

什么是鍛造

我們在生产和生活中所用的金屬制品，它們有不同的用途，因此它們的形狀也就各不相同。譬如斧头是制成帶刃狀的，而車軸就制成圓柱形的。这些不同形狀的物品，就是由于金屬受到不同加工的結果。

金屬加工的方法有車削、鑄造和鍛造等方法。現在我們只簡單地談一談鍛造的方法。

什么是鍛造呢？簡單地說就是打鐵。現在我們還可以看到一種最簡單也是最原始的鍛造方法（圖1），就是把燒紅了的鐵塊放在砧鐵上，用手錘打擊，使金屬變成我們所需要的形狀，如鋤、鎬、鏟等。用这种方法得出的產品的形狀，全靠工人技術的好壞，它几乎是和打鐵的錘頭的形狀無關。这种鍛造方法，我們把它叫做自由鍛造，又叫人工鍛造或者無型鍛造。

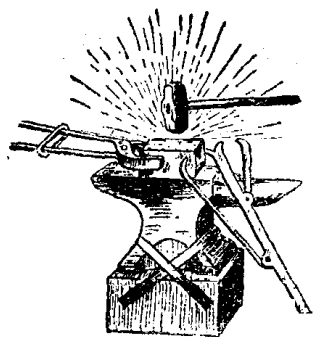


圖 1

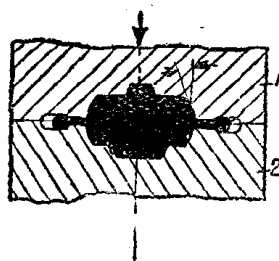


圖 2 山鍛的錘頭。

显然，这种方法只能适合于制造一些形状简单的产品。目前在生产形状简单的产品时，还有用这种方法的。但是，由于产品的重量有时要求很大，重量有时达到 250 吨，为了减轻工人的体力劳动，多半就用机械来操作。在锻造形状复杂的产品时，常常把锤头分成上下两部分，合成后中间有个和产品形状相似的空腔（圖 2），金属就在这空腔里加工变形。这种锻造方法就叫做模型锻造，简称模锻。它在大批地生产形状复杂的产品时，应用最广。像生产起重机挂钩、法兰盘以及军用刺刀等。

用锻造方法生产出的产品，比车削、铸造甚至轧制，都具有一定的优点，例如：

1. 锻造后的金属产品，它的抗拉和抗弯等性能，都比加工前增强得多。所以说几乎是所有负担很重的轴，都是用锻造方法制造出来的。

2. 能节省金属材料。如果用车削方法制造 17 公斤重的曲轴时，就需要有 45 公斤的材料；但用锻造方法时，就只要 22 公斤就够了。

3. 生产率要比车削方法高 5 倍以上。

至于它能在金属表面压出精细花纹等特殊性能，那更是其他方法所不能办到的。

我国在锻造方面的过去和将来

我国很早以前，在这方面就作出了很宝贵的贡献。例如春秋时代就有了锋利的宝剑，虽然没有关于锻造宝剑技术的详细记载，但是根据所描述的宝剑性能来看，就很有可能是锻造成的。到南北朝时代，锻造加工方法就很普遍了，并且已经设有

官吏專門管理。沈括在后来关于鍛造的記載中說：“青堂流善鍛甲，鉄色黑青，瑩澈可見毛髮，以麝皮为酒旅之，柔薄而韌。……凡鍛甲之法，其始甚厚，冷鍛之，比之厚三分減二乃成……”。可見此时產品質量已經达到柔薄而韌的程度。并且当时已經知道，要达到这样高的質量，必須使原料厚度从三分中減去二分，这个数字是和近代对鍛造質量的要求相符合的。

但是，在封建社会和近百年来的半殖民地社会里，生产力的發展受到很大的束縛，使我国在这方面反而落后于世界各先进国家。現在人民掌握了政权，人民的智慧和創造力被解放了，随着社会主义建設的需要，鍛造事業和其他工業部門同样地得到飞躍的發展。

在一个先进的工業国里，几乎有百分之二十的鋼材要先經過鍛造，再加工制成产品。如果是年产2,400万吨鋼的話，大約就有500万吨是要鍛造加工的。我国今后要大量生产飞机、汽車和拖拉机，而这些机械的百分之六、七十的另件，是需要鍛造出来的。其他如負担很重的軸（火車軸、輪船曲軸、活塞杆等）也是鍛造出来的。同时，它对某些产品來說，几乎只能用鍛造方法才能制造，像加工重达120吨的輪船曲軸、直徑在4米以上的鋼圈等。在日常生活用品中，金屬的制品如茶缸、洗臉盆等，更是广泛而大量地用鍛造制出来的。至于国防工業上，像制造强度很大的炮身和数量很多的彈壳时，鍛造方法就更显得优越和必要了。

