

金屬工藝學

(金屬壓力加工部份)

适用于：机械类各系

王 恒 富
尹 長 柏 合 編

1959

金 属 工 艺 学

(金属压力加工部分)

适用于：机械类各系

王 恒 富 合 編
尹 長 柏

江苏工业学院图书馆
藏书章

哈 尔 滨 工 业 大 学
金 属 工 学 教 研 室

說 明

这本讲义供我校机器制造类型专业金属工学金属压力加工部分 30 学时教学之用。主要内容包括：金属压力加工基本理论，金属的加热及加热设备，辗压，拉丝，挤压，自由锻造，热模锻及冷冲压。

这本讲义根据高教部于1955年颁布的高等工业学校机器制造专业用的金属工学教学大纲（金属压力加工部分），并参考苏联高教部 1955 年制订的机器制造专业金属工学教学大纲编写成的。在金属工学试用教材（金属压力加工部份）的基础上从新修订，同时参考了杜比宁教授主编的（金属工艺学），布留哈诺夫等著的（金属工艺学），各兄弟学校金属工学讲义及有关专业书籍。

1959年2月

編 者 王 恒 富、尹 长 柏
出版者 哈 尔 滨 工 业 大 学
印刷者 哈 尔 滨 工 业 大 学 印 刷 厂

印数 1—2520册 工本费0.60元

目 录

第一章 金屬壓力加工基本理論

一、变形力及金屬的变形	1
二、金屬的冷变形与热变形	2
三、金屬在冲击力和压力下的变形	4
四、压力加工时金屬变形的規律	5
五、压力加工后金屬的組織及性能	6

第二章 金屬壓力加工時的加热

一、引言	9
二、金屬的加热及加热规范	9
三、加热设备及电加热	13

第三章 輾 壓

一、引言	16
二、輾压生产的基本理論	17
三、輾压设备	18
四、輾压工艺	21

第四章 拉 絲

一、拉絲过程实质及产品	26
二、拉絲设备及工具	27
三、拉絲生产工艺过程	29

第五章 挤 壓

第六章 自由鍛造

一、引言	32
二、自由鍛造的设备	33
三、鍛件图的制定	37
四、自由鍛造基本工序	40

第七章 熱 模 鍛

一、引言	49
二、錘上模鍛	50
三、曲軸压力机上模鍛	58
四、切除飞边	60
五、水平鍛机上模鍛	61
六、在其它机器上模鍛	64
七、模鍛修整工序	67
八、有色金屬模鍛特点	68

九、冷鍛工作.....	69
-------------	----

第 八 章 冷冲壓

一、引言.....	70
-----------	----

二、冷冲压設備.....	70
--------------	----

三、冷冲压工艺.....	71
--------------	----

四、冲模的构造.....	77
--------------	----

五、板料金屬的簡化加工法.....	78
-------------------	----

六、冷冲压生产的机械化.....	80
------------------	----

第一章 金属压力加工基本理论

一、变形力及金属的变形

任何物体在受外力作用之后，即会产生内力，并且物体本身发生变形。

内力的发生是由于组成金属的原子间距离的改变，因而也改变了物体的形状。这种内力和外力是互相平衡的。

内力的大小可用应力来表示，所谓应力就是一个极小面积上的内力与该面积的比值极限，

$$p = \lim \frac{\Delta P}{\Delta F}$$

式中 ΔP 在极小面积 ΔF 所作用的总内力。

当物体由于受外力作用而产生应力时，物体即处于应力状态中。

金属受外力作用所产生的变形，如果是在外力离去后即行消失，金属恢复原有的形状及尺寸。则这种变形称为弹性变形。

弹性变形是因外力在金属内部所形成的应力尚未达一定的极限，这时在金属内部仅是原子间距离的改变（即晶格常数的改变）。如图 1 所示，当外力离去后原子即自行恢复到原来的稳定位置，故变形也就随着消失。

