

大型鍛件 鍛造工藝規程

多洛霍夫、茲拉特金合著



机械工業出版社

大型鍛件鍛造工藝規程

多洛霍夫、茲拉特金合著

机械工

316-65

1

大型鍛件 鍛造工藝規程

多洛霍夫、茲拉特金合著

蕭洪芳譯



機械工業出版社

1957

出版者的話

本書敘述烏拉爾重型機器制造厂鍛造重型掘土机、鑽探机、軋鋼机、起重機、压力机、动力机械、化工机械及其他設備的大型鍛件的經驗。鍛件依其外形、所用鍛造工具及所用鍛造工序的差別，而分成典型的类别和組別。按照每类鍛件給予概括的敘述，並举出了工艺計算的例子。

鍛件的金屬消耗量、鍛造劳动量定額、鍛造程序、每火中工序的分配、以及鍛造所需的主要工具、夾具和設備，均在工艺卡上指出。

本書供機器制造工厂的工程技術人員及中等、高等技術学校鍛工專業的学生应用。

苏联 Н. Н. Дорохов, М. Г. Златкин 著 'Технологические процессыковки крупных поковок' (Машгиз 1950 年第一版)

* * *

NO. 1203

1957 年 6 月第一版 1957 年 6 月第一版第一次印刷

787×1092 $\frac{1}{18}$ 字数 209 千字 印張 9 $\frac{1}{9}$ 0,001— 5,300 册

机械工業出版社(北京东交民巷 27 号)出版

机械工業出版社印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 号 定价(10) 1.40 元

目 次

原序	4
第一章 水压机工場合理生产的一般条件	5
1 鍛件和鋼錠重量的确定	5
2 主要和輔助工序的机械化	8
第二章 鍛件的分类和鍛造工艺的特点	16
1 第一类鍛件	17
2 第二类鍛件	26
3 第三类鍛件	34
4 第四类鍛件	39
5 第五类鍛件	44
6 第六类鍛件	47
7 第七类鍛件	49
附录 大型鍛件鍛造工艺卡	52
附: [水压机鍛造] 一書中的有关資料	161

原 序

作者的目的是在於通过關於大型鍛件鍛造工艺問題的闡述，在各方面介紹烏拉尔重型机器制造厂在鍛造方面的經驗、改进工艺的途徑和所采用的工艺計算方法。

在工厂中所制訂出来的計算方法和工艺計算数据，在战后时期促进了鍛造成品率的显著增長，並簡化了工艺規程的制訂。在这里所以要列举出一些具体的工艺計算，是因为生产人員通常在根据某些書上所敘述的方法反复进行鍛造工艺过程的計算时，往往不能得到一致的结果。

产生上述結果的原因，是由於缺乏統一的方法和足够数量的、已在实际生产中証实了的計算数据。因此在每一个工艺規程中都存在着很多不明确的地方，这些地方也就是制訂工艺規程的工艺师的个人意圖不一致的地方。

本書列举了一系列工艺上的关系，这些都是作者根据多年的实际經驗和現場数据的分析而制訂的。將鍛件分成类及組的目的，是在於建立鍛件分級的基础，以便有可能去比較苏联各工厂鍛造同类鍛件的结果。

作为鍛件分类的基础是：鍛件形状的一致、主要鍛造工序所用工具的相同，以及工艺操作上的一致。

每类鍛件的总論以及表明金屬材料在加热到鍛造溫度后所能鍛造的工作量的数据，可作为在用各种工艺方法鍛造各种鍛件时，研究鍛造先进定額問題的基础。在作者所著「水压机鍛造」(Ковка подгидравлическими прессами, Машгиз 1947 年出版)中刊出的主要数据，在好多地方，不再在本書重复[●]。

