

高等职业教育机电类系列教材

冷冲模具设计

李双义摇主编

清华大学出版社

内 容 简 介

本书是根据 1999年“全国高职、高专机电类专业教学改革与教材建设研讨会”的精神,为满足高等职业教育的需要而编写的。全书共分 15章:绪论、冲压变形基础、冲裁、弯曲、拉深、成形、冲压模具、冲模零件设计、汽车覆盖件成形及模具、冲模 1 例简介等。书中列举了大量实例,并附有习题。

本书除可作为高职、高专“模具设计与制造”专业的教材之外,也可作为普通高等学校“材料成型及控制工程”专业的教材,并可作为该行业工程技术人员自学的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

冷冲模具设计 李双义主编,焦小明等编—北京:清华大学出版社,1999

高等职业教育机电类系列教材

ISBN 7-302-04141-9

I 冷冲模具 II 李双义①焦小明②焦小明 III 冲模设计 高等学校:技术学校教材

IV 621.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 41842 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学学研大厦 邮编 100084)

总发行:清华大学出版社

印刷者:北京通州区大中印刷厂

发行者:新华书店总店北京发行所

开本:185mm×260mm 1/32 印张:6.5 字数:160千字

版次:1999年 10月第 1版 1999年 10月第 1次印刷

书号:ISBN 7-302-04141-9

印数:1~5000

定价:10.00元

前 言

冷冲压在机械制造、电子电器及日常生活中占有十分重要的地位,为了获得良好的冲压制品,必须考察工件的工艺性,进行工艺计算及制订工艺路线,最后设计出合理的模具。

本书是根据 1995年“全国高职、高专机电类专业教学改革与教材建设研讨会”的精神,为满足高等职业教育的需要而编写的,它是高职、高专“模具设计与制造”专业教学的基本内容。

该教材以社会需求为目标,以技术应用为主线。基础部分以应用为目的,以够用为度;工艺部分尽可能简明扼要,加强模具设计的内容。内容力求具有针对性、应用性,叙述方法上力求通俗易懂,深入浅出,增加图示和典型实例的比重;部分章后附有思考题和习题。

本书主要介绍各种冲压工艺的工艺性、工艺计算、工艺制订,各类模具的结构及其特点以及各种冲模零件的设计要点。

该书与《冲压工艺学》的不同点是,除了介绍几大冲压工艺的工艺性和工艺计算方法外,按照模具的类型,以大量的实例和插图介绍了模具的结构及特点;按照模具零件的功能类型,介绍了冲模零件的形式及设计要点;对汽车覆盖件成形的工艺特点、模具结构及设计,做了单独介绍,并对冲模的构造做了概述;书后附录中列出了常用压力机的规格和冲压件及模具的常用材料。

该书由天津大学李双义教授主编。参加本书编写的有:李双义教授(第 1章、第 2章和附录),陕西工业职业技术学院焦小明老师(第 3章、第 4章),天津大学张连洪教授(第 5章),天津理工学院毕大森副教授(第 6章、第 7章),天津理工学院崔宏祥副教授(第 8章),浙江工贸职业技术学院丁素珍副教授和蒋庆富高级工程师(教授级)(第 9章、第 10章)。

由于编者水平所限,本书不足之处在所难免,敬请读者不吝指正。

编 者

1995年 远月

目 录

第 1 章 绪论	1
第 2 章 冲压变形基础	2
2.1 冲压应力应变状态	2
2.2 板料机械性能指标及其对冲压性能的影响	2
2.3 冲压成形性能的试验方法及指标	2
第 3 章 冲裁	3
3.1 冲裁变形过程	3
3.2 冲裁间隙	3
3.3 凸凹模尺寸	3
3.4 冲裁力	3
3.5 卸料力、推件力及顶件力的计算	3
3.6 冲裁件的工艺性	3
3.7 排样与搭边	3
3.8 整修	3
思考题和习题	3
第 4 章 弯曲	4
4.1 弯曲变形	4
4.2 弯曲件展开长度的计算	4
4.3 最小弯曲半径	4
4.4 弯曲力	4
4.5 弯曲模工作部分的尺寸参数	4
4.6 回弹	4
4.7 弯曲件的工艺性	4
思考题和习题	4
第 5 章 拉深	5
5.1 拉深变形特点	5
5.2 拉深起皱与压料	5
5.3 筒形件拉深模工作部分的结构与尺寸	5

