习这门课程之前,对冲压生产具有初步的感性认识,才能在学习时理论联系实际。应当强调的是:冲压工艺理论是模具设计的基础;而冲模设计则是实现冲压工艺的核心。在学习本门课程时两者不可偏废,学习时要注意以下几个方面:

(1) 要具备扎实的相关基础知识。应熟练掌握机械制图(手工制图、AutoCAD、CAXA、Pro/ENGINEER 等)、公差与配合、工程材料及热处理、机械设计、机械制造等知识。

(2) 熟知各种模具的典型结构及各主要部分的作用,能够举一反三。

(3) 熟悉各种国家标准或行业标准,设计时尽可能采用标准件。

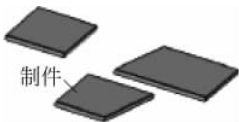
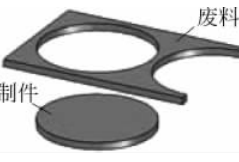
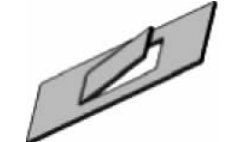
(4) 设计零部件时,要考虑其机械加工工艺性。

(5) 注意实践经验的积累,理论联系实际,特别是在实训、实习等实践教学环节。

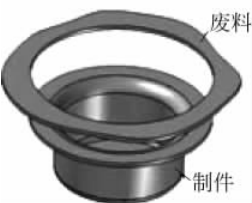
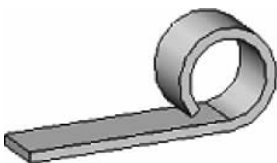
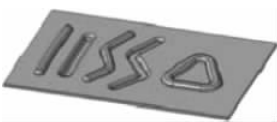
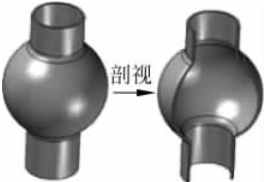
冲压成形基础知识与冲压设备

一个冲压件往往需要经过多道冲压工序才能完成。由于冲压件的形状、尺寸、精度、生产批量、原材料等的不同,其冲压工序也是多样的,按变形区主应力特点可分为伸长类变形和压缩类变形;按工序性质又可分为分离工序和成形工序两大类。分离工序:按一定轮廓线将工件与板料分开。分离工序的目的是使冲压件与板料沿一定的轮廓线相互分离,包括落料、冲孔、剪切、切口等。成形工序:在不破坏板料的条件下,通过塑性变形获得所要求的形状和尺寸精度。成形工序的目的是使冲压毛坯在不破坏的条件下发生塑性变形并形成要求的成品形状,包括弯曲、拉深、胀形、翻边等。常见的冲压加工方法如表 1-1 所示。

表 1-1 冲压工序

类别	组别	工序名称	工 序 简 图	工 序 特 点
分离 工序	冲 裁	切断		将板料沿不封闭的轮廓分离
		落料		沿封闭的轮廓将制件或毛坯与板料分离
		冲孔		在毛坯或板料上,沿封闭的轮廓分离出废料得到带孔制件
		切舌		沿不封闭轮廓将部分板料切开并使其折弯

续表

类别	组别	工序名称	工序简图	工序特点
分离工序	冲裁	切边		切去成形制件多余的边缘材料
		剖切		沿不封闭轮廓将半成品制件切离为两个或数个制件
成形工序	弯曲	折弯		将毛坯或半成品制件沿弯曲线弯成一定角度和形状
		卷边		把板料端部弯曲成接近封闭的圆筒状
	拉深	拉深		把平板毛坯拉压成空心体,或者把空心体拉压成外形更小的空心体
	成形	起伏		使半成品发生局部塑性变形,按凸模与凹模的形状变成凹凸形状
		翻边		在预先制好的半成品上或未经制孔的板料上冲制出竖立孔边缘的制件
		胀形		使空心毛坯内部在双向拉应力作用下,产生塑性变形,得到凸肚形制件