但为考虑到鍛工專業工作者的需要，在某些有关工艺关系的問題上，本書还是列举了上書的一些数据。

所列各种鍛件鍛造工艺卡是按通用的鍛件分类法归类的；並在工艺卡中列有必需的工艺数据，以供比較或作别的工艺設計之用。工艺卡上的零件草圖用粗加工尺寸或精加工尺寸表示。

为使工艺卡縮小並使其更清晰起見，將鍛造中所采用的主要工具和夾具单独列表。

鍛造中所采用的工具和夾具，在工艺卡上仅标出其圖号或表号。在引用参考書籍时，則在號碼上加方括弧。本書中所用鋼錠是和本書第二章末所列的工厂規格(以重量划分)一致的。

利用金屬剩料鍛成工具或將其拔長(代替型鋼)，因篇幅限制，在工艺卡中不予說明。这在現今实际生产中是尽可能地广泛加以利用的。

因为本書是敘述上述內容的一个嘗試，並且在書中还包括一系列分析現場結果而得的工艺方法和数据；作者期待对本書缺点的指正。

● 为了便於讀者查閱，特將「水压机鍛造」(已由机械工業出版社出版中譯本)一書中与本書有关的圖表資料附於書末。——譯者

第一章 水压机工場合理生产的一般条件

产品成本及劳动生产率是水压机工場作業的主要指标。

材料的价格是鍛件价格的主要部分。所以必須考虑並尽一切可能来減低材料的消耗。

劳动生产率决定於：繁重鍛压过程机械化的程度，新的工具和夾具在生产中的制作和运用，斯达哈諾夫鍛压工經驗的总结和交流，以及适当的生产組織。

鍛造工艺过程应制訂得使材料消耗最少，同时所費劳动量也是最少。

以下簡述鍛件重量和鋼錠重量計算方法的基本原理，和保証採用合理而有效的鍛造方法及很高的設備利用率的最重要的措施。

1 鍛件和鋼錠重量的确定

直到現在，在水压机車間的实践和文献中还没有計算鍛件重量和鋼錠重量的統一方法。

在某一些厂是照公称尺寸来計算鍛件重量；而另一些厂則在計算中又会考虑鍛件某些部分的正公差或者是全部公差。

人們常照成品率表来确定鋼錠重量。而該成品率表是以鍛件重量或以鍛件形狀为基础組成的。如是前一种情形，在計算时可不考虑鍛件的形狀和尺寸；而如是后一种情形，則要考虑鍛件尺寸。

由於缺乏統一的計算鍛件重量和鋼錠重量的方法，因此难於衡量水压机車間作業的成績；以致引起材料的过量消耗和作業成績的不真实。

鍛 件 重 量

在所有情况中鍛件重量照鍛件的公称尺寸来計算。多年工作的經驗証实採用公称尺寸来計算是行得通而且是妥善的。在該种情况中鍛压工由於沒有很多余的材料儲备，因此必須將鍛造尺寸保持在和公称尺寸非常接近的範圍內。

通常在鍛件的个别截面上由於材料的缺陷必須鍛成正公差，这时材料也不会不够。首先材料在該段上的过度消耗能被鄰近一段鍛成負公差所补偿；其次因为受到鋼錠規格的限制，实际上总是选用最接近而稍大的規格，照例在鋼錠上有一些材料儲备。

在确定鍛件重量时，应計及在大小截面轉变处由於構成斜角而須加出的金屬。在兩截面差別較大时，該部分加放的材料也有相当大的体积。

對於圓截面鍛件，加放材料体积可照下式計算：

$$V = (D - d)^2 (D + 2d) \times 0.023,$$

式中 V ——加放材料体积; D ——最大的直径; d ——相邻直径。

为计算迅速起见,可利用图1所示的图解。

廢料重量

在水压机上鍛造时产生下列廢料:

1. 冒口料头;
2. 錠底料头;
3. 燒蝕;
4. 冲芯料头 (芯耗);
5. 端部切头;
6. 套桿或操作机所需料柄

(以鋼錠有用部分鍛成料柄者)
造成的料头。

燒蝕在第一次为2%,以后
每火(完全加热到鍛造温度)为
1.5%。

冒口料头和錠底料头視所用
鋼錠种类而定;通常分别为鋼錠
重量的18~20%和3~5%。

端部切头視鍛件的形状和尺
寸而定,可用下式计算,結果相
当准确:

对于矩形截面 $V = 0.28B^2H$,

$$G = 2.2B^2H,$$

对于圆截面 $V = 0.21D^3$,

$$G = 1.65D^3,$$

$$l = 0.4D。$$

式中 V ——切头体积(公寸³);

G ——切头重量(公斤);

l ——切头长度(公寸);

H ——鍛件高度(公寸);

B ——鍛件宽度(矩形截面中較長的一边)(公寸);

D ——鍛件直径(公寸)。

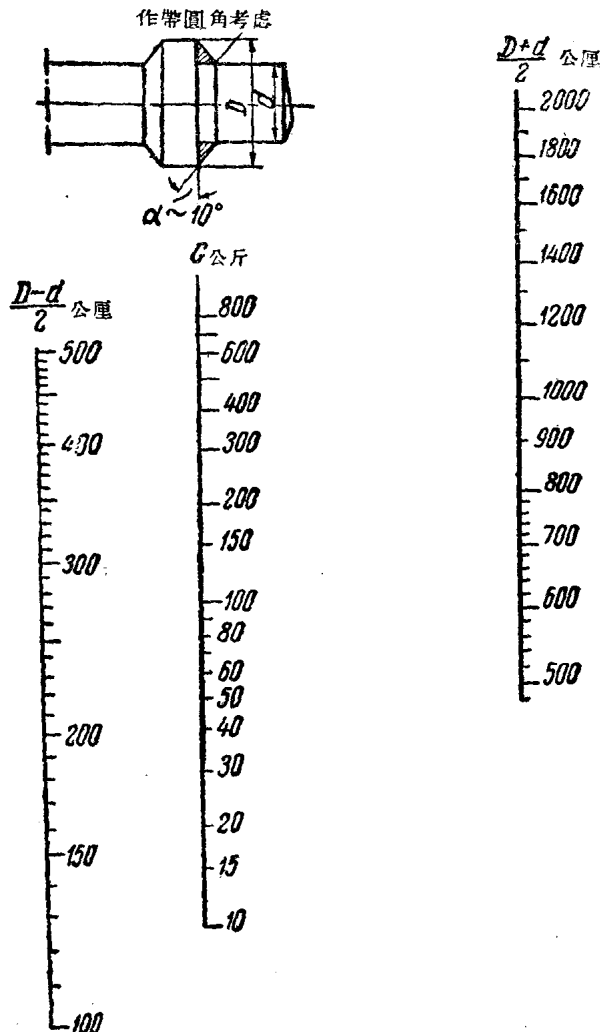


圖1 确定在大小截面轉变处材料加放重量的图解。

鋼錠重量

照下列順序来确定鋼錠重量:

