

金工实习参考教材

(鍛、鑄、焊部分)

北京航空学院金属工学教研室

一九八一年四月

目 录

第一章 锻造生产

§1 概述	(1)
1. 锻造方法的分类	(1)
2. 锻造生产的工艺过程	(1)
3. 锻造生产的特点和应用	(2)
§2 锻造生产所用的原材料	(3)
§3 金属的加热	(3)
1. 钢的锻造温度范围	(3)
2. 钢材的加热和冷却	(4)
3. 铝合金的加热	(5)
§4 自由锻	(6)
1. 自由锻设备	(6)
2. 自由锻基本工序	(7)
3. 铝合金的锻造特点	(14)
§5 模锻	(14)
1. 胎模锻	(14)
2. 蒸气——空气模锻锤上模锻	(15)
3. 摩擦压力机上模锻	(18)
§6 扩孔机上扩孔	(20)
§7 锻件清理、检验及热处理	(20)
1. 钢锻件的清理、检验及热处理	(21)
2. 铝合金锻件的清理、检验及热处理	(21)

第二章 铸造生产

§1 概述	(22)
1. 铸造方法的名称和分类	(22)
2. 铸造生产的生产过程	(22)
3. 铸造生产的特点及应用	(22)
§2 常用的铸造合金	(22)
1. 铸铁	(22)
2. 铸造铝合金	(23)
3. 铸造镁合金	(23)
4. 铸钢及耐热合金	(23)
§3 铝、镁合金的砂型铸造	(23)
1. 砂型铸造的特点、应用及工艺过程	(23)

2. 零件图及铸件图·····	(23)
3. 模型和芯盒·····	(25)
4. 铸型·····	(25)
5. 铝合金的熔化和浇注·····	(29)
6. 镁合金的熔化和浇注·····	(30)
7. 铸件清理及热处理·····	(30)
§4 金属型铸造·····	(30)
1. 金属型构造·····	(30)
2. 金属型铸造工艺过程·····	(32)
3. 金属型的优缺点及其应用·····	(32)
§5 熔模铸造·····	(33)
1. 熔模铸造工艺·····	(33)
2. 熔模铸造的特点及其应用·····	(35)
§6 压力铸造·····	(36)
1. 压铸件成形的工艺过程·····	(36)
2. 压力铸造的特点及其应用·····	(36)
§7 低压铸造·····	(37)
1. 低压铸造的工艺过程·····	(37)
2. 低压铸造的特点及其应用·····	(38)
§8 铸件的检验和缺陷分析·····	(38)
1. 铸件的检验·····	(38)
2. 铸件缺陷分析·····	(38)

第三章 焊接生产

§1 概述·····	(42)
1. 焊接的分类·····	(42)
2. 焊接生产的工艺过程·····	(42)
3. 焊接的特点和应用·····	(42)
§2 气焊与气割·····	(43)
1. 气焊所用的气体·····	(43)
2. 气焊的设备·····	(43)
3. 气焊火焰·····	(45)
4. 气焊工艺·····	(46)
5. 气割·····	(47)
§3 手工电弧焊·····	(47)
1. 电弧焊机·····	(48)
2. 电焊条·····	(49)
3. 手弧焊基本操作·····	(49)
4. 焊接规范·····	(49)
5. 焊接接头·····	(50)

6. 手弧焊工序举例·····	(51)
§ 4 氩弧焊·····	(52)
1. 手工氩弧焊的过程和装置·····	(52)
2. 手工钨极氩弧焊的焊接规范·····	(52)
§ 5 熔焊件常见的缺陷、变形和检验·····	(54)
1. 熔焊件常见的缺陷表·····	(54)
2. 关于焊接变形问题·····	(56)
3. 防止焊件变形的一般方法·····	(58)
4. 焊接结构变形的校正方法·····	(59)
5. 焊接件的检验·····	(59)
§ 6 点、滚焊·····	(59)
1. 点、滚焊的成形过程及特点·····	(60)
2. 点、滚焊接头的缺陷·····	(60)
§ 7 钎焊·····	(62)
1. 钎焊的过程及特点·····	(62)
2. 钎料、钎剂和保护气体·····	(63)
3. 钎焊工艺·····	(64)

第一章 锻造生产

§1 概 述

锻造一般是将固态金属加热后，在压力作用下产生塑性变形，从而获得一定形状、尺寸和内部质量的另件毛坯的工艺方法。能够锻造的金属都要具有一定的塑性。塑性是金属受压力作用时，产生永久变形而不破坏的能力。某些钢和铝、镁钛等有色金属及其合金，在高温下具有一定的塑性，因此都可以用锻造方法制成锻件。

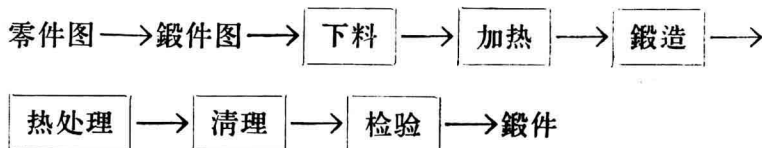
1. 锻造方法的分类

(1) 按作用力的来源分类 根据力的来源，可以将锻造分为手工锻和机器锻两类。手工锻是靠人力挥动大锤对金属进行锤击的。随着锻造机械化的发展，手工锻已逐渐被机器锻所代替。机器锻是用电力、压缩空气（或蒸汽）、液压等作为动力，带动机械对金属进行压力加工的。

(2) 按作用力的性质分类 按作用力的性质，可将锻造分为锤击锻造和静压力锻造两类。锤击锻造是依靠动能而使金属产生塑性变形的。锤击锻造时，加在锻件上的作用力的时间很短。空气锤、蒸汽锤等都属于锤击锻造设备。静压力锻造是依靠静压力对金属逐渐加压而使金属产生塑性变形的，加在锻件上的作用力的时间较长，而且可以调整。水压机、油压机等都是静压力锻造设备。静压力锻造没有强烈的震动，工作比较平稳。

(3) 按所用的成形工具分类 锻造方法按所用的工具不同，可分为自由锻、模锻和胎模锻。使用较简单的通用工具，在自由锻锤上生产锻件的方法，称为自由锻；使用专用的模具，在模锻设备上生产锻件的方法，称为模锻；使用较简单的模具放在自由锻锤上，用锤头锤击锻模而制成锻件的方法，称为胎模锻造。

