

汽车零部件常用制造工艺基础知识

3.1 汽车零部件毛坯制造工艺的基本知识

毛坯的质量好坏会影响到零件的质量。毛坯的选择是零件机械设计和制造中的一个重要环节。毛坯种类的选择不仅影响毛坯的制造工艺及费用,而且也与零件的机械加工工艺和加工质量密切相关。合理选择毛坯的类型,会使零件制造工艺简便、质量稳定、生产率高、制造周期缩短、成本降低。为此需要毛坯制造和机械加工两方面的工艺人员密切配合,合理地确定毛坯的种类、结构形状,并绘出毛坯图。

为了能合理选用毛坯,需清楚地了解各类毛坯的特点、适用范围及选用原则等。常用的汽车零部件的毛坯种类有铸件、锻压件、冲压件、焊接件及粉末冶金件等。

3.1.1 铸造

1. 概念

铸造是将熔化后的金属液浇灌入铸型空腔中,待其凝固、冷却后,获得一定形状的零件或零件毛坯的成型方法。通过铸造成型方法获得的毛坯或零件称为**铸件**。铸造是最常用的毛坯生产方法,对于形状复杂、用其他方法难以成型的各类汽车零部件都可用铸造方法生产其毛坯。

在汽车制造过程中,采用铸造制成毛坯的零件很多,约占全车质量的10%,仅次于钢材用量,居第二位。就材质而言,铸铁、铸钢、铸铝、铸铜等应有尽有,仅铸铁就采用了灰铸铁、球墨铸铁、蠕墨铸铁、可锻铸铁及合金铸铁等多种材料。因此可以说,汽车工业使各种铸造材质达到物尽其用的地步。汽车用铸件的主要特点是壁薄、形状复杂、质量轻、可靠性好、尺寸精度高、年产批量大等,如汽缸体,变速器箱体及进、排气支管,转向器壳体,后桥壳体,制动鼓,各种支架等。

2. 铸造的特点及分类

根据所采用的工艺方法,通常将铸造分成砂型铸造和特种铸造两大类。在汽车用铸件生产中,砂型铸造所生产的铸件占整个汽车铸件的90%以上。为弥补砂型铸件的不足,汽车零部件也常采用特种铸造方法来生产铸造毛坯,用于提高生产率,改善劳动条件,获得尺寸



精确高、机械强度好的铸件。凡不同于砂型铸造的其他所有铸造方法,统称为特种铸造,如永久型铸造、精密铸造、压力铸造、熔模铸造、壳模铸造和离心铸造等。各种铸造方法及工艺特点见表 3.1。

1) 砂型铸造

液态金属完全靠重力充满整个铸型型腔,直接形成铸型的原材料主要为型砂,这种铸造方法称为砂型铸造。砂型的原料以砂子为主,并与黏结剂、水等混合而成。砂型材料必须具有一定的黏合强度,以便被塑成所需的形状并能抵御高温铁水的冲刷而不会崩塌。为了在

表 3.1 各种铸造方法的工艺特点

毛坯制造方法	最大质量/kg	最小壁厚/mm	形状的复杂性	材 料	生产方式	精度等级(IT)	尺寸公差值/mm	表面粗糙度/ μm	其 他
手工砂型铸造	不限制	3~5	最复杂	铁 碳 合 金、有 色 金属及其他合金	单件生产及小批生产	14~16	1~8	—	余量大,一般为 1~10 mm; 由砂眼和气泡造成的废品率高; 表面有结砂硬皮,且结构颗粒大; 适于铸造大件; 生产率低
机械砂型铸造	至 250	3~5	最复杂		大批生产及大量生产	14 左右	1~3	—	生产率比手工制砂型高数倍至数十倍; 设备复杂,但要求工人的技术低; 适于制造中小型铸件
永久型铸造	至 100	1.5	简单或平常			11~12	0.1~0.5	12.5	生产率高,因免去每次制造铸型; 单边余量一般为 1~3 mm; 结构细密,能承担较大压力; 占用生产面积小
离心铸造	通常 200	3~5	主要是旋转体			15~16	1~8	12.5	生产率高,每件只需要 2~5 min; 力学性能好且少砂眼; 壁厚均匀; 不需要泥芯和浇注系统
压力铸造	10~16	0.5(锌), 1.0(其他合金)	由模子制造难易而定			11~12	0.05~0.15	6.3	生产率最高,每小时可制 50~500 件; 设备昂贵; 可直接制取零件或仅需少许加工
熔模铸造	小型零件	0.8	非常复杂	适于切削困难的材料	单件生产及成批生产	—	0.05~0.2	25	占用生产面积小,每套设备需 30~40 m ² ; 铸件机械性能好; 便于组织流水线生产; 铸造延续时间长,铸件可不经加工
壳模铸造	至 200	1.5	复杂	铸铁和有色金属	小批至大量	12~14	—	12.5~6.3	生产率高,一个制砂工班产量为 0.5~1.7 t; 外表面余量为 0.25~0.5 mm; 孔余量最小为 0.08~0.25 mm; 便于机械化与自动化; 铸件无硬皮

