

内容提要 精密锻轴工艺是一项先进的锻造新工艺，它具有锻件质量高、生产效率高、机床自动化程度高和原材料消耗低等优点。

本书介绍了精密锻轴工艺的原理、特点和应用范围，简要地叙述了精锻机的工作原理、精锻件工艺的制订以及工艺装备的设计，并列举了多种工艺实例。

本书可供从事锻造生产与技术改造的工人及技术人员参考。

精密锻轴工艺

沈阳市第一锻造厂编

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $37 \frac{1}{16}$ · 字数 77 千字

1974 年 12 月北京第一版·1974 年 12 月北京第一次印刷

印数 00,001—10,000 · 定价 0.26 元

*

统一书号：15033·4274

前 言

我国从事锻造工作的广大工人和工程技术人员，在毛主席无产阶级革命路线指引下，高举“鞍钢宪法”伟大旗帜，大搞技术革新和技术革命，新技术、新工艺层出不穷，机械化水平大大提高，生产面貌焕然一新，为工业化源源不断地提供各种形状复杂、机械性能高、少无切屑的优质锻件。近年来精密轴类锻件的出现，就是其中的一种。

在轴类件的锻造上，精密锻轴工艺为实现锻工“打铁按电门”的愿望开拓了一条新的道路。我厂几年来的生产实践证明，精密锻轴工艺具有锻件质量高、生产效率高、机床自动化程度高和材料消耗低等优点，是一项符合多快好省地建设社会主义事业的压力加工新工艺。

为了使这项新工艺能够更好地得以推广，在沈阳市机电工业局的领导与组织下，我们组成了以工人为主体的三结合编写小组，对我厂几年来的生产实践加以总结，编写了《精密锻轴工艺》这本书。

本书扼要地介绍了精密锻轴工艺的原理、特点、应用范围以及立式精锻机的构造和动作原理。着重叙述了一般精锻件工艺的制订和“工装”设计，并且还列举了多种工艺实例，供从事锻造生产的工人同志参考。

由于我们从事这项工作的时间不长，经验不多，对它的认识也还很肤浅，加之编写时间仓促，没来得及征求有关兄弟单位的意见，所以本书可能有很大的局限性，错误和不当之处在所难免，恳切地希望同志们给予批评指正。

沈阳市第一锻造厂

出版说明

在批林批孔运动的推动下，机械工业技术革新和技术改造的群众运动蓬勃开展，先进经验层出不穷。为及时总结推广这些先进经验，我们组织编写了“机械工业技术革新技术改造选编”。

“机械工业技术革新技术改造选编”将陆续出版，内容包括：铸、锻、焊、热处理、机械加工、改善劳动条件、三废处理等方面，每本讲一个专题，内容少而精，便于机械工业的广大职工阅读参考。

在组织编写过程中，得到有关领导部门和编写单位的大力支持，对此我们表示感谢。欢迎广大读者对这些书多提宝贵意见。

目 录

前言

一、概述	1
(一) 精密锻轴的工艺原理和特点	1
(二) 精密锻轴工艺的应用范围和优缺点	3
二、精锻机的工作原理和主要技术参数	8
(一) 精锻机的分类	8
(二) 四锤头立式精锻机的动作原理	9
(三) 四锤头立式精锻机的控制原理	16
(四) 四锤头立式精锻机的技术参数	19
三、精锻工艺的制订和工艺装备的设计	20
(一) 锻件图的制订	20
(二) 坯料的选用	27
(三) 变形过程的确定	31
(四) 工艺参数的选择	35
(五) 工艺装备的设计	46
(六) 工艺卡片的编制	66
四、工艺实例	73
五、精锻件的工艺缺陷分析	97
(一) 尾部凹坑	98
(二) 棱角	100
(三) 螺旋形凹坑	100
(四) 螺旋形脊椎纹	101
(五) 尾部马蹄形	101
(六) 各台阶不同心	101
(七) 锻件弯曲	102

一 概 述

精密锻轴是一项在专门的精密锻轴（管）机（通称精锻机）^①上进行轴类件锻造的新工艺。这项工艺至今仅有二十几年的历史，但由于具有显著的技术经济效果，所以发展很快。我国自大跃进的一九五八年开始对这项新工艺进行研究和试验以来，特别是通过无产阶级文化大革命，有关工厂和科研单位的广大工人、技术人员，高举“鞍钢宪法”的伟大旗帜，遵照毛主席关于“打破洋框框，走自己工业发展道路”的教导，坚持独立自主、自力更生的方针，自行设计、制造了多种规格型号的精锻机，进一步扩大了工艺范围，从而使这项新工艺获得了迅速的发展。