2. 锻造生产的工艺过程 一般锻件的主要过程举例如下：



(1) 零件图 零件图是由设计者根据零件要求提出的。图中绘出零件的形状、尺寸及公差，并注明使用的材料、数量和有关的技术条件等。零件制成后，应按照零件图的要求和有关的其他技术文件进行检验。例如空心螺栓（图1—1）的零件图如图1—5。

(2) 锻件图 生产零件时，由管理生产的部门将零件图及有关的技术文件送达到锻工车间。车间技术员根据零件图及生产数量决定锻造方法（如设计者要求必须用模锻件时，应在零件图中注明），并制出锻件图。例如空心螺栓的锻件图如图1—2。生产出来的锻件应按锻件图进行检验及验收。零件上要求精度和光洁度较高的表面，在锻件图上必须留出加工余量。锻不出的凸凹部分也要留出余块，以便于切削加工。

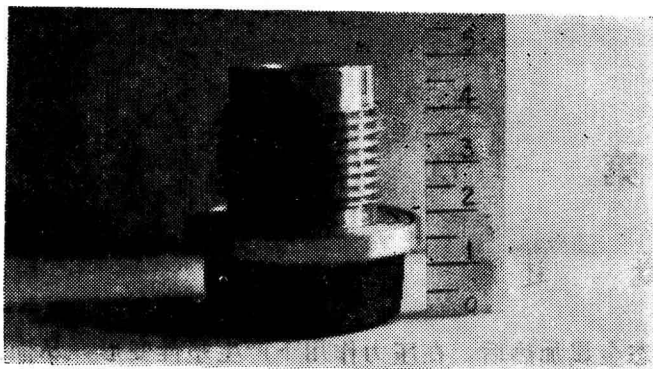
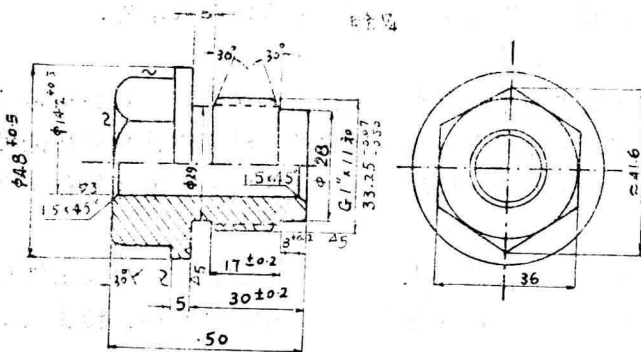


图1—1 空心螺栓零件

零件图



锻造方式

自由锻

模锻

锻件图

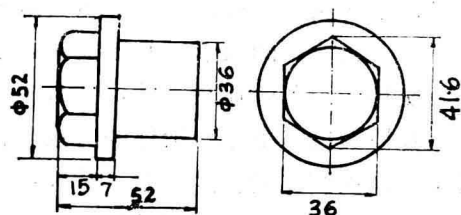
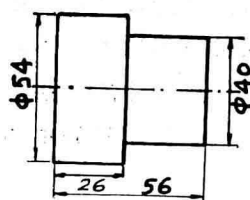


图1—2 空心螺栓的另件图及锻件图

(3) 锻造工艺规程 锻件图制定后,由技术员考虑自由锻所需的工具或设计锻模等图纸交有关车间制造。技术员还要订出锻件生产的工艺规程,包括下料、加热、锻造程序、冷却、热处理、清理、检验等规程。

3. 锻造生产的特点和应用

(1) 质量高 在航空工业中锻造的坯料,主要的是由铸锭经过轧制等方法生产出来的棒材。经过轧制之后,可以消除锭铸缺的一些铸造陷,使它的内部组织比较致密。所以,用这些坯料锻出的锻件的强度大。

(2) 节约金属 锻造生产是一种无切削加工工艺,它是利用金属在压力作用下的流动,把坯料中的一部分体积转移到另一部分去的方式。来制成近似零件形状的锻件。所以,它比直接用切削加工制成的零件节约金属。由于锻造技术的不断发展,锻件精度日渐提高,有些锻件(如精锻件)不用切削加工或只需少量的加工就可以使用。用这些锻造方法进行生产

时，还能节约更多的金属。

但是鍛造不能象铸造那样能制出形状复杂的毛坯。目前制出的鍛件，在精度和表面光洁度方面都比切削加工出来的低，所以大多数的鍛件都要经过切削加工后，才能成为装配使用的零件。

由于鍛件的强度高，在工业上应用很广，例如在机器制造业、汽车制造业、机床车辆业中，很多机器零件都采用了鍛件。在航空工业中鍛件应用得更加广泛，因为在承受相同作用力的情况下，使用鍛件可以减少零件的截面尺寸和重量。一些负荷比较大的零件，如发动机轴类、齿轮、飞机梁等，都采用了鍛造毛坯。

§ 2 鍛造生产所用的原材料

凡具有塑性的金属材料都可以鍛造。但是，只有在高温下具有良好的塑性（大量变形而不产生裂纹），鍛造温度范围大（每加热一次能进行较长时间的鍛造）和变形抗力小的金属材料才便于鍛造。

航空工业中作为结构的鍛件，一般采用度高而便于鍛造的金属材料，例如：优质的低碳钢（含碳量 $\leq 0.25\%$ ）、中碳钢（含碳量 $0.3\sim 0.6\%$ ）、优质的低、中合金钢、铝合金、钛合金和高温合金。

一般鍛造中小型鍛件所用的原材料，大都是先铸成合金铸锭后，再经过轧制等方法而制成的棒料。鍛造前必须按鍛件的重量，将棒料切成一段一段的鍛坯，再进行加热。

§ 3 金属的加热

金属材料应当加热到它塑性较好和硬度和强度较低的温度范围中进行鍛造。从开始鍛造的温度（始鍛温度）到终止鍛造的温度（终鍛温度）之间的温度范围，称作鍛造温度范围。不同的金属材料有不同的鍛造温度范围。