缘缘缘拉深件毛坯尺寸的计算	缘苑
缘缘缘拉深力和拉深功	缘愿
缘缘缘带法兰(有凸缘)圆筒形件的拉深	缘园
缘缘缘阶梯件的拉深	缘源
缘缘缘盒形件的拉深	缘缘
缘缘缘其他非回转体直壁零件的拉深	缘源
缘缘缘拉深实例	缘远
思考题和习题	缘怨
第 远章 缘成形	缘员
远缘缘起伏成形	缘员
远缘缘翻边与翻孔	缘缘
远缘缘胀形	缘源
远缘缘缩口	缘苑
远缘缘校平与整形	缘园
思考题和习题	缘员
第 苑章 缘冲压模具	缘圆
苑缘缘设计程序	缘圆
苑缘缘分类	缘缘
苑缘缘单工序模具	缘源
苑缘缘复合模具	缘员
苑缘缘连续模具	缘愿
第 愿章 缘冲模零件设计	缘园
愿缘缘凸模	缘园
愿缘缘凹模	缘源
愿缘缘卸料板	缘怨
愿缘缘导板	缘源
愿缘缘压料装置	缘远
愿缘缘导料装置	缘愿
愿缘缘顶料装置	缘员
愿缘缘挡料和导正装置	缘园
愿缘缘定位装置	缘苑
愿缘缘出件装置	缘愿
第 怨章 缘汽车覆盖件成形及模具	缘缘
怨缘缘汽车覆盖件	缘缘
怨缘缘覆盖件冲压工艺	缘缘
怨缘缘拉延件设计	缘员
怨缘缘拉延模设计	缘愿

第 4 章 修边模设计	4-1
第 5 章 翻边模设计	5-1
第 6 章 冲模 概论简介	6-1
第 7 章 冲模 概论概述	7-1
第 8 章 冲模 概论系统的构成	8-1
第 9 章 现代冲模 概论技术	9-1
附录 I 常用压力机规格	10-1
附录 II 冲压件及模具常用材料	11-1
参考文献	12-1

第 1 章 绪论

模具是机械、汽车、电子、通讯、家电等工业产品的基础工艺装备,属于高新技术产品。作为基础工业,模具的质量、精度、寿命对其他工业的发展起着十分重要的作用,在国际上称为“工业之母”。近十年来,随着国民经济的快速发展,作为工业品基础的模具工业,也得到了蓬勃发展,已成为国民经济建设中的重要产业。据统计,我国(未包括台湾、香港、澳门)现有模具生产厂点已超过 1 万家,从业人员达 100 多万人。

模具分为冷冲压模具、热锻模具、塑料模具、铸造模具、橡胶模具和玻璃模具等。其中,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重最多。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 70% 以上。例如,一种车型的轿车共需模具约 1000 套,价值达 1 亿元~2 亿元;单台电冰箱需要模具生产的零件约 1000 个,共需模具约 100 套,价值约 100 万元;单台彩电大约有 1000 个零件需用模具生产,共需模具约 100 套,价值达 100 万元。其中所用模具大部分为冷冲压模具。

冷冲压是先进的金属加工方法之一,它主要加工板料,故又称为板料冲压。冷冲压是在室温下,借助于设备提供的压力,利用模具,使板料金属发生塑性变形,因此,它也是金属塑性加工(压力加工)的一种方法。有些非金属材料,也可以采用某些冲压工艺制造零件。

与切削加工相比,冷冲压靠模具和设备完成加工过程,所以具有生产率高、加工成本低、材料利用率高、产品一致性好、操作简单、便于实现机械化与自动化等一系列优点。一台普通冲压设备每分钟可生产零件几十件,而高速冲床的生产率可达每分钟数百件甚至上千件。因此,大批量生产的机械、电子、轻工等产品,都大量使用冷冲压零件。在国防方面,飞机、导弹、各种枪支与炮弹等产品中,冷冲压加工的零件比例也是相当大的。随着汽车和家用电器等行业的飞速发展,在工业发达的国家,对发展冷冲压生产给予了高度重视。据近年来的统计,美、日等国的模具工业年产值已经超过机床工业年产值的 70%~80%。

由于冷冲压不需要加热,也不像切削加工那样,将大量金属切成碎屑而消耗大量能量,所以它是一种节能的加工方法;冲压制品所用的原材料是冶金厂大量生产的廉价的钢板和钢带,在冲压加工中材料表面质量不受破坏,故冲压件的表面质量好,这是任何其他加工方法所不能竞争的。

冲压模具作为制造产品(或半成品)的一种工具,其作用是完成某种工艺。模具设计必须满足工艺要求,最终满足产品的形状、尺寸和精度的要求。因此,冲压模具的设计师必须掌握冲压工艺,包括冲压工艺的分类、各种工艺计算、工艺制订等基本知识,而后才可以选择模具的类型,进行模具设计,使模具的类型、结构及尺寸等满足工艺及产品的要求。