鍛造过程中的一些道理

鍛造就是用外力加在金屬上，使金屬永远变成我們所需要

的形狀，同時要求金屬在變形後，並不破裂。這種變形後不破裂的永久變形，就叫作塑性變形（以後所談到的變形，都是指這一種）。這種能夠發生塑性變形的材料，我們就說它具有塑性。由於金屬材料內部結構、溫度和我們加工的情況不同，引起塑性變形所需要的力（稱為變形抗力），和材料在破裂前可能達到的變形程度的大小，也就不同。

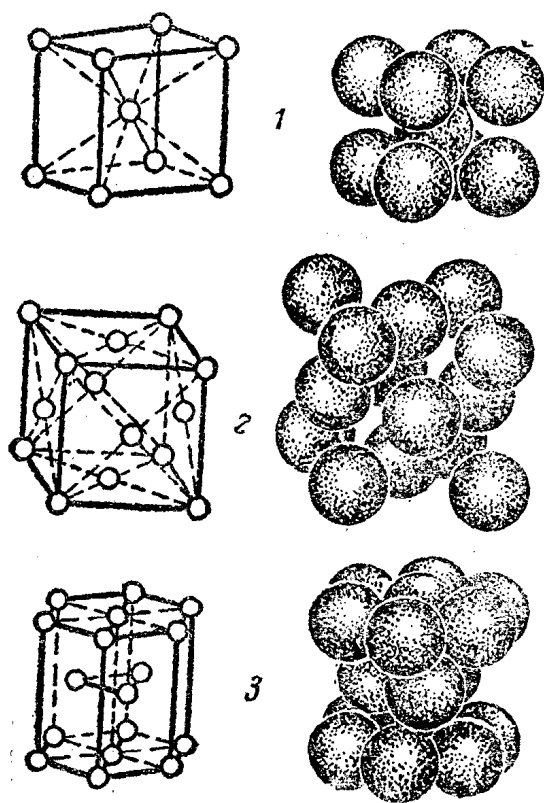


圖 3 晶格

1-體心立方晶格 2-面心立方晶格 3-六角方晶格

我們要知道金屬塑性變形的道理，首先應該了解它的內部構造。金屬和其他物質一樣，是由許多原子組成的，它們是有規律地排列着。由於金屬的材料和溫度等條件的不同，所以它們的排列規律也不同。如圖 3 上所表示的，這種一組組的原子結構叫作品格。普通的鋼在溫度約 720°C 以下時，它的原子排列成為圖 3 (1) 的形式，叫做體心立方品格；在 720°C 以上時，就排列成圖 3 (2) 的形式，叫做面心立方品格。其他材料還有許多不同的排列形式，如鎂是排列成六角方品格〔圖 3 (3)〕。許多這樣的品格在一定條件下逐漸合成一個很小的金屬粒子，我們就叫它晶粒。它們的直徑最大也不超過 1 毫米。金屬地就是由許多晶粒集結成一定外形的物體。圖 4 上表示着從小品格集聚成晶粒，和由許多晶粒集聚成整塊金屬的過程。

鍛造加工就是要改變這些晶粒的形狀和它們的相互位置，使金屬的外形發生變化。

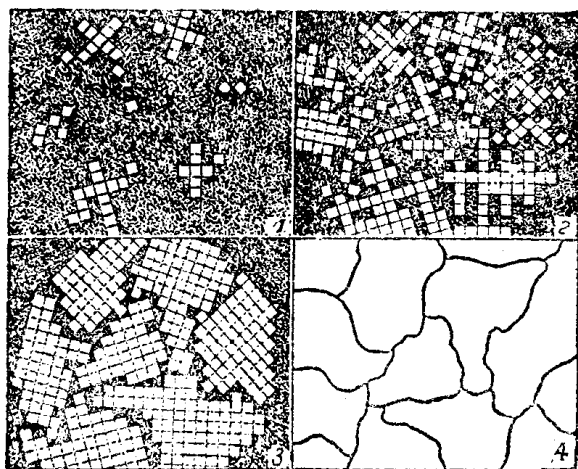


圖 4 結晶過程。

晶粒内部的塑性变形的方式有两种：一种是滑移变形（圖 5）。当晶粒受到拉力后，在原子層間就發生移动，其結果使晶粒变長；如果所受力是压力，就会使晶粒变成短而粗。另一种方式叫孪晶变形，它的道理很复杂，在这里就不談了。所以，塑性变性并不是各原子間的距离加長或縮短，而是由于我們所加的外力，在原子層間所引起的推力（剪力），使它們之間位置發生变化的結果。