如果金属所受到的作用外力达到这样的极限程度，以致因受力所产生的变形在外力离去后也并不消失，则这种变形称为塑性变形。

塑性变形是由于外力在金属内部所形成的应力超过了一定的限度，使组成金属的晶粒本身及晶粒之间产生了滑移变形的结果。

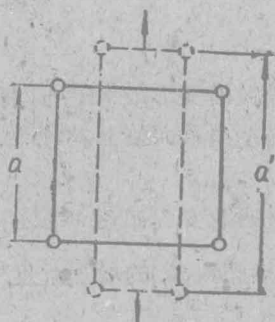


图 1 弹性变形示意图
a. 变形前原子间距离
a'. 变形后原子间距离

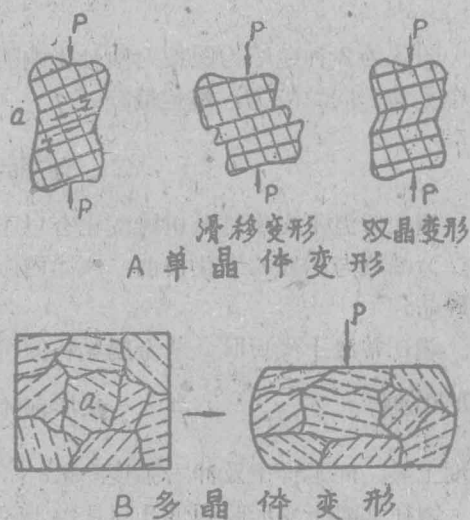


图 2 塑性变形示意图

在前面的金相部分我們已經知道一个金屬的結晶顆粒是由許多結晶格順向排列而組成的，而一块金屬又是由許多晶粒所組成。

为了能清楚地了解塑性变形起見，如图 2 所示：我們假想从一块多晶体組成的金屬中取出一个晶粒 a （单晶）并观察它变形的情况。

图 2 A 示一单晶体受外力 P 后由于剪力 τ 的存在使晶粒的个别部分之間在某些晶面上产生相对移动，这种移动称为滑移。由于滑移而引起的变形称为滑移变形。单晶体在某些情况下由于剪切力的作用也会使晶粒的部分晶格产生扭曲，而使单晶体分离成两个相应部分。这种变形称为双晶变形。滑移变形及双晶变形都是不可恢复的塑性变形。因此单晶体的塑性变形有滑移变形及双晶变形两种形态。

同样在多晶体塑性变形的发展过程中每个单晶体也存在滑移变形及双晶变形。除此而外，在多晶体的塑性变形时（见图 2, B）晶粒与晶粒之間的晶界邻接长度也有所增长和縮短，这就說明晶粒与晶粒之間也存在有滑移。这种滑移变形，即所謂晶間滑移变形。由此可知多晶体的塑性变形是由晶粒本身的滑移及双晶变形和晶間变形所組成。

从以上过程可以十分明显的看到，塑性变形的过程，只有当物体已有弹性变形时才会发生，也就是說在塑性变形过程中一定有弹性变形存在。这是因为只有当物体处于应力状态时，才会发生变形，伴随应力状态主应力的大小，而物体存在不同程度的弹性变形或塑性变形。設想物体內的某一極小立方体上只有应力而无剪应力存在，則这种应力为主应力，而这时小立方体的应力状态图形即为主应力状态图。

在塑性变形中主应力状态图对金屬塑性大小有很大影响，研究結果証明，应力状态图中拉应力愈多塑性愈差。

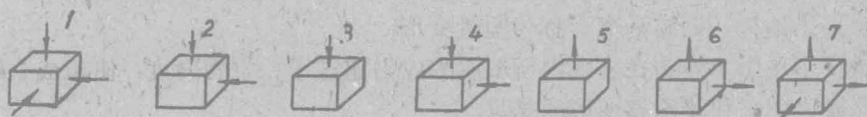


图 3 主应力图对塑性影响

图 3 为各种主应力图按对塑性影响的大小而排列的，图中 1 三向压应力，塑性最好。图中 7 为三向拉应力，塑性最差。

二、金屬的冷變形與熱變形

鋼在常溫下变形时其組織变化有以下特征：（一）晶粒沿变形最大的方向伸长，（二）晶格与晶粒均发生扭曲，产生内应力。（三）由于晶間滑移而使晶粒有破碎，产生碎晶。

鋼在常溫下变形时，其金屬結構的机械性能也有了显著的改变，如图 4 所示，随着变形程度 $\left(\epsilon = \frac{H-h}{H}, H\right.$ ——变形前胚料高， h ——变形后胚料高 $\left.)\right)$ 的增加强度極限及硬度上昇，而延伸率及冲击强度降低。

鋼在常溫下变形时硬度升高是由于变形后晶格与晶粒均产生了扭曲，有了内应力使原子处于高位能的状态，因此要金屬繼續变形就需要更大的外力。同时由于晶粒与晶粒

之間产生了碎晶阻碍晶間滑移的摩擦阻力增大，也就增加了变形的困难。这种随变形程度增加而硬度上升的現象称（加工硬化）或（冷硬現象）。

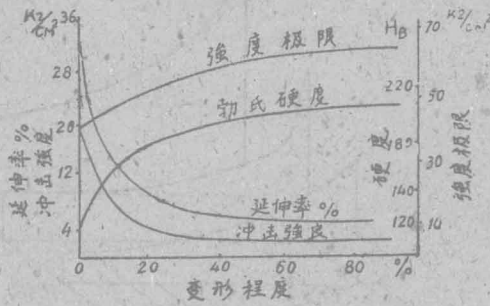


图 4 冷变形对低碳鋼机械性能的影响

冷硬現象并不是一个稳定的現象，它是可以用热处理的方法消除的。

硬化后的金屬将其溫度加热到該金屬的绝对熔化溫度的 0.25 到 0.3 倍时，即

$$T = (0.25 \sim 0.3) T_{m.}$$

T ——金屬恢复溫度

$T_{m.}$ ——金屬的绝对熔化溫度。

由于热能的提高使晶格因变形而产生的扭曲消失，原子恢复正常排列。如图 5 第Ⅱ段所示。因而使由于晶格扭曲所产生的应力也消失，这就部分的消除了硬化現象，这个現在叫恢复。这时的溫度叫恢复溫度。

