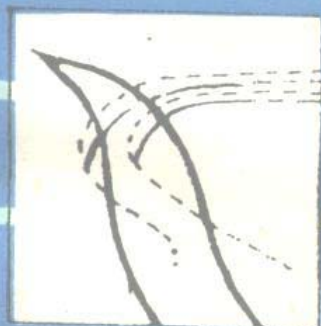


合金钢与非铁合金 锻造工艺学

冯光纯 编著



重庆大学出版社

内 容 提 要

本书内容包括锻造一般工艺；合金结构钢和工具钢锻造；高速钢锻造；不锈钢锻造；高温合金锻造；非铁合金——铜合金、铝合金、钛合金锻造。全书以材料的特性和质量要求为依据，锻造工艺为主线，全面地阐述了上述各类合金钢与非铁合金的可锻性，锻造温度范围，锻造比，锻造工艺特点，锻件缺陷及防止方法。书中还列出了有关图表，可用以确定锻造工艺制度。

本书可作大专院校金属压力加工专业的教材，也可供特殊钢厂、锻压厂工程技术人员参考。

合金钢与非铁合金锻造工艺学

冯 光 纯 编著

责任编辑 董 若 璟

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

重庆建工学院印刷厂印刷

开本：787×1092 1/32 印张：8 字数：173 千

1992年12月第1版 1992年12月第1次印刷

印数：1—2290

标准书号：ISBN 7-5624-0480-1 定 价：2.28元
TG.22

(川) 新登字 020 号

前 言

本书是编著者根据多年教学体会，并参考有关专著和文献资料编写成的。全书依据金属材料与金属塑性变形的理论，基于钢种与合金的特性和质量要求，以锻造工艺为主线，全面、详细地阐述了合金结构钢与工具钢、高速钢、不锈钢、耐热钢与高温合金以及非铁合金——铝合金、铜合金、钛合金的可锻性，锻造温度范围，锻造比选择，锻造生产工艺特点，锻件缺陷及防止方法。书中还列出上述各类合金钢与非铁合金的锻造工艺参数及有关图表，可用以制定合适的锻造工艺制度。

本书可作为大专院校金属压力加工专业的教材，也可供特殊钢厂、锻压厂工程技术人员参考。

本书在编著和出版过程中得到了重庆大学和重庆大学出版社有关领导的支持，谨致以衷心的感谢。

由于编著者水平有限，书中难免存在缺点和不足之处，敬请批评指正。

编著者

1991年6月

目 录

第一章 概 论	1
第一节 锻造方法及锻造设备	1
第二节 自由锻的基本工序	7
第二章 锻造生产工艺	18
第一节 锻造生产用原料及其准备	18
第二节 锻前加热	28
第三节 锻造	44
第四节 锻后冷却	55
第五节 锻后热处理	61
第三章 合金结构钢和工具钢锻造	70
第一节 概述	70
第二节 可锻性	76
第三节 锻造温度范围	80
第四节 锻造比的影响及选择	89
第五节 锻造工艺特点	93
第六节 锻件缺陷	101
第四章 高速钢锻造	105
第一节 概述	105
第二节 高速钢的铸态组织	110
第三节 高速钢的碳化物偏析及其对性能的影响	113
第四节 高速钢锻造温度范围	115
第五节 高速钢锻前加热、锻造及锻后冷却	117
第六节 高速钢锻件缺陷及其防止方法	130

第五章 不锈钢锻造	138
第一节 概述	138
第二节 不锈钢的可锻性	147
第三节 不锈钢的锻造温度范围	151
第四节 不锈钢的锻造工艺特点	154
第五节 不锈钢模锻	157
第六节 锻件典型缺陷	164
第六章 耐热钢与变形高温合金锻造	166
第一节 概述	166
第二节 耐热钢和变形高温合金中杂质与微量元素 的影响	170
第三节 耐热钢和变形高温合金的冶炼特点	172
第四节 变形高温合金的可锻性	175
第五节 高温合金锻件中的局部粗晶	181
第六节 高温合金的锻造温度范围	189
第七节 高温合金锻造生产各工序要点	194
第八节 高温合金锻件典型缺陷及防止方法	200
第七章 非铁合金锻造	203
第一节 铝合金锻造	203
第二节 铜合金锻造	216
第三节 钛合金锻造	229
参考文献	224