（一）精密锻轴的工艺原理和特点

精密锻轴工艺的基本原理，是在坯料周围对称分布几个锤头，对着坯料的轴线进行高频率同步锻打，坯料边旋转边作轴向送进，使坯料在多头螺旋式延伸变形情况下变细伸长，如图1所示。由此可见，这种工艺具有两个特点：一是多向锻打，二是高频率的脉冲锻打。

① 精密锻轴工艺所用的设备名称，目前国内尚无统一叫法。有的因该设备工作时对锻件施以径向加载，故称其为径向锻机；有的则因该种设备系利用曲轴连杆机构来实现对锻件锻打的，因而称其为曲轴锻造机；也有从其用途考虑，称其为精密锻轴（管）机。通常的称呼为精锻机。本文暂叫精密锻轴（管）机，简称精锻机。

目前精锻机的锤头数，除极个别的采用两个外，一般为3~4个，某些专门用于棒材生产的精锻机则有6个或8个锤头。

所谓多向锻打，是指这种工艺在使金属变形时用的锤头数目多，坯料周围承受着多个锤头的同步打击。这一特点使金属变形时处于三向压应力状态下，产生径向压缩轴向延伸，因而最有利于提高金属的塑性。这就不同于在一般锻锤、压力机或轧机上的金属变形。后者的坯料只是双向受力，在产生轴向延伸变形的同时还有展宽（见图2）。这个工艺特点也决定了它在低塑性的高合金钢材生产上有着广阔的前途，而对某些塑性极低的合金材料锻造上，也比一般锻压工艺方法优越。

精锻机的打击次数较高，视机器吨位大小，打击次数为180~1700次/分。

所谓高频率的脉冲锻打，是指单位时间内坯料受到的锻打次数多，但每打一锤的金属变形量较小，同时金属变形速

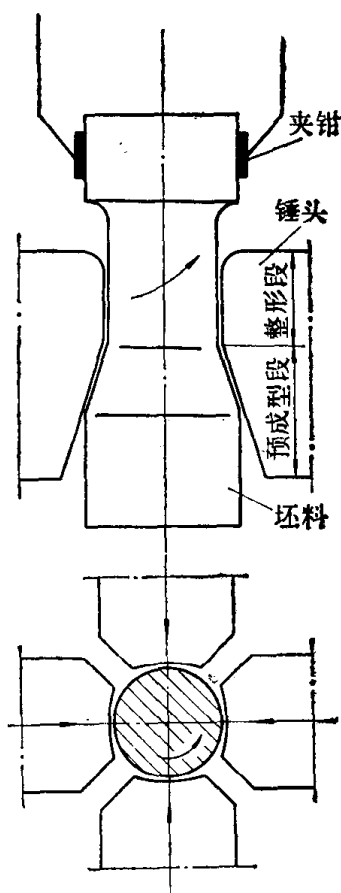


图1 精密锻轴工艺原理示意图

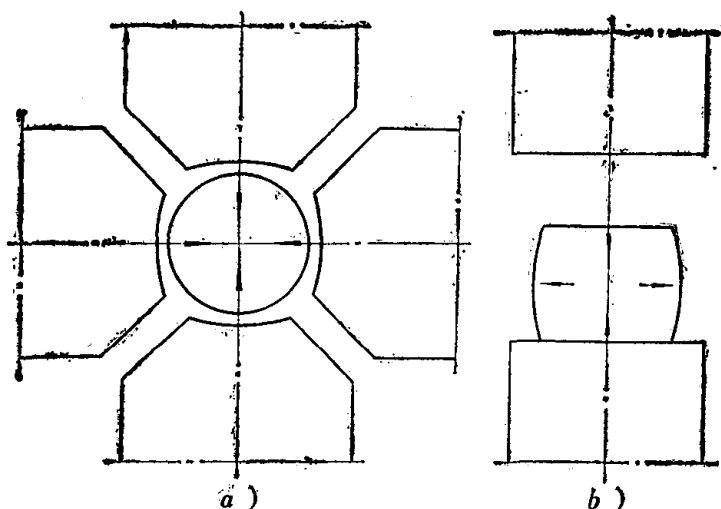


图2 精锻机和锻锤的金属变形受力情况

a) 精锻机; b) 锻锤

度也较低。这一特点可使金属变形流动的路线短,摩擦阻力减少,变形容易,因而设备动力消耗小,同时金属变形均匀。虽然每打一锤变形量小,然而因其打击频率高,所以总的成型或出材速度并不低。这个工艺特点使其在锻造高强度合金材料以及在大口径管料缩口、缩颈的质量和速度上,远比其他锻压工艺方法为优越。