当溫度繼續增加到該金屬绝对熔化溫度的 0.4 倍时，即

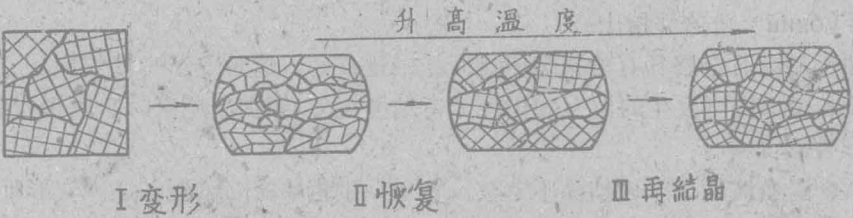


图 5 恢复及再結晶示意图

$$T = 0.4 T_{m.}$$

T ——金屬再結晶溫度

$T_{m.}$ ——金屬绝对熔化溫度。

金屬内部的碎晶开始围绕某一核心組成新晶粒并长大，（如图 5，第Ⅲ段所示）从而消除了碎晶及晶粒的扭曲，这种現象叫再結晶，这时的溫度叫再結晶溫度。再結晶能全部的消除内应力及硬化現象。

当金屬在較高溫度下受力变形时硬化現象也是同样会出现的，不过这时的硬化現象随时都被再結晶作用所克服。故在高温变形时金屬都具有較高塑性而无硬化現象。

在高温下变形的金屬由于再結晶的存在能保証金屬具有較好的塑性，同时也使晶粒細化，晶粒的大小是决定于金屬的变形程度及变形溫度。图 6 就是說明晶粒大小，变形程度和溫度之間关系的再結晶立体图。

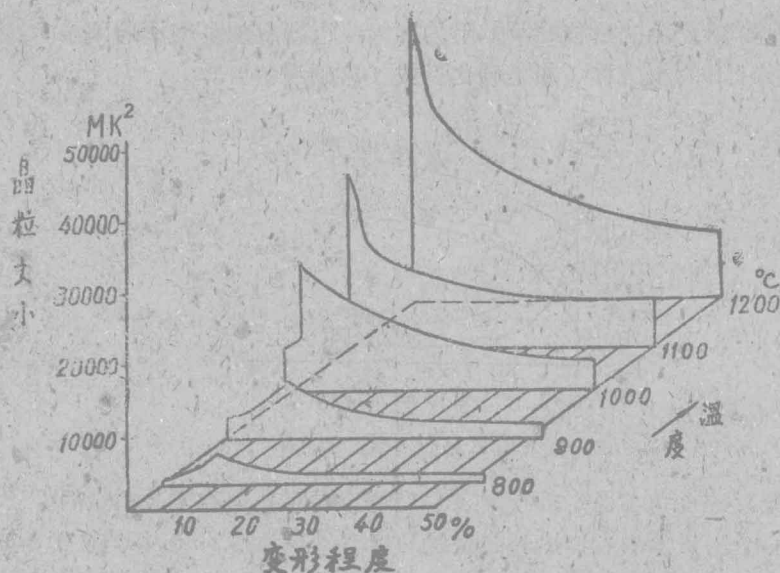


图 6 碳鋼 C-0.3% 在鍛造时的再結晶立体图 (拉斯嘉加也夫)

从再結晶立体图中可看出在較高的一定的溫度时，在变形程度为 10% 左右晶粒由小突然剧烈增大，这时的变形程度为临界变形程度，在临界变形程度之后随着变形程度的增加晶粒变小。另外也可看到在一定的变形程度下晶粒随溫度的升高而长大。根据以上的关系，我們就可以控制变形程度及溫度以获得晶粒極小的成品，因为細小晶粒的另件其机械性能比大晶粒的另件要好得多。