第一章 概 论

第一节 锻造方法及锻造设备

一、锻造方法

锻造又称锻压，是金属压力加工的一种重要方法。其实质是在各种锻压设备上使金属产生塑性变形，得到所需锻件制品。锻造加工不仅是为了得到所需形状的制品，同时能提高制品的机械性能，增加其使用寿命。锻压产品在国民经济各部门中得到广泛应用，特别是一些负荷大、工作条件繁重的关键零件，如汽轮发电机组的转子、主轴、叶片、护环，汽车和拖拉机的曲轴、连杆、齿轮，水压机的立柱、高压缸，大型轧机的轧辊等都是采用锻压加工制成的。在冶金企业中，尤其是在特殊钢厂，很多低塑性的优质合金钢，大都要经过锻造开坯后再轧制成材，因而特殊钢厂一般都设有锻造车间，它相当于普钢厂的初轧车间。

锻造分为自由锻造、模型锻造和特种锻造。

1. 自由锻造

它是一种利用锻压设备上下砧块和一些简单通用工具，使坯料在压力作用下产生塑性变形的锻造方法。自由锻所用的工具简单，通用性强，灵活性大，可改善金属的内部组织，提高机械性能。这种锻造方法主要用于单件和小批量锻

件生产以及合金钢钢锭的开坯。

2. 模型锻造

它是在锻压机器动力作用下，使毛坯在具有一定形状的锻模型槽中塑性变形，得到所需形状、尺寸制品的锻造方法。这种锻造方法的优点是生产率高，可生产形状较复杂的制品，锻件的机械加工余量小，材料利用率高，操作简单，易于机械化。其缺点是设备投资大，生产准备周期较长，锻模成本高，且寿命较低。模锻主要用于中批量、大批量，形状较复杂锻件的生产。

3. 特种锻造

特种锻造包括旋锻、辊锻、楔横轧等。

(1) 旋锻 旋锻是一种特殊的锻造方式，其工作原理是，两块锤头环绕锻坯纵轴高速旋转，并对锻坯进行高速锻打（锻打频率高达 $6000 \sim 10000$ 次/min）。旋锻时变形区的主应力状态是三向压应力，主变形状态是两向压缩一向延伸，有利于提高金属的塑性。同时这种锻造方法具有脉冲锻打和多向锻打的特性，因而金属变形时摩擦阻力减小，变形功降低。旋锻适用于低塑性稀有金属的加工。

(2) 辊锻(图1-1)

坯料在两个旋转方向相反并具有变半径孔型的轧辊间变形，得到沿长度方向变断面的产品。这种方法主要用于生产五金工具，柴油机连杆，涡轮叶片等毛坯件。

(3) 楔横轧(图1-2)