续表

类别	组别	工序名称	工 序 简 图	工 序 特 点
成形 工序	成形	缩口		使空心毛坯或管状毛坯端部的径向尺寸缩小而得到制件

1.1 冲压成形基础知识

1.1.1 金属材料的塑性变形

1. 塑性变形的概念

冲压成形是金属塑性成形加工方法之一,是建立在金属塑性变形理论基础上的材料成形工程技术。要掌握冲压成形加工技术,就必须具有金属塑性变形理论的基础知识。

在金属材料中,原子之间作用力是相当大的,足以抵抗重力的作用。所以在没有其他外力作用的条件下,金属物体将保持自有的形状和尺寸。当物体受到外力作用之后,它的形状和尺寸将发生变化,即变形,变形的实质就是原子间的距离产生变化。如作用于物体的外力去除后,由外力引起的变形随之消失,物体能完全恢复自己的原始形状和尺寸,这样的变形称为弹性变形。如作用于物体的外力去除后,物体并不能完全恢复自己的原始形状和尺寸,这样的变形称为塑性变形。塑性变形和弹性变形都是在变形体不破坏的条件下进行的(即连续性不破坏)。

通常用塑性表示材料塑性变形能力。所谓塑性是指固体材料在外力作用下发生永久变形而不破坏其完整性的能力,它是金属自身具有的物理属性。因此,塑性反映了材料产生永久变形的能力。塑性指标是以材料开始破坏时的塑性变形量来表示的。它可借助于各种试验方法测定。目前应用比较广泛的是拉伸试验,对应于拉伸试验的塑性指标,用伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 表示。影响金属材料塑性变形的因素有两个方面。一是金属材料本身的性质,如化学成分、金相组织等;二是外部条件,如变形温度、变形速度和应力状态等。影响金属塑性的主要因素见表 1-2。

表 1-2 影响金属塑性的主要因素

影 响 因 素	影 响 规 律
材料组织结构	面心立方结构的金属塑性好于体心立方,密排六方塑性最差。组成金属的元素越少(如纯金属和固溶体)、晶粒越细小、组织分布越均匀,则金属的塑性越好
应力状态	压应力有利于封闭裂纹,阻止其继续扩展,减小或阻止晶间变形,增加晶间结合力,消除由于塑性变形引起的各种破坏;与此相反,拉应力则促使材料的裂纹扩展,加快材料的破坏。所以,在应力状态中,压应力个数越多,数值越大,则金属的塑性越好。反之,拉应力个数越多,数值越大,则金属的塑性越差

续表

影 响 因 素	影 响 规 律
变形温度	一般温度升高,塑性增加
变形速度	变形速度对塑性的影响有正反两方面,对大多数金属来说,塑性随变形速度变化一般趋势是先降低后增加

金属在塑性变形时应力状态非常复杂,为了研究变形金属各部位的应力状态,在变形物体中取一个微小的六面体单元,在六面体上画出所受的应力和方向,这种图称为应力状态图。如果六面体上只有正应力而没有切应力,则此应力状态图称主应力图。根据主应力方向及组合不同,主应力图共有 9 种,如图 1-1 所示。

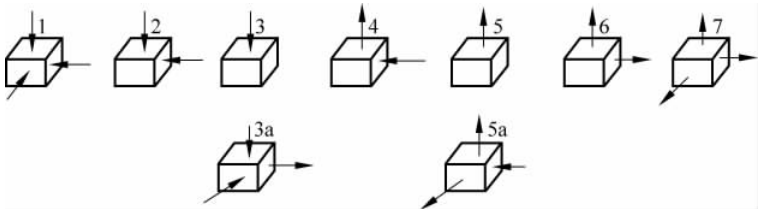


图 1-1 主应力示意图

我们总可以找到三个相互垂直的平面,只有正应力而无剪应力,这三个应力叫做主应力,它的方向叫主应力方向。因此,一点的应力状态可由三个主应力 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 表示。一般取变形板的径向、板厚方向及切向做主轴方向,常用 σ_ρ 、 σ_t 、 σ_θ 表示三向应力状态。