压力加工理論方面最卓越的苏联研究家之一，別洛露西亚科学院院士古毕金 (С.И.Губкин) 曾这样指出：

在加工結束时金屬具有再結晶組織而无硬化痕跡，这种变形叫热变形。

如果和变形同时发生的只有硬化并无再結晶現象，而加工結束时金屬帶有硬化組織，这种变形叫冷变形。

如果金屬变形結束时再結晶不完全，而帶有硬化痕跡的組織，这种变形叫不完全的热变形。

金屬只有在热变形的情况下才能以較小的功而达到較大的变形，同时获得的另件是具有高机械性能的再結晶組織，因此对于金屬压力加工來說是希望用热变形来获得成品而避免用不完全的热变形及冷变形。因为使用后者無論从工艺和成品質量上看都是不利的。但是对某些特殊鋼材的零件，为了提高其机械性能必須进行不完全的热变形或冷变形。

三、金屬在冲击力 and 壓力下的變形

前面我們研究了金屬在不同溫度条件下的变形所具有的特征，現在我們再看一下不同作用力，即冲击力和压力下金屬变形时所具备的特点。

金屬变形的快慢是可以速度的概念来表示的。变形速度 U ，就是单位時間內的变形程度 ϵ 。写成数学式如下：

$$U = \frac{\varepsilon}{t}$$

U ——变形速度。 ε ——变形程度。 t ——变形时间。

在一定变形程度下，金屬受冲击变形所需时间 t_1 ，比压力作用时所需时间 t_2 自然要小得多，这也就是说在一定的变形程度下冲击力作用时的变形速度比压力作用时的变形速度要大。即

$$U_{\text{冲击}} > U_{\text{压}}$$

在金屬变形过程中随着变形条件的改变，金屬反抗变形的力量变形抗力，也有所改变。而其中变形速度对变形抗力有着显著的影响。如图 7 所示随着变形速度的增加变形抗力也增加。

变形抗力随变形速度增加而上升的现象可用前节的硬化现象理论加以解释。变形速度大，也就是单位时间内的变形程度大，变形愈大，硬化产生愈严重，因此变形抗力上升。即使是在高温有再结晶能克服硬化现象，但由于硬化现象必首先形成，速度大时硬化严重，再结晶不能即时全部克服掉硬化现象，故变形抗力仍然会有所增加。

联系前面冲击力与压力对变形速度的关系和变形速度对变形抗力的关系中我们可得到这样一个概念，即冲击力作用下的金屬变形抗力是比压力作用下的金屬变形抗力大。

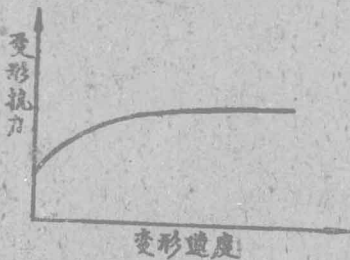


图 7

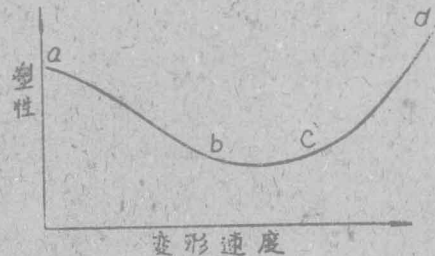


图 8

实际生产中的经验也证明了前面的理论是正确的。一般在锤上（冲击力）的金屬变形抗力比压力机上（压力）的金屬变形抗力大 2~3 倍。

在变形过程中作用于結晶組織内部的机械外力的功，会由于晶格扭曲，晶粒滑移等能的改变而转化为一定程度的热能。它們在变形中所起的影响作用叫热效应。热效应能使变形物体之温度升高。当变形速度愈大时，热效应愈大，金屬温度也愈高，因而塑性也就增加。

在上面我們曾提到变形速度的增加会引起变形抗力增高。

由此可知，变形速度对变形抗力及塑性变化之影响是有着双重意义。一方面速度能增加变形抗力而促进了塑性下降，另一方面由于热效应的结果，而使塑性上升。

图 8 所示曲线说明了变形速度对塑性的影响，当速度较小时，热效应不大引起了塑性下降（ab 段），以后速度增加热效应增大，引起了塑性的上升（cd 段）。

四、壓力加工時金屬變形的規律

掌握与了解在压力加工时金屬变形的规律是一个极其重要的问题。因为只有掌握到

金屬变形規律后才能控制金屬的变形以使其达到预期的效果，也只有了解到这些規律才能正确地制訂各种工艺过程及設計与运用各种加工工具。

根据实验証明金屬在压力加工变形前后其体积仅有極其微小的改变，这种微小的改变在工程上是可以忽略不計的。故我們可認為金屬在变形前后其体积不变，而为一常数

$$L \cdot B \cdot H = L' \cdot B' \cdot H' = \text{常数},$$

L, B, H —— 变形前金屬长，寬，高。

L', B', H' —— 变形后金屬长，寬，高。

金屬变形时由于金屬的流动就使得金屬与工具的接触面之間产生摩擦力。如图9a所示工具对于金屬所产生的摩擦力 T 的方向永远和金屬流动方向相反，因此在直柱体金屬进行鍛粗变形后侧面成鼓形。