砂型内塑成与铸件形状相符的空腔,必须先用木材制成模型,称为木模。炽热的铁水冷却后体积会缩小,因此,木模的尺寸需要在铸件原尺寸的基础上按收缩率加大,需要切削加工的表面相应加厚。空心的铸件需要制成砂芯子和相应的芯子木模(芯盒)。有了木模,就可以翻制空腔砂型(铸造也称为翻砂)。在制造砂型时,要考虑上下砂箱怎样分开才能把木模取出,还要考虑铁水从什么地方流入,怎样灌满空腔以便得到优质的铸件。砂型制成后,就可以浇注,也就是将铁水灌入砂型的空腔中。浇注时,铁水温度在 $1250\sim 1350^{\circ}\text{C}$,熔炼时温度更高。

(1) 砂型铸造的工艺过程

砂型铸造工艺过程主要由以下几个部分组成:造型、造芯、砂型及型芯烘干、合箱、熔炼金属、浇注、落砂、清理、检验,如图 3.1 所示。

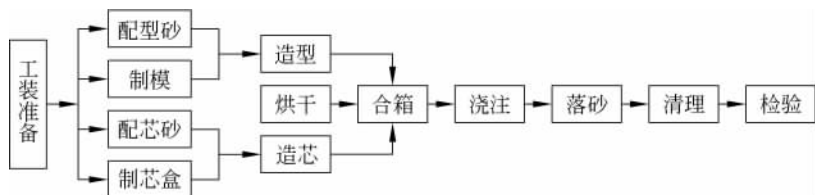


图 3.1 砂型铸造的工艺过程

(2) 工艺参数的选择

铸造工艺方案确定以后,还要选择各种工艺参数。铸造工艺设计参数(简称工艺参数)是指铸造工艺设计时需要确定的某些数据,这些工艺数据一般都与模样及芯盒尺寸有关,即与铸件的精度有密切关系,同时也与造型、制芯、下芯及合箱的工艺过程有关。铸造工艺设计参数主要有铸件尺寸公差、铸件重量公差、机械加工余量、铸造收缩率、起模斜度、最小铸出孔及槽、工艺补正量、分型负数、反变形量、砂型负数、非加工壁厚的余量、分芯负数等。

① 机械加工余量

所谓机械加工余量,就是铸件上需要切削加工的表面,应预先留出一定的加工余量,其大小取决于铸造合金的种类、工艺方法、造型方法、铸件大小和结构、生产批量及加工面在铸型中的位置等诸多因素。铸件表面粗糙、变形大,其机械加工余量大;非铁合金表面较光洁,其机械加工余量小;铸件越大、越复杂,其加工余量越大;铸件的顶面比底面和侧面的机械加工余量大。

② 起模斜度

起模斜度是指为了使模样便于从铸型中取出,在垂直于分型面的立壁上所加的斜度。模样越高,斜度取值越小;内壁斜度比外壁斜度大;手工造型的斜度比机器造型的斜度大。铸件外壁斜度一般取 $0.5^{\circ}\sim 4^{\circ}$ 。

③ 收缩余量

由于铸件在浇注后的冷却收缩,制作模样时要加上这部分收缩尺寸。一般灰铸铁的收缩余量为 $0.8\%\sim 1.0\%$,铸造铝合金的收缩余量为 $1.0\%\sim 1.5\%$,铸钢的收缩余量为 $1.8\%\sim 2.2\%$ 。收缩余量的大小除了与合金种类有关外,还与铸造工艺、铸件在收缩时的受阻情况等有关。