1. 确定鍛件的重量。
2. 确定端部切头、芯耗、燒蝕和套桿或操作机所需料柄(在鋼錠的有用部分上)各項所成廢料的重量。

3. 使該工艺过程中鍛件重量和廢料重量的总和等於鋼錠預鍛后进行分段时所能利用材料的最大百分数〔[水压机鍛造]〕。通常該百分数是从鋼錠中(將其作为100%)除去冒口、錠底和在分段前的燒蝕各項廢料而得。

4. 从下一方程式中可确定所需鋼錠的理論重量:

$$G_{ca} = \frac{(G_n + G_o) \times 100}{n},$$

式中 G_{ca} ——鋼錠重量;

G_n ——鍛件重量;

G_o ——廢料重量;

n ——鋼錠在預鍛后进行分段时材料最大允許利用率。

5. 按工厂中的鋼錠規格选择最接近並稍大於計算重量的鋼錠。

在上述計算方法中, 成品率並不是用作确定鋼錠重量的基础, 而是在鋼錠算出、採用后才确定的。

在个别情况下, 如果由於計算所得的鋼錠重量和照現有規格选用的鋼錠重量之間有很大的差別因而得到很低的成品率时, 則可將一个鋼錠中鍛成的鍛件数量增大来提高成品率。这样就可減少鋼錠分攤到每个鍛件上的廢料数量。把几个鍛件組合起来, 通常能使选用的較大鋼錠得到較高的成品率。鋼錠重量的增加还会有利地影响到其他的技术經濟指标——減少加热次数和燃料消耗量, 縮減主要和輔助操作時間。譬如說, 在用4吨鋼錠鍛造模塊时, 如尽量提高从該鋼錠中鍛成的鍛件数量可使平均成品率提高至60.8%。而在以往用4吨鋼錠鍛造模塊, 將从鋼錠鍛成的鍛件数量限制在二件以內时, 成品率仅为56.8%。

但是鋼錠重量的增加不应使其影响鍛件質量。

在許多情况中, 冒口或錠底能适当地利用作为端部切头。如果在鋼錠本体下端沒有通常由於直接从鋼水包子上鑄鋼錠时所产生的裂縫时, 那末錠底是允許被利用的。

通过中間漏斗来澆鑄鋼錠时, 照例在鋼錠体底端是不会呈現裂縫的, 錠底材料就可以在鍛件最后切头时作为端部切头的一部分。

在鋼錠截面很大时, 端部切头的重量是很可觀的, 如何利用該部分廢料作为鍛件該是耐人寻味的。在卡4及卡33所示的鍛造錘头和軋身的工艺規程就是合理利用切头的例子。在錠底端的材料在从前是切去的, 而現在却直接用作鍛件。

用新旧方法鍛造錘头和軋身时, 在材料利用方面的比較列於表1。

在所有情况下均应力求將端部料头拔長成較小的截面, 以便在錘上进行自由鍛造而进一步利用該部分材料。因此合理的利用端部料头和准确地增加从一个鋼錠上鍛成的鍛件数量是提高成品率的主要泉源。

表 1

項 目	錘 头		軋 身	
	旧 方 法	新 方 法	旧 方 法	新 方 法
鍛件重量(吨)	23	23	30.4	30.4
鋼錠重量(吨)	50	40	73	48
成品率(%)	46	57.5	41.7	63.4

2 主要和輔助工序的机械化

在單件生产性質的机器制造厂中的水压机工場內，通常設置着成組的蒸汽水压机，排列成一条直綫。而砌有蓄热室的室式加热爐同样也排成一直綫，和水压机綫平行。

鍛造时借助於裝有平衡重的套桿，該套桿靠悬在桥式行車上的翻轉机来轉动。几台电动桥式行車均安在同一高度的行車軌道上。

鍛件用有軌平車和桥式行車来运输。

極大多数鍛件都是以下列热加工过程制成的：熔煉——鍛造——冷却並进行热处理（正火，退火）。

热鋼錠是用襯砌好的平車（鋼錠保温車），盖在絕热罩中从鑄鋼車間运到鍛工車間並立刻裝到加热爐中。

用套桿来鍛造时，水压机上需使用兩台行車，一台鍛造行車和一台輔助行車，后者完成所有輔助工序：运送鋼錠、放置工具、收拾鍛件及廢料等等。在完成上述这些工序时輔助行車需要进入鍛造行車工作的区域内，这样会迫使鍛造行車讓开而使水压机停歇。

採用自行平車（圖 2 a）順着跨間来运送鋼錠和鍛件，可显著減少因輔助行車进入鍛造行車工作区域内以致水压机停歇的次数。平車有四对車輪，其中兩对由电动机傳动。

兩对傳动的車輪可使平車循着中断而未敷設过樑的铁軌通过活动爐底的地溝。兩对輪子之間的距离应使一对傳动輪在地溝上时，能由另一对傳动輪使平車走动（圖 2 b）。从前所採用的电动平車在通过地溝上的铁軌过樑时常常出軌。