1. 钢的鍛造温度范围 为了降低变形抗力，提高塑性和提高生产率，钢的始鍛温度应当尽量地提高。但是始鍛温度不能超过发生过烧现象的温度。钢材过烧时，晶粒的边界被氧化而变脆，一鍛就裂成为废品。所以，一般始鍛温度应低于过烧温度 $100^{\circ}\text{C}\sim 200^{\circ}\text{C}$ 。始鍛温度太低，金属的变形抗力大，耗费的动能大，而且生产率低。根据钢的化学成分不同，钢材的始鍛温度在 $1050^{\circ}\text{C}\sim 1250^{\circ}\text{C}$ 之间。低碳钢可以使用较高的始鍛温度，高碳钢和合金钢一般使用较低的始鍛温度。

终鍛温度规定得过高，会使鍛件中的再结晶晶粒粗大，而且降低了生产率。终鍛温度规定得太低时，由于钢的塑性降低，会使鍛件产生裂纹，而且由于钢的变形抗力增大，会损坏鍛锤的锤杆等零件。钢材的终鍛温度一靠在 $750^{\circ}\text{C}\sim 900^{\circ}\text{C}$ 之间。低碳钢可以鍛到较低的终鍛温度，高碳钢和合金钢一般采用较高的终鍛温度。

有经验的工人师傅，可以根据钢加热后的颜色来判断钢的温度。表1—1是钢加热到各种颜色时的温度。此外，还可以用光学高温计和热电偶高温计来测量钢的温度。

表1—1 钢加热到各种颜色时的温度范围

炽热颜色	温度范围(℃)	炽热颜色	温度范围(℃)
暗红色	650—730	橙黄色	900—1050
暗樱红色	730—770	深黄色	1050—1150
樱红色	770—800	淡黄色	1150—1250
亮樱红色	800—830	黄白色	1250—1350
淡红色	830—900		

2. 钢材的加热和冷却 航空工厂使用的加热设备一般是室式油炉和箱式高温电阻炉。

(1) 油炉 油炉的构造如图1—3，主要的燃料是重油。重油是用3~8个大气压的压缩

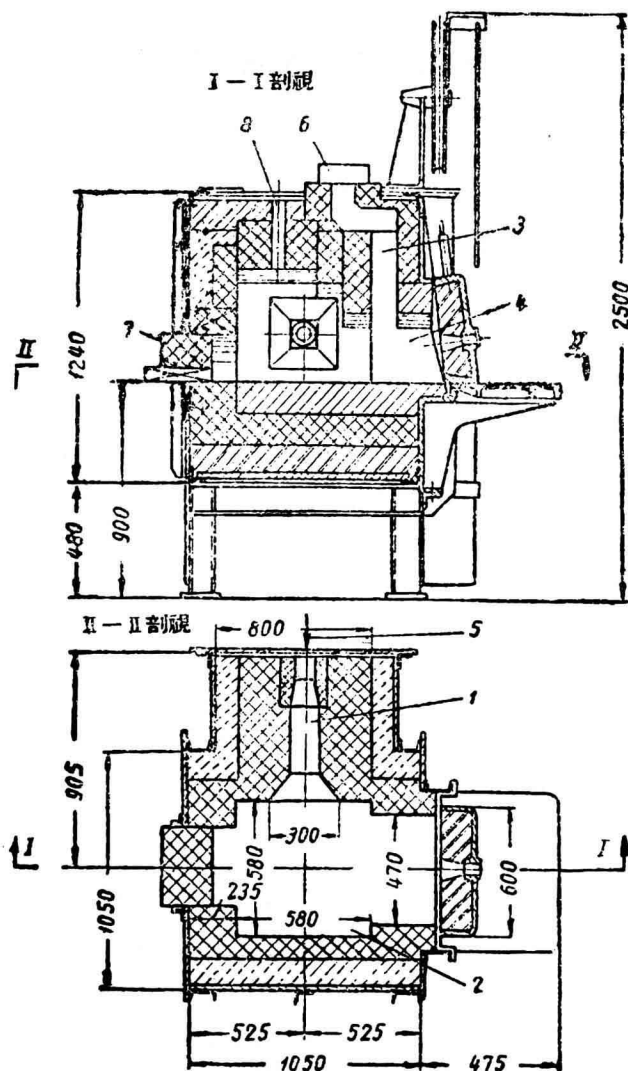


图1—3 移动室式加热炉构造

1—重油燃烧室；5—加热室；3—废气道；4—炉口；5—喷嘴；6—烟闸；7—虚孔（加热长金属时用）；8—插热电偶的孔。

空气作雾化剂，通过高压油咀喷射到燃烧室的。油炉的温度可以调节油门和风量的大小来进行控制。

(2) 高温电阻炉 高温电阻加热炉的构造如图1—4。它是使用硅碳棒作为加热元件，将电能转变为热能来加热金属的。这种电炉是用高温热电偶温度计来测量炉温的，和仪表配套时，还可以进行自动控制和记录，最高使用温度可达1300℃。

用电炉加热钢材可以准确地控制锻造温度，保证锻件质量。但是，使用电炉时加热成本较高，只有精密锻造和加热温度要求准确的材料，才用电炉加热。

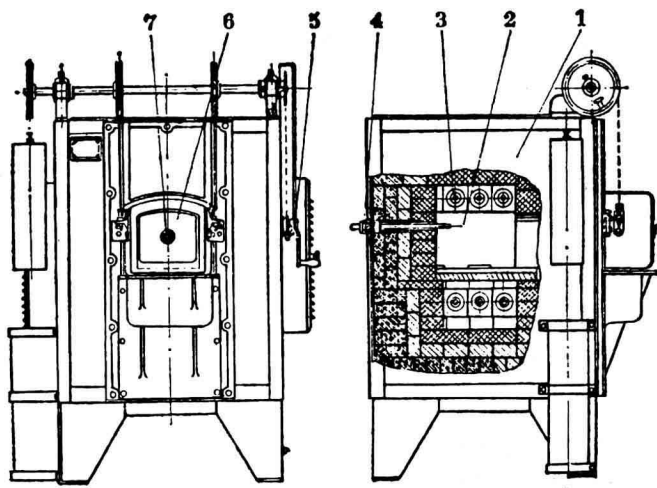


图1—4 箱形高温电阻热炉

1—炉壳；2—加热室；3—加热器；4—测温热电偶；5—炉门摇手；6—炉门；7—观察孔。

(3) 钢材加热 钢材的尺寸较大时，应当先予热后再快速在高温炉中加热，以免由于内外层温差太大形成裂纹。在航空工厂中锻造中小型锻件时，一般使用的钢材尺寸不太大，可以高温装炉，快速加热。