④ 铸造圆角

为了防止铸件在壁的连接和拐角处产生应力和裂纹,防止铸型的尖角损坏和产生砂眼,在设计铸件时,铸件壁的连接和拐角部分应设计成圆角。

⑤ 型芯头

为保证型芯在铸型中的定位、固定和排气,模样和型芯都要设计成型芯头。它们之间的尺寸和形状要留有装配用的芯头间隙。

(3) 铸件结构工艺性

铸件结构工艺性是指所设计的铸件结构在满足零件使用性能要求的前提下,还能适应铸造工艺和合金铸造性能的要求,以及铸造成型的可行性和经济性。铸件结构设计是否合理,对铸件质量、铸造成本和生产率有很大的影响。良好的铸件结构应适应金属的铸造性能和铸造工艺性。铸件结构的设计应尽量使制模、造型、造芯、合箱和清理等工序简化,从而提高生产率。砂型铸造条件下铸件的最小壁厚见表 3.2。

表 3.2 砂型铸造条件下铸件的最小壁厚

mm

铸 件 尺 寸	普通灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铸 钢	铜合金	铝合金
<200×200	4~6	6	5	8	3~5	3
200×200~500×500	6~10	12	8	10~12	6~8	4
>500×500	15~20	—	—	18~20	—	6

注:若铸件结构复杂或铸造合金的流动性差,则应取上限值。

2) 特种铸造

特种铸造是指凡与普通砂型铸造有一定区别的其他铸造方法。特种铸造可以克服砂型铸造尺寸精度不高、表面粗糙、生产率低、质量不稳定、劳动强度大的缺点。在汽车用铸件中常用的特种铸造方法有压力铸造、低压铸造、金属型铸造、离心铸造及消失模铸造和熔模铸造等。此外,还有其他的特种铸造,如陶瓷型铸造、挤压铸造、石膏型铸造、连续或半连续铸造及真空吸注等,目前在汽车铸件大量生产中采用较少。

(1) 压力铸造

压力铸造是将熔融金属在高压下高速充型,并在压力下凝固的铸造方法。压力铸造使用的压铸机如图 3.2(a)所示,由定型、动型、压室等结构组成。首先使动型与定型合紧,用活塞将压室中的熔融金属压射到型腔,如图 3.2(b)所示;凝固后打开铸型并顶出铸件,如图 3.2(c)所示。

压力铸造以金属型铸造为基础,又增加了在高压下高速充型的功能,从根本上解决了金属的流动性问题。压力铸造可直接铸出零件上的各种螺纹、孔眼、齿形等。铸件的组织更细密,其力学性能比砂型铸造提高 20%~40%,铸件质量好,生产效率高,经济效益好。但由于熔融金属的充型速度快、排气困难,常在铸件的表皮下形成许多小孔,这些小孔内充满高压气体,受热时因气体膨胀而导致铸件表皮产生凸起缺陷,甚至使整个铸件变形。因此,压力铸造铸件不能进行热处理。

