

实用锻工速查手册

韩鹏彪 张双杰 王丽娟 编

河北科学技术出版社

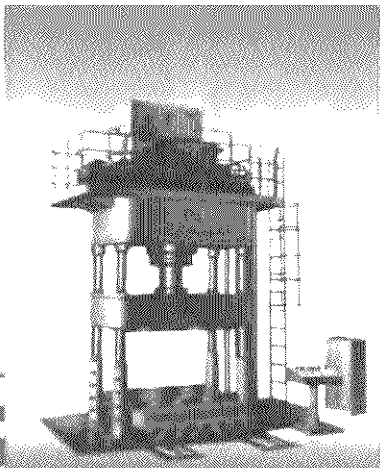
实用锻工

速查手册

韩鹏彪 张双杰 王丽娟 编
河北科学技术出版社



SHIYONG DUANGONG SUCHA SHOUCE



责任编辑 李同海 封面设计 寇 菁

◆速查手册系列◆

化学实验员速查手册

实用车工速查手册

实用铸工速查手册

实用电工速查手册

实用焊工速查手册

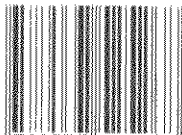
实用钳工速查手册

实用焊工速查手册

ISBN 7-5375-2526-9

定价：20.00元

ISBN 7-5375-2526-9



9 787537 525268 >

速查手册系列图书编委会

主 编：	赵地顺			
副主编：	李增民	毛 磊	李 军	张京生
编 委：	刘瑞玲	谭建波	李志勇	韩鹏彪
	朱金均	张双杰	王丽娟	胡云岩
	阎俊霞	王永明	张振文	刘利剑
	赵月静	赵玲玲	周芬萍	曲国明

前 言

锻造是既古老而又正处在蓬勃发展之中的一种金属加工技术。从规模上看，它从昔日的红炉手工锻造已发展到在万吨级的液压机上锻造几百吨的钢锭；从工艺上看，它冲破了旧有单一的概念，又开发出了冷锻、温锻、近熔点锻、等温锻和超塑性锻造等；从设备上讲，它已由单方向的直线动作扩展到了多向、回转或其他更复杂的动作；从锻件原材料看，它由一般钢扩展到了许多特种用途钢、难变形钢和高温有色合金等，也由锭料和棒料扩展到了粉料和液料。

本手册就是在考虑到以上这些内容的基础上，编写的一部简明、实用的工具书。该书内容广泛，以国内资料为主，并力求反映当今国外先进的科技成果，其大量可靠的技术数据，可以直接指导实际生产。

本书第二章和第五章第三、四、五节由韩鹏彪编写；第一章和第四章第一、二节由张双杰编写；第三章、第四章第三节第五章第一、二节由王丽娟编写。

全书由李军教授、李增民教授主审。

本手册可供初中以上文化水平的锻工及有关技术人员参考，也可作为考核和培训锻工的参考书。

编者

2001年12月26日

图书在版编目 (C I P) 数据

实用锻工速查手册 / 韩鹏彪, 张双杰, 王丽娟编
著. — 石家庄: 河北科学技术出版社, 2001

ISBN 7 - 5375 - 2526 - 9

I. 实… II. ①韩…②张…③王… III. 锻工-
技术手册 IV. TG31 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 076039 号

实用锻工速查手册

韩鹏彪 张双杰 王丽娟 编

河北科学技术出版社出版发行
(石家庄市和平西路新文里 8 号)

河北新华印刷一厂印刷

新华书店经销

2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月第 1 次印刷

开本 850×1168 1/64 印张 8.5 字数 367 千字

印数: 1—3000 定价: 20.00 元

续表

名 词	代号	解 释	计 算 公 式	单 位
收缩率	ψ	材料受拉力作用断裂时, 断面缩小的面积与原始横断面面积之百分比	$\psi = \frac{F_0 - F}{F_0} \times 100$ F_0 —原始横断面面积 F —断裂处的面积	%
伸长率 (延伸率)	δ	材料受拉力作用断裂时, 伸长的长度与原有长度的百分比	$\delta = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100$ L —断裂后的标距长度	%
①用短试棒求得的伸长率	δ_5	试棒的标距等于5倍直径	L_0 —试件的标距	%
②用长试棒求得的伸长率	δ_{10}	试棒的标距等于10倍直径		%
硬度		材料抵抗硬的物体压入其表面的能力		kg/mm ²

- 3. 铝合金锻造 (234)
- 4. 铜合金锻造 (239)

第三章 锤上模锻

一、自由锻锤上胎

- 模锻 (247)
- 1. 胎模锻件及胎模分类 (247)
- 2. 胎模锻件图的设计 (251)
- 3. 胎模锻的工艺设计 (259)

- 4. 胎模锻设备能力的选用 (264)
 - 5. 胎模锻模具设计 (265)
- #### 二、模锻锤上模锻 (273)

- 1. 锻件图的设计 (273)
- 2. 模锻件的分类 (289)
- 3. 模锻工步的确定 (291)
- 4. 坯料尺寸的确定 (304)
- 5. 设备吨位的确定 (306)
- 6. 模锻模膛的设计 (307)
- 7. 制坯模膛的设计 (315)
- 8. 切断模膛 (324)
- 9. 锻模结构设计 (325)

第四章 其他压力机模锻

一、螺旋压力机上

- 模锻 (334)
- 1. 锻件分类 (334)

- 2. 锻件的工艺特点 (337)
- 3. 锻模的设计特点 (338)
- 4. 设备选择 (348)

二、热模锻压力机上

- 模锻 (350)
- 1. 锻件分类 (351)
- 2. 锻件图设计 (353)
- 3. 坯料尺寸确定 (354)
- 4. 模锻力计算及设备吨位确定 (356)
- 5. 锻模设计特点 (362)

三、平锻机上模锻 (370)

- 1. 平锻件分类及其工艺特点 (370)
- 2. 锻件图的设计 (373)
- 3. 锻锻力的计算和设备选择 (377)
- 4. 平锻工步设计 (377)

第五章 模锻后续工序及其质量控制

一、切边、冲孔 (388)

- 1. 切边、冲孔的方式 (388)
- 2. 切边模和冲孔模的类型 (389)
- 3. 简单切边模设计 (389)
- 4. 简单冲孔模设计 (403)
- 5. 切边冲孔复合模 (405)
- 6. 切边、冲孔力计算 (407)

二、精压与校正 (408)

1. 精压	(408)	四、锻件的冷却和热处理	(438)
2. 校正	(416)	1. 锻件的冷却	(438)
三、锻件和坯料的清理	(423)	2. 锻件的热处理	(443)
1. 滚筒清理	(423)	五、锻件质量检验与控制	(502)
2. 喷丸(砂)清理	(425)	1. 锻件缺陷分类	(502)
3. 抛丸清理	(426)	2. 锻件缺陷的主要特征及其产生原因	(503)
4. 光饰	(426)	3. 锻件质量检验内容及方法	(503)
5. 酸洗	(430)	4. 锻件的质量控制	(526)
6. 热坏料的清理	(435)		
7. 局部表面缺陷的清理	(436)		

续表

名 词	代号	解 释	计 算 公 式	单 位
收缩率	ψ	材料受拉力作用断裂时, 断面缩小的面积与原始横断面面积之百分比	$\psi = \frac{F_0 - F}{F_0} \times 100$ F_0 —原始横断面面积 F —断裂处的面积	%
伸长率 (延伸率)	δ	材料受拉力作用断裂时, 伸长的长度与原有长度的百分比	$\delta = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100$ L —断裂后的标距长度	%
①用短试棒求得的伸长率	δ_5	试棒的标距等于5倍直径	L_0 —试件的标距	%
②用长试棒求得的伸长率	δ_{10}	试棒的标距等于10倍直径		%
硬度		材料抵抗硬的物体压入其表面的能力		kg/mm^2

续表

名 词	代号	解 释	计 算 公 式	单 位
收缩率	ψ	材料受拉力作用断裂时, 断面缩小的面积与原始横断面面积之百分比	$\psi = \frac{F_0 - F}{F_0} \times 100$ F_0 —原始横断面面积 F —断裂处的面积	%
伸长率 (延伸率)	δ	材料受拉力作用断裂时, 伸长的长度与原有长度的百分比	$\delta = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100$ L —断裂后的标距长度	%
①用短试棒求得的伸长率	δ_5	试棒的标距等于5倍直径	L_0 —试件的标距	%
②用长试棒求得的伸长率	δ_{10}	试棒的标距等于10倍直径		%
硬度		材料抵抗硬的物体压入其表面的能力		kg/mm ²

续表

名 词	代号	解 释	计 算 公 式	单 位
收缩率	ψ	材料受拉力作用断裂时, 断面缩小的面积与原始横断面面积之百分比	$\psi = \frac{F_0 - F}{F_0} \times 100$ F_0 —原始横断面面积 F —断裂处的面积	%
伸长率 (延伸率)	δ	材料受拉力作用断裂时, 伸长的长度与原有长度的百分比	$\delta = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100$ L —断裂后的标距长度	%
①用短试棒求得的伸长率	δ_5	试棒的标距等于5倍直径	L_0 —试件的标距	%
②用长试棒求得的伸长率	δ_{10}	试棒的标距等于10倍直径		%
硬度		材料抵抗硬的物体压入其表面的能力		kg/mm ²

续表

名 词	代号	解 释	计 算 公 式	单 位
收缩率	ψ	材料受拉力作用断裂时, 断面缩小的面积与原始横断面面积之百分比	$\psi = \frac{F_0 - F}{F_0} \times 100$ F_0 —原始横断面面积 F —断裂处的面积	%
伸长率 (延伸率)	δ	材料受拉力作用断裂时, 伸长的长度与原有长度的百分比	$\delta = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100$ L —断裂后的标距长度	%
①用短试棒求得的伸长率	δ_5	试棒的标距等于5倍直径	L_0 —试件的标距	%
②用长试棒求得的伸长率	δ_{10}	试棒的标距等于10倍直径		%
硬度		材料抵抗硬的物体压入其表面的能力		kg/mm ²

名 词	代号	解 释	计 算 公 式	单 位
① 布氏硬 度	HB	以一定的负荷 (一般为 29.4kN) 把一定大小 (直 径一般为 10mm) 的淬硬钢球压入 材料表面而形成 凹坑, 用凹坑的 表面积来除负荷, 即为硬度值	$HB = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - a^2})}$ P —负荷 D —钢球直径 a —压痕深度	
② 洛氏硬 度	HR	以一定的负荷 把淬硬的钢球或 顶角为 120° 圆锥 形金刚石压头压 入材料表面, 然 后以材料表面上 凹坑的深度来计 算硬度大小	$HR = \frac{K - (h_1 - h)}{C}$ h —预加负荷 98N 时压头压入深 度 h_1 —试验后试样 上留下最后 压入深度	—
标尺 A	HRA	采用 588N 的负 荷和金刚石压头 而求得的硬度	K —常数 (采用 钢球时为 0.25, 采用 锥体时为 0.2)	—

续表

名 词	代号	解 释	计 算 公 式	单 位
标尺 B	HRB	采用 980N 负荷和直径 1.59mm 淬硬的钢球求得的硬度	C—为 0.002, 读数表上每一小格刻度相当于钢球或金钢钻圆锥体压入深度为 0.002mm	—
标尺 C	HRC	采用 1.47kN 负荷和金钢石压头求得的硬度		—
③ 维氏硬度	HV	以 1.18kN 以内的负荷, 把顶角为 136° 方锥形金钢石压头压入材料表面上, 然后以材料表面上凹坑的表面积来除负荷, 即得硬度值	$HV = \frac{2P}{d^2} \sin \frac{\alpha}{2}$ $= 1.8544 \frac{P}{d^2}$ P—金钢钻四棱锥上的负荷 d—凹痕两对角线的算术平均数 α—金钢钻四棱锥上相对两面的交角为 136°	—

续表

名 词	代号	解 释	计 算 公 式	单 位
冲击值 (冲击韧性)	a_k	材料对冲击载荷作用的抵抗能力。以试件断口处的断面积来除冲断试件所耗用的功，即为冲击值	$a_k \frac{A_k}{F}$ A_k —消耗于试件的能量 F —试件的断面积	J/cm ²
冷 弯		冷弯是检验钢材承受弯曲变形的能力的试验，它是钢材塑性的间接反映。冷弯试验的弯心直径(d)和冷弯角度应符合有关技术条件的规定，通常是用宽度等于2倍厚度(a)的试样，弯到180°(或90°)进行试验。冷弯后，试样弯曲处的外表面及侧面为无裂缝、裂断或起层即认为合格		度

2. 钢材的牌号、化学成分、性能和用途

表 1-4 钢的分类

综合分类	(1) 碳素结构钢 (2) 优质碳素结构钢 (3) 易切削钢 (4) 碳素工具钢 (5) 合金结构钢 (6) 合金工具钢 (7) 高速工具钢 (8) 弹簧钢 (9) 轴承钢 (10) 特殊性能钢 (11) 专业用钢
按化学成分分	(1) 碳素钢 ① 低碳钢—含碳量小于 0.25% ② 中碳钢—含碳量为 0.25% ~ 0.6% ③ 高碳钢—含碳量大于 0.6% (2) 合金钢 ① 低合金钢—合金元素总含量小于 5% ② 中合金钢—合金元素总含量为 5% ~ 10% ③ 高合金钢—合金元素总含量大于 10%
按使用加工方法分	(1) 压力加工用钢 (热压力加工、顶锻或冷拔坯料) (2) 切削加工用钢
按用途分	(1) 结构钢 ① 建筑用钢 ② 机械制造用钢

按用途分	<p>③弹簧钢和轴承钢</p> <p>(2) 工具钢</p> <p>①碳素工具钢</p> <p>②合金工具钢</p> <p>③高速工具钢</p> <p>④刀具用钢</p> <p>⑤量具用钢</p> <p>⑥模具用钢</p> <p>(3) 特殊性能钢</p> <p>①不锈钢耐酸钢</p> <p>②耐热不起皮钢</p> <p>③电热合金</p> <p>④磁性材料</p> <p>(4) 专业用钢</p> <p>①船舶用钢</p> <p>②桥梁用钢</p> <p>③压力容器用钢</p> <p>④轧辊用钢</p> <p>⑤其他</p>
按炼钢方法分	<p>(1) 转炉钢</p> <p>(2) 平炉钢</p> <p>(3) 电炉钢</p>
按铸锭前脱氧程度分	<p>(1) 镇静钢</p> <p>(2) 沸腾钢</p> <p>(3) 半镇静钢</p>

续表

按金相组织分	<p>(1) 按退火后钢的金相组织分:</p> <p>①亚共析钢</p> <p>②共析钢</p> <p>③过共析钢</p> <p>④莱氏体钢</p> <p>(2) 按正火后钢的组织分:</p> <p>①珠光体钢</p> <p>②贝氏体钢</p> <p>③马氏体钢</p> <p>④奥氏体钢</p> <p>(3) 按加热及冷却时有无相变和室温时的金相组织分:</p> <p>①铁素体钢</p> <p>②半铁素体钢</p> <p>③半奥氏体钢</p> <p>④奥氏体钢</p>
--------	--

表 1-5 纯金属的机械性能

名称	熔点 ($^{\circ}\text{C}$)	线膨胀 系数 (10^{-6} $/^{\circ}\text{C}$)	导电率 (%)	抗拉强度 σ_b (N $/\text{mm}^2$)	伸长率 δ (%)	断面收 缩率 ψ (%)	布氏 硬度 (HB)	色泽
铝	660.2	23.1	60	78~107	32~40	70~90	20	银白
铍	1285	11.5	38	137~754	0	—	140	钢灰
铋	271.3	12.1	1	4.9~19	0	—	9	白

续表

名称	熔点 ($^{\circ}\text{C}$)	线膨胀 系数 (10^{-6} $/^{\circ}\text{C}$)	导电率 (%)	抗拉强度 σ_b (N $/\text{mm}^2$)	伸长率 δ (%)	断面收 缩率 ψ (%)	布氏 硬度 (HB)	色泽
铜	320.9	29.8	22	63.7	20	50	20	苍白
钴	1495	12.5	26	24.5	5	—	140	钢灰
铬	1855	6.2	12	196~274	9~17	9~23	110	灰白
铜	1083	16.6	95	196~235	45~50	65~75	40	红
铁	1539	11.7	16	245~323	25~55	70~85	65	灰白
镁	650	25.7	34	196	11.5	12.5	36	银白
锰	1245	23.0	2	脆			210	白灰
钼	2622	4.9	23	686	30	60	160	银白
镍	1455	13.5	23	392~625	35~40	60~70	80	白
铅	327.4	29.1	7	1.7	45	90	4	苍灰
铋	630.5	11.4	4	4.9~9.8	0	0	30	银白
锡	231.9	23.0	14	19.6	40	90	5	银白
钛	1660	9.0	3	245~294	50~70	76~88	100	暗灰
钒	1919	8.3	6	215	17	75	264	淡灰
钨	3410	4.3	29	1029	0~4	0~20	290	钢灰
锌	419.4	33.0	25	147	20	70	30	苍灰