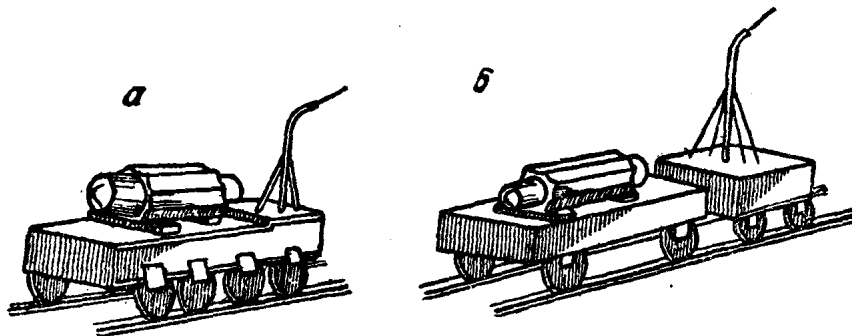


圖 2 電動自行平車。

在鍛造体积很大的金屬和使用大工具时，完成輔助工序的时间（調整，夾料，拿工具）在个别情况下佔到制造鍛件总时间的 50~60%。尤其在採用手工操作时（虽然費力不太大时），所費时间更多。这是因为大多数手工操作都是在相当距离外通过中間媒介物（鈎子，撬棍，鏈条，鉄棒等）来进行的，以至使控制工作物非常复杂。

由於在水压机上裝置了特殊的夾具或改进了普通夾具，手工操作便可大为減少。除了在作者所著的「水压机鍛造」一書中所說的夾具外，現在广泛採用的有以下几种：

1. 新式夾鉗（圖3）：用来夾持齒輪形的鍛件和坯料。

改良的部分在於裝有特殊定位器1，該定位器联結於鉗子联結螺絲2上，並可靠上面之孔来調節定位器的高低。定位器有很寬的底，可防止在夾持工件时鉗子的傾側。有小鈎的鉄环3用来使鉗子一直張开。

2. 特殊夾鉗（圖4）：用来夾持高度不大而直徑很大的坯料。夾鉗由弯曲的槽鋼1組成。在槽鋼脚上开有長槽以容入螺栓2。螺栓2联接槽鋼和Z形之夾板3；而夾板3則由兩塊平行的鋼板制成。夾板的一端焊上一塊工作面上切有齿紋的板条4使之相連，在另一端上則用耳环5相連。耳环5則和吊在行車上的鏈条相連。在槽鋼1上焊上一塊型板7，而在型板

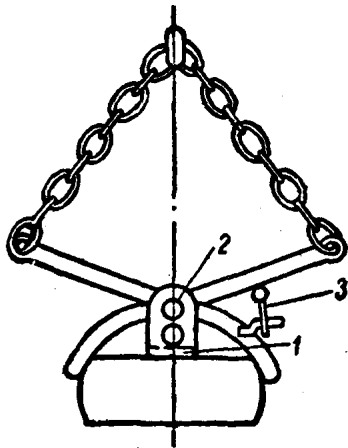


圖3 新式夾鉗。

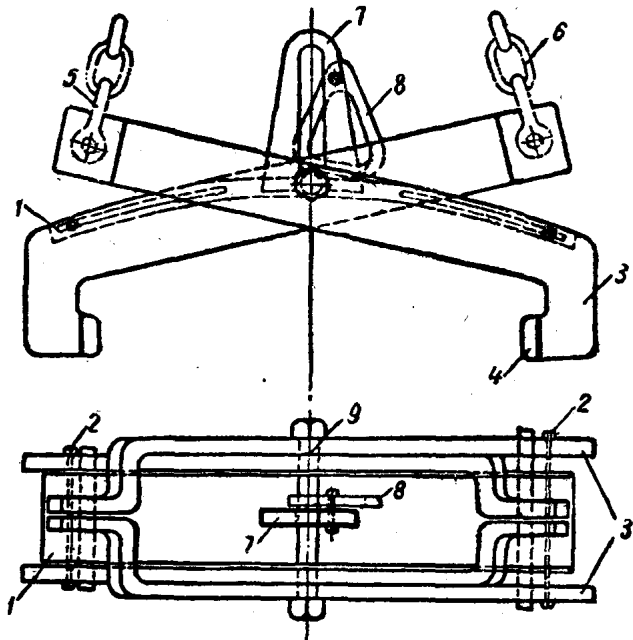


圖4 用来夾持粗矮坯料的夾鉗。

上自由懸挂着定位器8（具有凸形的），定位器支在螺栓9上（螺栓9是夾板的轉軸），以防止鉗子过早合攏。在把定位器拉开时才能夾起坯料。

3. 活动夾子夾鉗：用来運送高的坯料（不需夾持）。这种夾鉗是由槓桿1和两个寬底的夾子2組成。夾子在槓桿的凸肩上可以自由搖摆，且在夾子上有一橫擋3，以便在两个夾子相互移开时可以系住它們。

槓桿借两个耳环4悬挂在行車的鏈条上；而該二環又用螺栓緊固在槓桿上。开

口鉗5可使夾子不致从槓桿的凸肩上滑下。

採用特殊的工具和夾具來鍛造以加快變形過程並減輕成效很小的手工勞動，這樣就能縮減鍛造台時並增加產量。

在鍛造鋼錠時廣泛採用上下凹砧塊，能顯著縮減水壓機的工作行程數，加快鍛造過程，且降低蒸汽消耗量。在圖6上示有凹砧塊，並有隨鋼錠和鍛件尺寸而變的，可供繪制施工圖用的數據。