在汽车行业中,压力铸造的零件有上百种,其中最复杂的铝压铸件为缸体、缸盖等。压铸时除了要下很多型芯之外,对铝缸体还要将铸铁缸套压铸到缸体中。

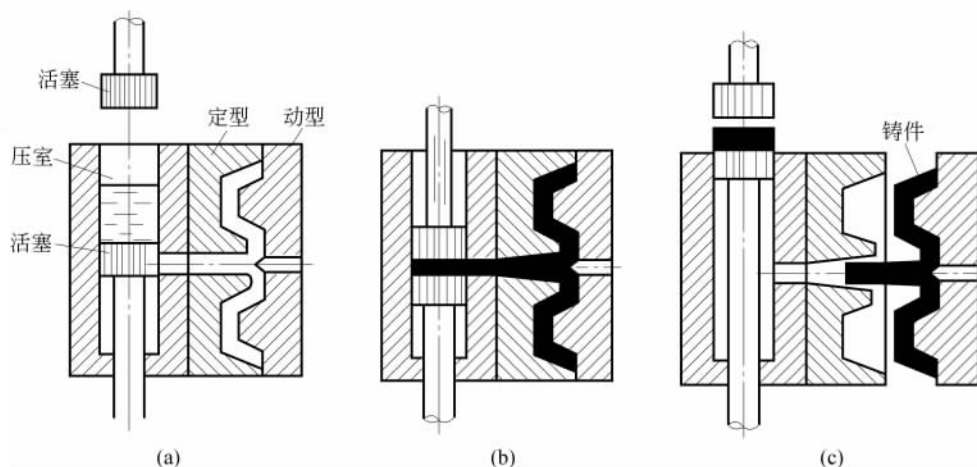


图 3.2 压力铸造

(a) 合型浇注; (b) 压射; (c) 开型顶件

(2) 低压铸造

低压铸造是将铸型安置在密封的坩埚上方,坩埚内通入压缩空气,在熔融金属的表面上造成低压力(20~70kPa),使金属液压入铸型并在压力下结晶凝固的铸造方法。因其压力低,故称为低压铸造。低压铸造的工艺原理如图 3.3 所示。工作时由储气罐向保温室中送入压力为 0.01~0.08 MPa 的干燥压缩空气或惰性气体,使金属液沿升液管从密封坩埚中以 10.5~10.6 m/s 的速度压入铸型型腔内,将其充满后,仍保持一定的压力到型腔内金属液完全凝固。然后撤出压力,使未凝固的金属液在重力作用下流回到坩埚,保证升液管和浇口内没有凝固的金属液。最后,打开铸型取出铸件。

铸件在压力下凝固结晶,浇口又能起补缩作用,铸件自上而下顺序凝固,因此组织致密,能有效克服铝合金的针孔等缺陷,铸件成品率高,浇口余头小,金属利用率高(高达 95%)。另外,低压铸造的铸件表面粗糙度值可达 $Ra\ 12.5\sim 3.2\ \mu\text{m}$,公差等级能满足 IT12~IT14,最小壁厚为 2~5 mm。

低压铸造是介于重力铸造(靠金属液本身重力流入型腔)和压力铸造之间的一种铸造方法,它可以生产铝、镁、铜合金和少量钢制薄壁壳体类铸件,例如汽车发动机的缸体和缸套,高速内燃机的活塞、带轮、变速箱壳体等。

(3) 金属型铸造

金属型铸造是在重力下将熔融金属浇入金属铸型(即金属型)中获得铸件的方法。金属型是指由金属材料制成的铸型,不能称为金属模。常用的垂直分型式金属型如图 3.4 所示,由定型和动型两个半型组成,分型面位于垂直位置,浇注时先使两个半型合紧,待熔融金属凝固、铸件定型后,再利用简单的机构使两个半型分离,取出铸件。

金属型铸造实现了“一型多铸”,下芯、合型比较方便,劳动条件好,克服了砂型铸造造型工作量大、占地面积大、生产率低等缺点,具有铸件精度和力学性能高的特点。其缺点是上型排气困难,开型和取出铸件均不方便。例如,汽车的铝合金缸盖、进气管及活塞等常用此方法铸造。

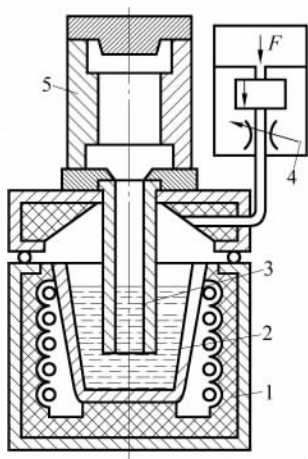


图 3.3 低压铸造工艺原理图

1—保温室；2—坩埚；3—升液管；4—储气罐；5—铸型

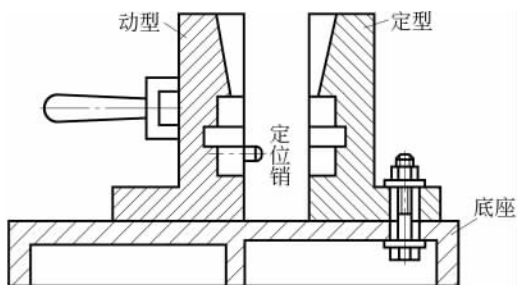


图 3.4 垂直分型式金属型铸造

(4) 离心铸造

离心铸造是将熔融金属浇入水平、倾斜或立轴旋转的铸型中,在离心力的作用下凝固成型的铸件轴线与旋转铸型轴线重合的铸造方法。通常铸件多是简单的圆筒形,铸造时不用型芯就可形成圆桶形内孔。离心铸造过程如图 3.5 所示。当铸型绕垂直线回转时,浇注入铸型中的熔融金属的自由表面呈抛物线形状,如图 3.5(a)所示,因此不宜铸造轴向长度较大的铸件。当铸型绕水平轴回转时,浇注入铸型中的熔融金属的自由表面呈圆柱形,如图 3.5(b)所示,因此常用于铸造要求壁厚均匀的中空铸件。