每个晶粒的間界，在受力后也有一些移动，但是不大。所以金屬的塑性变形主要是晶粒内部变形的結果。

在进行鍛造加工时，人們会首先考虑到这种材料是否可以鍛造，怎样才能使金屬容易变形，也就是怎样使变形抗力减小些。同时还会考虑到在什么条件下金屬变形时不会被压裂，也就是考虑到金屬塑性好坏的問題。

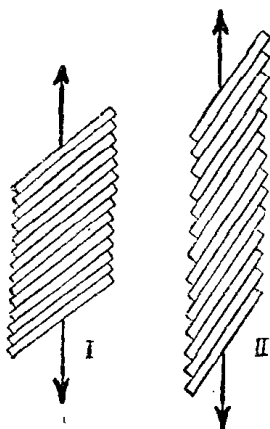


圖 5 滑移变形
I—变形前 II—变形后

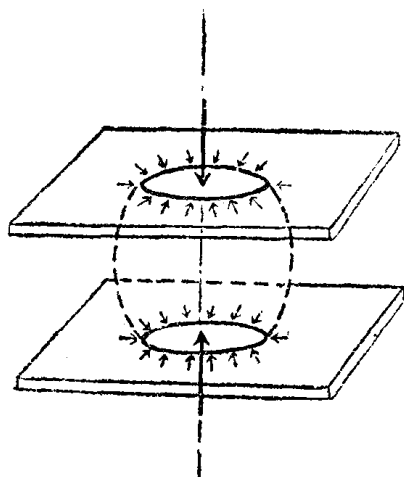


圖 6 在平行板間壓縮的物体。

金屬在受到錘打時，在同樣的條件下，鉛比銅容易變形，這是因為它們的性質各不相同，有軟有硬。但是同一種材料（如同一種銅）在什麼情況下容易變形，就要從溫度和其他外界條件來決定。所以外界條件是很重要的因素。例如把一個圓柱體金屬放在兩塊平板間壓縮（圖 6），金屬在變形後就不是上下直徑相同的圓柱體，而成為中間直徑大、兩端直徑小的鼓形了。當金屬兩端和上下平板間的接觸面較光滑時，這種現象不顯著，愈粗糙就愈顯著。這是因為平板和金屬的接觸面有摩擦力的關係（圖 6 上的小箭頭就表示摩擦力），這些摩擦力阻礙了金屬向外移，也就是阻礙了金屬的變形。所以說摩擦力愈大，變形抗力也愈大，變形也就愈難，同時它又使金屬變形不均勻（原來是圓柱形，變形後成了鼓形），這是我們所不希望的。所以在實際工作中，應該盡量減小摩擦力。

減小摩擦力的辦法，首先是要使工具（如錘頭和砧鐵）和金屬的接觸面光滑，用潤滑劑像水、潤滑油、肥皂水等就更好些，它們可以使摩擦力減少幾倍到十幾倍。金屬的溫度對摩擦力也有很大影響，實驗證明它們的關係是像圖 7 所示，圖上的摩擦力是用摩擦係數表示（摩擦力是和摩擦係數成正比的），當金屬在 $500-800^{\circ}\text{C}$ 的時候，摩擦係數最大。當然影響摩擦係數的還有許多其他條件，像變形快慢、變形抗力的大小等。

我們知道，所有阻礙金屬變形的因素，都能增加變形抗力，顯然加工工具的形狀也能影響變形抗力。用來加工的錘頭雖然是各式各樣的，但是不外是凸形、平形、凹形或是由它們聯合組成的（圖 8）。