(1) 结构钢:

表 1-6 (a) 碳素结构钢的钢种钢号及其化学成分(GB700-88)

牌号	等级	化学成分 (质量分数)					脱氧方法
		C	Mn	Si ^②	S	P	
				不 大 于			
Q 195	—	0.06~0.12	0.25~0.50	0.30	0.050	0.045	F、b、z
Q 215	A	0.09~0.15	0.25~0.55	0.30	0.050	0.045	F、b、z
	B				0.045		
Q 235	A	0.14~0.22	0.30~0.65 ^①	0.30	0.050	0.045	F、b、z
	B	0.12~0.20	0.30~0.70 ^①		0.045		
	C	≤0.18	0.35~0.80		0.040	0.040	z
	D	≤0.17			0.035	0.035	TZ
Q 255	A	0.18~0.28	0.40~0.70	0.30	0.050	0.045	Z
	B				0.045		
Q 275	—	0.28~0.38	0.50~0.80	0.35	0.050	0.045	Z

注: ①Q235A、B级沸腾钢 Mn 含量上限为 0.60%。

②沸腾钢 Si 含量不大于 0.07%、半镇静钢 Si 含量不大于 0.17%，镇静钢 Si 含量下限值为 0.12%。

③钢中残余元素 Cr、Ni、Cu 含量应各不大于 0.30%，如供方能保证，可不作分析。

④氧气转炉钢的氮含量应不大于 0.008%。

表 1-6 (b) 碳素结构钢的力学性能指标 (GB700-88)

牌 号	拉 伸 试 验												冲 击 试 验				
	屈服点 σ_s (N/mm ²)				抗拉强度 σ_b (N/mm ²)				伸长率 δ (%)				V 型 (纵 向) 冲击 吸收 功(J) 不 小 于				
	钢材厚度或直径 (mm)				钢材厚度或直径 (mm)				钢材厚度或直径 (mm)								
	≤ 16	>16 ~ 40	>40 ~ 60	>60 ~ 100	>150	≤ 16	>16 ~ 40	>40 ~ 60	>60 ~ 100	>150	≤ 16	>16 ~ 40	>40 ~ 60	>60 ~ 100	>150	温度 (°C)	
Q195	(195)	—	—	—	—	315~390	33	32	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Q215	A	215	205	195	185	175	165	30	29	28	27	26	20	27	—	—	—
	B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Q235	A	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	B	235	225	215	205	195	185	26	25	24	23	22	21	20	20	0	27
	C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	D	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Q255	A	255	245	235	225	215	205	24	23	22	21	20	19	—	—	—	—
	B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Q275	—	275	265	255	245	235	225	20	19	18	17	16	15	—	—	—	—

注: ①牌号 Q195 的屈服点, 仅供参考, 不作为交货条件。
 ②进行拉伸或弯曲试验时, 钢板、钢带应取纵向试样, 伸长率允许较上表降低 1% (绝对值), 型钢应取纵向试样。

表 1·7 新旧 GB700 标准牌号对照

(GB700—88 的牌号表示方法与 GB700—79 不同, 对各牌号所规定的技术要求和内容形式也有些变化。兹将新旧牌号对照如下, 以供参考

GB700—88		GB700 -79
Q195	— 不分等级, 化学成分和力学性能 (抗拉强度、伸长率和冷弯等) 均须保证, 但轧制薄板和盘条之类产品, 力学性能的保证项目, 根据产品特点和使用要求, 可在有关标准中另行规定	Q195 的化学成分与旧标准 1 号钢的乙类钢 B ₁ 同, 力学性能 (抗拉强度、伸长率和冷弯) 与甲类钢 A ₁ 同 (A ₁ 的冷弯试验是附加保证条件), 1 号钢没有特类钢
Q215	A 级	A ₂
	B 级 (做常温冲击试验, V 型缺口)	C ₂
Q235	A 级 (不做冲击试验)	A ₃ (附加保证常温冲击试验, U 型缺口)
	B 级 (做常温冲击试验, V 型缺口)	C ₃ (附加保证常温或 -20℃ 冲击试验, U 型缺口)
	C 级	—
	D 级 (作为重要焊接结构用)	—

续表

GB700—88			GB700—79
Q ₃₅₅	A级		A ₄
	B级	(做常温冲击试验, V型缺口)	C ₄ (附加保证冲击试验, U型缺口)
Q ₂₇₅	—	不分等级, 化学成分和力学性能均须保证	C ₅

表 1-8 (a) 优质碳素结构钢的钢号和化学成分 (%) (GB699—88)

序号	牌号	化 学 成 分 (质量分数)							
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
					不 大 于				
1	08F	0.05~0.11	≤0.03	0.25~0.50	0.035	0.035	0.25	0.10	0.25
2	10F	0.07~0.14	≤0.07	0.25~0.50	0.035	0.035	0.25	0.15	0.25
3	15F	0.12~0.19	≤0.07	0.25~0.50	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
4	08	0.05~0.12	0.17~0.37	0.35~0.65	0.035	0.035	0.25	0.10	0.25
5	10	0.07~0.14	0.17~0.37	0.35~0.65	0.035	0.035	0.25	0.15	0.25
6	15	0.12~0.19	0.17~0.37	0.35~0.65	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
7	20	0.17~0.24	0.17~0.37	0.35~0.65	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
8	25	0.22~0.30	0.17~0.37	0.50~0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
9	30	0.27~0.35	0.17~0.37	0.50~0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
10	35	0.32~0.40	0.17~0.37	0.50~0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
11	40	0.37~0.45	0.17~0.37	0.50~0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25

续表

序号	牌号	化 学 成 分 (质量分数)							
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
12	45	0.42~0.50	0.17~0.37	0.50~0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
13	50	0.47~0.55	0.17~0.37	0.50~0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
14	55	0.52~0.60	0.17~0.37	0.50~0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
15	60	0.57~0.65	0.17~0.37	0.50~0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
16	65	0.62~0.70	0.17~0.37	0.50~0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
17	70	0.67~0.75	0.17~0.37	0.50~0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
18	75	0.72~0.80	0.17~0.37	0.50~0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
19	80	0.77~0.85	0.17~0.37	0.50~0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
20	85	0.82~0.90	0.17~0.37	0.50~0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
21	15Mn	0.12~0.19	0.17~0.37	0.70~1.00	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
22	20Mn	0.17~0.24	0.17~0.37	0.70~1.00	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
23	25Mn	0.22~0.30	0.17~0.37	0.70~1.00	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
24	30Mn	0.27~0.35	0.17~0.37	0.70~1.00	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
25	35Mn	0.32~0.40	0.17~0.37	0.70~1.00	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
26	40Mn	0.37~0.45	0.17~0.37	0.70~1.00	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
27	45Mn	0.42~0.50	0.17~0.37	0.70~1.00	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
28	50Mn	0.48~0.56	0.17~0.37	0.70~1.00	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
29	60Mn	0.57~0.65	0.17~0.37	0.70~1.00	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
30	65Mn	0.62~0.70	0.17~0.37	0.90~1.20	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
31	70Mn	0.67~0.75	0.17~0.37	0.90~1.20	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25

表 1-8 (b) 优质碳素结构钢的力学性能及用途 (GB699—88)

钢号	力学性能						用途举例	
	σ_s N/ mm ²	σ_b N/ mm ²	δ_5 (%)	ψ (%)	α_k kg·m/ cm ²	硬度 HB		
						热轧钢		退火钢
\geq						\leq		
08F	176	294	35	60		131	管子、垫圈、帽、垫片等	
08	196	323	33	60		131	管子、垫圈、帽、垫片等	
10F	186	313	33	55		137	管子、垫圈、帽、垫片等	
10	206	333	31	55		137	拉杆、卡头、钢管、垫片、垫圈、铆钉等	
15F	206	352	29	55		143	垫圈、垫片、套筒、短轴、吊钩等	
15	225	372	27	55		143	用于受力不大、韧性较高的零件。用于渗碳件、紧固件、冲模锻件及不要求热处理的低负荷零件如螺栓、螺钉等	

续表

钢号	力学性能						硬度 HB		用途举例
	σ_s N/mm ²	σ_b N/mm ²	δ_5 (%)	ψ (%)	a_k kg·m/cm ²	热扎钢			
	\geq					\leq			
20F	225	382	27	55		156		同 15F	
20	245	411	25	55		156		用于受力的 大而韧性 不求很高 零件,如拉 杆、螺钉、 起重杠、管 钩、管子、 导管等	
25	274	451	23	50	9	170		用于锻造、 热冲压及机 械加工的受 力不高轴、 子、连、接 管子、螺、 母、垫圈、 螺栓、螺母 等	
30	294	490	21	50	8	179	—	用于承受 应力不大、 温度不高 的零件,如 150℃的螺 拉、杠、轴 套、丝、筒 等	

续表

钢号	力学性能						硬度 HB		用途举例
	σ_s N/ mm ²	σ_b N/ mm ²	δ_5 (%)	ψ (%)	α_k kg·m/ cm ²	硬度 HB			
	\geq					热轧钢	退火钢	\leq	
35	313	529	20	45	7	187	—	用于曲轴、 转轴、轴销、 杠杆、连杆 等	
40	333	568	19	45	6	217	187	用于辘子、 轴、曲柄销、 传动轴、活 塞杆、连杆、 圆盘等	
45	353	598	16	40	5	241	197	用于透平 机的叶轮、 压缩机泵的 零件，及齿 轮、轴、活 塞销等	
50	372	627	14	40	4	241	207	用于耐磨 性要求高、 动载荷及冲 击作用不大 的零件，如 锻造齿轮、 拉杆、轧辊 轴、摩擦盘、 掘土犁铧、 重负荷心轴、 轴等	

续表

钢号	力学性能						硬度 HB		用途举例
	σ_s	σ_b	δ_5	ψ	a_k	热轧钢			
	N/ mm ²	N/ mm ²	(%)	(%)	kg·m/ cm ²				
	≥					≤			
55	382	647	13	35		255	217	用于齿轮、 连杆、轮圈、 轮缘、扁簧 及轧辊等	
60	402	676	12	35		255	229	用于轧辊、 轴、弹簧圈、 弹簧、各种 垫圈、离合 器、凸 轮、 钢绳等	
15Mn	245	411	26	55		163	—	用于制造 中心部分机 械性能较好 且需渗碳的 零件	
20Mn	274	451	24	50	—	197	—	可作凸 轮 轴、齿 轮、 联轴器、铰 链、拖杆等	
25Mn	294	490	22	50	9	207	—	可作凸 轮 轴、齿 轮、 联轴器、铰 链、拖杆等	

续表

钢号	力学性能						用途举例		
	σ_s N/ mm ²	σ_b N/ mm ²	δ_5 (%)	ψ (%)	a_k kg·m/ cm ²	硬度 HB			
						热轧钢			退火钢
\geq						\leq			
30Mn	213	539	20	45	8	217	187	用以制造螺栓、螺钉、螺帽、杠杆、刹车踏板、农机中的链等	
35Mn	333	558	18	45	7	229	197	受磨损的零件、转轴、心轴、齿轮、叉、啮合杆、螺栓、螺母、螺钉等	
40Mn	353	588	17	45	6	229	207	用于制造承受疲劳负荷的零件，如轴、辊子及高应力下工作的螺钉、螺帽等	

续表

钢号	力学性能						硬度 HB		用途举例
	σ_s	σ_b	δ_5	ψ	a_k	热			
	N/ mm ²	N/ mm ²	(%)	(%)	kg·m/ cm ²	轧	钢		
			\geq				\leq		
45Mn	372	617	15	40	5	241	217	同上，负 荷较大，还 可作离合器 盘、花键轴、 万向节、凸 轮轴、曲轴、 汽车后轴、 地脚螺栓、 双头螺栓等	
50Mn	392	647	13	40	4	255	217	用以制造 耐磨性要求 很高，在高 负荷作用下 的热处理零 件，如齿轮、 齿轮轴、摩 擦盘和截面 在 80 毫米以 下的心轴等	

注：表中所列的力学性能（除硬度外）数据是经过热处理后的试样测得的，热处理规范见 GB699—65。

表 1-9(a) 合金结构钢的钢号和化学成分(GH3077-88)

钢号	化学成分(质量分数)							
	C	Si	Mn	Mo	W	Cr	Ni	其他
10Mn2	0.07 -	0.20 -	1.20 -					
	0.13	0.40	1.60					
15Mn2	0.12 -	0.20 -	2.00 -					
	0.18	0.40	2.40					
20Mn2	0.17 -	0.20 -	1.40 -					
	0.24	0.40	1.80					
30Mn2	0.27 -	0.20 -	1.40 -					
	0.34	0.40	1.80					
35Mn2	0.32 -	0.20 -	1.40 -					
	0.39	0.40	1.80					
40Mn2	0.37 -	0.20 -	1.40 -					
	0.44	0.40	1.80					
45Mn2	0.42 -	0.20 -	1.40 -					
	0.49	0.40	1.80					
50Mn2	0.47 -	0.20 -	1.40 -					
	0.55	0.40	1.80					
27SiMn	0.24 -	1.10 -	1.10 -					
	0.32	1.40	1.40					
35SiMn	0.32 -	1.10 -	1.10 -					
	0.40	1.40	1.40					
42SiMn	0.39 -	1.10 -	1.10 -					
	0.45	1.40	1.40					
40SiMn2	0.37 -	0.60 -	1.40 -					
	0.44	1.00	1.80					
15MnV	0.12 -	0.20 -	1.30 -					VO.07
	0.18	0.40	1.60					- 0.12
20MnV	0.17 -	0.20 -	1.30 -					VO.07
	0.24	0.40	1.60					- 0.12
25Mn2V	0.22 -	0.20 -	1.80 -					VO.10
	0.29	0.40	2.10					- 0.20

续表

钢号	化学成分(质量分数)							
	C	Si	Mn	Mo	W	Cr	Ni	其他
42Mn2V	0.38 -	0.20 -	1.60 -					VO.07
	0.45	0.40	1.90					- 0.12
45Mn2V	0.42	0.20 -	1.60 -					VO.10
	0.49	0.40	1.90					- 0.20
15%Mn3Mo	0.11 -	0.90 -	3.00 -	0.50 -				
	0.17	1.20	3.40	0.60				
30Mn2MoW	0.27	0.20 -	1.70 -	0.40 -	0.60 -			
	0.34	0.40	2.00	0.50	1.00			
20%Mn2MoV	0.17 -	0.90 -	2.20 -	0.30 -				VO.05
	0.23	1.20	2.60	0.40				- 0.12
25%Mn2MoV	0.22 -	0.90 -	2.20 -	0.30 -				VO.05
	0.28	1.20	2.60	0.40				- 0.12
30%Mn2MoV	0.27 -	0.40 -	1.60 -	0.40 -				VO.15
	0.33	0.70	1.90	0.50				- 0.25
35%2Mn2Mo V	0.32 -	1.45 -	1.60 -	0.35 -				VO.10
	0.38	1.75	1.90	0.45				- 0.20
37%Mn2MoV	0.33 -	0.60 -	1.60 -	0.40 -				VO.05
	0.39	0.90	1.90	0.50				- 0.12
12%Ni2WV	0.09 -	0.50 -	2.30 -		0.40 -			VO.05
	0.15	0.80	2.70		0.80			- 0.12
16%Ni2WV	0.13 -	0.50 -	2.20 -		0.40 -			VO.05
	0.19	0.80	2.60		0.80			- 0.12
15%Ni3Mo WV	0.12 -	0.40 -	2.90 -	0.40 -	0.40 -			VO.05
	0.18	0.70	3.30	0.50	0.80			- 0.12
37%Mn2Mo WV	0.34 -	0.60 -	1.60 -	0.40 -	0.60 -			VO.05
	0.40	0.90	1.90	0.50	1.00			- 0.12
20Mo2B	0.17 -	0.20 -	1.50 -					BO.001
	0.24	0.40	1.80					- 0.004
20MnTiB	0.17 -	0.20 -	1.30 -				T0.06	BO.001
	0.24	0.40	1.60				- 0.12	- 0.004