(4) 钢锻件的冷却 钢锻件冷却时，如果内外层温差太大，会产生裂纹、变形等缺陷。所以，当高碳钢、中合金钢和尺寸较大的锻件冷却时，应埋在白灰慢慢冷却。对于一些合金元素较高的高合金钢、含碳量较高的工具钢和大型锻件，为了减低冷却速度，有时采用炉冷，即将锻件装入高温炉中，随炉温下降缓缓冷却。

3. 铝合金的加热 铝合金的锻造温度比钢低，锻造温度的范围比钢窄（一般只有50℃～100℃左右）。所以，必须使用能控制温差不超过±10℃的中温电炉来加热。中温电炉的加热器是电阻丝，最高使用温度为950℃，一般都装有用电偶和仪表进行自动控制温度的装置。

加热铝合金的炉底板上要放置垫板，再将棒料放在垫板上进行加热。加热时装炉量不能太多，金属电阻丝距离应当在100毫米以上。料间距离不小于棒材直径的1/4（方料边长的1/4），以保证加热均匀。

铝合金的加热时间，一般是以棒料的直径或截面的厚度来计算的，以每毫米需加热若干分钟计算。将坯料装入炉中加热到始锻温度后，开始计算所需的加热时间。航空工业最常用的铝合金的加热时间一般为每毫米（棒料直径或截面厚度）1～3分钟，始锻温度在

430℃~480℃之间，终锻温度在350℃~380℃之间。

§4 自由锻

自由锻造是将加热过的金属在自由锻设备上的上下砧块间（或使用通用的工具），锻成锻件的锻造方法。所以，自由锻件的质量、劳动生产率、材料的利用率等，都比不上模锻件。

但是，用自由锻造方法生产锻件时，所需的设备吨位较小；所用的工具较简单；生产的准备时间也较短。由于自由锻的灵活性较大，某些大型锻件可以考虑用小吨位的锤，分段锻成；在新产品的试制生产中，可以及时供应数量少而类型多的锻件；在没有模锻设备的条件下，能和胎模配合锻出小型锻件；在成批生产中也能预先锻出锻坯（予锻），以利于在锻模中成形。

1. 自由锻设备 一般常用的自由锻设备有空气气锤、蒸汽空气自由锻锤、油压机和水压机等。

空气锤（图1—5）可用于自由锻，也可以用于胎模锻造。空气锤的吨位以它的落下部分重量计算。常用的有65、250、400、750公斤锻锤。250公斤的锻锤能锻制的最大锻件直径为 $\phi 175$ 毫米，400公斤的锻锤能锻制的最大锻件直径为 $\phi 220$ 毫米。用空气锤锻造时，在锤前三个方面都能进行操作，使用很方便，但是锤的震动比压力机大。

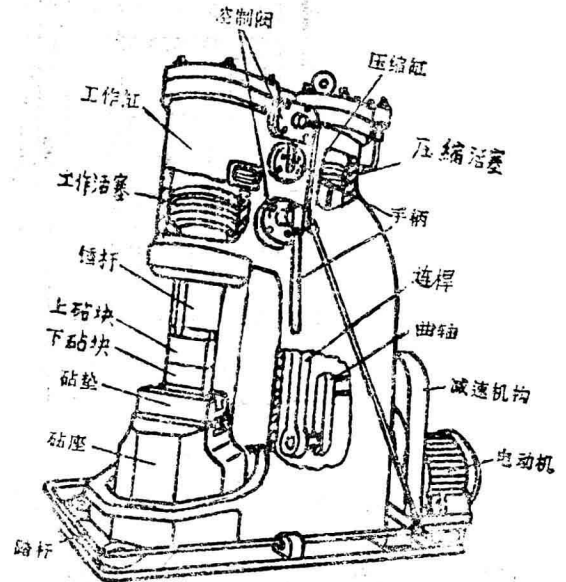


图1—5 空气锤

空气锤是由电动机经过变速机构，带动曲轴、连杆，使压缩活塞上下运动的(图1—5)。

我厂250公斤的空气锤操作方法如下：

(1) 空转 空转时手柄位置见图1—6a。向上转动中间阀的手柄，使它停在垂直的位置上，操纵杆手柄也在垂直的位置。此时，压缩气缸和大气连通，空气不进入工作气缸，锤头停在下面不动。

(2) 提锤 提锤时手柄位置见图1—6b。把中间阀的手柄转到水平位置，压缩空气仅进入工作气缸的下部空间。此时，工作缸的上部与大气连通，所以锤被提起。锤提起后，可以在下砧块上放上坯料和工具，准备锤击。

(3) 连续打击 连击的手柄位置见图1—6c。中间阀的手柄仍留在水平位置，再把操纵手柄由垂直位置向右上方搬动一个角度后，停止不动。此时，上下旋阀分别将压缩气缸和工作气缸的上下部空间连通，所以锤就进行连续打击。搬动操纵手柄的角度愈大，阀门开得也愈大，所以打击也愈重。

(4) 单次打击 单击时手柄位置见图1—6d。中间阀的手柄仍留在水平位置，把操纵手柄由垂直位置向右上方搬动一个角度，当锤打击一次后，立即把操纵手柄搬回原来的位

置，锤就完成了这次单打。搬动的角度愈大，打击愈重。

(5) 锤头下压和短行的连续打击 下压时手柄位置见图 1—6 e。向上转动中间阀的手柄，使它停在垂直位置，再把操纵杆向左上方搬动一个角度，此时压缩空气只进入工作气缸的上部空间，锤头即向下压住锻件。在进行弯曲等工序时，常用锤头压住锻件。

如果需要锤头进行短行程的连续打击时，可以将操纵手柄向右上方移动一个角度，停止不动。短程连击手柄位置见图 1—6 f。如果将操纵手柄搬回垂直的位置时，锤头停止就在下面不动，处于空转情况。