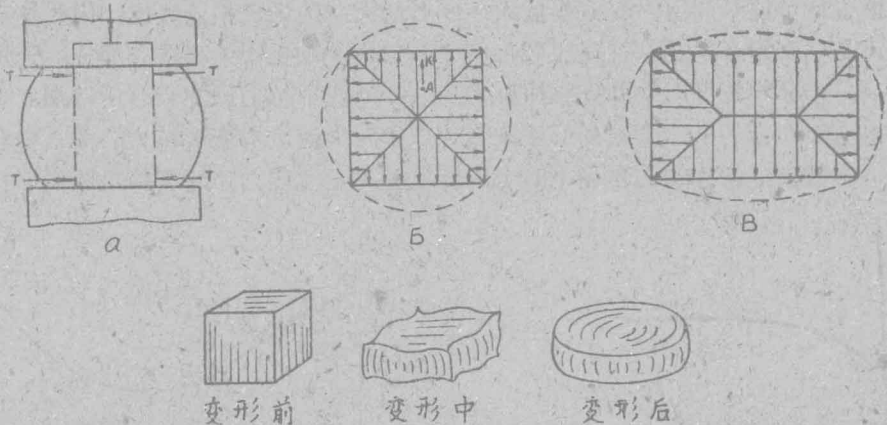


图 9 立方体鍛粗变形过程

为了更清楚和全面的了解金屬变形規律我們再从变形金屬的主軸向研究其流动的方向。如图 9 B 所示，当一方形断面金屬在受压后其断面形状会逐渐变成圆形。为了解这种现象不妨研究一下質点 A (图 9 B 中) 在变形时流动的必然方向。点 A 在受压后必然要沿某一定方向流动。A 点向任何方向流动时其摩擦阻力均相等，但所流动的距离除 K 向外，其余三个方向均較大，也就是說除 K 向之外其余三个方向流动所需的功均較大， K 向需功最小。根据一般自然規律物体运动必然沿最小功的方向运动。因此 A 質点的运动一定是 K 向。同理在正方形对角綫所划分的其它区域内各質点也垂直週边向外运动。这就不难理解到为什么正方形会逐渐变成圆形，而长方形 (图 9 B) 会逐渐变成橢圆形，而最后也必然变成圆形的道理。

五、壓力加工后金屬的組織及性能

金屬錠料是金屬压力加工最原始的材料。

經過压力加工能够消除錠料原始树枝状目見組織，偏折及将不太嚴重的疏松，气孔等压合，因而提高了金屬的机械性能：冲击强度 α_K ，截面收縮率 φ ，延伸率 δ 和疲劳極限 σ_r 上昇，而对强度極限，屈服極限和比例極限实际上没有什么影响。

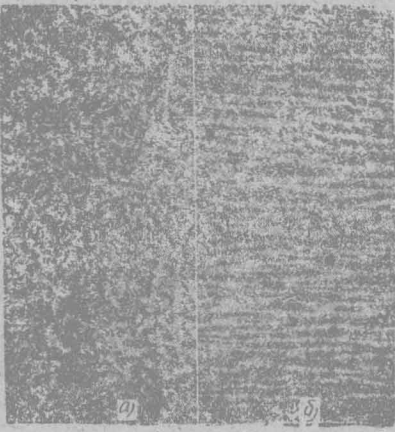
在压力加工时由于金属定向流动使晶粒顺向排列并伸长，组成新的带条状组织，即所谓纤维组织。这种纤维组织的目见组织首先在钢锭的中心部分形成，这里树枝状结晶的轴线方向是和钢锭轴线成任意的角度，其后随着变形程度的增加，它们便扩大到钢锭的周边部分，这里的树枝状结晶的轴线方向垂直于钢锭外壁。

纤维组织形成的程度决定于锻造比。

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

- Y_K ——锻造比，
- F_0 ——加工前胚料断面积，
- F ——加工后胚料断面积。

苏联科学技术博士苛尔涅夫(Н.И. Корнеев)曾确定：根据锻造比所量得的变形量大小，纤维组织的目见组织形成的过程如下表所列：

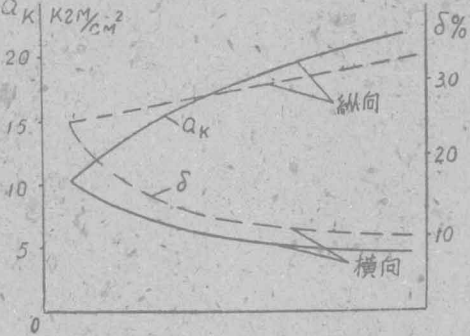


a——铸钢 б——拉变形后的钢

图 10 钢的目见组织

锻 造 比	钢 锭 中 心 部 分 (杂乱的树枝状结晶)	钢 锭 周 边 部 分 (柱状树枝状结晶)
1—3	纤维质目见组织形成	树枝状结晶明显地离开它们原来在钢锭中的方向
3—6	纤维质目见组织	纤维质表现得很明显但所用的树枝状结晶并不趋向于金属流动的方向。
10 和 10 以上	沿所有的断面纤维质组织都是均匀的，明显的。	