续表

钢号	化学成分(质量分数)							
	C	Si	Mn	Mo	W	Cr	Ni	其他
25Mn13B	0.22~	0.20~	1.50~				10.06	10.001
	0.28	0.40	1.60				-0.12	-0.004
20Mn213B	0.17~	0.20~	1.50~				10.06	10.001
	0.24	0.40	1.80				-0.12	-0.004
15MnV13	0.12~	0.20~	1.20~				10.07	10.001
	0.18	0.40	1.60				-0.12	-0.004
20MnV3	0.17~	0.20~	1.20~				10.07	10.001
	0.24	0.40	1.60				-0.12	-0.004
20Mn2V13	0.17~	0.20~	1.50~				10.07	10.001
	0.24	0.40	1.80				-0.12	-0.004
20SiMnVB	0.17~	0.50~	1.30~				10.07	10.001
	0.24	0.80	1.60				-0.12	-0.004
30Mn2Mo13B	0.27~	0.20~	1.40~	0.30~			10.02	10.001
	0.33	0.40	1.80	0.40			-0.08	-0.004
40B	0.37~	0.20~	0.60~					10.001
	0.44	0.40	0.90					-0.004
45B	0.42~	0.20~	0.60~					10.001
	0.49	0.40	0.90					-0.004
50B	0.47~	0.20~	0.60~					10.001
	0.55	0.40	0.90					-0.004
40Mn13	0.37~	0.20~	1.10~					10.001
	0.44	0.40	1.40					-0.0035
45Mn13	0.42~	0.20~	1.10~					10.001
	0.49	0.40	1.40					-0.0035
45Mn2B	0.42~	0.20~	1.40~					10.001
	0.49	0.40	1.80					-0.0035
40MnVB	0.37~	0.20~	1.10~				10.05	10.001
	0.44	0.40	1.40				-0.10	-0.004
40MnWB	0.37~	0.20~	1.10~		0.40~			10.001
	0.44	0.40	1.40		0.80			-0.004

续表

附号	化学成分(质量分数)							
	C	Si	Mn	Mo	W	Cr	Ni	其他
38CrSi	0.35~	1.00~	0.30~			1.30~		
	0.43	1.30	0.60			1.60		
40CrSi	0.37~	1.20~	0.30~			1.30~		
	0.45	1.60	0.60			1.60		
15CrMn	0.12~	0.20~	1.10~			0.40~		
	0.18	0.40	1.40			0.70		
20CrMn	0.17~	0.20~	0.90~			0.90~		
	0.24	0.40	1.20			1.20		
40CrMn	0.37~	0.20~	0.90~			0.90~		
	0.45	0.40	1.20			1.20		
20CrMnSi	0.17~	0.90~	0.80~			0.80~		
	0.23	1.20	1.10			1.10		
25CrMnSi	0.22~	0.90~	0.80~			0.80~		
	0.29	1.20	1.10			1.10		
30CrMnSi	0.27~	0.90~	0.80~			0.80~		
	0.34	1.20	1.10			1.10		
35CrMnSi	0.32~	1.10~	0.80~			1.10~		
	0.39	1.40	1.10			1.40		
15CrMn2Si Mo	0.13~	0.40~	2.00~	0.40~		0.40~		
	0.19	0.70	2.40	0.50		0.70		
20CrV	0.17~	0.20~	0.50~			0.80~		V0.10~
	0.24	0.40	0.80			1.10		0.20
40CrV	0.37~	0.20~	0.50~			0.80~		V0.10~
	0.44	0.40	0.80			1.10		0.20
45CrV	0.42~	0.20~	0.50~			0.80~		V0.10~
	0.49	0.40	0.80			1.10		0.20
50CrV	0.47~	0.20~	0.50~			0.80~		V0.10~
	0.54	0.40	0.80			1.10		0.20
20CrMnTi	0.17~	0.20~	0.80~			1.00~		Ti0.06~
	0.24	0.40	1.10			1.30		0.12

续表

钢号	化学成分(质量分数)							
	C	Si	Mn	Mo	W	Cr	Ni	其他
30CrMnTi	0.24 - 0.32	0.20 - 0.40	0.80 - 1.10			1.00 - 1.30		Ti 0.06 - 0.12
16Mo	0.13 - 0.19	0.20 - 0.40	0.40 - 0.70	0.40 - 0.55				
12CrMo	0.15 - 0.15	0.20 - 0.40	0.40 - 0.70	0.40 - 0.55		0.40 - 0.70		
15CrMo	0.12 - 0.18	0.20 - 0.40	0.40 - 0.70	0.40 - 0.55		0.80 - 1.10		
20CrMo	0.17 - 0.24	0.20 - 0.40	0.40 - 0.70	0.15 - 0.25		0.80 - 1.10		
30CrMo	0.26 - 0.34	0.20 - 0.40	0.40 - 0.70	0.15 - 0.25		0.80 - 1.10		
35CrMo	0.32 - 0.40	0.20 - 0.40	0.40 - 0.70	0.15 - 0.25		0.80 - 1.10		
42CrMo	0.38 - 0.45	0.20 - 0.40	0.50 - 0.80	0.15 - 0.25		0.90 - 1.20		
15CrMnMo	0.12 - 0.18	0.20 - 0.40	0.90 - 1.20	0.20 - 0.30		1.00 - 1.30		
20CrMnMo	0.17 - 0.24	0.20 - 0.40	0.90 - 1.20	0.20 - 0.30		1.10 - 1.40		
40CrMnMo	0.37 - 0.45	0.20 - 0.40	0.90 - 1.20	0.20 - 0.30		0.90 - 1.20		
12CrMoV	0.08 - 0.15	0.20 - 0.40	0.40 - 0.70	0.25 - 0.35		0.30 - 0.60		VO 15 - 0.30
12Cr1MoV	0.08 - 0.15	0.20 - 0.40	0.40 - 0.70	0.25 - 0.35		0.90 - 1.20		VO 15 - 0.30
24CrMoV	0.20 - 0.28	0.20 - 0.40	0.30 - 0.60	0.50 - 0.60		1.20 - 1.50		VO 15 - 0.30
25Cr2MoV	0.22 - 0.29	0.20 - 0.40	0.40 - 0.70	0.25 - 0.35		1.50 - 1.80		VO 15 ~ 0.30

续表

钢号	化学成分(质量分数)							其他
	C	S	Mn	Mo	W	Cr	Ni	
25Cr2MoV	0.22 -	0.20 ~	0.50 -	0.90 -		2.10 -		VO.30
	0.29	0.40	0.80	1.10		2.50		-0.50
35CrMoV	0.30 ~	0.20 -	0.40 -	0.20 ~		1.00 ~		VO.10
	0.38	0.40	0.70	0.30		1.30		-0.20
38CrMoAl	0.35 ~	0.20 -	0.50 -	0.15 ~		1.35 -		VO.70
	0.42	0.40	0.60	0.25		1.65		-1.10
18Cr3Ni4WV	0.15 -	0.20 -	0.30 -	0.50 ~	0.50 -	2.50 -		VO.05
	0.21	0.40	0.60	0.70	0.80	3.00		-0.12
20Cr3Ni4WV	0.17 ~	0.20 ~	0.30 ~	0.35 ~	0.30 -	2.60 ~		VO.70
	0.24	0.40	0.60	0.50	0.60	3.00		-0.90
15Cr	0.12 -	0.20 -	0.40 ~			0.70 -		
	0.18	0.40	0.70			1.00		
20Cr	0.17 ~	0.20 ~	0.50 -			0.70 -		
	0.24	0.40	0.80			1.00		
30Cr	0.27 ~	0.20 -	0.50 -			0.80 ~		
	0.34	0.40	0.80			1.10		
35Cr	0.32 -	0.20 -	0.50 -			0.80 -		
	0.39	0.40	0.80			1.10		
40Cr	0.37 -	0.20 ~	0.50 ~			0.80 ~		
	0.45	0.40	0.80			1.10		
45Cr	0.42 -	0.20 -	0.50 -			0.80 -		
	0.49	0.40	0.80			1.10		
50Cr	0.47 -	0.20 -	0.50 -			0.80 -		
	0.54	0.40	0.80			1.10		
20CrNi	0.17 -	0.20 -	0.40 -			0.45 ~	1.00 ~	
	0.24	0.40	0.70			0.75	1.40	
40CrNi	0.37 ~	0.20 ~	0.50 ~			0.45 ~	1.00 ~	
	0.44	0.40	0.80			0.75	1.40	
45CrNi	0.42 -	0.20 -	0.50 -			0.45 -	1.00 ~	
	0.49	0.40	0.80			0.75	1.40	

续表

例号	化学成分(质量分数)							
	C	Si	Mn	Mo	W	Cr	Ni	其他
12CrNi2	0.10~ 0.17	0.20~ 0.40	0.30~ 0.60			0.60~ 0.90	1.50~ 2.00	
12CrNi3	0.10~ 0.17	0.20~ 0.40	0.30~ 0.60			0.60~ 0.90	2.75~ 3.25	
20CrNi3	0.17~ 0.24	0.20~ 0.40	0.30~ 0.60			0.60~ 0.90	2.75~ 3.25	
30CrNi3	0.27~ 0.34	0.20~ 0.40	0.30~ 0.60			0.60~ 0.90	2.75~ 3.25	
37CrNi3	0.34~ 0.41	0.20~ 0.40	0.30~ 0.60			1.20~ 1.60	3.00~ 3.50	
12Cr2Ni4	0.10~ 0.17	0.20~ 0.40	0.30~ 0.60			1.25~ 1.75	3.25~ 3.75	
20Cr2Ni4	0.17~ 0.24	0.20~ 0.40	0.30~ 0.60			1.25~ 1.75	3.25~ 3.75	
40CrNiMo	0.37~ 0.44	0.20~ 0.40	0.50~ 0.80	0.15~ 0.25		0.60~ 0.90	1.25~ 1.75	
45CrNiMoV	0.42~ 0.49	0.20~ 0.40	0.50~ 0.80	0.20~ 0.30		0.80~ 1.10	1.30~ 1.80	VO.10 -0.20
30CrNi2MoV	0.27~ 0.34	0.20~ 0.40	0.30~ 0.60	0.20~ 0.30		0.60~ 0.90	2.00~ 2.50	VO.15 -0.30
18Cr2Ni4W	0.13~ 0.19	0.20~ 0.40	0.30~ 0.60		0.80~ 1.20	1.35~ 1.65	4.00~ 4.50	
25Cr2Ni4W	0.21~ 0.28	0.20~ 0.40	0.30~ 0.60		0.80~ 1.20	1.35~ 1.65	4.00~ 4.50	
30CrMnSiNi2	0.26~ 0.33	0.90~ 1.20	1.00~ 1.30			0.90~ 1.20	1.40~ 1.80	
20NiMo	0.17~ 0.25	0.17~ 0.37	0.40~ 0.70	0.20~ 0.30		≤0.30	1.50~ 2.00	

续表

钢号	化学成分(质量分数)							
	C	Si	Mn	Mo	W	Cr	Ni	其他
40NiMo	0.37~ 0.45	0.17~ 0.57	0.50~ 0.80	0.20~ 0.30		≤0.30	1.50~ 2.00	
40Mn18Cr13	0.30~ 0.50	0.30~ 0.80	17.0~ 19.0			3.0~ 3.5		
50Mn18Cr14	0.45~ 0.55	0.30~ 0.80	17.0~ 19.0			3.8~ 4.5		
50Mn18Cr14 WN	0.45~ 0.55	0.30~ 0.80	17.0~ 19.0		0.80~ 1.20	3.8~ 4.5		N微量

注:最后5个钢号在YB6-71中未列入。

表 1-9(b) 合金结构钢的力学性能及用途(GB3077-88)

钢号	退火或 高温回 火供应 状态 HB, 不 大于	σ_b	σ_c	δ_5	ψ	α_k	用途举例
		(N/ mm ²)	(N/ mm ²)	(%)	(%)	(kg·m /cm ²)	
		不 小 于					
10Mn2	179	421	245	25	55	—	可作钢管、钢板
15Mn2	179	588	643	17	40	—	可代替 15Cr, 制造小截面的渗碳零件, 如齿轮等
20Mn2	187	784	588	10	40	6	可代替 20Cr 制造小截面的渗碳零件
30Mn2	207	784	637	12	45	8	可作冷墩螺栓或较大截面的调质零件
35Mn2	207	833	686	12	45	7	与 40Cr 相当, 用作较小截面零件, 如重要螺栓, 小轴等

续表

钢 号	退火或 高温回 火供应 状态 HB, 不 大于	σ_b	σ_s	δ_5	ψ	α_k	用 途 举 例
		(N/ mm ²)	(N/ mm ²)	(%)	(%)	(kg·m /cm ²)	
		不 小 于					
40Mn2	217	980	784	10	45	6	可代替 40Cr, 用作 ϕ 50mm 以下的重要螺 栓及零件
45Mn2	217	882	735	10	45	6	同 40Mn ₂ , 并用来制 造在较高应力与磨损 条件下工作的零件
50Mn2	229	931	784	9	40	5	用作在高应力及承 受强烈磨损条件下工 作的大型零件, 如方向 接头、轴、大型齿轮等
27SiMn	217	980	833	12	40	5	用作调质钢
35SiMn	229	882	735	15	45	6	可代替 40Cr 作调质 零件, 亦部分代替 40CrNi, 适于作轴、齿 轮及在 430℃ 以下工 作的重要紧固件
42SiMn	229	882	735	15	40	6	与 35SiMn 同, 但专 供表面淬火之用
40SiMn2	229	823	686	12	40	6	制钢管, 也用于避免 淬火变形的调质件

续表

钢 号	退火或 高温回 火供应 状态 HB, 不 大于	σ_b	σ_s	δ_5	ψ	a_k	用 途 举 例
		(N/ mm ²)	(N/ mm ²)	(%)	(%)	(kg·m /cm ²)	
20MnV	187	784	588	10	40	7	相当于 20CrNi 的渗碳钢
25Mn2V	207	735	588	15	50	10	用作汽轮机隔板 and 叶片(中温, 中压)
42Mn2V	217	980	833	11	45	6	与 40CrNi 相似, 用作要求较高强度的轴, 汽车重要调质件
30Mn2MoW	269	980	833	12	50	9	可代替 30CrNi4MoA, 制作轴、杆类调质件
30SiMn2MoV	269	882	784	12	50	9	可代替 30CrNi2MoVA 作轴类等零件
35Si2Mn2MoV	269	1666	—	9	40	5	可代替 40CrNiMo 作轴、齿轮、连杆等零件
15SiMn3Mo WV	269	1176	882	10	45	10	可取代 18Cr2Ni4W 制造大功率的高速柴油机曲轴
37SiMn2Mo WV	269	980	823	12	45	7	推荐代替 35CrNiMo, 40CrNiMo, 40CrMnMo, 制造承受重负荷的较大截面的零件, 如轴类、齿轮、连杆等

续表

钢 号	退火或 高温回 火供应 状态 HB, 不 大于	σ_b	σ_s	δ_5	ψ	α_k	用 途 举 例
		(N/ mm ²)	(N/ mm ²)	(%)	(%)	(kg·m /cm ²)	
		不 小 于					
20Mn2B	187	980	784	10	45	7	可代替 20Cr, 制造 心部强度要求较高、表 面耐磨、尺寸较大的渗 碳零件, 如机床上的各 种轴套、齿轮离合器、 汽车上的汽阀、拉杆等
20Mn2TiB	207	1127	931	10	45	7	可代替 18CrMnTi, 用于承受中等负荷的 渗碳零件, 如齿轮、轴、 短轴等
20MnVB	207	1078	882	10	45	7	可代替 20Cr 和 18CrMnTi, 用来制造 模数较大、负荷较重的 中小渗碳零件, 如机 床、汽车上的齿轮、小 轴等
20Mn2VB	207	1176	882	10	45	7	可代替 20Cr 和 18CrMnTi, 用来制造 模数较大、负荷较重的 中小渗碳零件, 如机 床、汽车上的齿轮、小 轴等

续表

钢 号	退火或 高温回 火供应 状态 IIIB, 不 大于	σ_b	σ_s	δ_5	ψ	a_k	用 途 举 例
		(N/ mm ²)	(N/ mm ²)	(%)	(%)	(kg·m /mm ²)	
		不 小 于					
20SiMnVB	207	1176	980	10	45	7	可代替 18CrMnTi, 用以制造大截面的、要求较高强度的渗碳零件
30Mn2MoTiB	255	1470	—	9	40	5	可代替在淬火、低温回火状态下使用的 25CrNi4W、30CrNi2MoV 制造中小截面的零件
40B	207	784	637	12	45	7	用于制造齿轮转向轴、拉杆、轴、凸轮等
45B	217	823	686	12	45	6	
50B	207	784	539	10	45	5	
40MnB	207	980	784	10	45	6	可代替 40Cr, 制造齿轮套筒、轴、曲轴、销子、连杆、螺钉等
45MnB	217	1029	833	9	40	5	可代替 40Cr, 用以制造较重要的调质零件, 如齿轮套筒、轴、曲轴、连杆等