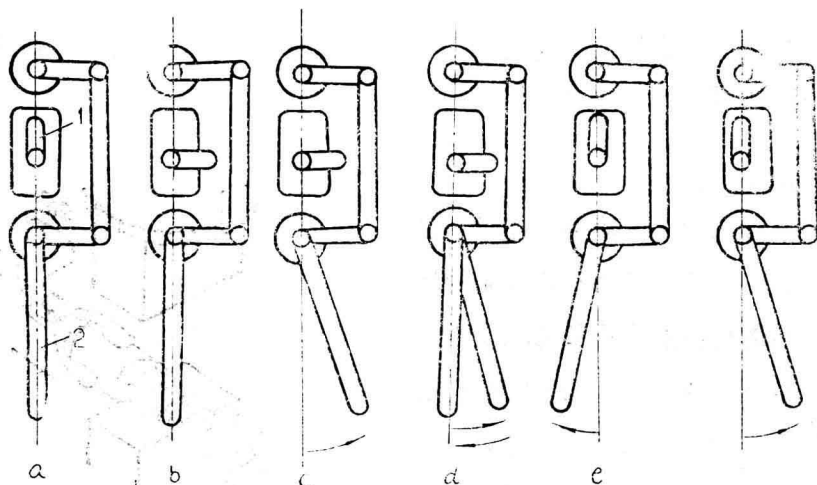


图 1—6 操纵空气锤手柄位置示意图

a. 空转, b. 提锤, c. 连击, d. 单击, e. 下压, f. 短程连击。

1. 中间阀手柄, 2. 操纵手柄。

2. 自由锻基本工序 自由锻中常用的基本工序有拔长、镦粗、中孔、扩孔、切断、弯曲等。自由锻件就是选用其中的一个或几个工序连续锻成的。

(1) 延伸(拔长)在垂直于坯料轴线的方向加以压力，使坯料的横截面积减小，长度增加的锻造工序，叫做延伸。延伸工序用于锻造长形的锻件，例如台阶轴、曲轴、拉杆和连杆等。

a. 在平砧上延伸 延伸时，每次向下砧块上的送进量，约为上砧块宽度的 2/3 左右。送进量太大时，锻压的部分增大，变形抗力也增大，会降低延伸的效率。送进量小于压下量时，锻件上会产生折迭的缺陷(图 1—7)。

延伸时应当不断地翻转锻件，使它随时保持近于方形。延伸小型台阶轴类锻件时，可以采用每锤击一、二次后，沿螺旋方向依次翻转 90° 向前送进的方法，以防止发生偏心的现象(图 1—8)。延伸大型坯料时，可以采用每锤击一两次后，反复左右翻转 90° (图 1—9)，再依次向前送进的方法。延伸大型坯料时，也可以先沿整个坯料的长度的一边锻完一遍后，再把坯料翻转 90° 锻另外的一边。

延伸时需要将坯料翻转 90° 打成方形的原因，是为了使坯料和上砧头的接触面增大。接触面积增大，可以使坯料变形快，提高生产率，还可以锻得透些，使坯料内部也变形，防止

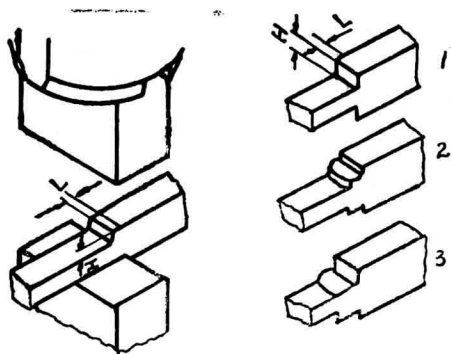


图1—7 产生折迭的过程
L—送进量；H—压下量。

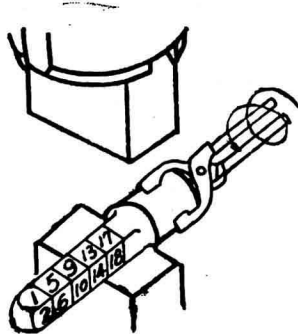


图1—8 沿螺旋方向依次翻转90°拔长

端面形成缩孔（图1—10）。

用大圆棒料延伸成较小的轴类锻件时，也要先锻成方形。例如锻造直径为 $\phi 50$ 毫米的轴时，应当先把棒料的截面锻成边长为50毫米的方形，再将方形截面锻成八方，最后倒角滚圆。用圆钢延伸成方钢时，圆钢的直径应为方钢边长的1.4倍以上，否则直角部分锻不出来。

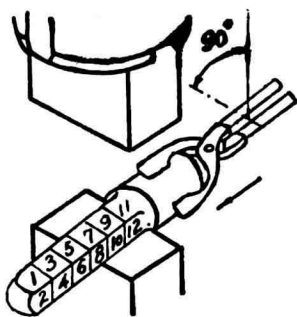


图1—9 反复左右翻转90°拔长

延伸时如果发生扭歪，可以照图1—11中所示的方法来纠正。

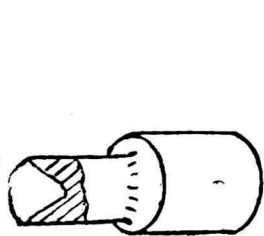


图1—10 端面形成的缩孔

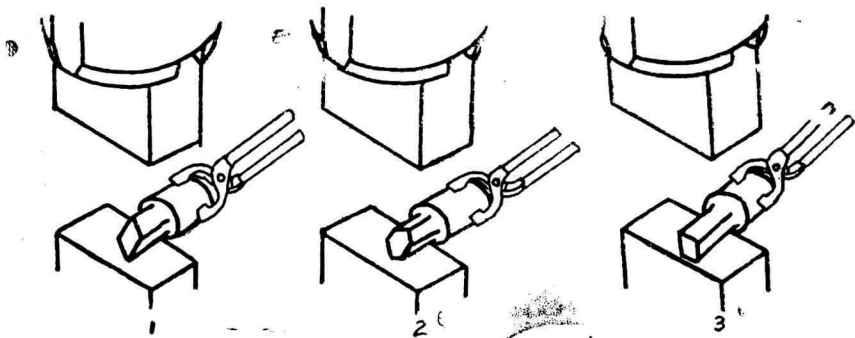


图1—11 拔长时扭歪的纠正法

b. 用芯棒延伸 用芯棒延伸是使空心坯料长度增加，壁厚减小的操作方法，用于锻造长形套筒类的空心锻件。

芯棒应有 3° 左右的斜度。锻造时先把芯棒插入冲好孔的坯料中，再放在 120° 的三角槽里（也可以用半圆槽）在锤上延伸。延伸时将坯料依次旋转 60° ，锻成六角形（图1—12），等延伸 to 锻件要求的长度后，再倒角滚圆。