冷冲压工艺大致分为两大类:分离工序和成形工序。分离工序的目的是在冲压过程中将冲压件与板料按一定的轮廓线进行分离;分离工序又可分为落料、冲孔和剪切等,如

表 员圆所示。成形工序的目的是使冲压毛坯在不破坏其完整性的条件下产生塑性变形,并转化成产品所要求的形状;成形工序又可分为弯曲、拉深、翻边、翻孔、胀形、扩孔、缩孔和旋压等,如表 员圆所示。

冷冲压模具是冲压生产的主要工艺装备。冲压件的表面质量、尺寸精度、生产率以及经济效益等,与模具结构及设计是否合理关系极大。因此,了解模具结构,研究提高模具的各项技术指标,对于模具设计和冲压技术的发展是十分必要的。

冲模的结构形式很多,可以根据以下特征进行分类:

(员) 按冲模的工序性质,分为落料模、冲孔模、切边模、弯曲模、拉深模、成形模和翻边模等。

(圆) 按冲模工序的组合方式,分为单工序模、复合模和连续模等。

(猿) 根据模具的结构形式,按上、下模的导向方式,分为无导向模和导柱模、导板模等;按卸料装置,分为带固定卸料板冲模和弹性卸料板冲模;按挡料形式,分为固定挡料钉冲模、活动挡料销冲模、导正销冲模和侧刃定距冲模等。

(源) 按采用凸、凹模的材料,分为硬质合金模、钢质硬质合金模、钢皮冲模、橡皮冲模和聚氨酯冲模等。

此外,还可按模具轮廓尺寸的大小,分为大型冲模和中小型冲模;按行业特点,分为普通冲模和汽车、拖拉机覆盖件冲模等。

表 员圆 摇分离工序


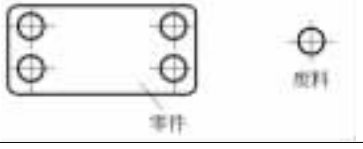
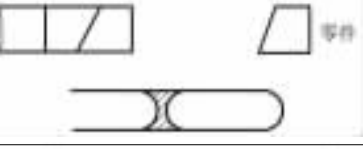

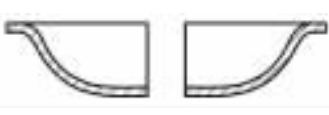
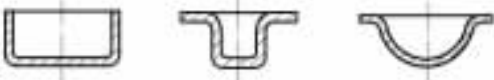



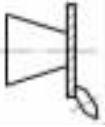

工序名称	筒摇摇摇摇图	特点及应用范围
落摇摇料		摇用冲模沿封闭轮廓曲线冲切,冲下部分是零件,用于制造各种形状的平板零件
冲摇摇孔		摇用冲模按封闭轮廓曲线冲切,冲下部分是废料
切摇摇断		摇用剪刀或冲模沿不封闭曲线切断,多用于加工形状简单的平板零件
切摇摇边		摇将成形零件的边缘修切整齐或切成一定形状
剖摇摇切		摇把冲压加工成的半成品切开成为两个或数个零件,多用于不对称零件的成双或成组冲压成形之后

表 1-1 摇把成形工序

工序名称	简图	特点及应用范围
弯摇曲		摇把板料沿直线弯成各种形状,可以加工形状极为复杂的零件
卷摇圆		摇把板料端部卷成接近封闭的圆头,用以加工类似铰链的零件
扭摇曲		摇把冲裁后的半成品扭转成一定角度
拉摇深		摇把板料毛坯成形为各种空心的零件
变薄拉深		摇把拉深加工后的空心半成品进一步加工成为底部厚度大于侧壁厚度的零件
翻摇孔		摇将预先冲孔的板料半成品或未经冲孔的板料冲制成竖立的边缘
翻摇边		摇把板料半成品的边缘按曲线或圆弧成形为竖立的边缘
拉摇弯		摇在拉力与弯矩共同作用下实现弯曲变形,可得精度较好的零件
胀摇形		摇在双向拉应力作用下实现变形,成形各种空间曲面形状的零件
起摇伏		摇在板料毛坯或零件的表面上用局部成形的方法制成各种形状的突起与凹陷
扩摇口		摇在空心毛坯或管状毛坯的某个部位上使其径向尺寸扩大
缩摇口		摇在空心毛坯或管状毛坯的某个部位上使其径向尺寸减小

续表

工序名称	简图	特点及应用范围
旋压		旋在旋转状态下用辊轮使毛坯逐步成形
校形		校校正零件形状,以提高已成形零件的尺寸精度或获得小的圆角半径

随着科学技术的不断进步和工业生产的迅猛发展,冷冲压技术及模具不断革新和发展,主要反映在以下几个方面:

模具的计算机辅助设计和辅助制造技术(模具 CAD/CAE)

为了加快产品的更新换代,必须缩短工装的设计和制造周期,从而开展了模具的计算机辅助设计和辅助制造的研究。采用该技术,模具设计和制造效率一般可提高 3~5 倍,模具生产周期可缩短 1/3~1/2。目前,已达到 CAD/CAE 一体化,模具图纸只是作为检验模具之用。

冲压工艺分析中的虚拟成形技术(冲压 CAE)

对普通冲压工艺的制订,可根据有关资料进行工艺计算,而对于复杂的曲面成形,例如汽车覆盖件的成形,传统方法是凭设计者的经验,进行对比分析,初步确定工艺方案和有关参数,然后设计试验模具并进行试冲,经反复试验和修改,才能转入正式投产,因此,周期长,投资大,风险大。近几年来,国内外已采用弹塑性、刚塑性有限元法,开发出覆盖件成形过程的模拟软件,以预测某一工艺方案对零件成形的可行性和可能发生的问题,供设计人员进行修改和选择。这不仅可以节省昂贵的模具试验费用,也可以大大缩短试制周期。

快速模具制造技术的发展

将快速成形技术与各种常规的铸造、粉末烧结工艺相结合而发展起来的快速模具制造技术,其模具的制造周期仅为常规模具切削制造的 1/3~1/5,而成本仅为后者的 1/5~1/10。快速成形技术对模具制造的潜在影响是巨大的。快速经济制造技术具有制造周期短、成本低等优点,在精度和寿命方面又能满足生产上的使用要求,非常适合于新产品的开发、样品试制、工艺验证或中、小批量生产的需要。

其他成型制模方法

除了钢制模之外,低熔点合金模具、中熔点合金模具以及树脂模具都可用于冷冲压成形。低熔点合金的熔点一般只有 100~150℃,熔化后流动性好,冷凝时体积膨胀。具有制造周期短、成本低、制造工艺简单、模具材料可反复使用、便于存放等优点。中熔点合金主要指锌基合金,其熔点一般在 200℃左右。它除了具备低熔点合金模具的优点之外,硬度比低熔点合金模具高,寿命和成本都优于低熔点合金模。树脂模具主要用于制造汽车大型内外覆盖件的拉伸模具,其特点是模具型面以 CNC 加工的主模型为基准,采用高强度树脂浇注而成,凸凹模间隙采用专用蜡片准确控制,模具尺寸精度高,制造周期可

缩短 员 圆 圆 圆

缘 缘 冷 冲 压 生 产 的 机 械 化 和 自 动 化

为了满足大批量生产的需要,冲压设备已由单工位的低速压力机发展到多工位的高速压力机,在高速压力机上采用多工位的级进模进行冲压加工,使冷冲压生产达到高度自动化,汽车覆盖件可采用自动送料、自动取件、自动传送的流水线生产。

冷冲压模具设计是一门实用性很强的课程。对初学者来说,在学习这门课之前,应对冲压生产实践有所了解,具有初步的感性知识,这样才能在学习中联系实际,对完成冲压工艺的工装部分——模具产生兴趣,进而了解模具的类型、结构,掌握模具的设计要点和设计方法。在从事工艺制订和模具设计时,仅依靠一两本教材提供的资料是不够的,还要参考有关的手册、图册及标准等。

第 四 章 冲 压 变 形 基 础

四 一 冲 压 应 力 应 变 状 态

四 一 一 冲 压 应 力 状 态

冲压变形是由冲压设备提供变形载荷,然后通过模具对毛坯施加外力,进而转化为毛坯的内力,使之产生塑性变形。因此,研究和分析金属的塑性变形过程,应首先了解毛坯内力作用和塑性变形之间的关系。

在一般情况下,变形毛坯内各质点的变形和受力状态是不相同的。通常将质点的受力状态称为点的应力状态。一点的应力状态可用一个平行六面体(单元体)来表示,见图 4-1(a),将各应力分量均表示在前三个可视面(即正面、侧面、上面)上,而后三个不可视面(即后面、下面、左面)上的应力分量应与前三个面上对应的应力分量大小相等、方向相反,一般不予表示。每个面上有一个正应力、两个剪应力,共三个应力分量,再考虑剪应力的互等性($\tau_{xy} = \tau_{yx}$, $\tau_{yz} = \tau_{zy}$, $\tau_{zx} = \tau_{xz}$) ,则仅有三个独立的应力分量;正应力分量方向的含义是,箭头指向平行六面体之外,符号为正,为拉应力;反之,符号为负,为压应力。对同一点应力状态,三个应力分量的大小与所选坐标有关,不同坐标系所表现的三个应力分量的数值是不同的。存在这样一个(仅有一个)坐标系,按该坐标系做平行六面体,则应力分量只有三个正应力分量,而无剪应力分量,那么称这三个正应力为主应力,称该坐标系为主坐标系,三个坐标轴为主应力轴,见图 4-1(b)。