用凸形錘頭（圖 8 I）錘打金屬時，除了由於受到垂直的

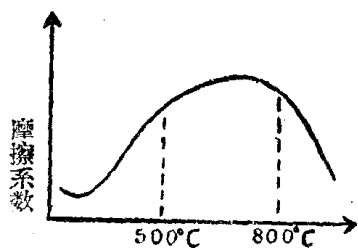


圖 7 金屬溫度與摩擦系數的關係。

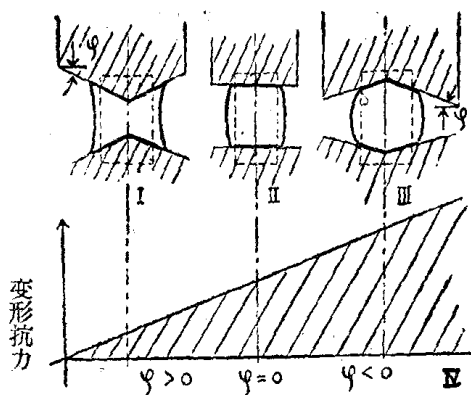


圖 8 工具形狀與變形抗力和變形的關係。

压力金屬向外移动外，錘頭的傾斜的壁面也向外推金屬，这就使金屬容易变形，所以变形抗力就减少。如果用凹形錘頭就恰恰相反，这时候錘頭的壁面包在金屬周圍，阻碍了金屬的变形，要使金屬变形，就需要用很大的力。在圖（圖 8 Ⅲ）上可以看出，变形抗力的变化是和錘頭壁面的傾斜角 ψ 成反比的；又可以看出，金屬变形的形狀也和錘頭壁面的傾斜度有关系：傾斜角愈小，由圓柱形（虛綫所示）就形成愈显著的鼓形（不均匀变形）；随着傾斜角度增大，不均匀变形也就愈不显著，到一定程度以后（在凸形範圍內），变形后的金屬形狀就由鼓形变成中間細兩頭粗的形狀了。所以，凸形錘頭能使变形抗力减小，如果掌握得好，还能使金屬不均匀变形的程度減輕。但是凸形錘頭容易把材料扯破，好像用斧劈东西一样，所以对塑性不好的金屬（如高炭鋼、某些合金鋼等）加工时，就應該用平形錘或凹形錘，这样可以改善金屬的塑性。在实际生产中，对产品形狀的要求，也常常决定了所采用的錘頭的形狀。

另一个影响变形抗力的重要因素是金屬的温度。在其他条件像材料、錘头形狀等决定后，我們主要是用温度来控制金屬的变形抗力。金屬的温度愈高，它就愈軟，也就是变形抗力愈小。所以在热加工的生产中，一般是尽量地用高温金屬。但是，使用的温度也受到一定的限制，首先不應該接近該金屬熔点（金屬开始熔化成液体时的温度），不然就很容易压裂，一般总要比熔点約低 $150-200^{\circ}\text{C}$ 以上；而且也不應該低于熔点 $800-850^{\circ}\text{C}$ ，不然就会使金屬变硬，变形抗力就增大，同时由于金屬內部結構的变化而影响产品质量。

金屬的塑性也受到温度的影响。按鋼种的不同，塑性和温度的关系像圖 9 所示，它們不是簡單的直綫关系，而是不規則地变化的。这是因为金屬温度变化时，金屬內部的結構也受到影响的緣故。但可以看出在 $1,000-1,250^{\circ}\text{C}$ 左右时塑性最好。这也是在加工时把金屬燒到高温的原因之一。

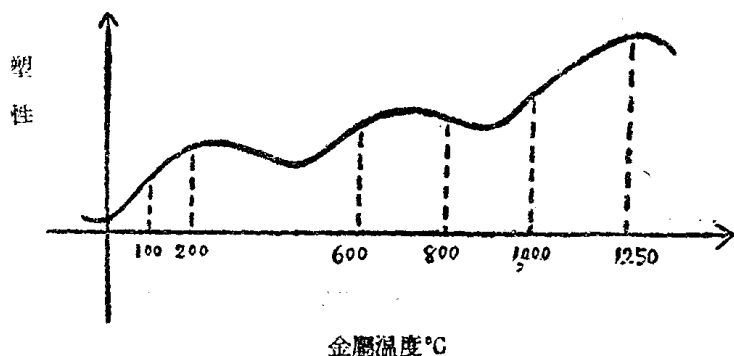


圖 9 金屬温度与塑性的关系。

應該提到，由于要降低金屬的变形抗力和提高它的塑性，而將它加热到高温，会造成許多金屬和燃料的損失，因为金屬

表面在高温时更容易和空气中的氧發生作用，产生無用的氧化鉄皮。

鍛造加工所以能改善金屬的机械性能，是因为它能把大的金屬晶粒压成細小，同时也使晶粒的大小比較均匀，晶粒愈小和它們大小愈均匀，强度就愈大，这也是鍛造加工比切削加工好的地方。