2. 塑性变形体积不变原则

金属固态成形加工中金属变形后的体积等于变形前的体积,这叫体积不变原则(材料在变形的过程中既不会跑出来也不会跑进去)。实际上金属在塑性变形过程中。体积总有些微小变化,如锻造钢锭时,由于气孔、缩松的压合,密度略有提高,以及加热过程中因氧化生成的氧化皮损耗等。然而这些变化对整个金属坯件来说是相当微小的,故一般可忽略不计。因此在每一工序中,坯料一个方向尺寸减小,必然使其他方向的尺寸有所增加,即认为

$$\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0 \tag{1-1}$$

这就是塑性变形体积不变定律,它反映三个塑性主应变值之间的相互关系。上式中如果 $\epsilon_2 + \epsilon_3 = 0$ 则 ϵ_1 必然为零;如果其中一个应变为零,必存在另外两个应变的绝对值相等,而符号相反。由此可知,塑性变形时只可能有三向应变状态和平面应变状态,不可能有单向应变状态。

3. 变形趋向性及控制

在塑性变形中,破坏了金属的整体平衡而强制金属流动,当金属质点有向几个方向移动的可能时,它将向内阻力最小的方向移动。换句话说,在冲压加工中,板料在变形过程中总是沿着阻力最小的方向发展,也就是“弱区先变形,变形区一定是弱区”,这就是塑性变形中的最小阻力定律。例如,将一块方形板料拉深成圆筒形制件,当凸模将板料拉入凹模时,距凸模中心越远的地方(即方形料的对角线处),流动阻力越大,越不易向凹模洞口流动,拉深

变形后,凸缘形成弧状而不是直线边,如图 1-2 所示。最小阻力定律说明了在冲压生产中金属板料流动的趋势,控制金属流动就可控制变形的趋向性。最小阻力定律是塑性加工中最重要的定性原理之一,它在冲压加工中有十分灵活和广泛的应用,能正确指导冲压工艺及模具设计,解决实际生产过程中出现的质量问题。

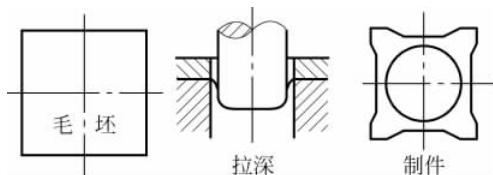


图 1-2 最小阻力定律试验—方板拉深试验

影响金属流动的因素主要是材料本身的特性和应力状态,而应力状态与冲压工序的性质、工艺参数和模具结构参数(如凸模、凹模工作部分的圆角半径、摩擦和间隙等)有关。研究各种冲压成形工艺的变形趋向性及其控制的目的,是为了合理确定冲压工艺参数,编制工艺规程,设计模具,分析和解决生产过程中出现的质量问题。

冲压成形必须正确控制金属流动——开流和限流。开流就是在需要金属流动的地方减少阻力,使其顺利流动,达到成形目的。当某处需要金属流入而不能流入时,该局部就会变薄,甚至板料断裂。限流就是在不需要金属流动的地方增大阻力,限制金属流入。当某处不需要金属流入而流入金属时,多余的金属就会使该处起皱。具体控制金属流动的措施,有改变凸模与凹模刃口圆角半径以及改变摩擦条件、改变毛坯尺寸形状等。加大圆角半径和间隙、减小摩擦,均能起到开流作用;反之则起限流作用。例如矩形件拉深,若直边与四角的间隙值相同时,不是四角拉破就是直壁部分起皱。若对四角部分采取开流而对直边部分采取限流措施,则可消除上述问题。方法是直边采用小间隙,四角采用大间隙;或使凹模四角的圆角半径大于直边部分的四角半径。又如在大型覆盖件拉深成形中采取调节压边力,增设拉深筋和开切口等方法,均可调节金属流动阻力。