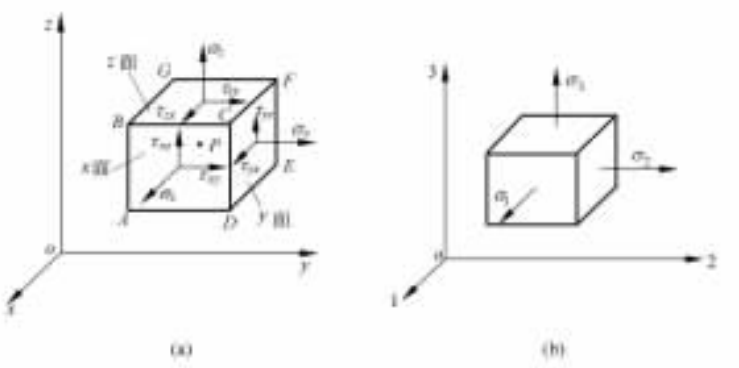


图 4-1 质点的应力状态
(a) 任意坐标系; (b) 主坐标系

如果用主坐标系表示质点的应力状态,即单元体上仅有正应力,而无剪应力;换言之,仅承受拉应力或压应力,则可将主应力状态分为如图 4-2 所示的三种类型。图中,第一行为单向应力状态:单向拉和单向压;第二行为两向应力状态,或称作平面应力状态:两向

拉、两向压或一拉一压 第三行为三向应力状态,或称作复杂应力状态:三向拉、三向压、一压两拉或一拉两压。对于板料冲压工艺,第二行应力状态居多。

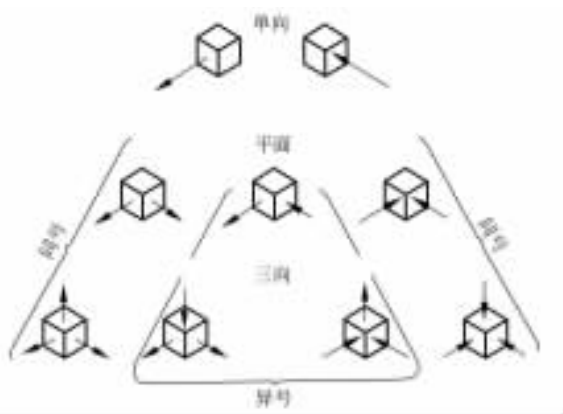


图 2-1-1 主应力状态图

平面应变状态

在一般情况下,变形毛坯内各质点的变形状态是不相同的。通常将质点的变形状态称为点的应变状态。一点的应变状态可用一个平行六面体来表示,每个面上有一个正应变、两个剪应变,共三个应变分量,经过加刚性转动可使剪应变互等($\gamma_{yz} = \gamma_{zy}$, $\gamma_{zx} = \gamma_{xz}$, $\gamma_{xy} = \gamma_{yx}$)则仅有三个独立的应变分量。正应变分量方向的含义是,箭头指向平行六面体之外,符号为正,则表示伸长,反之,符号为负,则为压缩(收缩),而剪应变分量的作用是使平行六面体产生角变形。对同一点的应变状态,三个应变分量的大小与所选坐标有关,不同的坐标系所表现的三个应变分量数值不同。存在这样一个(仅有一个)坐标系,按该坐标系做平行六面体,则应变分量只有三个正应变分量,而无剪应变分量,那么称这三个正应变为主应变,称该坐标系为主坐标系,三个坐标轴为主应变轴。

如果我们用主坐标系表示质点的应变状态,即单元体上仅有正应变,而无剪应变,换言之,仅承受拉伸或压缩,而无角变形。由于塑性变形中要满足体积不变条件,即三个正应变(当然,主应变也是正应变)之和为零,因此,绝对值最大的主应变值应等于另两个主应变绝对值之和,但符号相反;也就是说,绝对值最大的主应变,永远与另外两个主应变符号相反。故可将应变状态大致分为三类:一向伸长一向收缩、一向伸长两向收缩、一向收缩两向伸长,如图 2-1-2 所示。图中,最上面的应变状态是:一个主应变为零,另两个绝对值相等,符号相反,称为平面应变状态;第