凡是具有塑性变形条件，变形抗力不特別大的金屬材料，都可以鍛造。尤其是塑性好（如常温时鉛比鋼好）的、变性抗力小的（如温度高的鋼比低温的鋼小），就更容易鍛造。

鍛造的种类和方法

鍛造可分为自由鍛造和模型鍛造。如果按照加工金屬的温度，也可分为热鍛和冷鍛。前者是把金屬燒到高温然后鍛造；而后者是在常温时就进行鍛造。冷鍛主要是用作冲压板材（以后講），和热鍛的产品相比，它的表面好，沒有氧化鉄皮，产品的尺寸准确。但是因为变形抗力大，所以不宜用来鍛造大塊的鋼鉄。現在分別地来談談自由鍛造、模型鍛造和冲压：

（一）自由鍛造 自由鍛造的原料是用鋼水澆鑄成的鋼錠或軋制成的产品像圓鋼、方鋼等。在决定所用材料的重量前，应特別注意到鋼塊在加热时所产生的氧化鉄皮的分量，以及在加工过程中必須切掉無用的边沿和材料上不合要求部分的分量。这些分量有时可达到产品重量的百分之五、六十，就是制造一百公斤重的产品，得用一百五、六十公斤的原料。

鍛造的目的是要改变金屬形狀和提高金屬的机械性能，譬如增大强度等。要达到这些目的和材料的形狀、尺寸有很大关

系。材料的形状和尺寸不相称，就很难鍛出形状合格的产品来，并且造成人力和时间上的损失，或者得不到改善机械性能的效果。要使产品的强度大，必须使它的晶粒变细变小，并且变得均匀，因为材料（特别是鋼錠）的晶粒常常是又大而又不均匀的。这就要求在鍛造过程中，必须使金属的各个部分（包括中心部分）受到足够的锤打。所以一般的规定，使用的鋼錠的高度（或宽度）应该比产品的高度（或宽度）高3—5倍以上，不然就达不到这种要求。

属于自由鍛造的几种鍛造方法，不外是我们日常见到的几种。现在分别叙述如下：

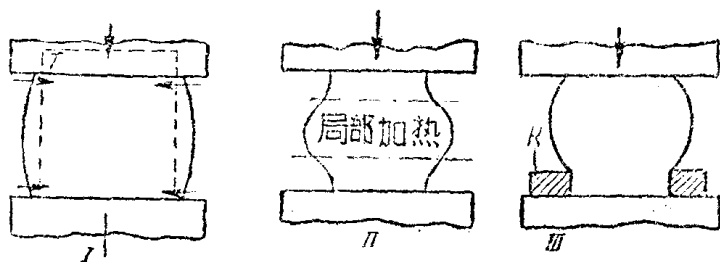


圖 10 鍛粗与頂鍛。

（1）鍛粗和頂鍛 鍛粗和頂鍛就是把材料从高度上锤打，使它的全部或局部变粗。鍛粗（圖 10, I）是把原料全部加热后锤打；而頂鍛（圖 10 II、III）仅仅是加热于要变形的部分。即使把金属全部加热，但在锤打时，就把不需变形的部分套上环圈K（見圖 10, III），这样在受力后，套上环的部分就不会变形。在圖上可以看到，鍛粗后的材料已经是中間凸出的鼓形了，要得到圆柱体产品就必须再从各方面进行锤打，这样才能使产品的形状合乎要求，机械性能也大大提高。

(2) 延伸法 延伸法 (圖11) 就是使材料變長變細的鍛造方法, 也叫做鑊長。如用鋼塊作車軸, 就要用這種方法。在延長時金屬的長度和寬度同時會增加 (圖 11, II), 這樣就抵消一部分伸長效率。為了使金屬的寬度增加得少, 在延伸時常常用長度比材料寬, 寬度比較窄的錘頭 (圖 11, I), 並且每次的送進量不要太多, 大約每次送進量 a 仅是錘頭 B 的 0.5 至 0.75 倍 (圖 11, IV)。為了要得到細長的产品 (圖 11, III), 就要從四面 (圖 12, I) 或者從兩面 (圖 12, II) 輪翻地錘打。但應該注意