(二) 精密锻轴工艺的应用范围和优缺点

1. 应用范围

精密锻轴工艺的应用范围较广,大致可归纳如下:

(1) 从锻件形状方面 1) 回转体的阶台轴,如机床、汽车、拖拉机、机车、飞机、坦克和其它机械上的实心轴、空心轴、锥度轴。目前国内使用的精锻机可锻最大直径为 $\phi 250$ 毫米,最大长度达6000毫米; 2) 薄壁筒形件的缩口、

缩颈，如各种高压储气瓶、炮弹壳、无缝管轧机穿孔水冷顶头的缩口、航空用球形储气瓶、火箭用喷管的缩颈等；3) 带有特定形状的内孔，如带来复线的枪管、炮管和深孔螺母、内花键等；4) 异型材，如内六方管、三棱刺刀等；5) 某些高合金钢材与特殊合金的开坯和锻造，各种截面如方形、矩形、六边、八边和十二边形等棒材的生产。

(2) 从可锻材料方面 不仅可锻一般合金钢、铜合金和铝合金，而且由于工艺特点所决定，使其尤为适用于低塑性高强度的难熔金属如钨、钼、铌、锆以及其它高合金特殊钢的开坯和锻造。

(3) 从锻造温度方面 既可热锻，又可进行温锻和冷锻，可达到少无切屑加工的目的。

图3为我厂部分精锻件实例。

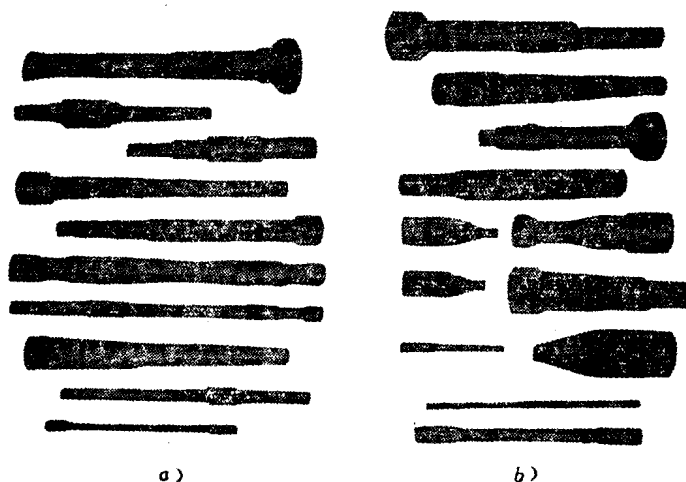


图3 部分精锻件
a) 实心轴，b) 空心轴

2. 优缺点对比

几年来的生产实践证明，精密锻轴工艺具有以下几个优点：

(1) 锻件质量高

1) 精度 热锻直径 $\phi 100$ 毫米左右的锻件，外径尺寸公差可达 ± 0.3 毫米，内径（芯棒成型）尺寸公差可达 ± 0.1 毫米。

冷锻外径 $\phi 40$ 毫米以下的锻件，外径尺寸公差可达 ± 0.1 毫米，内径尺寸公差可达 ± 0.02 毫米。

2) 光洁度 冷锻表面光洁度外径可达 $\nabla 6 \sim \nabla 7$ ，内径可达 $\nabla 7 \sim \nabla 9$ 。

3) 机械物理性能 精密锻轴工艺固然有表面变形大于心部变形的现象，但是，对于一般的实心轴或者高合金钢的开坯，只要达到足够的锻造比，心部是可以锻透的。

实践证明，材质为45的 $\phi 115$ 毫米圆钢，当锻造比达到2.5时，心部即可锻透。直径 $\phi 80$ 毫米的钼铌，当锻造比达到2.6时，心部即可得到锻造组织。