续表

钢 号	退火或 高温回 火供应 状态 HB, 不 大于	σ_b	σ_s	δ_5	ψ	a_k	用 途 举 例
		(N/ mm ²)	(N/ mm ²)	(%)	(%)	(kg·m /cm ²)	
45Mn2B	217	980	823	9	40	5	可代替 40Cr, 用以制造较重要的调质零件, 如齿轮套筒、轴、曲轴、连杆等
40MnVB	207	980	784	10	45	6	可代替 40Cr、45Cr、或部分代替 42CrMo 和 40CrNi 来制造重要的调质零件, 如机床大型主轴等
40MnWB	229	980	784	10	45	7	可代替 35CrMo、40CrNi 用以制造要求高机械性能的大截面零件
38CrSi	255	980	833	12	50	7	用作主轴、拖拉机的进气阀、油泵齿轮、铆钉机压头等
40CrSi	255	1225	1029	11	40	5	用作受强力负荷的轴、齿轮、轴套以及受摩擦的零件和耐热机件

续表

例 号	退火或 高温回 火供应 状态 HB, 不 大于	σ_b	σ_s	δ_5	ψ	a_k	用 途 举 例
		($\sqrt{\text{mm}^2}$)	($\sqrt{\text{mm}^2}$)	(%)	(%)	($\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$)	
		不 小 于					
15CrMn	179	784	588	12	50	6	用作汽轮机密封轴套
20CrMn	187	931	69	10	45	6	相当于 20CrNi, 用以制造蜗杆、主轴、齿轮、摩擦轮等
40CrMn	229	980	833	9	45	6	用作轴、连杆、齿轮、水泵转子、离合器等, 并可部分代替 42CrMo 和 40CrNi
20CrMnSi	207	784	637	12	45	7	用作高强度构件
25CrMnSi	217	1078	882	10	40	5	用作高强度构件
30CrMnSi	229	1078	882	10	45	5	用作高压鼓风机, 压缩机叶片, 高速度负荷如砂轮轴以及温度不高而要求耐磨的零件
35CrMnSi	229	1617	—	9	40	5	可作高压鼓风机叶轮, 飞机上的高强度零件

续表

钢 号	退火或 高温回 火供应 状态 HB, 不 大于	σ_b	σ_s	δ_5	ψ	a_k	用 途 举 例
		(N/ mm ²)	(N/ mm ²)	(%)	(%)	(kg·m /cm ²)	
		不 小 于					
15CrMn2SiMo	229	1176	882	10	45	8	用以制造截面大、承受冲击负荷的齿轮、齿轮轴等渗碳零件,以代替 18CrNiW、20Cr2Ni4、21Ni5 等钢使用
20CrV	197	833	588	12	45	7	汽轮机用螺母、垫圈及齿轮、活塞、顶杆等
40CrV	241	882	735	10	50	9	用作重要零件,如曲轴、齿轮、推杆、双头螺栓、螺旋桨、高压给水泵、高温高压下工作的螺栓、机车连杆等
45CrV	255	980	784	10	45	8	可代 40CrNi, 作大型轴、轧钢机万向接头、压力螺栓等
50CrV	255	1274	1127	10	40	-	蒸汽温度小于 400℃ 的重要零件及高负荷的大型弹簧
20CrMnTi	217	1078	833	10	45	7	是重要的齿轮材料

续表

钢 号	退火或 高温回 火供应 状态 HB, 不 大于	σ_b	σ_s	δ_5	ψ	a_k	用 途 举 例	
		(N/ mm ²)	(N/ mm ²)	(%)	(%)	(kg·m /cm ²)		
		不 小 于						
30CrMnTi	229	1470	—	9	40	6	用作汽车、拖拉机上较大的重要齿轮,以及要求心部强度特高的渗碳齿轮	
16Mo	179	392	245	25	60	12	用作汽轮机隔板、特殊螺栓、法兰盘等	
12CrMo	179	412	265	24	60	14	用作汽轮机的上汽管、蛇形管、导管及其锻件等	
15CrMo	179	441	294	22	60	12	用作汽轮机的主汽管、蛇形管、导管及其锻件等	
20CrMo	197	882	686	12	50	10	较高级的渗碳用钢,用在含有氮氢混合物介质中工作的高压管及相应锻件	
30CrMo	229	931	784	12	50	8	锅炉上的紧固件,受高温高压的法兰和螺栓等	

续表

钢 号	退火或 高温回 火供应 状态 H11, 不 大于	σ_b	σ_s	δ_5	ψ	a_k	用 途 举 例
		(N/ mm ²)	(N/ mm ²)	(%)	(%)	(kg·m /cm ²)	
35CrMo	229	980	833	12	45	8	可代替 38CrMnNi 及 40CrNi 钢, 作较大的齿轮和轴、汽轮发电机转子、锅炉上的紧固件等
42CrMo	217	1078	931	12	45	8	可代替含 Ni 较高的调质钢, 重要大型锻件用钢, 作机车牵引大齿轮、增压器传动齿轮、深井钻机的接头和打捞工具
15CrMnMo	197	931	686	11	50	9	可代替含 Ni 较高的渗碳钢, 作大型拖拉机后轴传动齿轮、活塞销、石油钻机的牙轮、钻头
20CrMnMo	217	1176	882	10	45	7	同上, 用于较大截面的零件
40CrMnMo	217	980	784	10	45	8	相当于 40CrNiMo 的高级调质钢
12CrMoV	156	441	225	22	50	10	用作汽轮机隔板、隔板外环、转向导叶环等

续表

钢 号	退火或 高温回 火供应 状态 IEB, 不 大于	σ_b	σ	δ_5	ψ	a_k	用途举例
		(N/ mm ²)	(N/ mm ²)	(%)	(%)	(kg·m /cm ²)	
12Cr1MoV	178	490	245	22	50	9	用作汽轮机隔板、隔 板外环、转向导叶环等
24CrMoV	255	784	588	14	50	6	汽轮发电机转子、叶 轮, 还可代铸镍钼钢 作大电炉的传动齿轮 和轴
25Cr2MoV	241	931	784	14	55	6	汽轮机整体转子套 筒、阀、高温下工作的 螺母、螺栓等
25Cr2Mo1V	241	735	588	16	50	6	用作汽轮机前汽缸、 螺栓、阀杆等
35CrMoV	241	1078	931	10	50	9	作涡轮鼓风机及压 缩机转子、盖盘、轴盘 等
38CrMoAl	229	980	833	14	50	9	用于渗碳零件, 如高 压阀杆阀门、橡胶及塑 料挤压机等
18Cr3MoWV	229	637	441	18	40	12	高压抗氢用钢(300 大气压设备)

续表

钢 号	退火或 高温回 火供应 状态 HB, 不 大于	σ_b	σ_s	δ_5	ψ	a_k	用 途 举 例
		(N/ mm ²)	(N/ mm ²)	(%)	(%)	(kg·m /cm ²)	
		不 小 于					
20Cr3MoWV	229	784	637	14	40	7	高压抗氢用钢(700 大气压设备)
15Cr	179	735	490	11	45	7	船舶主机用螺栓、活 塞销、凸轮、轴、汽轮机 套环、机车用小零件等
20Cr	179	833	539	10	40	6	柴油机活塞销、凸 轮、轴、小拖拉机传动 齿轮、较重要的渗碳件
30Cr	187	882	686	11	45	6	制作螺栓等重要调 质零件
35Cr	207	931	735	11	45	6	制作螺栓等重要调 质零件
40Cr	207	980	784	9	45	6	用于较重要的调质 零件,如汽车转向节、 连杆、螺栓、进气阀、重 要齿轮、轴等
45Cr	217	1029	833	9	40	5	用于拖拉机离合器、 齿轮、柴油机连杆、螺 栓、连杆等

续表

钢 号	退火或 高温回 火供应 状态 HB, 不 大于	σ_b	σ_s	δ_5	ψ	α_k	用 途 举 例
		(N/ mm ²)	(N/ mm ²)	(%)	(%)	(kg·m /cm ²)	
		不 小 于					
50Cr	229	1078	931	9	40	5	用于支承辊心轴、强度或耐磨性高的轴或齿轮、油膜轴承的轴套等
20CrNi	197	784	588	10	50	8	用作重要零件如齿轮、传动轴、曲轴、花键轴、活塞销等
40CrNi	241	980	784	10	45	7	用作大截面的重要零件,如轴、齿轮、转子及紧固材料等
45CrNi	255	980	784	10	45	7	用作大截面的重要零件,如轴、齿轮、转子及紧固材料等
12CrNi2	207	784	588	12	50	8	主要用于制造承受高负荷的渗碳部件,如各种齿轮、凸轮轴、操纵用零件、万向接头等

续表

钢 号	退火或 高温回 火供应 状态 HB, 不 大于	σ_b	σ_s	δ_5	ψ	a_k	用 途 举 例
		(N/ mm ²)	(N/ mm ²)	(%)	(%)	(kg·m /cm ²)	
12CrNi3	217	931	686	11	50	9	主要用于制造承受 高负荷的渗碳部件,如 各种内轮、凸轮轴、操 纵用零件、万向接头等
20CrNi3	241	931	735	11	55	10	主要用于制造承受 高负荷的渗碳部件,如 各种齿轮、凸轮轴、操 纵用零件、万向接头等
30CrNi3	241	980	784	9	45	8	用作受扭转负荷及 冲击负荷较高的机件, 如方向轴、操纵杆、前 轴、传动轴、曲轴、锻模 等
37CrNi3	269	1127	980	10	50	6	用作受扭转负荷及 冲击负荷较高的机件, 如方向轴、操纵杆、前 轴、传动轴、曲轴、锻模 等

续表

钢号	退火或 高温回 火供应 状态 HB, 不 大于	σ_b	σ_s	δ_5	ψ	a_k	用途举例
		(N/ mm ²)	(N/ mm ²)	(%)	(%)	(kg·m /cm ²)	
12Cr2Ni4	269	1078	833	10	50	9	用于制造受高负荷 的各种传动齿轮、蜗 轮、蜗杆、大尺寸的轴、 万向接头等
20Cr2Ni4	269	1176	1078	10	45	8	用于制造受高负荷 的各种传动齿轮、蜗 轮、蜗杆、大尺寸的轴、 万向接头等
40CrNiMo	269	980	833	12	55	10	用于要求高强度及 大尺寸的部件,如重型 机械中高负荷的轴类、 汽轮机轴、叶片等
45CrNiMoV	269	1470	1323	7	35	4	用于要求高强度及 大尺寸的部件,如重型 机械中高负荷的轴类、 汽轮机轴、叶片等
40Mn18Cr3	—	735 - 1029	637 - 931	245 - 343	35 - 52	5 - 4	作汽轮发电机的转 子、护环用

注:此表的力学性能是经热处理后的数据,热处理规范可参考 YB6-71。

表 1-10(a) 热轧及冷拉弹簧钢的钢号和主要化学成分(GB1222-84)

序号	钢号	主要化学成分(质量分数)							其他*
		C	Si	Mn	Cr	V	其他*		
(1)	65	0.62~0.70	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.25				
(2)	70	0.62~0.75	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.25				
(3)	85	0.82~0.90	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.25				
(4)	65Mn	0.62~0.70	0.17~0.37	0.90~1.20	≤0.25			10.0005~0.004	
(5)	55S2Mn	0.52~0.60	1.50~2.00	0.60~0.90	≤0.35			10.0005~0.0035	
(6)	55S2MnB	0.52~0.60	1.50~2.00	0.60~0.90	≤0.35				
(7)	55SiMnVB	0.52~0.60	0.70~1.00	1.00~1.30	≤0.35	0.80~0.16			
(8)	60S2Mn	0.56~0.64	1.50~2.00	0.60~0.90	≤0.35				
(9)	60S2MnA*	0.56~0.64	1.60~2.00	0.60~0.90	≤0.35				
(10)	60S2CrA*	0.56~0.64	1.40~1.80	0.40~0.70	0.70~1.00				
(11)	60S2CrVA*	0.56~0.64	1.40~1.80	0.40~0.70	0.90~1.20	0.10~0.20			
(12)	55CrMnA*	0.52~0.60	0.17~0.37	0.65~0.95	0.60~0.95				
(13)	60CrMnA*	0.56~0.64	0.17~0.37	0.70~1.00	0.70~1.00				
(14)	60CrMnMoA*	0.56~0.64	0.17~0.37	0.70~1.00	0.70~0.90			Mo0.25~0.35	
(15)	50CrVA*	0.46~0.54	0.17~0.37	0.50~0.80	0.80~1.10	0.10~0.20			
(16)	60CrMnBA*	0.56~0.64	0.17~0.37	0.70~1.00	0.70~1.00			10.0005~0.004	
(17)	30W4Cr2VA*	0.26~0.34	0.17~0.37	≤0.40	2.00~2.50	0.50~0.80		W4.00~4.50	

* 硫、磷含量各不大于 0.030, 其他各不大于 0.035。

表 1-10(b) 弹簧钢材的交货状态及在交货状态下的硬度值(GB1222-84)

组号	钢 号	交货状态	HB 不大于
(1)	65, 70	热轧	285
(2)	85, 65Mn, 55Si2Mn		302
(3)	60Si2Mn, 60Si2MnA, 50CrVA, 55SiMnVB, 55Si2MnB, 55CrMnA, 60CrMnA		321
(4)	60Si2CrA, 60Si2CrVA, 60CrMnBA, 60CrMnMoA, 30W4Cr2VA	热轧 + 热处理	321
(5)	所有钢号	冷拉 + 热处理	321

注:①供方能保证合格时,可不作此项试验。

②55SiMnVB 热轧材,其布氏硬度 HB 不大于 341 的,其质量不超过交货量 10% 的,允许交货。

表 1-10(c) 弹簧钢钢材在热处理状态下的纵向力学性能指标(GB1222-84)

序号	牌号	热处理制度			力学性能, 不小于				
		淬火温度 ($^{\circ}\text{C}$)	淬火 介质	回火温度 ($^{\circ}\text{C}$)	σ_s (N/mm^2)	σ_b (N/mm^2)	δ (%)		ψ (%)
							δ_5	δ_{10}	
(1)	65	840	油	500	785 (80)	981 (100)		9	35
(2)	70	830	油	480	834 (85)	1030 (105)		8	30
(3)	85	820	油	480	981 (100)	1128 (115)		6	30
(4)	65Mn	830	油	540	785 (80)	981 (100)		8	30

续表

序号	牌号	热处理制度			力学性能, 不小于				
		淬火温度 (°C)	淬火 介质	回火温度 (°C)	σ_s (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	δ (%)		ψ (%)
							δ_5	δ_{10}	
(5)	55S2Mn	870	油	480	1177 (120)	1275 (130)		6	30
(6)	55S2MnB	870	油	480	1177 (120)	1275 (130)		6	30
(7)	55S2MnVB	860	油	460	1226 (125)	1373 (140)		5	30
(8)	60S2Mn	870	油	480	1177 (120)	1275 (130)		5	25
(9)	60S2MnA	870	油	440	1373 (140)	1569 (160)		5	20
(10)	60S2CrA	870	油	420	1569 (160)	1765 (180)	6		20
(11)	60Si2CrVA	850	油	410	1667 (170)	1863 (190)	6		20
(12)	55CrMnA	830 - 860	油	460 - 510	σ_2 1079 (σ_2 110)	1226 (125)	9		20
(13)	60CrMnA	830 - 860	油	460 - 520	σ_2 1079 (σ_2 110)	1226 (125)	9		20
(14)	60CrMn MnA	—	—	—	—	—	—	—	—
(15)	50CrVA	850	油	500	1128 (115)	1275 (130)	10		40
(16)	60CrMnBA	830 - 860	油	460 - 520	σ_2 1079 (σ_2 110)	1226 (125)	9		20
(17)	30W4Cr2 VA	1050 - 1100	油	600	1324 (135)	1471 (150)	7		40

注:①表列性能适用于截面尺寸 $\leq 80\text{mm}$ 的钢材, $> 80\text{mm}$ 的钢材允许其 δ 、 ψ 值较表内的规定分别降低1个单位及5个单位。