在芯棒上延伸时，锤击不要过重或过轻。锤击过重时，孔径扩大不便操作，坯料还可能开裂；锤击太轻时，变形太慢。芯棒在锻件中的时间不宜过长，以免芯棒的温度太高容易变形，不便由锻件中取出。芯棒应及时放在水中冷却。

取出芯棒后要将锻件的两头打平，如果锻件发生歪斜时，可以用图 1—13 中所示的方法来纠正，再插入芯棒滚圆。锻件歪斜较小时，用图 1—14 中所示的方法来纠正较为稳妥。

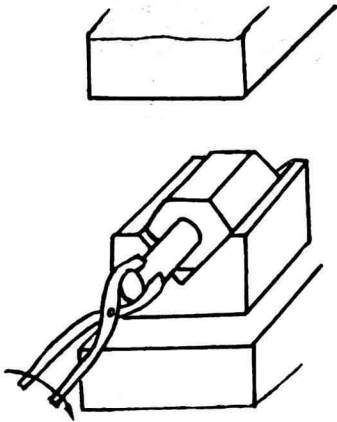


图 1—12 用芯棒拔长

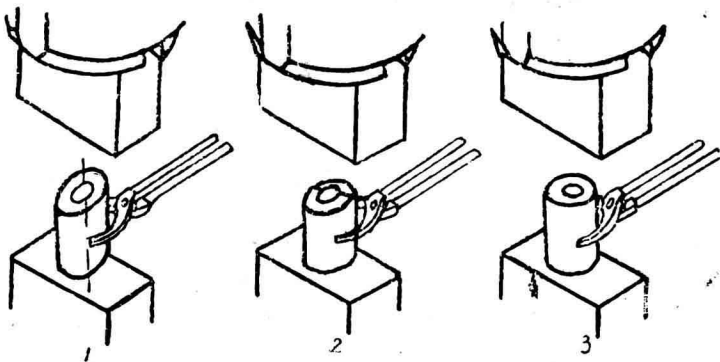


图 1—13 用芯棒拔长时，发生歪斜的纠正法之一

c. 局部延伸 把坯料的一端或中间部分延伸，叫做局部延伸，用于锻造带台阶或凹槽的锻件。

在进行局部延伸之前，应当先用三角压铁或元铁在坯料上压槽（图 1—15），然后把所需要的部分延伸。这样就可以使过渡面平直整齐。

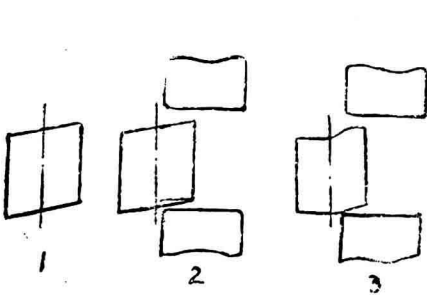


图1—14 用芯棒拔长时，发生歪斜的纠正法之二

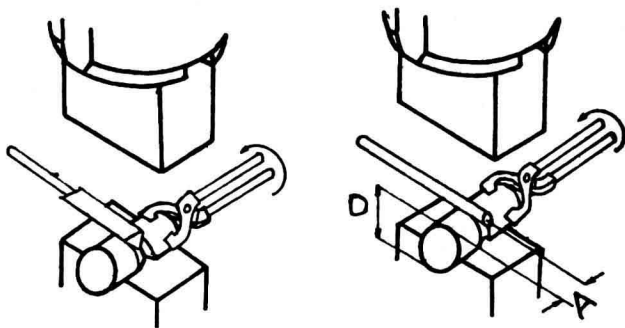


图1—15 在坯料上压槽
A—需要拔长部分；D—坯料直径。

用棒料局部延伸时，需要拔长的部分 A 应大于 $\frac{1}{3}D$ （图 1—15），否则锻件端部会形成缩孔。为了防止形成缩孔，可以把需要延伸的一端倒成圆角，使端部凸出，再进行压槽和延伸。

(2) 镦粗 镦粗是减少坯料的高度、增大坯料的横截面积的锻造工序，用于锻造盘形锻件，如涡轮盘、齿轮等。在锻造环、筒等空心锻件时，也用镦粗作为冲孔前的预备工序。

a. 全部镦粗 全部镦粗的操作过程如图1—16。镦粗时坯料的高度 h ，不应当超过锤头

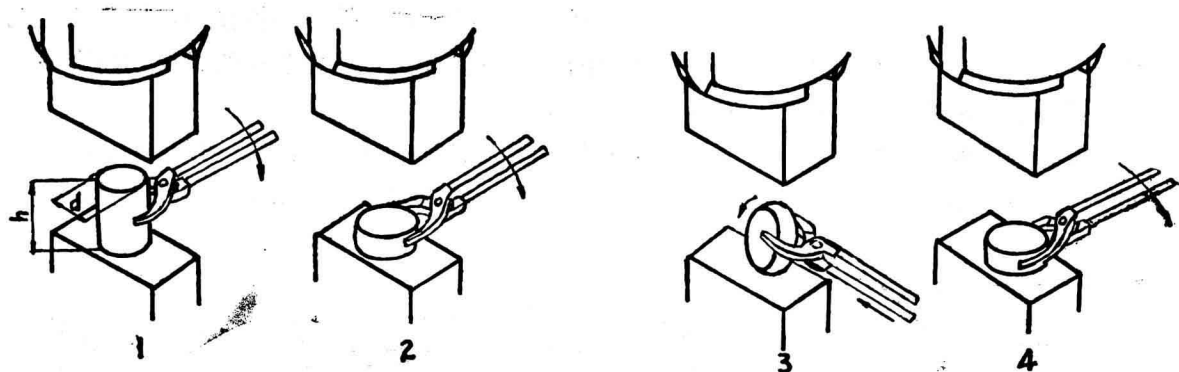


图 1—16 全部锻粗的操作过程

1—准备锻粗；2—锻粗成鼓形；3—滚圆；4—平整。

的最大工作行程的 $\frac{2}{3}$ ，否则锻锤的打击能量减低。坯料的高度 h ，也不应当超过它的直径 d 的 $2.5\sim 3$ 倍，否则锻粗时就会弯曲。