坯料在两个旋转方向相反并装有楔形模块的轧辊间变形，同时坯料轴线与轧辊平行。该方法主要用于生产轴类锻压件。如轧辊上安装齿形模，可轧出齿轮齿形。

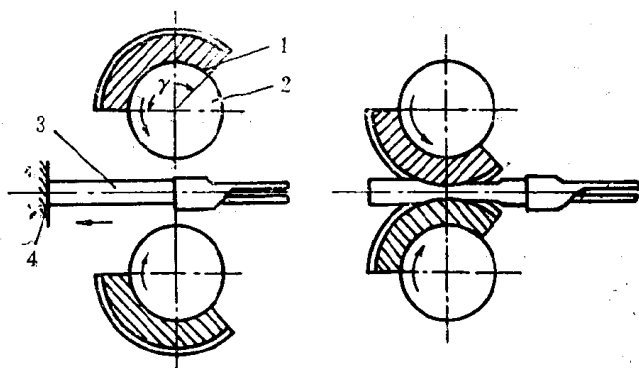


图 1-1 辊锻示意图

1—扁形模块 2—轧辊 3—坯料 4—挡板

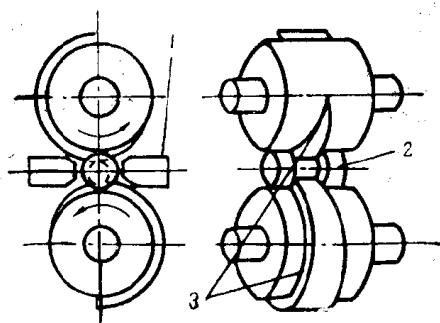


图 1-2 楔横轧示意图

1—导板 2—轧件 3—带楔形模的轧辊

二、锻压设备

锻压设备是一种工具机，整个机器一般由动力、传动、工作和控制等四个部分组成。动力和传动部分传递能量和运动，使工作部分的模具产生规定的相对运动，实现对金属的变形。

常用的锻压设备有：

1. 锻 锤

用蒸汽、压缩空气或压力液体作动力，推动汽缸内的活塞上下运动，带动锤头作直线往复运动。由锤头、锤杆和活塞组成落下部分，在很高的速度下打击放置在锤砧上的坯料，落下部分释放出来的动能转变成很大的压力，使坯料发生塑性变形。锻锤的结构如图1-3所示。

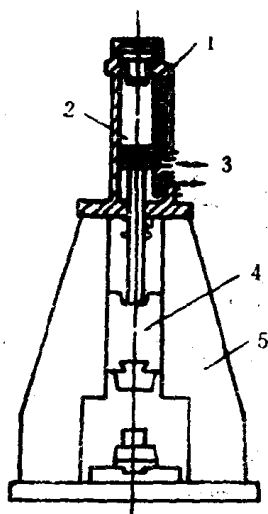


图 1-3 锻锤结构图

1—汽缸 2—活塞

3—蒸汽压缩空气或液体

4—锤头 5—机架

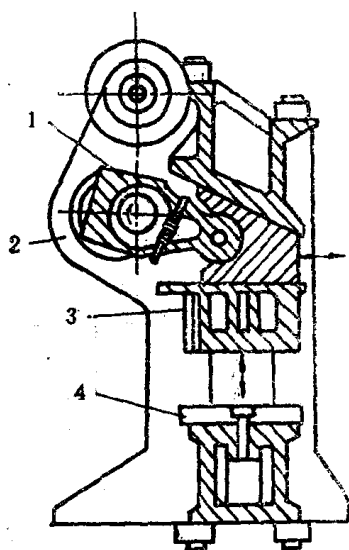


图 1-4 热模锻压力机

1—曲柄连杆 2—机架

3—滑块 4—工作台

常用锻锤的技术参数如表1-1所列。

表 1-1

常用锻锤的技术参数

种 类	吨 位	打击速度(m/s)	行程次数(次/min)
空气锤	400~7500N	5~7	240~105
自由锻锤	6.3~53kN	6~8	110~85
模 锻 锤	10~160kN	6~8	80~40
无砧锤	160~1000kN·m	7~9	不定
高速锤	20~1000kN·m	12~25	不定

锻锤的优点是通用性好，能进行锻粗，拔长，弯曲等多种工序，可锻造各种锻件，设备结构简单；其缺点是锻件尺寸精度不高，工作时震动和噪音大，劳动条件差。

2. 热模锻压力机

如图 1-4，由电动机带动曲柄连杆结构，使滑块作上下往复运动。安装在滑块上的上模，在滑块推动下，用静载压力压缩放在下模内的坯料。下模安装在工作台上。上模的巨大压力使坯料发生塑性变形。压力吨位为 10000~12000kN，滑块行程次数为 80~30 次/min。