由原始浇铸的钢锭经热压力加工后获得的金属纤维目见组织是十分稳定的。无论热处理或再经压力加工都不可能把它破坏。但当以后的压力加工时，采用了不同的变形方法，直线的纤维方向可以变成曲线的纤维方向。



a_K 冲击强度 δ 延伸率

图 11 锻造比对机械性能的影响

纖維組織的形成也造成鋼材機械性能的方向性。順纖維組織方向性能上升，而纖維組織的橫向性能下降，圖 11 中即可看出隨着鍛造比的增加，即纖維組織愈明顯，縱向的 σ_k , δ 上升，橫向 σ_k , δ 下降。

因此為了獲得具有該鋼最好的機械性能的另件，無論在設計或在擬定製造另件的工藝過程時，必須考慮壓力加工的金屬纖維組織和機械性能的方向性。必須使另件工作時的最大正應力的方向和纖維方向重合，最大剪應力的方向和纖維方向垂直。此外不得切斷纖維而且必須使其與另件輪廓付合。

例如，由軋壓桿料用切削方法製造齒輪（圖 12 a）上面應力方向和纖維平行不好。當由扁料模鍛齒輪時，（圖 12 6）各齒的纖維方向不一樣，齒 1 順纖維工作，合理，齒 2 平行於纖維工作，不合理。當用鍛粗軋壓桿料方法鍛造齒輪時（圖 12 6）其各齒的纖維方向都很好。

圖 13 a 上的曲軸沒有鍛出曲柄軸頸而用切削方法切去 1 部多余金屬而成曲柄軸，結果使纖維切斷及曲柄上的纖維與受力方向垂直，不好。當用彎曲方法製造曲軸時（圖 13 6）纖維與外形付合，曲柄上的纖維與正應力方向重合，另件強度好。

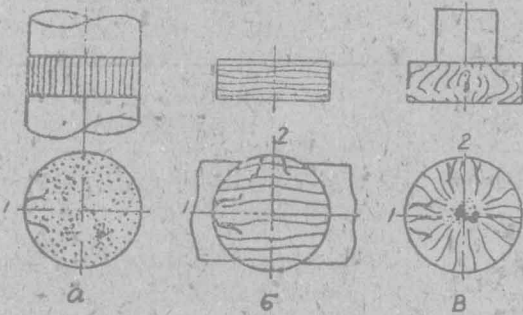


圖 12

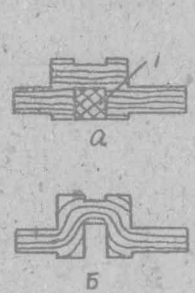


圖 13

第二章 金属压力加工时的加热

一 引言

加热能够改变金属的性能，随着温度的提高金属的变形抗力下降，塑性上升；这样金属的可锻性就愈好。因此，为了取得较好的变形条件就必须进行加热。

金属的加热在整个生产过程中是一个重要的环节。它之所以重要是因为加热直接影响着生产率，产品质量及金属有效利用等方面。

在实际生产中加热时间往往占据整个生产过程的大部时间。对于一些较大锻件加热时间达几十小时，因此缩短加热时间就能大大缩短生产周期，发挥锻压设备的能力，从而提高生产率。

在加热过程中金属表面一般地容易产生氧化现象，操作不良时甚至会发生熔化现象及热应力，而这些都直接影响到产品质量。

加热中所产生的氧化皮是一种硬脆而无用的铁皮，它是一种损耗，在苏联每年大约有近万吨的钢铁被作为氧化铁皮而耗损掉，这是一个惊人的数字，因此设法减少氧化铁皮的损耗就能节省大量金属。

一个合理的加热过程必须保证：在坯料沿断面及长度加热最均匀的情况下，在最短的时间内获得坯料所需温度，保持金属的完整性，同时金属及燃料的消耗最少。

如图14所示金属是在高温的炉气中加热，在加热过程中炉气及炉壁的热能是依幅射和对流而传给金属表面。理论及实验的证明在高温炉中绝大部分热能系依靠幅射传热，而对流属于次要。金属表面受热后，以传导方式将热传向中心，热传导是由于坯料原始温度和炉膛温度的温度差而引起。