因為鍛造鋼錠通常是从冒口拔長為料柄開始，而在同樣的凹砧塊上滾壓料柄是不適合的，所以就用一有鈍角而高度不大的凹砧塊，經常裝設在水壓機靠近套桿一端的工作台上，以便鍛造料柄。

在凹砧塊上切割金屬材料是用特殊的剝刀，剝刀背面的形狀和砧塊的凹口相符合。

剝刀切口處的銳角應磨圓一些以免損壞下砧塊的工作面。切割還是和通常一樣，但因在剝刀破裂時不會有碎屑飛出，故切割時非常安全。

凹砧塊對蒸汽消耗量、水壓機行程數、和水壓機生產率的影響，可以1200噸蒸汽鍛造水壓機為例說明如下：
1200噸水壓機：採用壓力為8~10個大氣壓，過熱到350~400℃的蒸汽，在水壓機工作缸中的水壓力為400個大氣壓，是由蒸汽增壓器（增壓比為1:40）形成的。

在這種水壓機上的平砧塊一般寬300公厘，凹砧塊則寬380~450公厘。

為了比較二者之結果，特用2噸及5.15噸重的鋼錠鍛造成相同的圓柱形鍛件。蒸汽消耗量系借增壓器汽缸活塞的行程數和每一行程末時的壓力記錄來計算。

水和蒸汽的漏洩以及汽缸中各種有害容積的影響是在計算消耗量上外加15%來校正。

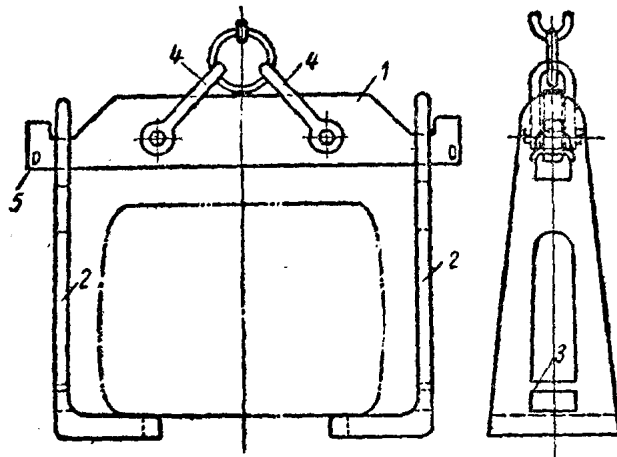


圖5 活動夾子夾鉗。

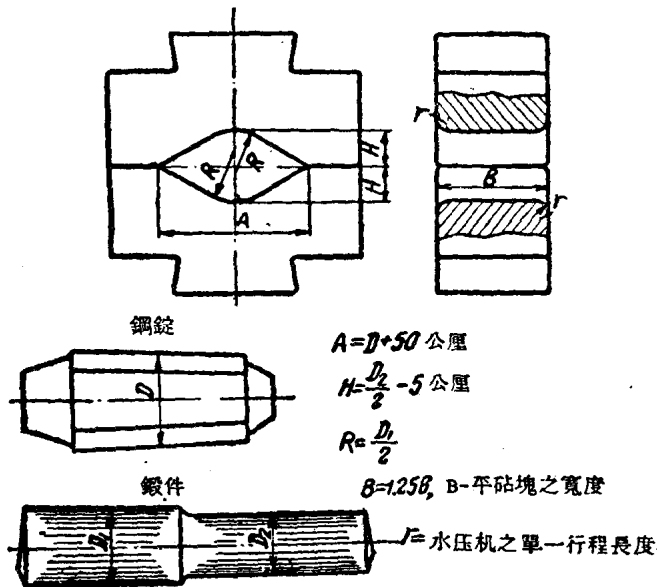


圖6 凹砧塊及其供施工圖用的數據。

此外为了进行比较，每一行程中蒸汽的重量则按莫氏（Молья）饱和蒸汽表来确定。

为了说明所收的效果，在表 2 和表 3 内列出在平砧块上和凹砧块上锻造的比较结果：表 2 是将重为 2 吨的钢锭锻成直径 200 公厘、长 5500 公厘、重 1360 公斤的轴；而表 3 是将重为 5.15 吨的钢锭锻成直径 340 公厘、长 4600 公厘、重 3300 公斤的轴。

表 2

工 序	砧 块					
	平 面 的			凹 面 的		
	行程数	时间(分)	蒸汽消耗量 (公斤)	行程数	时间(分)	蒸汽消耗量 (公斤)
锻造料柄	32	5	26	31	5	28
锻造锻件	312	26	481	221	20	441
修整	412	18	216	144	8	100
切头及校正	22	5	27	14	5	8
总 计	778	54	750	410	38	577
包括15%的损失 蒸汽消耗量			860			665