②除规定热处理上下限外,表中热处理温度允许偏差为:淬火 $\pm 20^\circ\text{C}$,回火 $\pm 50^\circ\text{C}$ 。

③30W₄Cr₂VA除 σ_b 外,其他性能检验结果供参考。

表 1-11(a) 常用轴承钢的类别、钢号、化学成分及交货状态下的硬度值

类别	钢号	标准号	主要化学成分(质量分数)					其他	HB (退火后)
			C	Mn	S	Cr			
轴 承 钢	GC46	YB9-68	1.05~1.15	0.20~0.40	0.15~0.35	0.40~0.70	—	179~207	
	GC99		1.00~1.10	0.20~0.40	0.15~0.35	0.90~1.20	—		
	GCr15SiMn		1.00~1.10	0.90~1.20	0.40~0.70	0.90~1.20	—		
	GCr15		0.95~1.05	0.20~0.40	0.15~0.35	1.30~1.65	—		
	GCr15SiMn		0.95~1.05	0.90~1.20	0.40~0.65	1.30~1.65	—		
无 侧 轴 承 钢	GSMnV(RE)		0.95~1.10	1.10~1.30	0.55~0.80	≤0.30	N ₂ ≤0.30 V _{0.20} ~0.30	—	
轴 承 钢	GSMnMoV(RE)	YB9-70 (试行)	0.95~1.10	0.75~1.05	0.40~0.65	≤0.30	M _{60.20} ~0.40 V _{0.20} ~0.30	—	
	GSMnMoV(RE)		0.95~1.07	1.10~1.40	0.15~0.40	≤0.30	N ₂ ≤0.3 M _{60.40} ~0.60 V _{0.15} ~0.25	—	
不 锈 轴 承 钢	9Cr18	GB3086-82	0.90~1.00	≤0.80	≤0.80	17~19	—	197~241	
	9Cr18Mo		0.95~1.10	≤0.80	≤0.80	16~18	M _{60.40} ~0.70		
轴 承 钢	1Cr18Ni9Ti	GB1220-84	≤0.12	≤2.00	≤1.00	17~19	N ₂ ~11 TS(C-0.02)~0.8	—	
	0Cr17Ni7Al		≤0.09	≤1.00	≤1.00	16~18	N _{6.5} ~7.5 A _{80.75} ~1.5	≥388	

类别	牌号	标准号	主要化学成分(质量分数)						1B (退火后)
			C	Mn	Si	Cr	其他		
渗碳 轴承 钢	15Mn	GB699-88	0.12~0.19	0.70~1.00	0.17~0.37	≤0.25	N≤0.25	—	
	20		0.17~0.24	0.35~0.65	0.17~0.37	≤0.25	N≤0.25		
	G20CrMn	GB3203-82	0.17~0.23	0.65~0.95	0.20~0.35	0.35~0.65	Mn0.08~0.15	≤229	
	G20CrNiMo		0.17~0.23	0.60~0.90	0.15~0.40	0.35~0.65	Ni0.40~0.70 Mn0.15~0.30	≤229	
	G20CrNi2Mo		0.17~0.23	0.40~0.70	0.15~0.40	0.35~0.65	Ni1.60~2.00 Mn0.20~0.30	≤229	
	G10CrNi3Mo		0.08~0.13	0.40~0.70	0.15~0.40	1.00~1.40	Ni3.00~3.50 Mn0.08~0.15	≤229	
	G20Cr2Ni4	0.17~0.23	0.30~0.60	0.15~0.40	1.25~1.75	Ni3.25~3.75	≤241		
	G20Cr2Ni2Mo	0.17~0.23	1.30~1.60	0.15~0.40	1.70~2.00	N≤0.30 Mn0.20~0.30	≤229		
	G4MnV	YB688-76	0.75~0.85	≤0.35	≤0.35	3.75~4.25	Mn4.0~4.50 V0.90~1.10	197~241	
	Cr15Mo4		0.90~1.10	≤1.00	≈1.00	14~16	Mn3.8~4.3		
W18Cr4V	YB12-77	0.70~0.80	≤0.40	≈0.40	3.8~4.4	W17.5~19.0 V1.0~1.40	≈255		
W6CoV2Mo		0.70~0.80	≤0.40	≈0.40	3.8~4.4	W8.5~10.0 Mn3.0~3.80V1.3~1.7			

表 1-11 (b) 渗碳轴承钢的力学性能 (GB3203—82)

钢号	试样 毛坯 直径 (mm)	淬 火		冷 却 剂	回 火		力 学 性 能			
		温度(℃)			温 度 (℃)	冷 却 剂	σ_b	δ_5	ψ	α_k
		第一次 淬火	第二次 淬火	(N/mm ²)			(%)	(%)	(J/cm ²)	
G20CrNiMo	15	880±20	790±20	油	150~200	空	1177	9	45	78.5
G20CrNi ₂ Mo	25	880±20	800±20	油	150~200	空	981	13	45	78.5
G20Cr ₂ Ni ₄	15	870±20	790±20	油	150~200	空	1177	10	45	78.5
G10CrNi ₃ Mo	15	880±20	790±20	油	180~200	空	1079	9	45	78.5
G20Cr ₂ Mn ₂ Mo	15	880±20	810±20	油	180~200	空	1275	9	40	68.7

注：①表内为纵向力学性能。

②表列力学性能系用 $\phi 15$ (25) mm 热处理毛坯测定，适用于截面尺寸 ≤ 80 mm的钢材。

(2) 工具钢

表 1-12(a) 碳素工具钢钢号及化学成分(GB1298—86)

(质量分数)

序号	钢号	C	Mn	Si	S	P
1	T7	0.65~0.74	≤ 0.40	≤ 0.35	≤ 0.030	≤ 0.035
2	T8	0.75~0.84	≤ 0.40	≤ 0.35	≤ 0.030	≤ 0.035
3	T8Mn	0.80~0.90	0.40~0.60	≤ 0.35	≤ 0.030	≤ 0.035
4	T9	0.85~0.94	≤ 0.40	≤ 0.35	≤ 0.030	≤ 0.035
5	T10	0.95~1.04	≤ 0.40	≤ 0.35	≤ 0.030	≤ 0.035

续表

序号	钢号	C	Mn	Si	S	P
6	T11	1.05~1.14	≤0.40	≤0.35	≤0.030	≤0.035
7	T12	1.15~1.24	≤0.40	≤0.35	≤0.030	≤0.035
8	T13	1.25~1.35	≤0.40	≤0.35	≤0.030	≤0.035

注：①高级优质钢（钢号后加A，如T7A）S含量≤0.020%，P含量≤0.030%。

②平炉钢的S含量，优质钢≤0.035%，高级优质钢≤0.025%。

表 1-12(b) 钢材在退火交货状态和淬火后的硬度值(GB1298—86)

序号	钢号	退火后钢的硬度		淬火后钢的硬度	
		HB 不高于	d=10mm, P=3000kN 压痕直径, 不小于	淬火温度(℃) 及冷却剂	HRC 不小于
1	T7	187	4.4	800~820 水	62
2	T8	187	4.4	780~800 水	62
3	T8Mn	187	4.4	780~800 水	62
4	T9	192	4.35	760~780 水	62
5	T10	197	4.3	760~780 水	62
6	T11	207	4.2	760~780 水	62
7	T12	207	4.2	760~780 水	62
8	T13	217	4.1	760~780 水	62

表 1·13 (a) 合金工具钢的钢号及

序 号	钢 组	钢 号	化 学		
			C	Si	Mn
1-1	量具刃具用钢	9SiCr	0.85~0.85	1.20~1.60	0.30~0.60
1-2		8MnSi	0.75~0.85	0.30~0.60	0.80~1.10
1-3		Cr06	1.30~1.45	≤0.40	≤0.40
1-4		Cr2	0.95~1.10	≤0.40	≤0.40
1-5		9Cr2	0.80~0.95	≤0.40	≤0.40
1-6		W	1.05~1.25	≤0.40	≤0.40
2-1	耐冲击工具用钢	4CrW2Si	0.35~0.45	0.80~1.10	≤0.40
2-2		5CrW2Si	0.45~0.55	0.50~0.80	≤0.40
2-3		6CrW2Si	0.55~0.65	0.50~0.80	≤0.40
3-1	冷作模具钢	Cr12	2.00~2.30	≤0.40	≤0.40
3-2		Cr12Mo1V1	1.40~0.60	≤0.60	≤0.60
3-3		Cr12Mo1V	1.45~1.70	≤0.40	≤0.40
3-4		Cr5Mo1V	0.95~1.05	≤0.50	≤1.00
3-5		9Mn2V	0.85~0.95	≤0.40	1.70~2.00
3-6		CrWMn	0.90~1.05	≤0.40	0.80~1.10
3-7		9CrWMn	0.85~0.95	≤0.40	0.90~1.20
3-8		Cr1W2MoV	1.12~1.25	0.40~0.70	≤0.40
3-9		6Cr4W3Mo2VNb	0.60~0.70	≤0.40	≤0.40
3-10		6W6Mo5Cr4V	0.55~0.65	≤0.40	≤0.60

主要化学成分 (GB1299—85)

成 分 (质量分数)

P	S	Cr	W	Mo	V	其他
不大于						
0.030	0.030	0.95~1.25				
0.030	0.030					
0.030	0.030	0.50~0.70				
0.030	0.030	1.30~1.65				
0.030	0.030	1.30~1.70				
0.030	0.030	0.10~0.30	0.80~1.20			
0.030	0.030	1.00~1.30	2.00~2.50			
0.030	0.030	1.00~1.30	2.00~2.50			
0.030	0.030	1.00~1.30	2.20~2.70			
0.030	0.030	11.50~13.00				
0.030	0.030	11.00~13.00		0.70~1.20	≤1.10	Co≤1.00
0.030	0.030	11.00~12.50		0.40~0.60	0.15~0.30	
0.030	0.030	4.75~5.50		0.90~1.40	0.15~0.50	
0.030	0.030				0.10~0.25	
0.030	0.030	0.90~1.20	1.20~1.60			
0.030	0.030	0.50~0.80	0.50~0.80			
0.030	0.030	3.50~4.00	1.90~2.60	0.80~1.20	0.80~1.10	
0.030	0.030	3.80~4.40	2.50~3.50	1.80~2.50	0.80~1.20	
0.030	0.030	3.70~4.30	6.00~7.00	4.50~5.50	0.70~1.10	Nb0.20~0.35

序号	钢组	钢号	化 学		
			C	Si	Mn
4-1	热作模具钢	5CrMnMo	0.50-0.60	0.25-0.60	1.20-1.60
4-2		5CrNiMo	0.50-0.60	0.40	0.50-0.80
4-3		3Cr2W8V	0.30-0.40	0.40	0.40
4-4		5Cr4Mo3SiMnVA1	0.47-0.57	0.80-1.10	0.80-1.10
4-5		3Cr3Mo3W2V	0.32-0.42	0.60-0.90	0.65
4-6		5Cr4W5Mo2V	0.40-0.50	0.40	0.40
4-7		8Cr3	0.75-0.85	0.40	0.40
4-8		4CrMnSiMoV	0.35-0.45	0.80-1.10	0.80-1.10
4-9		4Cr3Mo3SiV	0.35-0.45	0.80-1.20	0.25-0.70
4-10		4Cr5MoSiV	0.33-0.43	0.80-1.20	0.20-0.50
4-11		4Cr5MoSiV1	0.32-0.45	0.80-1.20	0.20-0.50
4-12		4Cr5W2VSi	0.32-0.42	0.80-1.20	0.40
5-1	无磁模具钢	7Mn15Cr2Al3V2WMo	0.65-0.75	0.80	14.50-16.50
6-1	塑料模具钢	3Cr2Mo	0.28-0.40	0.20-0.80	0.60-1.00

续表

成分(质量分数)

P	S	Cr	W	Mo	V	其他
不大于						
0.030	0.030	0.60-0.90		0.15-0.30		
0.030	0.030	0.50-0.80		0.15-0.30		
0.030	0.030	2.20-0.70	7.50-9.00		0.20-0.50	NI.40-1.80
0.030	0.030	3.80-4.30		2.80-3.40	0.80-1.20	Al.30-0.70
0.030	0.030	2.80-3.30	1.20-1.80	2.50-3.00	0.80-1.20	
0.030	0.030	3.40-4.40	1.50-5.30	1.50-2.10	0.70-1.10	
0.030	0.030	3.20-3.80				
0.030	0.030	1.30-1.50		0.40-0.60	0.20-0.40	
0.030	0.030	3.00-3.75		2.00-3.00	0.25-0.75	
0.030	0.030	4.75-5.50		1.10-1.60	0.30-0.60	
0.030	0.030	4.75-5.50		1.10-1.75	0.80-1.20	
0.030	0.030	4.50-5.50	1.60-2.40		0.60-1.00	
	0.030	2.00-2.50	0.50-0.80	0.50-0.80	1.50-2.00	Al.30-3.30
0.030	0.030	1.40-2.00		0.30-0.55		

③

表 1-13 (b) 钢材在交货状态和淬火后的硬度值 (GB1299—85)

序号	钢号	交货状态		试样淬火		
		硬度值 HB	压痕直径 (mm)	淬火温度(°C) 和冷却剂	硬度值 HB'	不小于
1-1	9SiCr	241-197	3.9-4.3	820-860	油	62
1-2	8MnSi	≤229	≥4.0	800-820	油	60
1-3	Cr06	241-187	3.9-4.4	780-810	水	64
1-4	Cr2	229-179	4.0-4.5	830-860	油	62
1-5	9Cr2	217-179	4.1-4.5	820-850	油	62
1-6	W	229-187	4.0-4.4	800-830	水	62
2-1	4CrW2Si	217-179	4.1-4.5	860-900	油	53
2-2	5CrW2Si	255-207	3.8-4.2	860-900	油	55
2-3	6CrW2Si	285-229	3.6-4.0	860-900	油	57
3-1	Cr12	269-217	3.7-4.1	950-1000	油	60
3-2	Cr12Mo1V1	≤255	≥3.8	820 预热, 1000(盐浴) 或 1010(炉控气氛)加 热, 保温 10-20min 空冷, 200 回火		59
3-3	Cr12MoV	255-207	3.8-4.2	950-1000	油	58
3-4	Cr5Mo1V	≤255	≥3.95	790 预热, 940(盐浴) 或 950(炉控气氛)加 热, 保温 5-15min 空 冷, 200 回火		60
3-5	9Mn2V	≤229	≥4.0	780-810	油	62
3-6	CrWMn	255-207	3.8-4.2	800-830	油	62
3-7	9CrWMn	241-197	3.9-4.3	800-830	油	62

续表

序号	钢号	交货状态		试样淬火	
		硬度值 HB	压痕直径 (mm)	淬火温度(℃) 和冷却剂	硬度值 HRC 不小于
3-8	Cr4W2MoV	≤269	≥3.7	960 - 980、1020 - 1040	油 60
3-9	6Cr4W3Mo2VNb	≤255	≥3.8	1100 - 1160	油 60
3-10	6W6Mo5Cr4V	≤269	≥3.7	1180 - 1200	油 60
4-1	5CrMnMo	241 - 197	3.9 - 4.3	820 - 850	油
4-2	5CrNiMo	241 - 197	3.9 - 4.3	830 - 860	油
4-3	3Cr2W8V	255 - 207	3.8 - 4.2	1075 - 1125	油
4-4	5Cr4Mo3SiMnVAI	≤255	≥3.8	1090 - 1120	油 60
4-5	3Cr3Mo3W2V	≤255	≥3.8	1060 - 1130	油
4-6	5Cr4W5Mo2V	≤269	≥3.7	1100 - 1150	油
4-7	8Cr3	255 - 207	3.8 - 4.2	850 - 880	油
4-8	4CrMnSiMoV	241 - 197	3.9 - 4.3	870 - 930	油
4-9	4Cr3Mo3SiV	≤229	≥4.0	790 预热, 1010(盐浴) 或 1020(炉控气氛)加 热, 保温 5 - 15min 空 冷, 550 回火	
4-10	4Cr5MoSiV	≤235	≥3.95	790 预热, 1000(盐浴) 或 1010(炉控气氛)加 热, 保温 5 - 15min 空 冷, 550 回火	

续表

序号	钢号	交货状态		试样淬火	
		硬度值 HB	压痕直径 (mm)	淬火温度(°C) 和冷却剂	硬度值 HB 不小于
4-11	4Cr5MoSiV1	≤235	≥3.95	790 预热,1000(盐浴) 或 1010(炉控气氛)加 热,保温 5-15min 空 冷,550 回火	
4-12	4Cr5W2VS1	≤229	≥4.0	1030-1050 油或空	
5-1	7Mn15Cr2Al3V2WMo	—	—	1170-1190 固溶	水 45
6-1	3Cr2Mo	—	—	650-700 时效	空

注: ①对 Cr12Mo1V1、Cr5Mo1V、4Cr3Mo3SiV、4Cr5MoSiV 和 4Cr5MoSiV1 钢热处理温度允许调整范围。预热温度 ±15°C, 加热温度 +6°C, 回火温度 ±6°C。