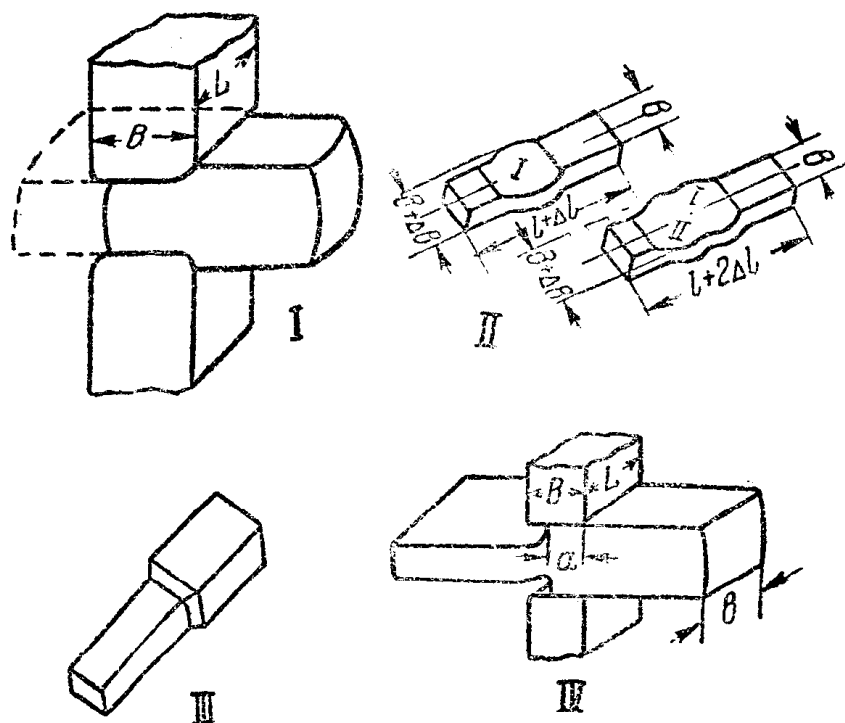


圖 11 延伸法。

到在翻轉后，下一次錘打前，材料的高和寬之比（圖 13） $b:a$ 不應該大於 2—2.5，不然在下次錘打中，就可能產生側彎（圖 13，II 虛綫所示）。

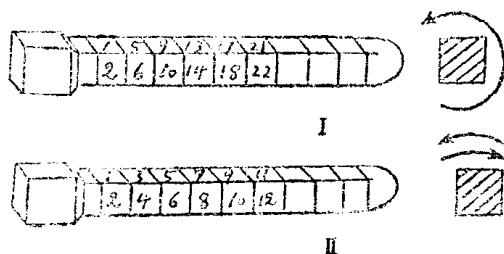


圖 12 方鋼的錘击部位。

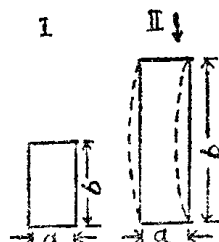


圖 13

(3) 寬展法 用寬展法（圖 14）時，錘頭的長度、方向和延伸法恰恰相反。它是順着材料的軸綫放置的，這樣就能使金屬的寬度增大，而長度增加得少。

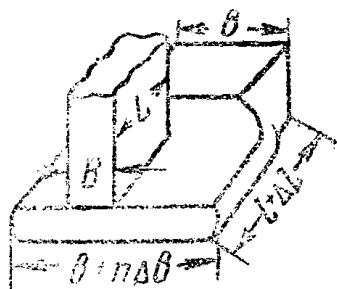


圖 14 寬展法。

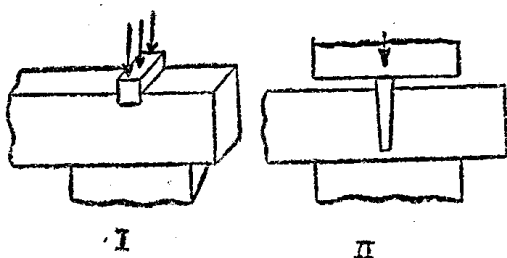


圖 15 分段法。

(4) 分段法 分段法（圖 15）是把材料分段切斷，所用的錘頭要窄些。把材料截成兩段的方法就叫鑿截（截斷）法（圖 15，II），所用的錘頭應該更窄一些，這就是常用的鑿子。