这种锻压设备的优点是锻件尺寸精度高，容易实现机械化和自动化生产。其缺点是设备结构复杂，造价

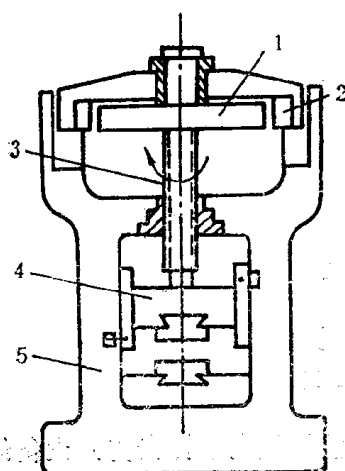


图 1-5 螺旋压力机

1—转子和飞轮 2—定子

3—螺杆 4—滑块 5—机架

高，不便进行拔长，滚压等工序。

3. 螺旋压力机

——如图 1-5，用电或液压作动力，推动螺杆运动，使滑块作上下运动。螺杆上安装有飞轮，飞轮积蓄的动能在滑块和上模撞击坯料时释放出来，产生很大压力，使坯料发生塑性变形。吨位为 $630 \sim 125000 \text{ kN}$ ，滑块撞击时的速度为 $0.5 \sim 2.5 \text{ m/s}$ 。

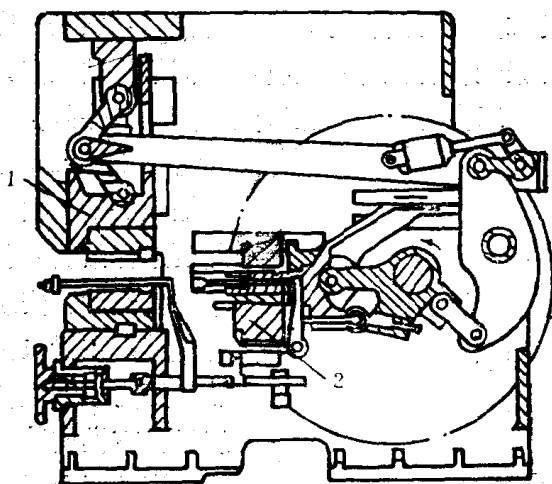


图 1-6 平锻机

1—夹料滑块 2—主滑块

这种设备的优点是利用飞轮能量提高了打击力，设备结构较简单，成本较低，锻件尺寸精度高。缺点是生产率略低。

4. 平锻机

如图 1-6，由电动机和曲柄连杆机构分别带动两个滑块

作往复运动。一个滑块安装冲头作锻压用；另一滑块安装凹模作夹紧棒料用。适用于长棒料镦头或局部镦粗。吨位为2500~31500 kN。

5. 液压机

如图 1-7，由泵供应高压液体进入水缸，推动活塞和上横梁作上下往复运动。活塞端面的巨大压力传到上模，压缩坯料发生塑性变形。自由锻液压机吨位为5000~120000 kN，模锻用液压机吨位为30000~750000 kN。小型的液压机多用油作介质。

液压机的优点是通用性好，可制造巨大压力的压机；缺点是水泵站和油泵等动力装置结构复杂，成本较贵。

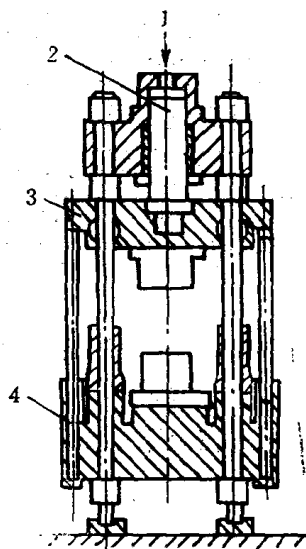


图 1-7 液压机

- 1—高压液体 2—活塞
3—活动横梁 4—回程缸

第二节 自由锻的基本工序

自由锻是一种通用性很强的工艺方法，它可以锻造多种多样的锻件，合金钢锭锻造开坯就是采用自由锻。任何锻件的自由锻成形过程均由一系列基本工序组成。自由锻的基本工序有镦粗、拔长、冲孔、芯轴扩孔、芯轴拔长、弯曲、切