锻粗的坯料必须加热均匀，以防止变形不均匀。锻粗时坯料要垂直地放在下砧块上，以防止弯曲。锤击要重些，以防止坯料锻成细腰形。在锻粗过程中，应随时转动坯料，以防止由于上下砧块不平行，而引起锻件发生弯曲和歪斜等现象。

如果坯料锻粗时发生弯曲，可以按图 1—17 中所示的方法来纠正；如果坯料歪斜，可以按图 1—13、图 1—14 中所示的方法来纠正。歪斜的扁圆坯料，可以用图 1—18 中所示的滚圆方法来纠正。

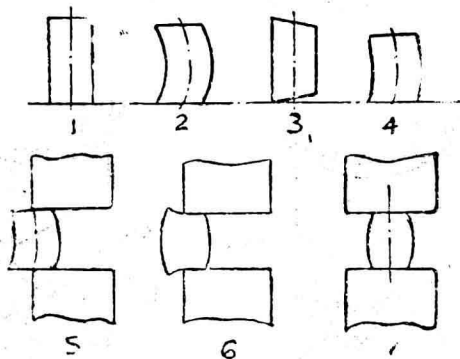


图 1—17 弯曲的坯料纠正法

1—坯料；2—墩粗时弯曲的坯料；3—敲直后的坯料；4—两端墩平；5、6—在锤边缘上纠正；7—锻粗。

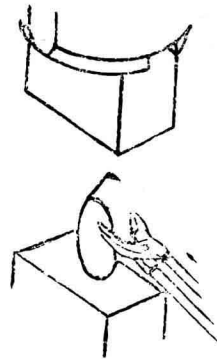


图 1—18 歪斜的扁圆坯料的纠正法

如果坯料较粗，锻粗时锻锤的锤击能量感到不足时，可将半圆铁放在坯料的上端，逐步进行局部锻压，最后再打平。

b. 局部锻粗 常用的局部锻粗的方法，有端部锻粗和中部锻粗两种，如图 1—19、图 1—20。

需要进行局部锻粗的部分，最好能使用高度是直径的 1.5 倍左右的坯料，漏盘的孔径和高度，应当和锻件不锻粗的部分相等。如果坯料的直径较漏盘的孔径大时，可以先将坯料的

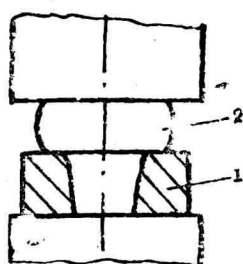


图 1—19 端部锻粗

1—漏盘； 2—坯料。

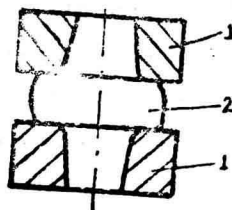


图 1—20 中部锻粗

1—漏盘； 2—坯料。

端部延伸后，再放在漏盘中锻粗。漏盘内孔要有 3° 左右的斜度，以便取出锻件。锻造时漏盘应及时放在水中冷却，以免变形。如果坯料是低碳钢，可以把不锻粗的部分放在水中冷却然后再锻粗。

(3) 冲孔 冲孔是利用冲头，在坯料上冲出透孔或不透孔的工序，用于锻造带孔的锻件，如齿轮、滚兰盘、套筒等。

用实心冲头双面冲孔的操作过程，如图1—21。先将加热过的坯料放在下砧块上，将冲子垂直地放在坯料的中心，轻轻地锤击一下。转动坯料，查看孔是否冲在中心。如果冲偏了，可以用冲子纠正的位置，再冲一次。在孔中放一点煤屑，用冲子继续向下冲，一面冲一面转动

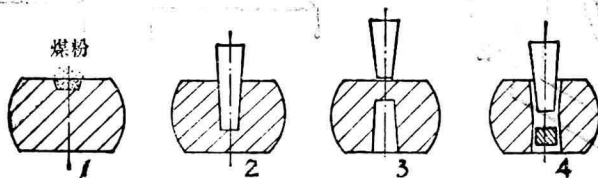


图 1—21 用实心冲头双面冲孔的过程

1—冲10毫米左右深，加煤屑；2—冲入 $\frac{2}{3}$ 深；3—翻转 180° 后，再冲；4—将孔冲透。

坯料。孔是不能一面冲透的，所以冲到坯料高度的 $\frac{2}{3}$ 深处后，应取出冲子，将坯料翻转 180° ，然后再将孔冲透。放煤屑的目的，是为了利用煤屑燃烧时所产生的气体压力，使冲子容易取出。煤屑一次不可放得过多，以免冲子弹出伤人。高度在30毫米左右的坯材，不用煤屑，只要将冲子倾斜一些，用锤轻打冲子的头部，就可以取出冲子。

冲孔时使用第一个冲子的直径一般是 $\phi 30$ 毫米，小于 $\phi 30$ 毫米的孔可以不冲出。如果需要冲大于 $\phi 30$ 毫米的孔，可以用逐渐加大的冲子，陆续地扩孔。用最后一个冲子扩孔时，应当从两面都冲一下，使上下孔径大小一致。直径过大的孔，应采用扩孔的工序来扩孔。锻造较长的套筒类锻件时，如果孔很深，可以先冲孔，再在芯棒上延伸。

在低碳钢的坯料上冲孔时，如果孔冲偏了，可以将坯料再加热一次，把壁薄的一边放在水中冷却到 $800^\circ\sim 900^\circ\text{C}$ （温度太低了，继续冲孔时容易开裂），然后用较大的冲子继续冲，冲到两边坯料的厚度相等为止。一次不行，可以重复一次。合金钢的坯料，如果孔冲偏了，最好在扩孔工序中进行纠正。

(4) 扩孔 当锻件的孔径很大时，必须在芯棒上扩孔(图1—22)。扩孔时，先将已经用

冲子扩大了孔的坯料，套在马架上的芯棒上，再用錘打击坯料的边部。每锤击一、二次后，旋转送进坯料一次。应尽可能的使用短行程的连续打击，以保证锤击均匀。随着孔的扩大，应当及时调换直径较大的芯棒。扩孔到接近于所要求的直径后，取下坯料，放在锤的下砧上锻平。扩孔坯料的高度应当较图中尺寸小一些，因为扩孔时，它的高度会增加一些。