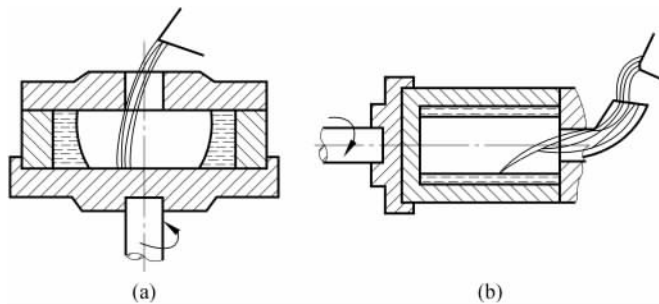


图 3.5 离心铸造

(a) 垂直轴线；(b) 水平轴线

离心铸造时,熔融金属受离心力的作用容易充满型腔;在离心力的作用下结晶能获得组织致密的铸件。但铸件的內表面质量较差,尺寸也不准确。离心铸造主要用于制造铸钢、铸铁、有色金属等材料的各类管状零件的毛坯,多用于浇注各种金属的圆管状铸件,如各种套、环、管等;也可以铸造各种要求组织致密、强度要求较高的成型铸件,如小叶轮、成型刀具等。



3.1.2 锻造

1. 概念

锻造是利用金属材料的可塑性,借助外力(加压设备)和加工模具的作用,使坯料或铸锭产生局部或全部变形而形成所需要的形状、尺寸和一定组织性能锻件的加工方法。

2. 锻造的特点及分类

锻压件是汽车零件制造业中的另一种常用毛坯。

锻件毛坯由于经锻造后可得到连续和均匀的金属纤维组织,因此锻件的力学性能较好,常用于受力复杂的重要钢质零件。锻压件是材料塑性变形的结果,因此锻压件晶粒较细,没有铸件的粗大组织和内部缺陷,所以一些要求强度高、耐冲击、抗疲劳的重要零件大多采用锻造毛坯。但由于它是在固态下塑性成型,难以获得复杂的形状,特别是一些复杂内腔的零件。锻压件广泛应用于汽车发动机、变速器、转向器、行走部分总成的零件上。

锻造分为自由锻造和模型锻造。

1) 自由锻造

自由锻造是将金属坯料放在铁砧上承受冲击或压力而成型的加工方法(简称“打铁”)。汽车的齿轮和轴等的毛坯就是用自由锻造的方法加工的。

按自由锻件的外形及其成型方法,可将自由锻件分为六类:饼块类、空心类、轴杆类、曲轴类、弯曲类和复杂形状类。

自由锻应用设备和工具有很大的通用性,且工具简单,所以只能锻造形状简单的锻件。自由锻操作强度大,生产率低。自由锻可以锻出质量从不到 1 kg 到(200~300)t 的锻件。对于大型锻件,自由锻是唯一的加工方法,因此自由锻在重型机械制造中有特别重要的意义。自由锻依靠操作者控制其形状和尺寸,锻件精度低,表面质量差,金属消耗也较多。所以,自由锻主要用于品种多、产量不大的单件小批量生产,也可用于模锻前的制坯工序。

自由锻造加工与其他加工方法相比,具有以下特点。

(1) 改善金属组织,提高力学性能。金属材料经锻造加工后,其组织、性能都得到改善和提高,锻压加工能消除金属铸锭内部的气孔、缩孔和树枝状晶等缺陷,并由于金属的塑性变形和再结晶,可使粗大晶粒细化,得到致密的金属组织,从而提高金属的力学性能。在零件设计时,若正确选用零件的受力方向与纤维组织方向,可以提高零件的抗冲击性能。