表 3

工 序	砧 块					
	平 面 的			凹 面 的		
	行程数	时间(分)	蒸汽消耗量 (公斤)	行程数	时间(分)	蒸汽消耗量 (公斤)
锻造料柄	28	6	46	30	6	50
锻造锻件	246	26	760	196	16	690
修整	362	26	242	120	8	90
切头及校正	20	4	17	16	4	15
总 计	656	62	1065	362	34	845
包括15%的损失 蒸汽消耗量			1225			975

从表上可明显地看到，用凹砧块的行程数要比用平砧块小 44~47%；而平均蒸汽消耗量要少 18~23%。

用来锻造透平叶轮轮毂的夹具（以下将详述）可使水压机上操作的时间缩减至 $\frac{1}{2}$ ，同时改善锻件质量并减少机械加工留量。

人们曾主要靠把钢锭端向锻粗前的切底工序省去的办法使锻造工序减少。在制造模块、锤头、平板和类似锻件中已广泛采用此种方法。锭底是在锻件最后切头时切去，因此除了节省时间外，由于锭底变成了工艺上的端部切头，还可节省金属材料。

增加每一火中金屬材料的變形工作量是十分有效的措施，因為這樣一來無論輔助時間和機器的台時都縮減了。

可用將金屬材料絕熱的辦法來縮減火數，絕熱有兩個目的：1) 防止最後鍛造部分金屬材料的热量無用地損失到周圍空氣中去；2) 防止鍛件已鍛好部分在鍛造其餘部分時冷到允許溫度以下。

在鍛造長度和橫斷面之比很大的合金鋼鍛件時，採用絕熱方法可得最大效果。這樣，逐段鍛造所必需採用的中間冷卻及附加的熱處理工序（以去除應力）便可省去；而這些工序會使鍛造過程增長。

在實際中絕熱就是用包在薄鐵皮內的石棉復蓋住暫不鍛造的金屬材料（圖7）。也有採用（特別在鍛造笨重的鍛件時）可移動的各種結構的絕

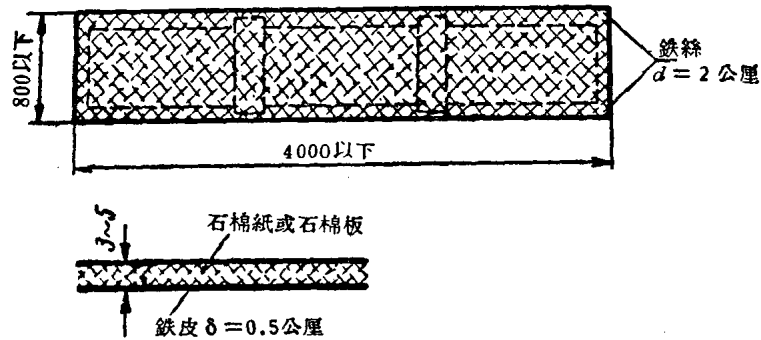


圖7 石棉蓋。

熱罩（圖8）。絕熱罩用圓鋼及鐵皮制成，裡面襯上石棉紙或石棉板。絕熱罩的骨架是用电焊焊成。在水压机上鍛造的一般情況下，多次觀察受熱金屬在空氣中和在絕熱罩中冷卻的速度証實：在正常鍛造溫度範圍 $1200\sim 700^{\circ}\text{C}$ 中鍛造時，在絕熱罩中冷卻的速度僅為空氣中的 $\frac{1}{1.5}\sim \frac{1}{5}$ 。金屬溫度愈低和絕熱罩愈緊貼金屬，則效果也愈大。

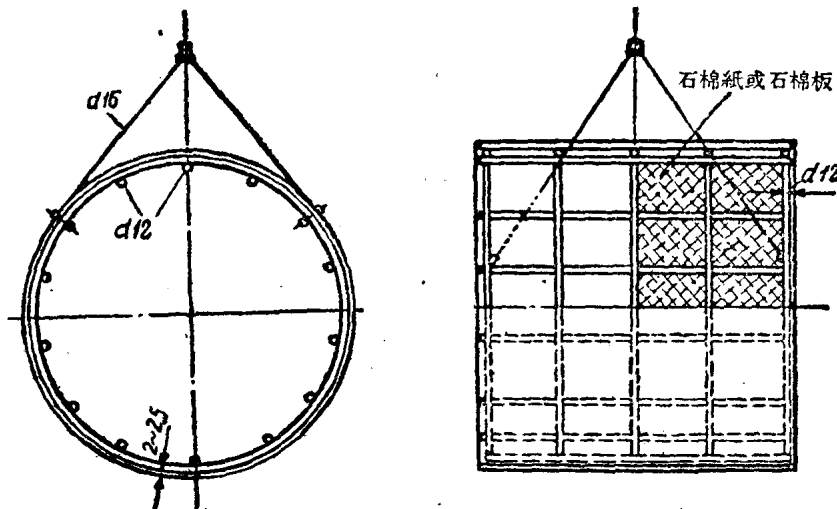


圖8 石棉罩。

為了確定金屬材料在空氣中和在石棉層下冷卻的時間，特將觀察所得的結果加以研究並以以下兩圖解表示出來（圖9）。主圖表示金屬材料在空氣中的冷卻時間

和材料截面及溫度的关系；而由輔圖（在右上角）可求得金屬在石棉下冷却的平均緩慢系数，該系数是依冷却溫度範圍（在鍛造最先鍛造部分的时间內，其余部分在空气中自由冷却所經過的溫度範圍）及石棉盖、石棉罩的質量来决定。