②保温时间是指试样达到加热温度后保持的时间。

a. 试样在盐浴中进行, 在该温度保持时间为 5min, 对 Cr12Mo1V1 钢是 10min。

b. 试样在炉控气氛中进行, 在该温度保持时间为 5-15min, 对 Cr12Mo1V1 钢是 10-20min。

③回火温度 200°C 时应一次回火 2h, 550°C 时应两次回火, 每次 2h。

④3Cr2Mo 钢不作热处理。一般以预硬状态供应。

7Mn15Cr2Al3V2WMo 钢可以热轧状态供应, 不作交货硬度

表 1-14 合金工具钢的特性和用途

钢组	钢号	主要特性	用途举例
量具刀具用钢	9SiCr	淬透性比铬钢好, $\phi 40 \sim 50\text{mm}$ 的工件可以淬透, 回火稳定性较高, 热处理变形小, 但脱碳倾向较大	用作耐磨性高、切削不剧烈的刀具, 如板牙、丝锥、钻头、铰刀、齿轮铣刀、拉刀等, 还可用作冷中模、冷轨辊
	8MnSi	韧性、淬透性与耐磨性均优于碳素工具钢	一般多用作木工凿子、锯条或其他刀具
	CrW5	低淬透性工具钢, 但热处理后具有高的硬度和耐磨性	用作低速切削硬金属的车刀、铣刀等, 亦可用作拔丝模
	Cr06	钢在淬火后的硬度和耐磨性都很高, 但比较脆, 淬透性不好	一般经冷轧成薄钢带后, 用作剃刀、刀片、外科医疗刀具以及刮刀、刻刀
	Cr2	钢的淬透性、硬度和耐磨性比碳素工具钢高, 淬火变形不大	用作低速、走刀量小、加工材料不很硬的切削刀具, 还可作样板、量规、冷轨辊等

续表

钢组	钢号	主要特性	用途举例
母具刀具用钢	9Cr2	性能与 Cr2 基本相似	主要用作冷轨辊、钢印冲孔凿、冷冲模及冲头、木工工具等
	W	比碳工钢具有细晶粒的淬火组织,且有较高的耐冲击性能和保持锋利刃口性能,淬透性不高	主要用作造币用的冲模、剪子、凿子、风钻风镐、螺帽及铆钉用的冷冲头及丝锥、圆板牙等
耐冲击工具用钢	4CrW2Si	钢在高温时有较好的强度和硬度,且有较高的韧性	用于冲击震动较大的风动工具、中应力热锻模、受热温度不高的压铸模、冷剪金属用刀片等
	5CrW2Si	性能用 4CrW2Si,但在 650℃ 时的硬度稍高,可达 HRC41~43 左右。热处理时对脱碳、变形和开裂的敏感性不大	可用作冷加工用的手动或风动凿子、铆钉工具、冷冲压模等;也可作热加工用的冲孔或穿孔工具、热锻及热剪模、易熔合金的压铸模、热剪和冷剪金属刀片
	6CrW2Si	性能同 5CrW2Si,但在 650℃ 时硬度可达 HRC43~45 左右	可作冷加工时用的重负荷冲模及压模、风动凿子等,也可作热加工用的螺釘和热铆的冲头、高温压铸轻合金的顶头、热锻模等

续表

钢组	钢号	主要特性	用途举例
冷作模具钢	Cr12	高碳高铬钢, 具有高的强度、耐磨性和淬透性, 淬火变形小; 但较脆, 导热性差, 脱碳倾向大, 略有回火脆性	用于耐磨性能高而不受冲击的模具, 如冷冲模、冲头、冷剪切刀、钻套、量规、螺纹滚模、冶金粉模、拉丝模等
	Cr12MoV	钢的淬透性、淬火回火后的硬度、强度、韧性均比 Cr12 高, 截面为 300 ~ 400mm 以下的工件完全可以淬透, 淬火时体积变化最小	用于制作截面较大、形状复杂、工作条件繁重下的各种冷作模具以及螺纹搓丝板、冷切剪刀、圆锯、标准工具和量具等
	Cr6WV	钢的耐磨性及淬透性比 Cr12 差, 淬裂倾向比 Cr12 大, 但其冲击韧性和强度比 Cr12 好	适于制作一般中、小型冷作模具, 还可用作木材加工工具、手锯条以及剪刀、量规等
	9Mn2 9Mn2V	钢的淬透性和耐磨性比碳工钢较高, 淬火后变形小	用作小型冷作模具以及要求变形小、耐磨性高的量规、块规、样板、精密丝杠、磨床主轴等, 也可作丝锥、板牙、铰刀
	MnCrWV	机械性能和耐磨性比 9Mn2 等高, 热处理时对脱碳、变形和开裂的敏感性不大	

续表

钢组	钢号	主要特性	用途举例
冷作模具钢	CrWMn	淬透性及淬火后的硬度比铬钢、铬硅钢好,且韧性、耐磨性较好,淬火后的变形、扭曲比 CrMn 钢更小,但形成碳化物网状程度严重	用于淬火时要求变形很小、长而形状复杂的切削刀具,如拉刀、长丝锥以及量规和形状复杂高精度的冷冲模、精密丝杠等
	9CrWMn	同 CrWMn,因含碳量低些,故碳化物偏析上比 CrWMn 好些,强度也较高,但热处理后硬度较低	同 CrWMn
	Cr4W2MoV	为空冷微变形钢,其共晶碳化物颗粒细小,分布均匀,具有较高的淬透性和淬硬性,并有较好的机械性能,耐磨性和尺寸稳定性。	可代 Cr12、Cr12MoV 用作电机、电器硅钢片冲裁模,可冲裁 1.5 - 6.0mm 钢板。此外还可用于冷锻模、冷挤模、拉拔模、搓丝板等
	6W6Mo5Cr4V	具有高的强度、硬度、耐磨性和抗回火稳定性,韧性也较好,实践证明,钢的综合性能良好	用于黑色金属的冷挤压模和其他冷作模具,使用寿命比 W18Cr4V 和 Cr12MoV 提高 2~10 倍

续表

钢组	钢 号	主 要 特 性	用 途 举 例
	Cr2Mn2SiWMoV	淬透性高,热处理变形小,淬火温度低,含铬量低,碳化物均匀性好,且有较高的机械性能和耐磨性。缺点是退火硬度偏高,脱碳敏感性较大	这是我国研制的空冷微变形冷作模具钢,适用于制造高精度,形状复杂的冷冲模具,精密量具以及高精度细长杆状零件,使用寿命均达到或超过Cr12型钢
热 作 模 具 钢	5CrNiMo	锤锻模具钢,具有良好的韧性、强度和高耐磨性,加热到500℃硬度仍能保持到HB300以上,对回火脆性不敏感,淬透性好,可以淬透(300×300×400)mm的工件	用于制造形状复杂、冲击负荷重的各种大、中型锤锻模(边长>400mm)
钢	5CrMnMo	性能同上,但在高温下的强度、韧性及耐热疲劳性不如5CrNiMo好	适于制作中型锤锻模(边长≤300~400mm)

续表

钢组	钢号	主要特性	用途举例
热作模具钢	3Cr2W8V	在高温下有较高的强度和硬度,钢的相变温度较高,耐热疲劳性良好,淬透性也较好,厚100mm以下的钢材可以淬透,但韧性塑性较差	这是常用的压铸模具钢,可用作高温下、高应力、但不受冲击负荷凸、凹模,如平锻机上的凸、凹模、镶块、铜合金挤压模、压铸用模具以及热剪切刀等
	4SiCrV	这是一种较经济的热作模具钢,其耐热疲劳性不亚于3Cr2W8V,但耐冲击和高温硬度稍差	用作承受动力负荷不大或形状简单而断面较厚的热锻模以及压铸锌合金用的压铸模、冷剪或热剪切刀等
	8Cr3	淬透性较好,在550~650℃下的强度和硬度不及4SiCrV,35CrMnSi,但在较低温度(400~500℃)下的耐磨性比它们好	用作承受冲击载荷不大,在500℃以下并在磨损条件下工作的模具,如热切边模、螺栓及螺钉热顶锻模、热弯和热剪用模

续表

钢组	钢 号	主 要 特 性	用 途 举 例
热 作 模 具 钢	5SiMnMoV	中小型热锻模钢,具有较高的弹性极限和高温疲劳强度,回火稳定性好,淬透性较高	用作边长 300 ~ 400mm 以下的中小型热锻模,以及手用和风动凿子,重负荷冲头、剪刀、重震动切割器
	4Cr5MoVSi (相当于美国的 H11,系引进国外成熟钢号)	在中温 (~600℃) 下的综合性能好,淬透性高(在空气中即能淬硬),热处理变形率较低,其性能及使用寿命高于 3Cr2W8V	可用作模锻锤锻模、铝合金压铸模、热挤压模具、高速精锻模具、塑料模具及锻造压力机模具等
	4Cr5W2VSi (相当于前苏联 ЭИ958,系引进钢号)	在中温下具有较高的热硬度和良好的韧性,淬透性高,为空淬硬化热作模具钢	可用于高速锤用模具与冲头、热挤压用模具及芯棒、有色金属压铸模等,用于热锻模可较常用的 5CrNiMo 显著提高寿命
	3Cr2Mo	为锻模堆焊材料,用此钢堆焊后,可达到原用整体锻模 5CrNiMo 钢水平	用 45Mn2 铸钢为模体,型腔部分堆焊 5Cr4Mo,实践证明效果良好

表 1-15 (a) 高速工具钢的

序号	类型	牌 号 〔简写代号〕	标 准 号	化 学		
				C	W	Mo
1	通用型 高速钢	W 18Cr4V 〔18-4-1〕	GB9941 ¹⁾ 9942 及 9943—88	0.70~ 0.80	17.5~ 19.0	≤0.30
2		W9Mo3Cr4V 〔9-3-4-1〕		0.77~ 0.87	8.50~ 9.50	2.70~ 3.30
3		W6Mo5Cr4V2 〔6-5-4-2〕		0.80~ 0.90	5.50~ 6.75	4.50~ 5.50
4		CW6Mo5Cr4V2 〔高碳 6-5-4-2〕	GB9943—88 ¹⁾	0.95~ 1.05	5.50~ 6.75	4.50~ 5.50
5		W2Mo9Cr4V2 〔2-9-4-2〕		0.97~ 1.05	1.40~ 2.10	8.20~ 9.20
6		9W18Cr4V 〔高碳 18-4-1〕	YB12—77 ²⁾ YB (T) 2—80	0.90~ 1.00	17.5~ 19.0	≤0.30
7		W 14Cr4VMnRe		0.80~ 0.90	13.5~ 15.0	≤0.30
8	高生产率 高速钢	W12Cr4V4Mo 〔12-4-4-1〕	GB9943—88 ¹⁾	1.20~ 1.40	11.5~ 13.0	0.90~ 1.20
9		W6Mo5Cr4V3 〔6-5-4-3〕		1.00~ 1.10	5.00~ 6.75	4.75~ 6.75
10		CW6Mo5Cr4V3 〔高碳 6-5-4-3〕		1.15~ 1.25	5.00~ 6.75	4.75~ 6.75

类型、牌号和化学成分

成 分 (质量分数)

Cr	V	Co	Si	Mn	S	P	其 他
					不大于		
3.80~ 4.40	1.00~ 1.40		0.20~ 0.40	0.10~ 0.40	0.030	0.030	
3.80~ 4.40	1.30~ 1.70		0.20~ 0.40	0.20~ 0.40	0.030	0.030	
3.80~ 4.40	1.75~ 2.20		0.20~ 0.45	0.15~ 0.40	0.030	0.030	
3.80~ 4.40	1.75~ 2.20		0.20~ 0.45	0.15~ 0.40	0.030	0.030	
3.50~ 4.00	1.75~ 2.25		0.20~ 0.55	0.15~ 0.40	0.030	0.030	
3.80~ 4.40	1.00~ 1.40		≤0.40	≤0.40	0.030	0.030	
3.50~ 4.00	1.40~ 1.70		≤0.50	0.35~ 0.55	0.030	0.030	RE 加入量 0.07
3.80~ 4.40	3.80~ 4.40		≤0.40	≤0.40	0.030	0.030	
3.75~ 4.50	2.25~ 2.75		0.20~ 0.45	0.15~ 0.40	0.030	0.030	
3.75~ 4.50	2.75~ 3.25		0.20~ 0.45	0.15~ 0.40	0.030	0.030	

序号	类型	牌 号 [简写代号]	标 准 号	化 学			
				C	W	Mo	
11	一般含钴型	W6Mo5Cr4V2 Co5[6-5-4-2-5]	GB9943—88 ⁽¹⁾	0.80~ 0.90	5.50~ 6.50	4.50~ 5.50	
12		W 18Cr4VCo5 [18-4-1 5]		0.70~ 0.80	17.5~ 19.0	0.40~ 1.00	
13		W 18Cr4V2Co8 [18-4-2-8]		0.75~ 0.85	17.5~ 19.0	0.50~ 1.25	
14	高碳、高钒含钴型	W 12Cr4V5Co5 (12-4-5-5)	GB9943—88	1.50~ 1.60	11.75~ 13.00	≤1.00	
15		W6Mo3Cr4V5Co5 [6-3-4-5-5]		工厂标准	1.55~ 1.60	5.50~ 6.75	2.75~ 3.75
16	超硬型	W6Mo5Cr4V2Al [501]	GB9941 及 9943—88 ⁽¹⁾	1.05~ 1.20	5.50~ 6.75	4.50~ 5.50	
17		W2Mo9Cr4VCo8 [2-9-4-1-8]		GB9943—88 ⁽¹⁾	1.05~ 1.15	1.15~ 1.85	9.00~ 10.00
18		W7Mo4Cr4V2Co5 [7-4-4-2-5]			1.05~ 1.15	6.25~ 7.00	3.25~ 4.25

续表

成 分 (质量分数)							
Cr	V	Co	Si	Mn	S	P	其 他
					不大于		
3.75 ~ 4.50	1.75 ~ 2.25	4.50 ~ 5.50	0.20 ~ 0.45	0.15 ~ 0.40	0.030	0.030	
3.75 ~ 4.50	0.80 ~ 1.20	4.25 ~ 5.75	0.20 ~ 0.40	0.10 ~ 0.40	0.030	0.030	
3.75 ~ 5.00	1.80 ~ 2.40	7.00 ~ 9.50	0.20 ~ 0.40	0.20 ~ 0.40	0.030	0.030	
3.75 ~ 5.00	4.50 ~ 5.25	4.75 ~ 5.25	0.15 ~ 0.40	0.15 ~ 0.40	0.030	0.030	
4.50 ~ 5.00	4.75 ~ 5.75	4.75 ~ 5.25	≤0.40	≤0.40	0.030	0.030	
3.80 ~ 4.40	1.75 ~ 2.20		0.20 ~ 0.60	0.15 ~ 0.40	0.030	0.030	Al: 0.80~1.20
3.50 ~ 4.25	0.95 ~ 1.35	7.75 ~ 8.75	0.15 ~ 0.65	0.15 ~ 0.40	0.030	0.030	
3.75 ~ 4.50	1.75 ~ 2.25	4.75 ~ 5.75	0.15 ~ 0.50	0.20 ~ 0.60	0.030	0.030	

序号	类型	牌 号 〔简写代号〕	标 准 号	化 学		
				C	W	Mo
19	高生产率 超硬型 高速钢	$W_{10}Mo_4Cr_4V_3A_1$ 〔5F-6〕	YB12-77 ² YB (T) 2-80	1.30~ 1.45	9.00~ 10.50	3.50~ 4.50
20		$W_6Mo_5Cr_4V_3SiNbA_1$ 〔13201〕		1.55~ 1.65	5.50~ 6.50	5.00~ 6.00
21		$W_{12}Mo_3Cr_4V_3Co_3Si$ 〔Co5Si〕		1.20~ 1.30	11.50~ 13.50	2.80~ 3.40
22		$W_{10}Mo_4Cr_4V_3Co_{10}$ 〔10-4-4-3-10〕	厂 标 准	1.20~ 1.30	9.00~ 11.00	3.00~ 4.00
23		$W_{12}Mo_3Cr_4V_3N$ 〔V3N〕		1.15~ 1.25	11.00~ 12.50	2.70~ 3.70
24		$W_{18}Cr_4V_4SiNbAl$ 〔B212〕		1.48~ 1.58	17.5~ 18.5	
25		$FW_{12}Cr_4V_3Co_3^{①}$	钢铁研究总 院企标	1.45~ 1.60	12.00~ 13.50	≤ 1.00
26	$FW_{10}Mo_3Cr_4V_2Co_2^{②}$	1.10~ 1.20		9.50~ 11.00	4.70~ 5.20	

注：①GB9941—88为高速工具钢板标准，GB9942—88为高速工具钢锻件及大型锻材标准，GB9943—88为高速工具钢棒材标准。

续表

成 分 (质量分数)							
Cr	V	Co	Si	Mn	S	P	其 他
					不大于		
3.80 ~ 4.50	2.70 ~ 3.20		≤0.50	≤0.50	0.030	0.030	Al: 0.70-1.20
3.80 ~ 4.40	4.20 ~ 5.20		1.00 ~ 1.40	≤0.40	0.030	0.030	Nb: 0.2-0.5 Al: 0.3-0.7
3.80 ~ 4.40	2.80 ~ 3.40	4.70 ~ 5.10	0.80 ~ 1.20	≤0.40	0.030	0.030	
3.8 ~ 4.50	3.20 ~ 3.70	9.50 ~ 10.50	≤0.40	≤0.50	0.030	0.030	
3.50 ~ 4.10	2.50 ~ 3.10		≤0.40	≤0.40	0.030	0.030	N: 0.04-0.10
3.80 ~ 4.40	3.00 ~ 3.80		1.00 ~ 1.40	≤0.40	0.030	0.030	Nb: 0.1-0.2 Al: 1.0-1.6
3.50 ~ 4.50	4.25 ~ 5.25	4.50 ~ 5.50	≤0.030	≤0.040	0.030	0.030	
3.25 ~ 4.50	1.00 ~ 2.00	11.50 ~ 12.50	≤0.030	≤0.040	0.030	0.030	