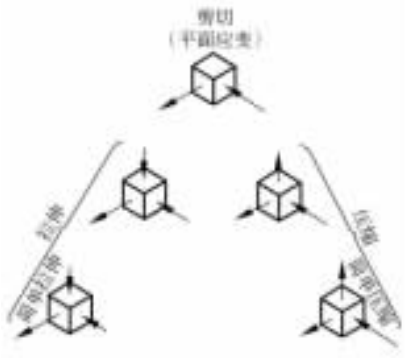


图 2-1-2 主应变状态图

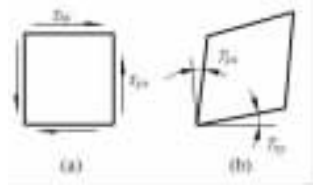
二行左边的应变状态是一向伸长两向收缩,即拉伸类;第二行右边的应变状态是一向收缩两向伸长,即收缩类。第三行仅为第二行的特例,左边的应变状态是一向伸长和两向相等的收缩,称之为简单拉伸;右边的应变状态是一向收缩和两向相等的伸长,称之为简单压缩。

圆摇应力与应变关系

由上述的叙述可知,应力状态与应变状态具有相似性。对于小变形而言(不超过 $\epsilon_{圆} \sim \epsilon_{圆}$ 数量级),两者的主坐标系是一致的。

对于应力与应变关系,我们不妨从方向和大小两方面进行叙述。首先讨论应力方向与应变方向之间的关系。

对剪应力和剪应变,可用图(圆)来表示。图(圆)的剪应力方向对应于图(圆)的剪应变方向,这很容易理解。而对于正应力和正应变的方向,就不是这样简单了。正应力为正值(受拉)时,正应变未必是正值(未必伸长);正应力为负值(受压)时,正应变未必是负值(未必收缩);正应力为零时,正应变未必为零(可能有伸长或收缩)。



图(圆)剪应力和剪应变的方向
(圆)剪应力方向;(圆)剪应变方向

为说明正应力和正应变方向的对应关系,也为说明应力分量与应变分量数值大小之间的关系,需要了解小变形时的应力应变关系,它可叙述为:小变形时的应变分量正比于应力偏量。即

$$\frac{\epsilon_{圆}}{\sigma_{圆}} = \lambda \frac{\epsilon_{圆}}{\sigma_{圆}} = \lambda \frac{\epsilon_{圆}}{\sigma_{圆}} \quad (圆)$$

式中 λ 为常数, $\epsilon_{圆} \epsilon_{圆} \epsilon_{圆}$ 为圆个主应变值; $\sigma_{圆} \sigma_{圆} \sigma_{圆}$ 为圆个主应力偏量值。

主应力偏量定义为:

设 $\sigma_{圆} \sigma_{圆} \sigma_{圆}$ 为圆个主应力值,则平均应力 $\sigma_{圆} = (\sigma_{圆} + \sigma_{圆} + \sigma_{圆})/3$,那么,圆个主应力偏量分别为 $\sigma_{圆} = \sigma_{圆} - \sigma_{圆}$, $\sigma_{圆} = \sigma_{圆} - \sigma_{圆}$, $\sigma_{圆} = \sigma_{圆} - \sigma_{圆}$ 。

由式(圆),依照比例定律,又可导出以下公式:

$$\epsilon_{圆} = \lambda \sigma_{圆} \quad (圆)$$

$$\frac{\epsilon_{圆}}{\sigma_{圆}} = \lambda \frac{\epsilon_{圆}}{\sigma_{圆}} = \lambda \frac{\epsilon_{圆}}{\sigma_{圆}} \quad (圆)$$

摇摇式(圆),(圆),(圆)也适用于全量应变理论的应力应变关系。

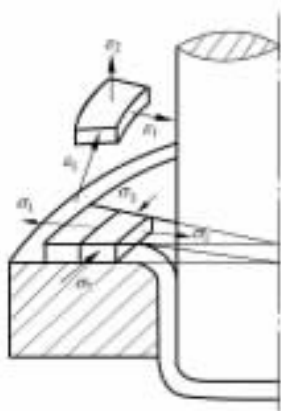
圆引例

利用上述应力应变关系,可以很方便地研究冲压过程中毛坯内应力的作用特点及分布规律。

在筒形件拉深过程中,压料板对凸缘部位的毛坯有摩擦力,但与内应力相比,可略去不计,其应力状态如图(圆)所示。图中的平行六面体采用圆柱坐标(则 θ , ρ),截取,属于一拉一压的应力状态(平面应力状态)。若 $\sigma_{圆} > \sigma_{圆}$, $\sigma_{圆} < \sigma_{圆}$, $\sigma_{圆} = \sigma_{圆}$ 。

越圆依照上式 $\sigma_{\text{圆}} = \frac{E \cdot \Delta l}{l_0}$ 越圆则 $\sigma_{\text{圆}} = \frac{E \cdot \Delta l}{l_0}$ 越圆