(2) 材料的利用率高。金属塑性成型主要是靠金属的形体组织相对位置重新排列,而不需要切除金属。

(3) 较高的生产率。锻造加工一般是利用压力机和模具进行成型加工的。例如,利用多工位冷镦工艺加工内六角螺钉,比用棒料切削加工工效提高 400 倍以上。

(4) 锻压所用的金属材料应具有良好的塑性,以便在外力作用下,能产生塑性变形而不破裂。常用的金属材料中,铸铁属脆性材料,塑性差,不能用于锻造。钢和非铁金属中的铜、铝及其合金等可以在冷态或热态下压力加工。

(5) 不适合成型形状较复杂的零件。锻造加工是在固态下成型的,与铸造相比,金属的



流动受到限制,一般需要采取加热等工艺措施才能实现。对制造形状复杂,特别是具有复杂内腔的零件或毛坯较困难。

由于锻造具有上述特点,因此承受冲击或交变应力的重要零件(如机床主轴、齿轮、曲轴、连杆等)都应采用锻件毛坯加工。所以锻造加工在机械制造、军工、航空、轻工、家用电器等行业得到广泛应用。汽车的齿轮和轴等的毛坯就是用自由锻造的方法加工的。

锻造用材料涉及面很宽,既有多种牌号的钢及高温合金,又有铝、镁、钛、铜等有色金属;既有经过一次加工成不同尺寸的棒材和型材,又有多种规格的锭料;所锻材料大多数是已列入国家标准的,也有不少是研制、试用及推广的新材料。

锻造加热的目的是为了降低锻造变形力和提高金属塑性,但加热也带来一系列问题,如氧化、脱碳、过热及过烧等。准确控制始锻及终锻温度,对产品组织与性能有极大影响。根据热源不同,在锻压生产中金属的加热方法可分为两大类。

(1) 火焰加热

火焰加热是利用燃料(煤、油、煤气等)燃烧所产生的热能直接加热金属的方法。由于燃料来源方便,炉子修造较容易,费用较低,加热的适应性强等原因,所以应用较为普遍。其缺点是劳动条件差,加热速度较慢,加热质量较难控制等。

(2) 电加热

电加热是利用电能转换为热能来加热金属的方法。与火焰加热相比,它具有很多优点:升温快(如感应加热和接触加热),炉温易于控制(如电阻炉),氧化和脱碳少,劳动条件好,便于实现机械化和自动化。电加热的缺点是对毛坯尺寸形状变化的适应性不够强,设备结构复杂,投资费用较大。

锻件的冷却是指锻件从终锻温度出模冷却到室温,它是锻造生产中的重要环节之一。如果冷却方法选择不当,有可能将其粗大的锻造组织遗传给其后的热处理组织或影响以后的热处理组织,也可能由于应力过大造成裂纹或产生白点而影响产品质量,甚至使锻件报废。因此,选择冷却方法、制定冷却规范对于防止锻件缺陷是非常重要的。坯料在加热过程中会产生内应力,同样,锻件在冷却过程中也会引起内应力。由于锻件冷却后期温度较低而呈弹性状态,因此冷却内应力的危险性比加热内应力更大。内应力有温度应力、组织应力和锻造变形不均匀引起的残余应力。按照冷却速度的不同,锻件的冷却方法主要有:在空气中冷却、在灰箱或砂箱中冷却、在保温坑中冷却、在炉内冷却。

任何一个锻件的成型过程,都是由一系列变形工步组成的。自由锻工序一般可分为基本工序、辅助工序和修整工序三类。

(1) 基本工序

基本工序指能够较大幅度地改变坯料形状和尺寸的工序,也是自由锻造过程中主要变形工序。基本工序可分为镦粗、拔长、芯棒拔长、冲孔、扩孔、弯曲、剁切、切割、错移和扭转等工步。

镦粗指的是使毛坯高度减小、横断面积增大的锻造工序。在坯料上某一部分进行的镦粗叫做局部镦粗。镦粗和局部镦粗的主要方法和用途见表 3.3。



表 3.3 镦粗的方法和用途

序号	名 称	简 图	用 途
1	平砧间镦粗		用于镦粗棒料和切去冒口
2	在带孔的垫环间镦粗		用于锻造带凸座的齿轮、突缘等锻件。在锻件直径较大,凸座直径很小,而且所用的毛坯直径比凸座的直径要大得多时采用
3	在漏盘或模子内局部镦粗		用于锻造带凸座的齿轮和长杆类锻件的头部和凸缘等,这时凸座的直径和高度都较大