(5) 鑿孔法 鑿孔法（圖 16）是把材料鑿孔的方法。这里應該注意的是：不可能把材料從一面直接鑿穿，必須在鑿到一定

程度时，將材料翻过来，再鑿去剩下的部分。

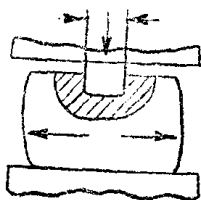


圖 16 鑿孔法。

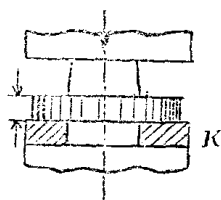


圖 17 冲孔法。

(6) 冲孔法 如果要使洞底成个圓形，就須用冲孔法（圖 17）。就是在厚度不大的鋼板上，用圓形冲头冲孔。用这个方法时，鋼板的下面應該用垫圈（圖 17 的 K）才能成功。

(7) 扩徑法 扩徑法（圖 18, I）能把鋼圈的壁鍛薄，直徑增大。如果要使圓管的厚度減薄、長度变長，就要用圖 18 II 的方法，在圓管里穿个圓棒，錘打时管边一周都受力。

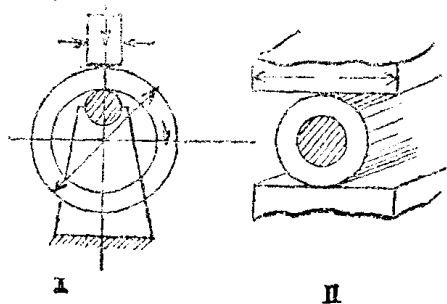


圖 18 扩徑法。

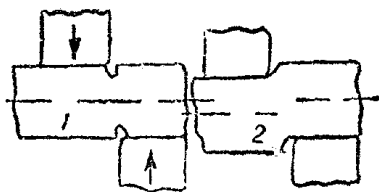


圖 19 錯開法。

(8) 錯開法 要將一个直件錯开，必須用錯開法（圖 19）。先將材料鑿兩個缺口，而后再兩边用力推。

其他根据需要也可以用自由鍛造，使材料弯曲、扭轉，或者使兩塊材料鍛焊在一起等。

用鍛造方法制成的产品和由其他压力加工方法生产的产品

一样，在产品的不同方向上，强度不完全是一样。譬如45号鋼在延伸的方向上每平方毫米（公厘）能抗71.5公斤的力量，而在橫向上只能抗67.2公斤；这是因为金屬在鍛造加工后，晶粒的方位都逐漸趨于一致（圖20），成为又細又長的纖維条。圖20上是兩個方位不同的晶粒，压縮变形后，逐漸由Ⅰ的情况过渡到Ⅳ成为纖維狀。木棍在直向上比橫向上更能抗力，所謂

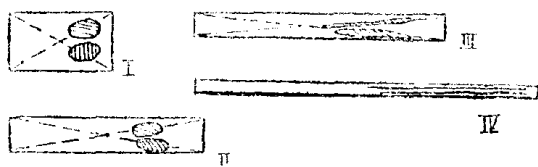


圖 20 纖維組織形狀。

“立木担千斤”，也是由于木棍有細而長的纖維。在鍛造过程中和取材时，應該特別注意这点，使材料在各方向上强度不同的情况能适应工作的要求。例如想制造 齒輪 的坯料（圖21），