图 14 金属在炉中加热

二、金属的加热及加热规范

金属在加热时会出现下列现象：

一、金属组织及性能的变化：金属的变形抗力下降，塑性上升。这是被实验所证实的现象，图15所指出的是含碳1%的钢加热时机械性能变化曲线。

这种性能的改变是由于金属原子受到了大量热能的影响，使其处于一种极为活动的状态下。同时加热温度超过钢的相变点 A_c 后金属组织已转变成奥氏体。高温下的奥氏体是一种较软塑性较高的组织。

二、氧化及脱碳：由于加热炉的炉气中含有氧气，水蒸气及氧与其它元素的氧化气体，因而使得加热金属与氧产生化合作用而形成氧化铁。氧化铁生成的多少与加热时金属表面温度、炉气成分、加热时间及金属表面对体积之比有关，理论及实践证明金属表面温度愈高，炉气中含氧愈多，加热时间愈长及金属表面愈大（如板状金属）则氧化铁

生成愈多，反之則少。

在高溫下随着氧化的同时在金屬表层有脱碳現象出現。脱碳是在加热过程中金屬表层一部分碳被烧失而使其含碳量下降的現象。

脱碳的多少及脱碳层的厚度与爐气成分，加热溫度及金屬化学成分有关。爐气中的 H_2O ， CO_2 ， O_2 ， H_2 等促进脱碳的形成。加热溫度愈高，鋼中含碳量愈高則脱碳愈快。

三、过热与过烧：当加热溫度超过 A_{c3} 轉变点，也即是金屬組織完全变成奥氏体后仍然繼續升溫加热，則随着溫度的上升金屬的晶粒即开始长大；在超过一定临界溫度后，晶粒即巨烈长大。这种金屬具有大晶粒的現象叫过热。

过热現象会使金屬的机械性能下降，它可用退火及多次鍛造的方法糾正。

如果加热金屬長時間在过高的溫度內加热，則爐气中的氧会在高溫下滲入金屬內部組織中，在晶界上产生氧化层，使金屬晶粒与晶粒之間失去机械鎖链力。因而在压力加工时外力作用下即发生破裂，这种現象叫过烧。

过烧的产生与加热溫度、保溫時間及爐气成分等有关。由于过烧所造成的缺陷是无法挽救的，一經发生后金屬胚料只有报废。

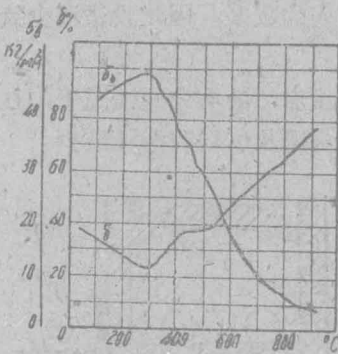


图 15 含碳量 1% 鋼的机械性能随溫度的变化

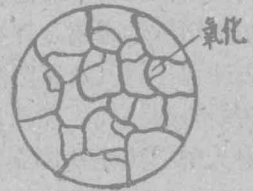


图 16 过烧时晶界氧化示意图

四、热应力：我們都知道金屬的物理性能之一就是随着溫度的增高而膨胀。膨胀的情况随金屬的膨胀系数而定。由于金屬都具有一定的导热系数，也就是金屬表面受热后将热传向内部須經過一段時間，这就造成了同一块金屬內外的溫度差。溫度差的存在就使得同一块金屬內外的膨胀程度不一致，从而造成內应力，这种应力就叫做热应力。

金屬内部的热应力超过其本身的强度極限时就会使加热胚料发生裂紋甚至炸裂的危险。为要避免过高的热应力就必须控制加热时爐溫与金屬間的溫度差。一般地不超过 $150^{\circ}\sim 200^{\circ}\text{C}$ 。

从上述的現象中可看出金屬的加热是一个复杂的技术过程，在加热过程中必須控制一系列的因素以避免和减少上述的不良現象。为此在实际生产中就必须制定适合各种鋼材及不同要求的加热规范。

在制定加热规范时首先应当确定始鍛溫度与終鍛溫度的加热溫度范围。

始鍛溫度一般应在固相綫（即鉄碳平衡图的 AE 綫）以下約 $100\sim 150^{\circ}\text{C}$ （如图

17 所示)

鋼和其他合金压力加工时最好在单相組織中进行, 因为这时所有晶粒具有同一成分和性能, 能够避免加工时由于組織不同而造成 的不均匀变形。对过共析鋼鍛造是在奥氏体和渗碳体两相組織中进行, 在奥氏体晶粒周围包有薄层渗碳体、但它在鍛造中可以击碎, 而不至于影响到金屬均匀变形。

終鍛溫度取在 GSE' 附近 (图 17) 約 800°C 。 过低的終鍛溫度会造成塑性不良, 变形困难等問題。而終鍛溫度过高时, 会因停鍛后晶粒在高温下繼續长大使鍛件获得粗大晶粒而降低其机械性能。