越圆云葬 $\sigma_{\text{圆}} = \frac{E \cdot \Delta l}{l_0}$ 越圆云葬依照 (圆)式 $\epsilon_{\text{圆}} = \frac{\Delta l}{l_0}$ 越圆云葬 $\sigma_{\text{圆}} = \frac{E \cdot \Delta l}{l_0}$ 越圆云葬 (圆) 越圆云葬 (圆) 越圆云葬 (圆)。这里,虽然没有求出猿个主应变值,但揭示了猿个主应变值之间的比例关系及变形状态。该点的应变属于双向伸长,一向收缩,即径向和厚度方向出现伸长变形,而切向出现收缩。将应变状态表示在图圆的左上角,可以看出,厚度方向虽然无应力作用,但有伸长变形,即厚度增加了。由拉深凸缘部位的应力应变状态可以发现,绝对值最大的主应力如果是负值(压应力),则该方向的应变一定是负值(收缩变形),称之为压缩类变形;同理,绝对值最大的主应力如果是正值(拉应力),则该方向的应变一定是正值(伸长变形),称之为伸长类变形。因此,可由绝对值最大的主应力符号来判断其变形的类型,故拉深凸缘部位属于压缩类变形。



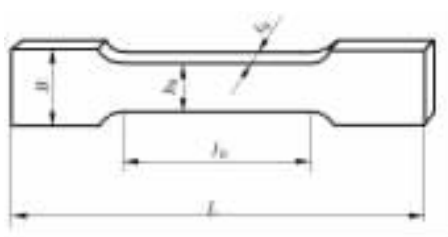
图圆拉深凸缘部位的应力应变状态

圆板料机械性能指标及其对冲压性能的影响

圆板料机械性能指标

对板料进行拉伸试验是测试板材机械性能的最常用、最简单的方法。由机械性能的指标值可间接地反映材质的冲压性能。

板料的拉伸试验可在冲压板材上制取如图圆所示的试样,在万能材料试验机上进行。在试样上装卡两个引伸仪,长度和宽度方向各一个。根据试验结果或自动记录装置,可以得到图圆所示的条件应力与延伸率之间的关系。经过对试验数据的处理可将其转变为真实应力应变曲线,如图圆所示。现在介绍板料机械性能的几个指标。



图圆板料拉伸试验的试样

屈服极限 $\sigma_{\text{泽}} (\sigma_{\text{圆}})$

通常将屈服极限 $\sigma_{\text{泽}}$ 定义为“屈服平台”最低点处所对应的条件应力。但对于有些材料没有明显的屈服点,如退火铝合金、优质冷轧钢板等,其典型应力应变曲线如图圆所

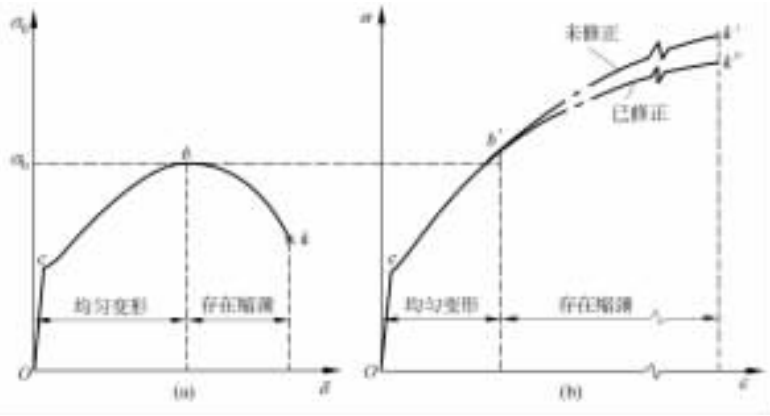


图 1-10 不同条件下应力应变曲线与真实应力应变曲线

示,这时的屈服极限规定用残留延伸率 $\delta_{0.01}$ 对应的条件应力来表示,记为 $\sigma_{0.01}$

强度极限 $\sigma_{\text{断}}$

强度极限 $\sigma_{\text{断}}$ 是拉伸过程中条件应力应变曲线最高点的条件应力。但要注意,它不是拉伸过程中作用于实际截面的最大应力,即不是真实应力应变曲线最高点的应力。