②为已废止的冶金部颁布的高速工具钢标准，目前各工厂企业仍有选用此项标准中的钢号，录出以供参考。

③为粉末冶金高速钢牌号。

表 1-15(b) 高速工具钢在交货状态和试样淬火、回火后的硬度值

序号	牌 号	标准号	交货硬度 HB, ≤		试样热处理制度					淬火回火后 硬度 HRC 不小于
			退火	其他加工方法	预热温度 (°C)	淬火温度(°C)		淬火剂	回火温度 (°C)	
						盐浴炉	箱式炉			
1	W18Cr4V		255	269	820~870	1270~1285	1270~1285	油	550~570	63
2	W18Cr4VC6		269	285	820~870	1270~1290	1280~1300	油	540~560	63
3	W18Cr4V2Co8		285	302	820~870	1270~1290	1280~1300	油	540~560	63
4	W12Cr4V5Co5		277	293	820~870	1220~1240	1230~1250	油	530~550	65
5	W6Mo5Cr4V2		255	262	730~840	1210~1230	1210~1230	油	540~560	63(箱式炉) 64(盐浴炉)
6	W6Mo5Cr4V2		255	269	730~840	1190~1210	1200~1220	油	540~560	65
7	W6Mo5Cr4V3		255	269	730~840	1190~1210	1200~1220	油	540~560	64
8	W6Mo5Cr4V3	GB9943-88	255	269	730~840	1190~1210	1200~1220	油	540~560	64
9	W2Mo9Cr4V2		255	269	730~840	1190~1210	1200~1220	油	540~560	65
10	W6Mo5Cr4V2Co5		269	285	730~840	1190~1210	1200~1220	油	540~560	64
11	W7Mo4Cr4V2Co5		269	285	730~840	1180~1200	1190~1210	油	530~550	66
12	W2Mo9Cr4VCo8		269	285	730~840	1170~1190	1180~1200	油	530~550	66
13	W9Mo3Cr4V		255	269	820~870	1210~1230	1220~1240	油	540~560	63(箱式炉) 64(盐浴炉)
14	W6Mo5Cr4V2A1		269	285	820~870	1230~1240	1230~1240	油	540~560	65

续表

序号	牌 号	标准号	交货硬度 HB, ≤		试样热处理制度				淬火回火后 硬度 HRC 不小于	
			退火 方法	其他加 工方法	预热温度 (°C)	淬火温度(°C)		回火温度 (°C)		
						盐浴炉	箱式炉			淬火剂
15	9W18Cr4V		262		850	1260~1280		油	570~590	63
16	W12Cr4V4Mo		262		850	1250~1270		油	550~570	62
17	W14Cr4VMoRE		255		850	1245~1260		油	550~560	63
18	W6Mo5Cr4V5SiNbAl		269		850	1220~1240		油	520~540	65
19	W10Mo4Cr4V3Al		269		860~880	1220~1240		油	540~560	66
20	W12Mo3Cr4V3Co5N	GB99438-8	269		850	1220~1240		油	540~550	66
21	W6Mo3Cr4V3Co5		277		800~850	1210~1230		油	540~560	64
22	W10Mo4Cr4V3Co10		302		800~850	1200~1250		油	550~570	66
23	W12Mo3Cr4V3N		285		850	1220~1280		油	550~570	65
24	W18Cr4V4SiNbAl		341		850	1230~1250		油	530~560	6.5
25	FW12Cr4V5Co5		277		850	1230~1260		油	520~540	6.5
26	FW10Mo3Cr4V2Co12		302		850	1170~1190		油	500~530	66

注: 回火温度 550~570°C 时, 回火 2 次, 每次 1h; 回火温度 540~560°C 时, 回火 2 次, 每次 2h; 回火温度 530~550°C 时, 回火 3 次, 每次 2h。

表 1-16 (a) 高速工具钢推荐钢号

序 号	钢 号	化 学			
		C	W	Mo	Cr
1	W18Cr4V	0.70-0.80	17.50-19.00	≤0.30	3.80-4.40
2	9W18Cr4V	0.90-1.00	17.50-19.00	≤0.30	3.80-4.40
3	W18Cr4VCo5	0.70-0.80	17.50-19.00	0.40-1.00	3.75-4.50
4	W18Cr4V2Cr8	0.75-0.85	17.50-19.00	0.50-1.25	3.75-5.00
5	W12Cr4V5Co5	1.50-1.60	11.75-13.00	≤1.00	3.75-5.00
6	W14Cr4VMnXt	0.80-0.90	13.50-15.00	≤0.30	3.50-4.00
7	W10Mo4Cr4V3Al	1.30-1.45	9.00-10.50	3.50-4.00	3.80-4.50
8	W6Mo5Cr4V2	0.80-0.90	5.50-6.75	4.50-5.50	3.80-4.40
9	9W6Mo5Cr4V2	0.95-1.05	5.50-6.75	4.50-5.50	3.80-4.40
10	W6Mo5Cr4V2Al	1.05-1.20	5.50-6.75	4.50-5.50	3.80-4.40
11	W6Mo5Cr4V3	1.00-1.10	5.00-6.75	4.75-6.50	3.75-4.50
12	W2Mo9Cr4V2	0.97-1.05	4.40-2.10	8.20-9.20	3.50-4.00
13	W6Mo5Cr4V2Co5	0.80-0.90	5.50-6.50	4.50-5.50	3.75-4.50
14	W6Mo5Cr4V2Co8	0.80-0.90	5.50-6.50	4.50-5.50	3.75-4.50
15	W7Mo4Cr4V2Co5	1.05-1.15	6.25-7.00	3.25-4.25	3.75-4.50
16	W2Mo9Cr4VCo8	1.05-1.15	1.15-1.85	9.00-10.00	3.50-4.25

注：①所有钢号的 $Cu \leq 0.25\%$ ， $Ni \leq 0.30\%$ 。

②钢材成品化学分析应符合上表规定。

③为改善加工性能，允许 $S=0.06\% \sim 0.15\%$ ，并允许加入适量

④在钨系高速钢中，钼含量允许到 1.0%。钨、钼二者关系；当钼的钼代替 2% 的钨，在这种情况下，在钢号“W”的后面加上

和化学成分 [YB (T) 2—80]

成 分 (质量分数)						其他
V	Co	Si	Mn	S	P	
				不大于		
1.00 - 1.40	—	≤0.40	≤0.40	0.030	0.030	
1.00 - 1.40	—	≤0.40	≤0.40	0.030	0.030	
0.80 - 1.20	4.25 - 5.75	≤0.40	0.10 - 0.40	0.030	0.030	
1.80 - 2.40	7.00 - 9.50	≤0.40	0.20 - 0.40	0.030	0.030	
4.50 - 5.25	4.75 - 5.25	≤0.40	0.15 - 0.40	0.030	0.030	
1.40 - 1.70	—	≤0.50	0.35 - 0.55	0.030	0.030	Xt 加入量 0.07
2.70 - 3.20	—	≤0.50	≤0.50	0.030	0.030	Al 0.70 - 1.20
1.75 - 2.20	—	≤0.40	≤0.40	0.030	0.030	
1.75 - 2.20	—	≤0.40	0.15 - 0.40	0.030	0.030	
1.75 - 2.20	—	≤0.60	≤0.40	0.030	0.030	Al 0.80 - 1.20
2.25 - 2.75	—	≤0.45	0.15 - 0.40	0.030	0.030	
1.75 - 2.25	—	≤0.55	0.15 - 0.40	0.030	0.030	
1.75 - 2.25	4.50 - 5.50	≤0.45	0.15 - 0.40	0.030	0.030	
1.75 - 2.25	7.75 - 8.75	≤0.45	0.15 - 0.40	0.030	0.030	
1.75 - 2.25	4.75 - 5.75	≤0.50	0.20 - 6.60	0.030	0.030	
0.95 - 1.35	7.75 - 8.75	≤0.65	0.15 - 0.40	0.030	0.030	

的稀土元素，但需在合同上注明。

含量超过 0.3% 时，钨含量应减少，在钨含量超过 0.3% 的部分，每 1% “Mo”。

表 1 16(b) 在交货状态下(退火)和热处理(淬火、回火)后的硬度值

序号	钢号	退火硬度 HB 不大于	试样热处理制度及硬度					
			预热温度 (°C)	淬火温度(°C)		淬火剂	回火温度 (°C)	硬度 HRC 不小于
				盐浴炉	箱式炉			
1	W18Cr4V	255	—	1270~1285		油	550~570	63
2	9W18Cr4V	262	—	1260~1280		油	550~570	63
3	W18Cr4VCo5	269	820~870	1270~1290	1280~1300	油	540~560	63
4	W18Cr4V2Co8	285	820~870	1270~1290	1280~1300	油	540~560	63
5	W12Cr4V5Co5	277	820~870	1220~1240	1230~1250	油	530~550	63
6	W14Cr4V3Mo3Co	255	—	1230~1250		油	550~570	63
7	W10Mo4Cr4V3Al	269	—	1220~1240		油	540~560	63
8	W6Mo5Cr4V2	255	730~740	1210~1230		油	540~560	63
9	9W6Mo5Cr4V2	255	730~840	1190~1210	1200~1220	油	540~560	65
10	W6Mo5Cr4V2Al	269	—	1230~1240		油	540~560	65
11	W6Mo5Cr4V3	255	740~840	1190~1210	1200~1220	油	540~560	64
12	W2Mo9Cr4V2	255	730~840	1190~1210	1200~1220	油	540~560	65
13	W6Mo5Cr4V2Co5	269	730~840	1190~1210	1200~1220	油	540~560	64
14	W6Mo5Cr4V2Co8	269	730~840	1190~1210	1200~1220	油	540~560	64
15	W7Mo4Cr4V2Co5	269	730~840	1180~1200	1190~1210	油	530~550	66
16	W2Mo9Cr4V2Co8	269	730~840	1170~1190	1180~1200	油	530~550	66

注：回火温度为550~570°C时，回火2次，每次1h；回火温度为540~560°C时，回火2次，每次2h；回火温度为530~550°C时，回火3次，每次2h。

3. 有色金属的牌号、化学成分、性能和用途

表 1-17 有色金属分类

按物理性能分	(1) 重金属 (2) 轻金属 (3) 贵金属 (4) 半金属 (5) 稀有金属
按合金系统分	(1) 铜及铜合金 ①纯铜（紫铜） ②黄铜 ③青铜 ④白铜 (2) 轻金属及轻合金 ①铝及铝合金 ②镁及镁合金 (3) 其他有色金属及其合金 ①铅及铅合金 ②锡及锡合金 ③锌、镉及其合金 ④镍、钴及其合金 ⑤钛及钛合金 ⑥贵金属（金、银等） ⑦稀有金属及其合金
按加工方式分	(1) 铸造合金 (2) 变形合金（压力加工合金）

表 1-18 纯铜冶炼产品的牌号、化学成分及用途 (GB466—82)

代 号	化学成分(质量分数)		用 途
	铜不小于	杂质总和 不大于	
Tu-1	99.95	0.05	适用于电解铜、供熔铸铜线锭、铜棒、铜锭(块)和铸造合金用
Tu-2	99.90	0.1	适用于电子用铜线锭, 供长距离导线线材、铜棒和型材用

代 号	杂 质 含 量 (%) 不 大 于										
	铋	锑	砷	铁	镍	铅	锡	硫	氧	锌	磷
Tu-1	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.004	—	0.003	0.001
Tu-2	0.001	0.002	0.002	0.005	0.002	—	0.002	0.004	0.005	0.004	—

表 1-19 加工铜的组别、牌号、代号及主要化学成分(GB5231—85)

组 别	牌 号	代 号	主要化学成分(质量分数)			杂质总和 (质量分数)
			Cu+Ag	P	Ag	
纯 铜	一号铜	T1	≥99.95	—	—	≤0.05
	二号铜	T2	≥99.90	—	—	≤0.1
	三号铜	T3	≥99.70	—	—	≤0.3
无氧铜	一号无氧铜	TU1	≥99.97	—	—	≤0.03
	二号无氧铜	TU2	≥99.95	—	—	≤0.05
脱氧铜	一号脱氧铜	TD1	≥99.90	0.005~0.012	—	≤0.1
	二号脱氧铜	TD2	≥99.85	0.013~0.050	—	≤0.15
银 铜	0.1 银 铜	TA0.1	Cu≥99.5	—	0.06~0.12	≤0.3

表 1-20 纯铜加工产品的力学性能

代 号	半成品种类	尺寸 (mm)	材料状态	σ_b (N/mm ²)	δ_{10} δ_5		标准号
					(%)		
12、13、 (T4)	拉制铜棒	直径 5-40 >40-60 >60-80	硬 (Y)	275	5	10	GB4423-84
				245	8	12	
	206	13	19				
	挤制铜棒	直径 30-120	热挤 (R)	186	30	40	
12、13、 (T4)、 (TUP)	冷轧板条	厚度 0.2-10	软 (M)	196	30*	—	GB2040-80
			硬 (Y)	294	3*	—	
	热轧板条	厚度 4-50	热轧 (P)	196	30*	—	
	冷轧铜带	厚度 0.05- 1.5	软 (M)	206	30*	—	GB2050-80
硬 (Y)			294	3*	—		
12、13、 (T4)、 11H、11E、 (T11)	拉制铜管	外径 3-360	硬 (T)	294	—	—	GB1257-79
			软 (M)	206	35	42	
	挤制铜管	外径 30-300	热挤 (R)	186	35	42	GB1258-79
12、13	铆钉用铜线	直径 1.0-6.0	拉制	235	15**	—	GB117-82

注：①括号内的代号，按 GB5231-85（加工铜）的规定，已经废除。

②带*号的 δ 为 $L_0 = 11.3 \sqrt{F_0}$ ；带**号的 δ 为 $L_0 = 100\text{mm}$ 。

表 1-21(a) 加工黄铜的组别、代号及其主要化学成分(GB5232-85)

组别	代号	主要化学成分(质量分数)			杂质总和 (质量分数)
		Cu	Zn	其他合金元素	
普通黄铜	H96	95.0-97.0	余量		≤0.2
	H90	88.0-91.0	余量		≤0.2
	H85	84.0-86.0	余量		≤0.3
	H80	79.0-81.0	余量		≤0.3
	H70	68.5-71.5	余量		≤0.3
	H68	67.0-70.0	余量		≤0.3
	H65	63.5-68.0	余量		≤0.3
	H63	62.0-65.0	余量		≤0.5
	H62	60.5-63.5	余量		≤0.5
	H59	57.0-60.0	余量		≤1.0
	深黄铜	HN65-5	64.0-67.0	余量	Ni 5.0-6.5
HN56-3		54.0-58.0	余量	Ni 2.0-3.0, Al 0.3-0.5, Fe 0.15-0.5	≤0.6
铅黄铜	HPb63-3	62.0-65.0	余量	Pb 2.4-3.0	≤0.75
	HPb63-0.1	61.5-63.5	余量	Pb 0.05-0.3	≤0.5
	HPb62-0.8	60.0-63.0	余量	Pb 0.5-1.2	≤0.75
	HPb61-1	59.0-61.0	余量	Pb 0.6-1.0	≤0.75
	HPb59-1	57.0-60.0	余量	Pb 0.8-1.9	≤0.4
加砷黄铜	HA177-2	76.0-79.0	余量	Al 1.8-2.3, As 0.03-0.06	≤0.3
	HSn70-1	69.0-71.0	余量	Sn 0.8-1.3, As 0.03-0.06	≤0.3
	H88A	67.0-70.0	余量	As 0.03-0.06	≤0.3
锡黄铜	HSn90-1	88.0-91.0	余量	Sn 0.25-0.75	≤0.2
	HSn62-1	61.0-63.0	余量	Sn 0.7-1.1	≤0.3
	HSn60-1	59.0-61.0	余量	Sn 1.0-1.5	≤1.0