1.1.2 冲压成形工艺的分类

在各种冲压成形工艺中,毛坯变形区的应力状态和变形特点是制订工艺过程、设计模具和确定极限变形参数的主要依据,所以只有能够充分地反映变形毛坯的受力与变形特点的分类方法,才可能真正具有实用的意义。

从本质上看各种冲压成形过程就是毛坯变形区在力的作用下产生变形的过程,所以毛坯变形区的受力情况和变形特点是决定各种冲压变形性质的主要依据。从毛坯变形区的应力与应变特点,可以把冲压变形概括为两大类:伸长类变形和压缩类变形。

当作用于毛坯变形区内的最大应力、应变为正值时,称这种冲压变形为伸长类变形,如胀形、翻边与弯曲外侧变形等。这种成形主要是靠材料的伸长和厚度的减薄来实现,此时拉应力的成分越多,数值越大,材料的伸长与厚度减薄越严重。

当作用于毛坯变形区内的最大应力、应变为负值时,称这种冲压变形为压缩类变形,如拉深凸缘变形区和弯曲内侧变形等。这种成形主要是靠材料的压缩与增厚来实现的,压应力的成分越多,数值越大,板料的缩短与增厚就越严重。

伸长类变形的极限变形参数主要决定于材料的塑性,并且可以用板材的塑性指标直接或间接地表示。例如多数实验结果证实:平板毛坯的局部胀形深度、圆柱体空心毛坯的胀形系数、圆孔翻边系数、最小弯曲半径等都与伸长率有明显的正比关系。压缩类成形的极限变形参数(如拉深系数),通常都受毛坯传力区的承载能力的限制,有时则受变形区或传力区的失稳起皱的限制。两类成形方法极限变形参数确定的基础不同,所以影响极限变形参数的因素和提高极限变形参数的途径和方法也不一样。

1.1.3 板材冲压成形性能的试验方法

板料的冲压成形性能是指板料对各种冲压方法的适应能力。但要测定板料的成形性能非常困难,因为板料的成形方式多种多样,每一种成形方式的应力状态、变形特点等情况都不相同,目前还不能用一个统一的指标来判别其成形性能的好坏,不过可通过对板料拉伸试验中测得的一些力学性能数据进行分析来判断板料的成形性能。

图 1-3 表示板料单向拉伸的试样,其各部分尺寸见表 1-3。试验时利用测量装置测量拉伸力 F 与拉伸行程(即试验伸长值),根据这些数值作出 σ - δ 曲线,如图 1-4 所示。

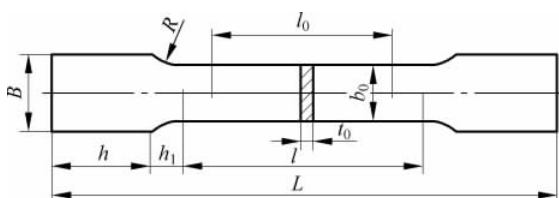


图 1-3 拉伸试样

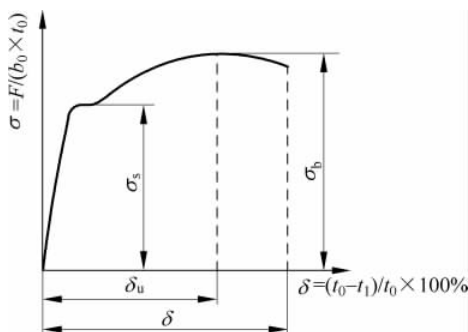


图 1-4 拉伸曲线

表 1-3 拉伸试样尺寸

mm

板料厚度 t_0	材料宽度 b_0	h	短试样 $l_0 = 5.65 \sqrt{F_0}$		短试样 $l_0 = 11.3 \sqrt{F_0}$	
			l_0	l	l_0	l
0.5	20	40	20	30	40	50
1.0	20	40	25	35	50	60
1.5	20	40	30	40	60	70
2.0	20	40	35	45	70	80