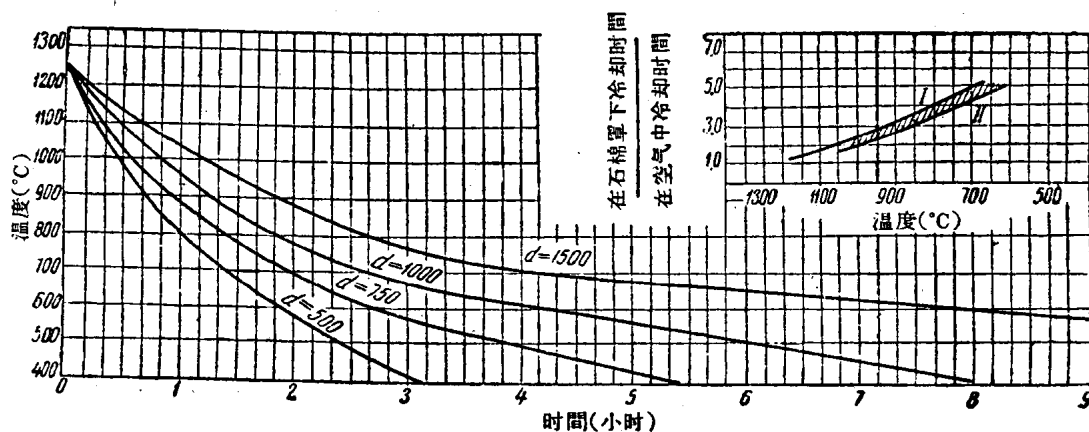


圖9 確定金属材料在空气中和在石棉下冷却時間的圖解：

I—用於石棉罩壁与金屬之間間隙为 50 公厘以下之絕热罩；

II—用於石棉罩壁与金屬之間間隙为 50 至 120 公厘之絕热罩。

利用圖解可以相当准确地計算並提供鍛造过程中的溫度规范，正确地确定加热次数和每火中鍛造工序的分配。

在利用該圖解时必须知道：

a) 包括輔助時間的实际鍛造時間 τ （按照以平均修正系数修正了的定額計算而得之時間）；

6) 鍛造溫度範圍 $t \sim t_1$ ；

б) 鍛件在冷却时裝爐的最低溫度 t_2 ；

г) 最低始鍛溫度 t_3 。

計算时照下列程序进行：

1. 按主圖确定原截面的鍛件在該次加热出爐后从溫度 t 冷到溫度 t_3 的時間 τ_1 ；

2. 按輔圖确定由於絕热在 $t \sim t_3$ 溫度範圍內的平均冷却緩慢系数 k_{cp} ：

$$k_{cp} = \frac{k_1 + k_2}{2},$$

式中 k_1 ——在溫度 t_1 时的系数； k_2 ——在溫度 t_3 时的系数；

3. 确定鍛件在石棉下的冷却時間 τ_2 ：

$$\tau_2 = \tau_1 k_{cp};$$

4. 确定能在時間 τ_2 中完成的鍛造工作量；

5. 按主圖确定原截面的鋼錠（坯料）在 $t_3 \sim t_1$ 的溫度範圍內的冷却時間 τ_3 ，並因金屬在鍛造时比在空气中冷却得緩慢，將 τ_3 修正为 τ_4 （在鍛造中由於机械能轉变为热能，使冷却時間平均增为 1.5 倍）；

6. 按時間 τ_4 可确定在除去絕热罩后所能完成的鍛造工作量。

若 $\tau_2 + \tau_4 \geq \tau$, 則該鍛件能在一火中鍛成, 若 $\tau_2 + \tau_4 < \tau$, 則應增添火數;

7. 按主圖及時間 τ_5 來確定該鍛件的某些部分是否需用絕熱罩, 其中 τ_5 為鍛件的有關截面部分在鍛造其他部分時在空氣中冷卻的時間;

8. 絕熱罩的最小長度根據在最後鍛造的金屬體積與坯料原截面之比來確定。

讓我們把已預鍛成直徑為 1500 公厘的坯料在鍛造成直徑為 750 公厘、長度為 20000 公厘的軸時的加熱規範的確定作為例子。在水壓機上鍛造的時間按已修正了的定額計算是 8.2 小時 (實際鍛造時間)。鍛造溫度範圍為 $1200 \sim 700^\circ\text{C}$ 。最小始鍛溫度為 850° 。冷卻時最低裝爐溫度為 400° 。絕熱罩壁與金屬材料之間的間隙為 50 公厘。