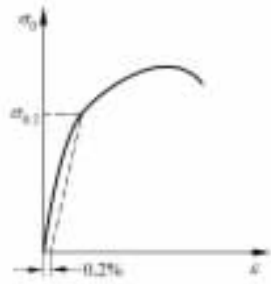


图 1-11 无明显屈服点的条件应力应变曲线

硬化指数 n

由真实应力应变曲线可以看出,该曲线可近似用如下公式表示(不考虑弹性变形部分):

$$\sigma = K \epsilon^n \quad (1-10)$$

式中, K 为与材料有关的常数, n 即定义为硬化指数。

塑性应变比 r

塑性应变比也称为“板厚方向性系数”,它是板料试样在拉伸过程中(在最大载荷之前,通常延伸率 $\delta < 10\%$) 宽度真实应变 $\epsilon_{\text{宽}}$ 与厚度真实应变 $\epsilon_{\text{厚}}$ 之比,即

$$r = \frac{\epsilon_{\text{宽}}}{\epsilon_{\text{厚}}} = \frac{\ln \frac{b_0}{b}}{\ln \frac{t_0}{t}} \quad (1-11)$$

式中, b_0, b 分别为试样的初始宽度和瞬时宽度; t_0, t 分别为试样的初始厚度和瞬时厚度。

由上式可知,要想求得 r 值,需测量出变形过程中试样的瞬时宽度和瞬时厚度。对变形过程的瞬时宽度,由宽度引伸仪可准确记录出来;对厚度的测量,就不易准确测出来。而厚度测量的微小误差都会对 r 的计算结果带来显著的影响,因此,将式(1-11)推演为

$$r = \frac{\ln \frac{b_0}{b}}{\ln \frac{t_0}{t}} = \frac{\ln \frac{b_0}{b}}{\ln \left(\frac{b_0}{b} \right)^{\frac{1}{n}}} = n \quad (1-12)$$

式中 l_0 、 l 分别为试样的初始标距和瞬时标距。

由于瞬时标距和瞬时宽度很容易由长度和宽度引伸仪测出来，故采用式(2-10)比直接采用式(2-9)会更准确、更精确地计算出 ϵ 值。

冲压生产所用的板材都是经过轧制的，其纵向（即轧制纤维方向）、横向及其他方向的性能不同，在不同方向上的 ϵ 值也不一样，这种现象称为平面方向上的“各向异性”，见图 2-10。

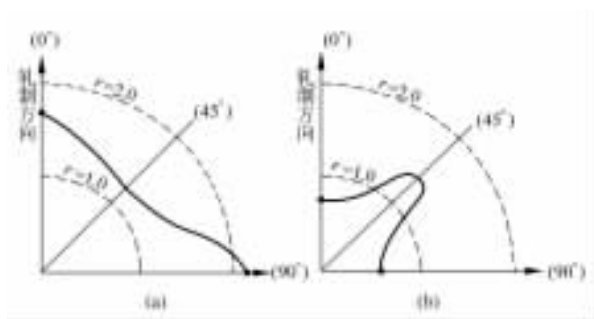


图 2-10 不同方向上的塑性应变比
(a) 体心立方晶格金属；(b) 面心立方晶格金属

为了统一试验方法，常用下式计算塑性应变比的平均值：

$$\bar{\epsilon} = \frac{\epsilon_{\text{纵}} + \epsilon_{\text{横}} + \epsilon_{\text{45}}}{3} \quad (2-11)$$

式中 $\epsilon_{\text{纵}}$ 、 $\epsilon_{\text{横}}$ 、 ϵ_{45} 分别是板材纵向、横向和 45° 方向上的塑性应变比。

缘凸耳系数 Δr

凸耳系数 Δr 也叫“板平面方向性”。为了表示板材纵向、横向及其他方向上的性能差异，描述板平面上的方向性，特提出凸耳系数的概念，它定义为

$$\Delta r = \frac{r_{\text{纵}} - r_{\text{横}}}{r_{\text{纵}}} \quad (2-12)$$

除了以上机械性能指标外，还有总延伸率 δ 和均匀变形的延伸率 $\delta_{\text{匀}}$ 。

图 2-11 机械性能指标对板料的影响

拉伸试验所得到的机械性能指标值与冲压性能有密切的关系，现将重要的几项简述如下。

缘延伸率

延伸率又分为总延伸率 δ 和均匀变形的延伸率 $\delta_{\text{匀}}$ 。总延伸率 δ 与试样的初始标距相关，如果对于各种板材均采用相同形状和尺寸的试样，也可以用总延伸率 δ 来评价其冲压性能。但是，在一般情况下，冲压变形是板材在均匀变形范围内进行的，所以均匀变形的延伸率 $\delta_{\text{匀}}$ 对冲压性能有较为直接的影响。 $\delta_{\text{匀}}$ 表示板材产生均匀的或称稳定的塑性变形的能力，它直接决定板材在伸长类变形中的冲压性能， $\delta_{\text{匀}}$ 值愈大，则翻边、扩孔、弯曲、胀形等极限变形程度愈大。