对于空心轴，如用棒料进行机械加工，在内孔和外径的台阶过渡处，金属纤维被切断（图4），影响零件的机械性能。采用精密锻轴工艺所生产的空心轴，就可避免上述弊病，金属纤维流向非常理想。同时，锻件是在内靠芯棒外靠锤头锻打的情况下变形的，锻件内部组织致密，因而提高了锻件的机械性能。例如用40CrNiMoA材料精锻的空心轴，与原用棒料加工的空心轴相比，不仅消除了内孔枝状晶的弊病，而且在抗拉强度 σ_b 增加10公斤/毫米²的同时，冲击韧性 a_k 值还增加了1~2公斤米/厘米²。

又如用30CrMnSiNi2A材料精锻某产品上的空心件——

梁，与原来用相同材质的无缝钢管加工的空心梁相比，不仅内孔可不必加工，每件节约工时一小时，而且节约材料30.3%。经试验证明，使用寿命也大大延长。将用相同材质的无缝钢管加工的零件和精锻后的零件一起作下述试验：

按有关技术标准规定的载荷谱加载作疲劳试验，经过20个循环(76000次)后，又按58.3%设计载荷等幅加载，经17340次，用无缝钢管加工的零件断裂，而精锻的零件尚完好无损。实测结果表明，精锻件的剩余强度，还有105%的设计强度，而无缝钢管加工的零件，其剩余强度只有60%。

4) 外观 精锻件外观与其它锻造工艺的锻件相比，很少有其它锻件所常见的弊病，如夹层、锤痕不匀，台阶不清晰、不整齐等。

(2) 生产率高 由于精锻机的打击频率高，锻打过程为自动控制，工步间不间断，锻打过程中又不使用任何附加工具，不必进行工步测量，所以生产率较高。例如将 $\phi 110 \times 690$ (重52公斤)的圆钢锻成六个台阶的C620-1普通车床主轴，机动时间仅为52~54秒；锻C620-1的IV轴(最大

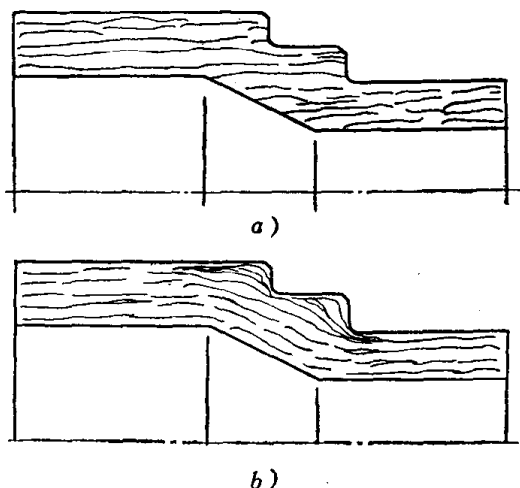


图4 不同工艺方法的空心轴纤维示意图

a) 棒料加工的空心轴；b) 精锻空心轴

直径 $\phi 55$ ，长400毫米，两个台阶)，生产率可达150件/时。

(3) 消耗低 精锻件的精度高，就可显著地节约原材料。热锻件可大大减少粗加工工时，冷锻件还可达到少无切屑加工。与自由锻锻件相比，一般实心阶台轴可节约钢材10~20%，空心阶台轴可节约钢材30~50%。如CA6140普通车床主轴，每根省料10公斤，以年产量5000根计算，可节约钢材50吨。此外，在节约钢材的同时，就可省去了已节约钢材的往返运输、切割下料、加热的燃料消耗以及锻造和用机械加工把它变为铁屑的大量工时、台时、工装占用和量刃具消耗。

工艺装备少，小而简单，通用性强，制造周期短。如一台160吨立式精锻机的一副锤头（四个），总重只有40~50公斤，较之锻模或型砧，重量极微，而且形状简单，容易制造。同时每副锤头还可用于锻打在其尺寸范围内的多种轴，不像模锻生产，一模只能锻一种锻件。

(4) 机床自动化程度高，劳动条件优越 精锻机的全部工作过程都是用程序自动控制的，便于实现机械化、自动化生产。近年来已有应用数控技术。操作工人的工作只需按电钮，消除了笨重的体力劳动。工人技术等级要求不高。精锻机有自动过载保护装置，在设备超负荷时，能自动退锤停止打击，不致损坏任何零件，并可自动复位，继续锻打。精锻机的打击力自身平衡，对基础振动不大，因此对地基和厂房无特殊要求。工作时没有巨大的声响和振动，烟尘可从机床下部抽走排出，工人的劳动条件好。