割、错移、扭转、锻接等。

一、 锻 粗

使坯料高度减小而横截面增大的锻造工序称为锻粗。

锻粗是自由锻最基本的工序，主要用于：将高径(宽)比大的坯料锻成高径(宽)比小的饼块锻件；锻造空心锻件在冲孔前使坯料横截面增大和平整；拔长工序之前应用锻粗，可提高锻造比，减少锻件机械性能的导向性；锻粗与拔长联合应用于含有碳化物的坯料，可以破碎碳化物，使其均匀分布。

锻粗的主要方法有：平砧锻粗，垫环锻粗和局部锻粗。

1. 平砧锻粗

坯料在上下平砧间或锻粗平砧间进行的锻粗称为平砧锻粗，如图 1-8 所示。

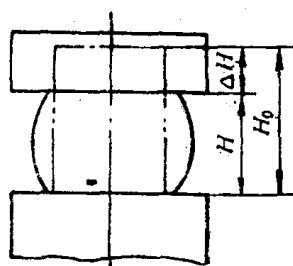


图 1-8 平砧锻粗

平砧锻粗的变形程度常用坯料锻粗前后的高度比——锻粗比 K_H 表示，即：

$$K_H = \frac{H_0}{H}$$

式中 H_0 、 H ——锻粗前后坯料的高度。

平砧锻粗主要用于锻造饼块锻件以及与拔长工序联合以改善锭、坯的内部组织及机械性能。

锻粗操作应遵循以下要点：

- (1) 锻粗前坯料的高度 H 与直径 D 之比不应超过 3，

最好将 H/D 控制在 $2 \sim 2.5$ 之间,以防止镦粗时产生纵向弯曲。

(2) 坯料两端面必须平整,而且应垂直于轴心线;镦粗前坯料应严格垂直安放。

(3) 坯料表面不应有凹孔、划痕和裂纹等缺陷,否则缺陷将进一步扩大,或者产生新裂纹。

(4) 镦粗时每次压下量应小于材料塑性所允许的极限值,并且在镦粗过程中应使坯料不断绕其轴心转动,以防止镦粗裂纹和不均匀变形。

(5) 合金钢和重量大于 $8 \sim 15t$ 的碳素钢钢锭镦粗前必须倒棱,以避免镦粗表面产生裂纹。

(6) 锤上镦粗时坯料高度应与锤头的行程空间尺寸相适应,即使

$$H - h_0 > 0.25H$$

式中 H ——锤头的最大行程(mm);

h_0 ——坯料的原始高度(mm)。

水压机上镦粗锭料时,锭身高度、上镦粗板高度和下镦粗盘高度之和,应小于水压机的最大净空距,即

$$H_{\text{净}} \geq H_{\text{上}} + H_{\text{锭}} + H_{\text{下}} + (100 \sim 200) \text{mm}$$

式中 $H_{\text{净}}$ ——水压机上最大净空距(mm);

$H_{\text{上}}$ ——上镦粗板高度(mm);

$H_{\text{锭}}$ ——锭身高度(mm);