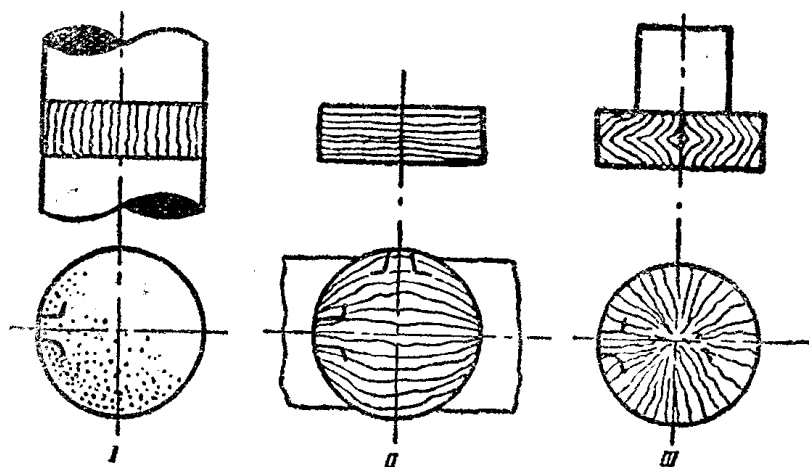


圖21 制造齒輪坯料时，自由鍛造产品的纖維分布。

如果用延伸法得到的圓棒上截取（圖21，I、II），無論怎樣也不會有好的結果。把這樣截取下來的坯料，銑出牙齒后，全部（圖21，I）或部分（圖21，II）牙齒是和金屬的纖維條平行的，正如以上所說，這種牙齒的強度很弱。最好是用鍛粗的辦法（圖21，III）來制造坯料。銑出牙齒后，在工作時所受的外力全部是和金屬的纖維方向垂直的，因此就更耐用。即使用相同的材料來銑，后一種方法所制造出的齒輪，它的壽命要比前一種長得多。

（二）模型鍛造 人們早就覺得，用自由鍛造來生產形狀比較複雜的產品是非常困難的，有時甚至是不可能的。近百年來工業空前發展以后，需要制造大量的機械和其他生產工具，有時同一種機械的另件需要几千几万甚至几十万个，这就促进了模型鍛造的發展。

例如要生產圖22的离合器軸，就需要作出一對如I圖的鍛造模子（簡稱鍛模），它由上下兩部分合成。用鍛模來壓出產品，顯然要比只靠工人技巧的自由鍛造所制造出來許多形狀相同（特別是形狀又複雜）的產品，速度要快得多，尺寸要準確得多，成本要

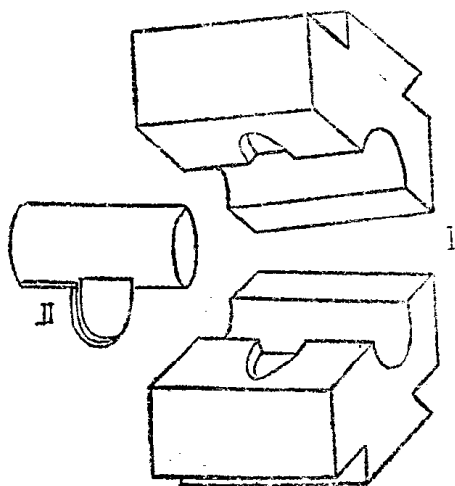


圖 22

低得多。但是制造鍛模是很麻煩的事，同時由于鍛模很容易磨傷，需要常換，所以必須是大量生產同一種產品時才用它。模

型鍛造的另一缺點是很难生产重量較大的产品，就是在今天的技术条件下，也不可能生产出更大的产品，目前它生产的主要产品，很少有超过一吨的。

怎样才能使金屬在鍛模中經壓縮后，恰恰变成所要求的形狀呢？怎样把鍛模空腔的各个棱角全部充滿呢？这是在模鍛过程中非常复杂的一个問題。首先，放在鍛模里的金屬的体积很难和鍛模空腔的容积一致。如果硬要一致，就会給制造坯料的过程帶來麻煩，除非是在特殊情况下，一般是不这样做的。放在鍛模里的材料，如果比需要的少，就会使产品不能做成所要求的形狀。为了要保証成形，一般是使坯料的体积比模腔的容积稍大些，这些多余的金屬，在鍛造过程中就会从鍛模的合縫处挤出，成了飞边（如图 2 的 α 和 β 部分）。这样無疑地浪费了一些金屬，飞边的重量有时几乎接近于产品的重量。但它有很多好处，除了它能使制造坯料的过程簡單化外，还因为它比产品薄，冷得快，这样就会在金屬可能向外挤出的四週，造成一个封閉圈，阻碍金屬过多和过早的被挤出来，而使金屬有机会

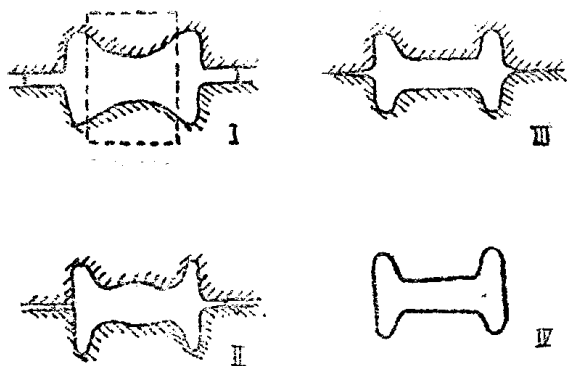


圖 23 模鍛过程。