一分为二地看待精密锻轴工艺，它也有一定的缺点：

(1) 精锻机的结构复杂，造价较高。由于它比一般锻压机械娇气，因而对维修保养方面的要求，也较其它锻压机

械为高。

(2) 虽然这种工艺的应用范围较广,但机床适应性小,每台精锻机对坯料直径、锻件形状和尺寸都有一定的要求,工艺万能性差。

(3) 由于精锻机是专用性设备,所以只适应于成批生产。单件小批生产不宜采用这种工艺。

(4) 精锻件尾部有料头,必须切除后才能进行机械加工。切头工序与模锻件的切边工序相比,生产率很低,而且也是一般锻造车间所不习惯的。

(5) 精锻件都是细长杆件,加工余量又小,锻后热处理时容易变形,因此对锻后热处理和校直等工序要求较高。

二 精锻机的工作原理和 主要技术参数

(一) 精锻机的分类

随着精密锻轴工艺范围的不断扩大,相应的精锻机类型也在增加。

就其用途分类,目前除了锻制一般旋转体的实心或空心阶台轴以及锥度轴的普通精锻机外,在军械、冶金行业和模锻成型的生产上,还有一些专用的精锻机。

按着锻件送进方向的不同,精锻机可分为:

1. **立式精锻机** 锻件沿着垂直于水平方向送进,锤头在水平方向上打击。这类精锻机的吨位较小,占地面积也小,机器高度尺寸较大,只适于锻造较短的轴类锻件。

2. 卧式精锻机 锻件沿着水平方向送进, 锤头在垂直于水平方向上打击。这类精锻机的高度尺寸小, 不需要高厂房, 但占地面积大。卧式精锻机的吨位可以做得较大, 适于锻造长轴类锻件, 并且较之立式精锻机更容易实现自动上下料, 因而近年来发展较快。

就精锻机的锤头数目分, 主要是四个锤头和三个锤头的, 但也有两个锤头的精锻机。此外, 在一些专用精锻机上, 锤头数目多到有六个至八个的。

下面就我厂使用的 160 吨立式精锻机的工作原理作一简单说明。必须指出, 目前这种精锻机的结构, 尤其是控制原理, 已不够先进了。

(二) 四锤头立式精锻机的动作原理

精锻机由本体、液压系统和电气控制系统组成。图 5 为四锤头立式精锻机本体构造示意图。

精锻机本体自下而上可分三层: 传动箱、锻造箱和床身。

精锻机工作的主要运动是: 1. 锤头往复打击运动; 2. 径向送进运动; 3. 锻件旋转运动; 4. 轴向送进运动。

1. 锤头往复打击运动

锤头的往复打击是靠机械传动实现的。装在传动箱 I 背面的主电动机 6, 经三角皮带轮 5、2 和中间齿轮 3, 直接带动传动箱中的两个主传动齿轮 4 转动, 又经中间齿轮 36 带动另外两个主传动齿轮转动。锻造箱 II 中立放着四个对称分布的偏心轴 9, 每根偏心轴的下端都固定有一个飞轮 7。飞轮和主传动齿轮构成了浮动联轴节 (图 6) 的上下半节, 中间经浮动盘 8 将它们联起来, 以保证在飞轮与主传动齿轮不同心的情况下, 仍能将旋转运动传递给飞轮和偏心轴。偏