$H_{\text{下}}$ ——下镦粗盘高度(mm)。

(7) 镦粗后需进一步拔长时,镦粗的高度应考虑拔长的可能性,即不要镦得太矮。

2. 垫环锻粗

坯料在单个垫环上或在两个垫环间进行的锻粗称为垫环锻粗，如图1-9所示。

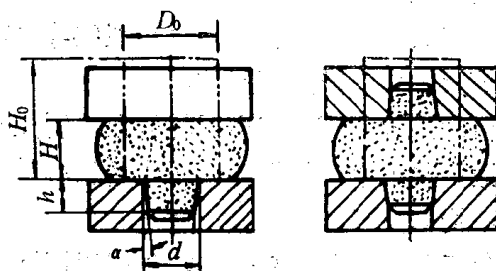


图 1-9 垫环锻粗

这种锻粗方法，用于锻造带单边或双边凸肩的饼块锻件。由于锻件凸肩直径和高度比较小，采用的坯料直径要大于环孔直径，因此垫环锻粗变形实质属于锻挤。

3. 局部锻粗

坯料只是局部长度的（端部或中间）进行锻粗称为局部锻粗，如图1-10所示。

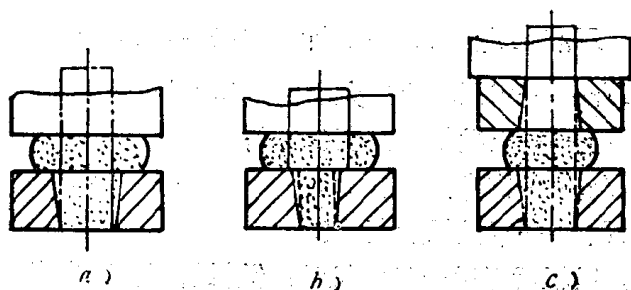


图 1-10 局部锻粗

这种墩粗方法可以锻造凸肩直径和高度较大的饼形锻件，也可锻造端部带有较大法兰的轴杆锻件。

二、拔 长

使坯料横截面减小而长度增加的锻造工序称为拔长，如图1-11所示。

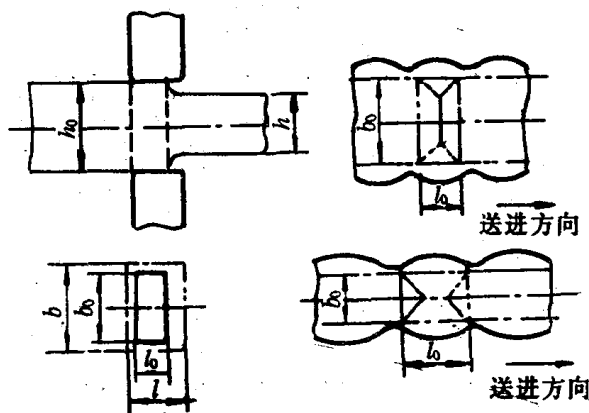


图 1-11 拔长

拔长是通过逐次送进和反复转动坯料进行压缩变形，每送进压下一次，只部分金属变形。设拔长前变形区的长为 l_0 ，宽为 b_0 ，高为 h_0 。 l_0 又称送进量， $\frac{l_0}{h_0}$ 称为相对送进量。又设拔长后变形区长为 l ，宽为 b ，高为 h 。 $\Delta h = h_0 - h$ 称为压下量， $\Delta b = b - b_0$ 称为宽度量， $\Delta l = l - l_0$ 称为拔长量。

拔长的变形程度是以坯料拔长前后的截面积之比——墩

造比（简称锻比） K_L 表示，即：

$$K_L = \frac{F_0}{F}$$

式中 F_0 ——拔长前坯料的截面积，即 $F_0 = h_0 b_0$ ；

F ——拔长后坯料的截面积，即 $F = hb$ 。

拔长除了用于轴杆锻件成形外，常常还用来改善锻件的内部质量。

拔长操作应遵守的基本规则如下：

(1) 钢锭拔长时应在尽可能高的始锻温度下先倒棱，目的是将钢锭皮下层的气泡锻合，其次是消除钢锭的锥度。倒棱压下量一般控制在 30~50mm 范围内，而且还应轻压，以免气泡爆裂引起钢锭表面裂纹后随着拔长而深入内部，影响锻件质量。

(2) 拔长时每工步送进量 l_0 与单边压下量 $\frac{\Delta h}{2}$ 之比应大于 1~1.5，以避免产生折叠缺陷。同时，为防止坯料翻转 90° 后拔长不产生弯曲，坯料每次压下量的宽高比应小于 2.5~3.0。

(3) 在水压机上拔长钢锭时，为使内部锻透而有效地锻合内部缺陷，拔长应在高温下采用大压量拔长，送进量 l_0 与坯料截面高度 h_0 之比应控制在 0.5~0.7 的范围内；对于一般材料的钢坯，为了提高拔长效率， $\frac{l_0}{h_0}$ 允许降低到 0.4。锤上拔长时， l_0/h_0 可控制在 0.6~0.8 的范围。

(4) 拔长时坯料送进与翻转方法有三种。第一种方法是沿螺旋线翻转 90° 拔长，适用于锻造台阶轴锻件。第二种方法是反复转动 90° 拔长，常用于手工操作锻造。第三种方法