拔长指的是使毛坯横断面积减小而长度增加的工序。拔长包括矩形断面毛坯的拔长和圆断面毛坯的拔长(见图 3.6),拔长的主要问题是生产率和质量,主要的工艺参数是送进量(l)和压下量(Δh)。

① 矩形断面毛坯的拔长。矩形断面毛坯在平砧间拔长,当相对送进量(送进长度 l 与坯料宽度 a 之比,即 l/a ,也叫进料比)较小时,金属多沿轴向流动,轴向的变形程度 ϵ_l 较大,横向的变形程度 ϵ_a 较小,随着 l/a 的不断增大, ϵ_l 逐渐减小, ϵ_a 逐渐增大(见图 3.7)。可见,为提高拔长时的生产率,应当采用较小的进料比。但送进量 l 也不宜过小,因为 l 过小时总的送进次数要增多。因此,通常取 $l=(0.4\sim 0.8)b$,式中 b 为平砧的宽度。

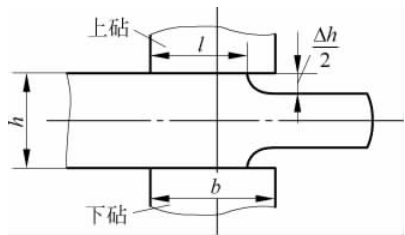


图 3.6 拔长

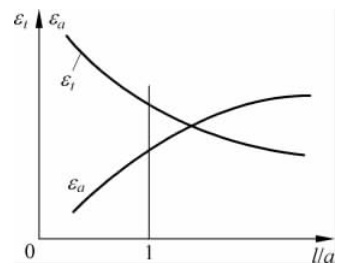


图 3.7 轴向和横向变形程度随相对送进量的变化情况

ϵ_l —轴向变形程度; ϵ_a —横向变形程度



② 圆断面毛坯的拔长。用平砧拔长圆断面毛坯时,若压下量较小,则接触面积较窄较长(见图 3.8),金属多作横向流动,不仅生产效率低,而且常易在锻件内部产生纵向裂纹。芯棒拔长是一种减小空心毛坯外径(壁厚)而增加其长度的锻造工序,用于锻制长筒类锻件(见图 3.9)。

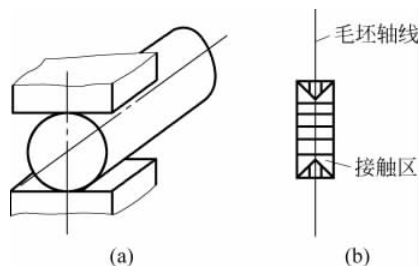


图 3.8 平砧、小压下量拔长圆形断面坯料

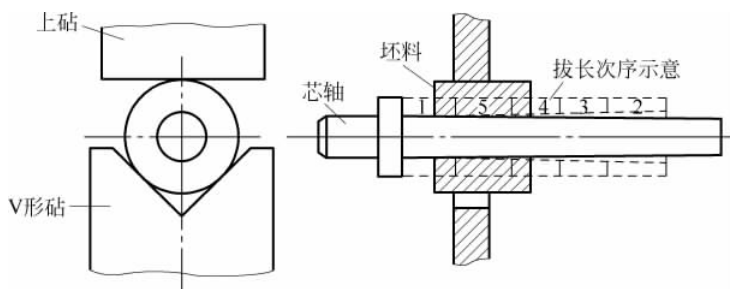


图 3.9 芯棒拔长

冲孔指的是在坯料中冲出通孔或盲孔的锻造工序。常用的冲孔方法和应用范围见表 3.4。

表 3.4 冲孔方法和应用范围

序号	冲孔方法	简图	应用范围和工艺参数
1	实心冲子冲孔(双面冲孔)		用于冲一般的孔,其工艺参数为 $\frac{D_0}{d_1} \geq 2.5 \sim 3$ $H_0 \leq D_0$ 式中, D_0 为原毛坯直径; H_0 为原毛坯高度; d_1 为冲头直径
2	在垫环上冲孔(漏孔)		用于冲较薄的毛坯,例如,当锻件高度 H_0 和直径的比值 $\frac{H}{D} < 0.125$ 时,常采用此法