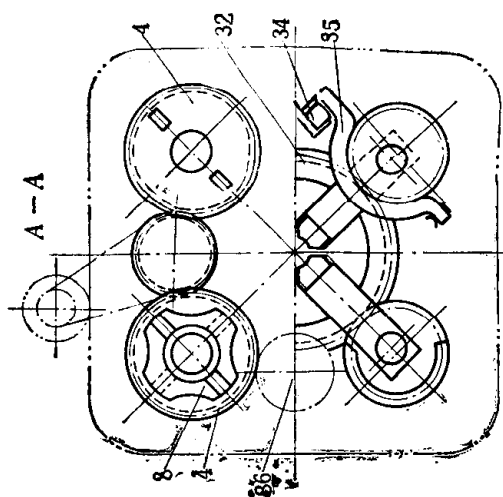
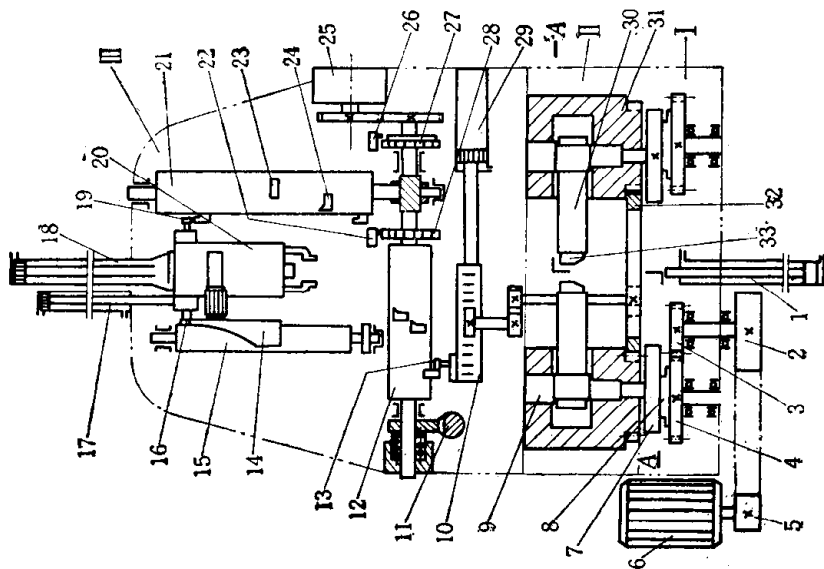


图5 精锻机构造示意图

I—传动箱；II—锻造箱；III—床身

1—反支承器；2、5—三角皮带轮；3、36—中间齿轮；4—主传动齿轮；6—主电动机；7—飞轮；8—浮动盘；9—偏心轴；10—齿条；11—分度机构；12—卧鼓；13—滚轮；14—锥度板；15—仿型鼓；16—仿型滚轮；17—夹头缸；18—芯棒缸；19—夹头滚轮；20—夹头；21—立鼓；22、26—行程开关；23—平挡铁；24—转换挡铁；25—多工位节流阀；27—凸轮块；28—棘轮；29—卧油缸；30—连杆；31—偏心套；32—大齿圈；33—锤头；34—压紧油缸；35—弓形杠杆



轴中部偏心段装有连杆 30，连杆前端固定着锤头 33。这样，当主电动机一启动，就能通过上述机构，带动偏心轴匀速旋转，形成锤头的往复打击运动。锤头每分钟往复次数（即打击次数）是不可调的。

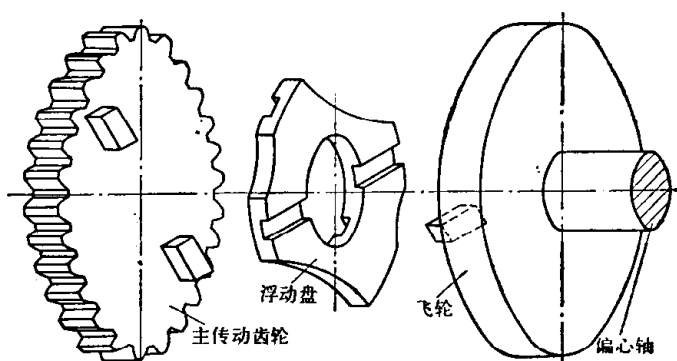


图 6 联轴节

2. 锤头径向送进运动

如果偏心轴总在一个位置上旋转，锤头也只能有一个闭合直径。对于锻打阶台轴来说，这样是不够的。为了得到不同的锻件直径，偏心轴就得在不同的位置上旋转。改变偏心轴轴线位置的动作叫做径向送进。径向送进是这样实现的，四根偏心轴装在四个内外径不同心、壁厚不等的偏心套 31 里。偏心套的外径以动配合方式装在锻造箱的大孔中，偏心轴则在偏心套的内孔中转动。

由于偏心套的壁厚不等，当偏心套转动一个角度后，偏心套内孔轴线相对于机器中心的位置就发生改变，迫使装在其中的偏心轴轴线相对于锻造箱中心即打击中心产生位移，改变了闭合直径。