如果孔冲偏了，可以在壁部较厚的部分采用送进慢一些的方法，加以纠正。如果孔的内径大了，可以放在平砧上，用滚圆的方法加以缩小。若是放在半圆槽或三角槽内滚打，还可以使内径缩小得更快一些。如果锻件的数量较多时，可以在芯棒上焊上一块档铁(图1—22)，使锻件的壁厚一致。

(5) 切断 把大坯料切成几块小坯料，或切去锻件上多余的部分，都要使用切断工序。

a. 单面切断 单面切断如图1—23中所示。先将坯料加热，放在锻锤的下砧块上，再

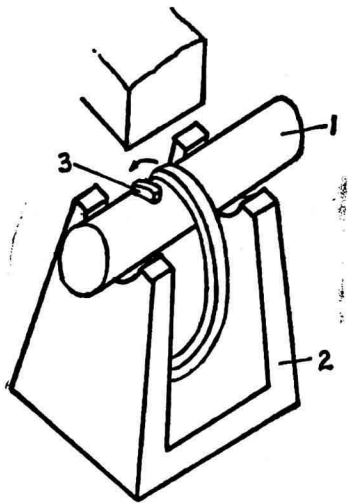


图1—22 扩孔

1—芯棒；2—马架；3—挡铁。

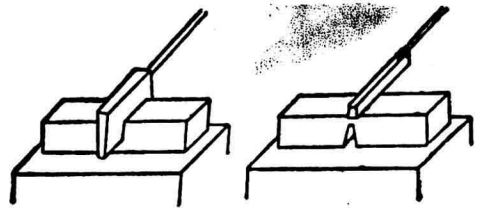


图1—23 单面切断法

将剁刀垂直地（与坯料成 90° ）放在须要切断处。用上砧块打击剁刀，剁到留下一些连皮为止，将坯料翻转 180° ，再将压板放在连皮处，用上砧打击压板，坯料即被切断。剁刀如果不垂直，断口就会是斜的，还可能将剁刀打飞，造成事故。不要一下就把坯料剁断，以免损坏剁刀，而且这样剁下的料有毛刺。剁刀使用后应立即放在水中冷却，以防退火。

b. 多面切断 切断较大的坯料时，必须采用多面切断的方法：例如四面切断的方法，就是每切一刀后，将坯料绕轴心转动 90° ，六面切断的方法，就是每切一刀后，将坯料转动 60° 等。切断大圆时，为了保持圆形，可以使用一边切，一边转动 30° 左右的切断方法。

(6) 弯曲 弯曲是将坯料锻成弯形锻件的工序，用于锻造吊钩、链子环、直角尺、U形弯板等锻件。坯料弯曲时，横截面会改变形状(图1—24)。中层以外的金属受拉变窄，中层以内的金属受压变宽。所以，将方形截面的坯料弯曲后，横截面会变成近似梯形；将圆形截面的毛坯料弯曲后，横截面会变成近似椭圆形。由于坯料弯曲部分的截面不规则，所以经过修整后，截面就变小了。为了使弯曲部分的截面，经过修整后仍能保持原来的形状和尺寸。必须予先将弯曲部分的外层截面增大。图1—25是锻造直角尺的操作方法。

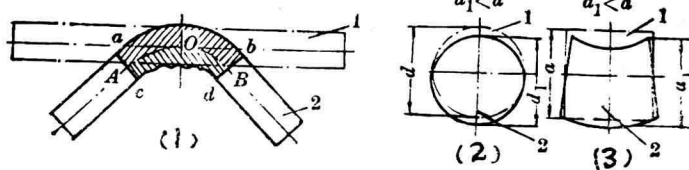


图 1—24 弯曲时坯料的变形情况

(1) — 弯曲时坯料形状的改变；(2) — 圆形截面的变化；(3) — 方形截面的变化。

1 — 弯曲前；

2 — 弯曲后。

(7) 其他工序（扭转，错移等工序）。

a. 扭转 使坯料的一部分对另一部分扭转一定的角度的锻造工序，叫做扭转。扭转多用于校正锻件及锻造一般用的多拐曲轴。对锻件进行校正的方法如图 1—26 中所示，先用锻锤的上下砧块压紧锻件的一头，再用大锤打击锻件的另一头。

b. 错移 错移是将坯料的一部分，对另一部分错开的锻造工序。例如锻造曲轴，有时

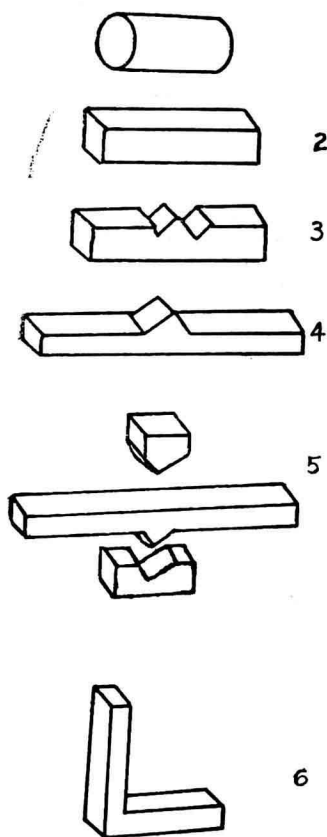


图 1—25 锻造直角尺的操作方法

1 — 棒料；2 — 拔长（截面成方形）；

3 — 压槽；4 — 两端拔长；5 — 在三角形槽铁中压弯；6 — 修整成锻件。

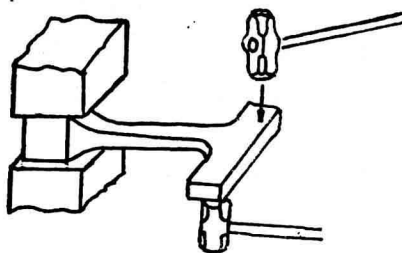


图 1—26 用大锤打击扭转的方法校正锻件

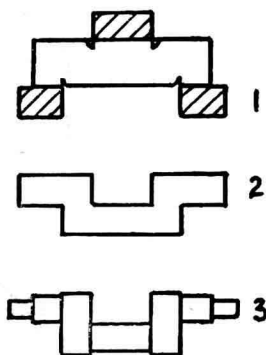


图 1—27 错移方法

1 — 在拔长后的坯料上压槽，放置方铁，并用锤打击方铁；2 — 错移后的坯料；3 — 锻成锻件。