1. 平均鍛造生產率 (公尺/小時) 為:

$$\frac{20}{8.2} = 2.45 \text{ 公尺。}$$

2. 直徑為 1500 公厘的金屬材料在空氣中從 1200°C 冷卻到 850°C 的時間按主圖求得為:

$$2.16 - 0.16 = 2.0 \text{ 小時。}$$

3. 在石棉罩下在 $1200 \sim 850^\circ\text{C}$ 的溫度範圍中的平均冷卻緩慢係數按輔圖求得為:

$$\frac{1.5 + 3.5}{2} = 2.5。$$

4. 在石棉罩下在 $1200 \sim 850^\circ\text{C}$ 的溫度範圍中的冷卻時間為:

$$2 \times 2.5 = 5 \text{ 小時。}$$

5. 部分金屬材料在石棉罩下絕熱, 5 小時內能鍛造:

$$5 \times 2.45 = 12.3 \text{ 公尺。}$$

6. 直徑為 1500 公厘的材料在空氣中從 850°C 冷到 700°C 的冷卻時間按主圖為:

$$4.32 - 2.16 = 2.16 \text{ 小時。}$$

考慮金屬材料在鍛造中的冷卻時間約為空氣中的 1.5 倍; 則冷卻總時間為:

$$2.16 \times 1.5 = 3.24 \text{ 小時。}$$

7. 在 3.24 小時內能鍛造:

$$3.24 \times 2.45 = 8 \text{ 公尺。}$$

因此, 當金屬材料直徑為 1500 公厘, 在 $1200 \sim 850^\circ\text{C}$ 的溫度範圍內, 將部分金屬加以絕熱時, 能鍛造:

$$12.3 + 8 = 20.3 \text{ 公尺。}$$

8. 加以絕熱的部分在直徑為 1500 公厘時長為:

$$\frac{(\pi \times 750^2) \times 8}{4} \div \frac{\pi \times 1500^2}{4} = 2000 \text{ 公厘。}$$

9. 總的鍛造時間是 8.2 小時。

參照主圖, 直徑為 750 公厘的鍛件在空氣中冷卻到 400°C 時經歷 5 小時。因此為避免鍛件在冷卻時裝爐發生過冷起見, 在最初鍛成的部分也應用石棉來絕熱。

絕熱方法用於長度與直徑之比很大的鍛件。

對於扩成的环、齒輪、套筒和类似的鍛件，可在鋼錠未压稜前同时用兩把剝刀切下坯料，然后再順着鋼錠縱向压稜，这样可使火数減少。在这种情况下，不再需鍛出套桿所需的料柄並且加快了压稜。因此，可在同一火中接着进行鍛粗和冲孔（或穿孔）。

在水压机上鍛造的主要和輔助工序的机械化，及鍛造工具的改进是提高劳动生产率的主要泉源。在水压机鍛造範圍內还有巨大而有發展的工作正等待我們去做呢！

第二章 鍛件的分类和鍛造工艺的特点

作为工艺規程分类的基础是：鍛件形状的一致，鍛造时所用主要的通用工具和專用工具的相同，和工艺操作上的一致。

所有鍛件分成七类，类再分成組，在組中上述这些标志的一致性更清楚地显示出来了。

第一类鍛件：包括光滑的实心圓柱体鍛件和有台阶的实心圓柱体鍛件。該类鍛件用下列方法制造：1. 拔長法；2. 拔長及端向鍛粗綜合法；3. 拔長及刻台阶綜合法；4. 拔長、端向鍛粗、刻台阶綜合法。

第二类鍛件：包括光滑的实心矩形截面鍛件和有台阶的实心矩形截面鍛件。該类鍛件用下列方法制造：1. 拔長法；2. 拔長及端向鍛粗綜合法；3. 拔長及刻台阶綜合法；4. 拔長、端向鍛粗及刻台阶綜合法。

第三类鍛件：包括使用分段工具而形成台阶的实心鍛件。

該类鍛件是由位於不同位置的几个截面組成；这些截面有：a) 位於一个平面內的；b) 位於二个平面內的；c) 位於三个平面內的；d) 位於四个或更多平面內的。

該类鍛件以下列綜合法制造：1. 拔長及刻台阶；2. 拔長、端向鍛粗及刻台阶；3. 拔長、刻台阶及錯开；4. 拔長、端向鍛粗，刻台阶及錯开；5. 拔長、刻台阶，錯开及扭轉；6. 拔長、端向鍛粗，刻台阶，錯开及扭轉。

第四类鍛件：包括光滑的空心圓柱形鍛件和不用分段工具(压棍，三稜压棍)形成台阶的空心圓柱形鍛件，其鍛件直徑与高度之比較大。該类鍛件以下列綜合法制造：1. 拔長，端向鍛粗及穿孔(冲孔)；2. 拔長，端向鍛粗(並形成台阶)，穿孔(冲孔)。

第五类鍛件：包括外徑与內徑之比較小的光滑的空心圓柱形鍛件。該类鍛件用下列方法制造：1. 拔長，端向鍛粗，穿孔(冲孔)，在心軸上扩环；2. 拔長，端向鍛粗，穿孔(冲孔)，在心軸上預先拔長，在心軸上扩环。

第六类鍛件：包括光滑的空心圓柱形鍛件和有台阶的空心圓柱形鍛件；其鍛件長度与直徑之比較大。該类鍛件用下列綜合法鍛造：1. 拔長，端向鍛粗，穿孔(冲孔)，在心軸上預先扩环，在心軸上拔長；2. 拔長，端向鍛粗，穿孔(冲孔)，在心軸上預先扩环，在心軸上拔長，刻台阶；3. 拔長，端向鍛粗，刻台阶，穿孔，在心軸上拔長。

第七类鍛件包括其他鍛件，它們的中心綫一般都是弯曲的。

在上述每一类鍛件的工艺規程的示例中，計算是照工艺上的主要步驟列出的，在实用上具有足够的准确性。