始鍛溫度及終鍛溫度的具体数字可參看下面。

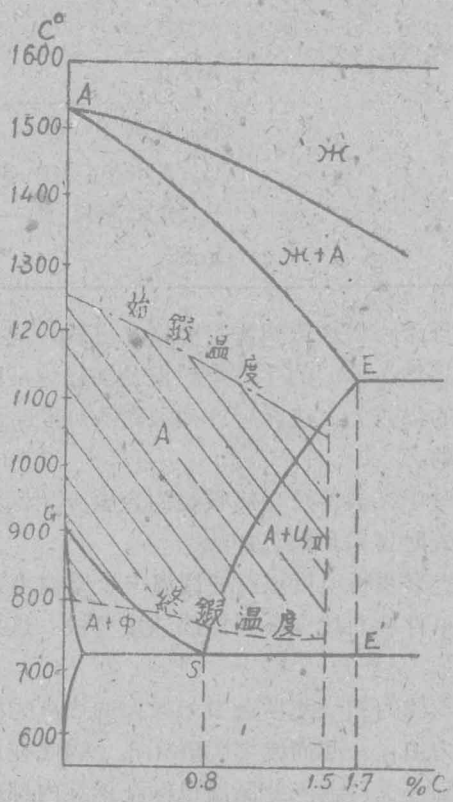


图 17 鍛造溫度范围

鍛造溫度范围

(根据苛尔涅夫和毕苛夫 Р.С.БЫКОВ)

合金种类	化学成分的性質或牌号	溫度 (°C)	
		始 鍛	終 鍛
碳 素 鋼	0.3%C以下	1200~1150	800~850
	0.3~0.5%C	1150~1100	800~850
	0.5~0.9%C	1100~1050	800~850
	0.9~1.5%C	1050~1000	800~850
合 金 鋼	低合金鋼	1100	825~850
	中合金鋼	1100~1150	850~870
	高合金鋼	1150	870~900
鋁 合 金	Д1	470	350
	АК2, АК1, АК5, АК6	490	380
	АКВ	470	400

鎂合金	MA1, MA2	430	350
	MA3	400	300
	MA5	370	300
銅合金	Бр. АЖ 9—4	850	700
	Бр. АЖМц 10—3—185	850	700
	Бр. АЖЖН 10—4—4	850	700
	лс59	750	600

將冷胚料加熱到所需溫度之過程，應當在保證質量的前提下，採用較快的加熱速度以提高鍛造車間的生產率。但是加熱速度的提高會引起胚料內外溫度差的增大，因而出現大的熱應力，這就有產生裂紋的可能。故在加熱時須決定一個合理的加熱速度是極為重要的。

對於大鍛件及導熱較慢的金屬應用低的加熱速度。相反，鍛件較小，金屬的導熱性能很好時可採用快速加熱。

提高爐膛溫度以造成爐溫與金屬溫度之間較大的溫度差即能達到快速加熱的目的。同時單件胚料比多件胚料加熱速度要快。這是因為單件胚料加熱時受熱面積較大（如圖18所示）。

較快的加熱速度會引起較大的熱應力。這種應力特別在金屬通過組織轉變時會與組織應力加在一起而使金屬破壞。因此在加熱大型鍛料時加熱的第一階段應採用緩慢加熱，並應進行適當的保溫以保證鋼錠內部組織轉化完全。在第二階段因金屬已具有高塑性，不致再有爆烈現象出現，這時可以盡加熱設備所能達到的最大升溫速度進行加熱。到達始鍛溫度再行保溫，使金屬內外均勻熱透後即可出爐進行壓力加工，圖19即示大型鍛料的加熱曲線。

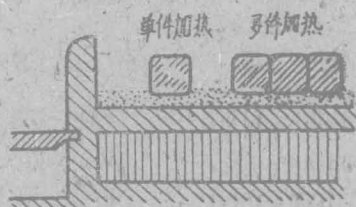


圖 18 單件加熱和多件加熱

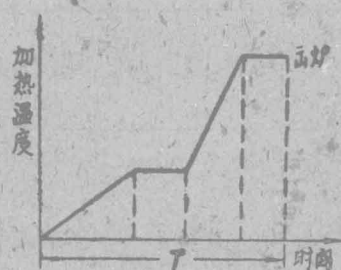


圖 19 大型鍛料的加熱曲線

整個加熱時間之值，可用蘇聯烏克蘭科學院院士道伯羅哈托夫（Н.Н.Доброхотов）的經驗公式計算。

$$T = KD\sqrt{D}$$

T —— 加熱時間（小時）

D —— 胚料直徑（公尺）

K —— 係數，碳鋼及低合金鋼取12.5；高合金鋼取25。