偏心套的回转是靠液压缸驱动的。安装在床身里的卧油

缸 29 (见图 5), 其往复运动的活塞杆前部为一段齿条 10, 经一系列齿轮, 可带动锻造箱中的大齿圈 32 转动。四个偏心套 31 的下部以凸缘方式固定有齿轮, 它与大齿圈 32 啮合, 因而卧油缸活塞杆的往复运动即通过上述机构使四个偏心套同时同向转动, 迫使装在偏心套里的偏心轴轴线产生位移, 即作径向送进。偏心轴轴线向里位移的运动称为“进锤”, 偏心轴轴线向外位移的运动称为“退锤”。卧油缸的全行程可使偏心套转动 120° 。在这 120° 范围内, 偏心套的壁厚差为 27.5 毫米, 也就是说可以使偏心轴产生的最大位移为 27.5 毫米。偏心轴的连杆 30 前端固定着锤头 33, 锤头则随卧油缸在全行程的始点和终点位置的不同而改变其位置。其闭合直径差最大时为 $2 \times 27.5 = 55$ 毫米。该数就是机器技术参数中的最大直径调节量。卧油缸活塞杆前端固定的滚轮 13, 可通过卧鼓 12 上布置的挡铁限位, 达到调节径向尺寸的目的。

为了防止在锻打时因偏心套转动而影响锻件的尺寸精度, 每个偏心套的上下各有一个弓形杠杆 35, 靠一个单向压紧油缸 34 将偏心套向外压紧。这对于防止在锻打时因偏心套晃动而影响锻件尺寸和减小锻打时因偏心套与锻造箱之间间隙过大而引起撞击的声响方面都有好处。

3. 锻件旋转和轴向送进运动

沿着床身导轨上下移动的夹头 (图 7), 可以完成夹住坯料并使其旋转和作轴向送进等动作。

锻件的旋转运动是靠装在夹头上的一个电动机 19, 经减速齿轮 20 (有四个可以成对搭配, 得到四种不同转速)、蜗杆 14、蜗轮 13 和径向缓冲机构 15, 带动空心轴 12 和装在空心轴下端的杠杆式夹钳臂 7 转动而实现的。在锤头打击锻件的一瞬间, 锻件短时间地被锤头“抱住”。为了不致因此而影响

电动机的正常转动，在蜗轮和空心轴的连接处，采用了径向缓冲机构15。当锻件被抱住，也就是空心轴已不转动而电动机继续转动时，缓冲弹簧 21 被压缩。当锤头后退将锻件松开时，缓冲弹簧将能量释放，推动偏心轴快速转动。

夹钳臂 7 下端可固定不同规格的夹钳 6，供夹紧锻件用。夹紧锻件靠气动。夹头壳内加工有一段气缸11，空心活塞杆 10 下端与一楔形滑套 8 相连。由于气缸上下腔的配气，促使空心活塞杆带着楔形滑套上下运动。楔形滑套向上移动，推动杠杆式夹钳臂，使固定着夹钳的下端向里摆动，锻件被夹紧；当空心活塞杆向下移动时，二杠杆借助于拉力弹簧 1 的力量，使夹钳向外摆动，锻件被松开。

工作时，空心活塞杆是不需要旋转的，而夹钳臂和楔形滑套则必须随着锻件一起转动。在楔形滑套和空心活塞杆之间有一单向推力轴承 9，使二者在旋转时分开。

锻件的轴向送进运动，是靠装在床身上部的一个液压油缸（参见图 5）直接带动夹头上下移动而实现的。夹头上部有限位的滚轮24，可由立鼓 23 上布置的挡铁 22 限位，达到调节轴向尺寸的目的。

夹头上部另一侧还固定有仿型滚轮25，它可与仿型鼓26上固定的锥度板 27 相碰撞。仿型鼓的下端以齿轮方式与卧油缸活塞杆齿条相啮合，在锤头进锤、退锤时，仿型鼓将随之转动。这样，在仿型滚轮与锥度板接触时，夹头的上下（轴向送进）和锤头的进与退（径向送进）的速度就会相互制约。用锥度板就能控制夹头和锤头的送进运动规律，使轴向送进和径向送进按预定的规律同时进行，即可锻打锥度轴类锻件。

夹头上端还固定有芯棒油缸18。锻空心件时，可将芯棒 5 用一叉形键 2 固定于芯棒油缸活塞杆 17 下端的接头 4 上。