续表

组别	代号	主要化学成分(质量分数)			杂质总和 (质量分数)
		Cu	Zn	其他合金元素	
铝黄铜	HA67-2.5	66.0~68.0	余量	Al 2.0~3.0	< 1.5
	HA60-1-1	58.0~61.0	余量	Al 0.7~1.5, Mn 1~0.6, Fe 0.7~1.5	0.7
	HA59-3-2	57.0~60.0	余量	Al 2.5~3.5, Ni 2.0~3.0	< 0.9
	HA66-6-3-2	64.0~68.0	余量	Al 6.0~7.0, Fe 2.0~4.0, Mn 1.5~2.5	< 1.5
铁黄铜	HFe59-1-1	57.0~60.0	余量	Fe 0.6~1.2, Al 0.1~0.5, Mn 0.5~0.8, Ni 0.3~0.7	0.3
	HFe58-1-1	56.0~58.0	余量	Fe 0.7~1.3, Pb 0.7~1.3	< 0.5
	HMn58-2	57.0~60.0	余量	Mn 1.0~2.0	< 1.2
锰黄铜	HMn57-3-1	55.0~58.5	余量	Mn 2.5~3.5, Al 0.5~1.5	< 1.3
	HMn55-3-1	53.0~58.0	余量	Mn 3.0~4.0, Fe 0.5~1.5	< 1.5
硅黄铜	HS80-3	79.0~81.0	余量	Si 2.5~4.0	< 1.5

表 1-21 (b) 常用加工黄铜产品的力学性能

合金代号	半成品种类	尺寸(mm)	材料状态	$\sigma_{0.2}$	δ_{10}	δ_5	标准号
				(MPa)	(%)	(%)	
H66	拉制棒材	直径 5~40	硬 (Y)	265	4	—	GB4424—84
		>40~60		245	6	—	
		>60~80		206	11	—	
	直径 5~80	软 (M)	196	35	—		
	挤制棒材	直径 16~80	挤制 (R)	196	30	—	
H68	拉制棒材	直径 5~12	硬 (Y)	373	15	18	GB4424—84
		>12~40		314	25	33	
		>40~80		294	30	—	
	直径 13~35	软 (M)	294	45	—		
	挤制棒材	直径 16~80	热挤 (R)	294	40	45	

续表

合金代号	半成品种类	尺寸 (mm)	材料状态	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	δ_{10}	δ_5	标准号
					(%)	(%)	
162	热轧板材	厚度 5-50	热轧 (R)	294	30	—	GB4424—84
	拉制棒材	直径 5-40	硬 (Y)	373	15	17	
		>40-80		333	20	23	
挤制棒材	直径 10-160	热挤 (R)	294	30	35		
159	冷轧板材	厚度 0.2-10	软 (M)	294	25	—	GB2041—80
	热轧板材	厚度 5-50	硬 (Y)	412	5	—	
HP463-3	拉制棒材	直径 5-9.5	硬 (Y)	510	2	2.5	GB4425—84
		>9.5-14		490	5	6	
		>14-20		451	8	9	
		>20-30		412	10	12	
		直径 10-20	半硬 (Y ₂)	353	12	14	
	>20-60	324		16	19		
HP159-1	热轧板材	厚度 5-50	热轧 (R)	373	18	—	GB2041—80
	拉制棒材	直径 5-20	拉制	422	10	12	GB4425—84
		>20-40		392	12	14	
挤制棒材	直径 >10-160	热挤 (R)	373	16	19		
HP462-1	热轧板材	厚度 5-50	热挤 (R)	363	18	21	GB2041—80
	拉制棒材	直径 5-40	硬 (Y)	343	20	—	GB4426—84
		>40-60		392	15	17	
挤制棒材	直径 10-120	热挤 (R)	363	20	22		
HA160-1-1	热轧板材	厚度 4-40	热轧 (R)	441	15	—	GB2042—80
	挤制棒材	直径 10-120	热挤 (R)	441	18	—	GB4426—84
HM58-2	拉制棒材	直径 5-12	硬 (Y)	441	20	24	GB4426—84
		>12-40		412	20	24	
	>40-60	392	25	—			
挤制棒材	直径 10-120	热挤 (R)	392	25	29		
HF59-1-1	拉制棒材	直径 5-12	硬 (Y)	490	15	17	GB4426—84
		>12-40		441	17	—	
	>40-60	412	—	22			
挤制棒材	直径 10-120	热挤 (R)	432	28	21		

表 1-22(续) 加工青铜的组别、代号和主要化学成分(GB5233—85)

组别	代号	主要化学成分(质量分数)							杂质总和 (质量 分数)
		Sr	Al	Mn	Pb	Si	其他	Cu	
锡 青 铜	QSn4-3	3.5~4.5					Zn2.7~3.3	余量	≤0.2
	QSn4-4-2.5	3.0~5.0			1.5~3.5		Zn3.0~5.0	余量	≤0.2
	QSn4-4-4	3.0~5.0			3.5~4.5		Zn3.0~5.0	余量	≤0.2
	QSn6.5-0.1	6.0~7.0					Pb0.10~0.25	余量	≤0.1
	QSn6.5-0.4	6.0~7.0					Pb0.26~0.40	余量	≤0.1
	QSn7-0.2	6.0~8.0					Pb0.10~0.25	余量	≤0.15
	QSn4-0.3	3.5~4.5					Pb0.20~0.40	余量	≤0.1
	QA15		4.0~6.0					余量	≤1.6
	QA17		6.0~8.0					余量	≤1.6
铝 青 铜	QA19-2		8.0~10.0				Mn1.5~2.5	余量	≤1.7
	QA19-4		8.0~10.0				Fe2.0~4.0	余量	≤1.7
	QA110-3-1.5		8.5~10.0	1.0~2.0			Fe2.0~4.0	余量	≤0.75
	QA110-4-4		9.5~11.0				Fe3.5~5.5 Ni3.5~5.5	余量	≤1.0
	QA11-6-6		10.0~11.5				Fe5.0~6.5 Ni5.0~6.5	余量	≤1.5
	QA19-5-1-1		8.0~10.0	0.5~1.5			Ni4.0~6.0 Fe0.5~1.5	余量	≤0.6
	QA110-5-5		8.0~11.0	0.5~2.5			Fe4.0~6.0 Ni4.0~6.0	余量	≤1.2

续表

组别	代号	主要化学成分(质量分数)							Cu	杂质总和 (质量 分数)
		Se	Al	Mn	Pb	S	其他	余量		
铝青铜	QBz2	Be1.80~2.1							余量	≤0.5
	QBz1.9	Be1.85~2.1							余量	≈0.5
	QBz1.7	Be1.6~1.85							余量	≤0.5
硅青铜	QBS1.9-0.1	Be1.85~2.1	Mg0.07~0.13						余量	≤0.5
	QBS-1			1.0~1.5		2.7~3.5			余量	≤1.1
	QBS1-3			0.1~0.4		0.6~1.1	Ni2.4~3.4		余量	≤0.5
锰青铜	QMS3.5-3-1.5			0.5~0.9		3.0~4.0	Zn2.5~3.5 Fe1.2~1.8		余量	≤1.1
	QMn1.5			1.2~1.8					余量	≈0.3
	QMn2			1.5~2.5					余量	≈0.5
钴青铜	QMn5			4.5~5.5					余量	≈0.9
	QZ0.2	Zn0.15~0.30							余量	≈0.5
	QZ0.4	Zn0.30~0.50							余量	≈0.5
锡青铜	QC0.5	Sn0.40~1.10							余量	≈0.5
	QC0.5-0.2-0.1	Cu0.4~1.0, Al0.1~0.25, Mg0.1~0.25							余量	≈0.5
	QC0.6-0.4-0.05	Cu0.4~0.8, Zn0.3~0.6, Mg0.04~0.08							余量	≈0.5
锡青铜	QCd1	Cd0.8~1.3						余量	≈0.3	
锡青铜	QMg0.8	Mg0.70~0.85						余量	≈0.3	

表 1-22 (b) 常用加工青铜产品的力学性能

合金代号	半成品种类	尺寸 (mm)	材料状态	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_{10} (%)	δ_5 (%)	标准号
QSn4-3	拉制棒材	直径 5-12	硬 (Y)	432	10	14	GB4432-84
		>12-25		373	15	21	
>25-35	333	16		23			
>35-40	314	16		23			
	挤制棒材	直径 40-120	热挤 (R)	275	25	30	
QSn4-0.3	拉制棒材	直径 5-12	硬 (Y)	412	8	10	GB4432-84
		>12-25		392	10	13	
>25-40	353	12		15			
QSn6.5-0.1 QSn6.5-0.4	拉制棒材	直径 5-12	硬 (Y)	471	11	13	GB4432-84
		>12-25		441	13	15	
>25-40	412	15		18			
	挤制棒材	直径 30-40	热挤 (R)	353	50	55	GB4432-84
	>40-100	343		55	60		
	>100-120	314		58			
QSn7-0.2	拉制棒材	直径 5-40	硬 (Y)	441	15	—	GB4432-84
	挤制棒材	直径 40-150		热挤 (R)	353	55	
QA19-2	拉制棒材	直径 5-40	硬 (Y)	539	13	15	GB4429-84
	挤制棒材	直径 25-45		热挤 (R)	490	15	
		>45-120			471	20	24
QA19-4	挤制棒材	直径 10-120	热挤 (R)	539	15	17	GB4429-84
		>120-160		490	12	13	
QA10 3-1.5	挤制棒材	直径 10-16	热挤 (R)	608	8	—	GB442-94
		>16-160		588	12	13	
QA10 4-4	挤制棒材	直径 10-29	热挤 (R)	687	4	5	GB4429-84
		>29-120		637	5	6	
		>120-160		588	5	6	
QA11 6-6	挤制棒材	直径 10-28	热挤 (R)	687	4	—	GB4429-84
		>28-50		637	5	—	
QSn1-3	挤制棒材	直径 20-80	热挤 (R)	490	10	—	GB4431-84
QSn3-1	拉制棒材	直径 5-12	硬 (Y)	490	10	14	GB4431-84
	>12-40	471		15	20		
	挤制棒材	直径 30-100	热挤 (R)	343	20	23	
QSn2	拉制棒材	直径 5-40	软 (M)	392	30	—	YS720-70
			硬 (Y)	736	—	—	
	挤制棒材	直径 20-120	热挤 (R)	392	20	—	
	调质棒材			1275-1324	0.6	—	

表 1-23(a) 铝及铝合金加工产品的分组、代号及化学成分
(GB3190~82)

序号	组别	代号	主要化学成分(质量分数)							
			Cu	Mg	Mn	Fe	Si	其他	Al	
1	工业	LC5								99.99
2	工业	LC4								99.97
3	工业	LC3								99.93
4	纯铝	LC2								99.90
5	纯铝	LC1								99.85
6	工业	L1								99.7
7	工业	L2								99.6
8	工业	L3								99.5
9	工业	L4								99.3
10	纯铝	L4-1					0.15~0.30	0.10~0.20		99.3
11	纯铝	L5								99.0
12	纯铝	L5-1	0.05~0.20							99.0
13	纯铝	L6								98.8
14	包	LB1							Zn: 9~1.3	余量
15	覆	LB2								99.5
16	防	LF2	2.0~2.8	0.30~0.60	0.15~0.40			0.50~0.80		余量
17	腐	LF3	3.2~3.8	0.30~0.60	0.30~0.60					余量
18	耐	LF4	4.0~4.9	0.40~1.0	0.40~1.0				Cu: 0.05~0.25	余量
19	蚀	LF5	4.8~5.5	0.30~0.60	0.30~0.60					余量
20	耐	LF5-1	4.5~5.6	0.30~0.20	0.30~0.20					余量
21	蚀	LF6	5.8~6.8	0.50~0.80	0.50~0.80					余量
22	耐	LF10	4.7~5.7	0.20~0.60	0.20~0.60					余量
23	蚀	LF11	4.8~5.5	0.30~0.60	0.30~0.60					余量
24	耐	LF12	8.3~9.6	0.40~0.80	0.40~0.80					余量
25	蚀	LF13	9.2~10.5	0.40~0.80	0.40~0.80					余量
26	耐	LF14	5.8~6.8	0.50~0.80	0.50~0.80					余量
27	蚀	LF33	6.0~7.5	Zn: 0.5~1.5	Zn: 0.5~1.5					余量
28	耐	LF43	0.6~1.4	0.15~0.40	0.15~0.40					余量
29	蚀	LF21	1.0~1.6	1.0~1.6	1.0~1.6					余量

主要化学成分(质量分数)

序号	组别	代号	主要化学成分(质量分数)				其他	Al
			Cu	Mg	Mn	Fe		
30	硬	LY1	2.2~3.0	0.20~0.50				余量
31		LY2	2.6~3.2	2.0~2.4	0.45~0.70		Bi(0.03)~0.01	余量
32		LY4	3.2~3.7	2.1~2.6	0.50~0.80		Bi(0.001)~0.005	余量
33		LY6	3.8~4.3	1.7~2.3	0.50~1.0			余量
34	硬	LY8	3.8~4.5	0.4~0.8	0.40~0.80			余量
35		LY9	3.8~4.5	1.2~1.6	0.30~0.70			余量
36		LY10	3.9~4.5	0.15~0.30	0.30~0.50			余量
37		LY11	3.8~4.8	0.40~0.80	0.40~0.80			余量
38		LY12	3.8~4.9	1.2~1.8	0.30~0.90			余量
39		LY13	4.0~5.0	0.30~0.50				余量
40		LY16	6.0~7.0		0.40~0.80			余量
41		LY17	6.0~7.0	0.25~0.45	0.40~0.80		Ti 0.10~0.2 Ti 0.10~0.2	余量
42	硬	LJ2	0.20~0.60	0.45~0.90	或 0.15~0.35		0.50~1.2	余量
43		LJ2-1	0.10~0.40	0.40~0.80	0.10~0.30		0.75~1.35	余量
44		LJ2-2	0.15~0.40	0.50~1.2	0.40~1.0		1.0~1.7	余量
45		LJ5	1.8~2.6	0.40~0.80	0.40~0.80		0.7~1.2	余量
46	矩	LJ6	1.8~2.6	0.40~0.80	0.40~0.80		0.70~1.2	余量
47		LJ7	1.9~2.5	1.4~1.8	0.90~1.5		1.0~1.6	余量
48		LJ8	1.9~2.5	1.4~1.8	1.0~1.6		0.5~1.2	余量
49		LJ9	3.5~4.5	0.40~0.80	0.5~1.0		0.5~1.0	余量

主要化学成分(质量分数)

序号	规格	代号	主要化学成分(质量分数)						其他	Al
			Cu	Mg	Mn	Fe	S			
50	LD10		3.9~4.8	0.40~0.80	0.40~1.0		0.6~1.2		余量	
51	LD11		0.5~1.3	0.80~1.3			11.5~13.5	NO.5~1.3	余量	
52	LD80		0.15~0.4	0.80~1.2			0.40~0.80	Ca0.04~0.35	余量	
53	LD81			0.45~0.90			0.20~0.60		余量	
54	LC3		1.8~2.4	1.2~1.6	Zn6.0~6.7		Ti0.02~0.08		余量	
55	LC4		1.4~2.0	1.8~2.8	0.20~0.60	Zn5.0~5.7		Ca0.10~0.25	余量	
56	LC9		1.2~2.0	2.0~3.0		Zn5.1~6.1		Ca0.16~0.30	余量	
57	LC10		0.5~1.0	3.0~4.0	0.20~0.35	Zn3.2~4.2		Ca0.10~0.20	余量	
58	LC12			0.5~1.0		Zn5.0~6.5		Zn0.05~0.25	余量	
59	LT1						4.5~6.0		余量	
60	LT13						6.8~8.2		余量	
61	LT17						11~12.5		余量	
62	LT41			6.0~7.0	0.30~0.60			Ti0.02~0.10	99.95	
63	LT62								余量	
64	LT66			1.5~2.0					99.93	
65	LT75								余量	
66	杆	LQ1	心板 LP21	包覆层 LT17						
67	焊	LQ2	心板 LP21	包覆层 LT13						

表 1-23 (b) 常用铝及铝合金加工产品的力学性能

代号	半成品种类	材料状态	尺寸 (mm)		σ_b	$\sigma_{b,2}$	δ (%)	标准号
					(MPa)			
L1、L2、 L3、L4	热轧板材	R	厚度	5-10	68.7	—	15	GB193-82
				11-25	78.5	—	18	
				26-80	63.7	—	10	
L5、L6			厚度	5-10	68.7	—	18	
				11-25	78.5	—	18	
				26-30	63.7	—	15	
L1~L6	挤压棒材	M或R	所有尺寸	≤108	—	25	GB191-82	
LF2	热轧板材	R	厚度	5-25	177	—	7	GB193-82
				26-80	157	—	6	
	挤压棒材	M或R	所有尺寸	≤226	—	10	GB191-82	
LF10	铆钉线材	Y	直径	1.6-10	157	—	—	GB196-82
LF12	挤压棒材	M、R	直径	≤150	373	186	15 \downarrow	GB191-82
LF21	挤压棒材	M、R	所有尺寸	≤167	—	200 \downarrow	GB191-82	
LY11	热轧板材	CZ	厚度	5-10	353	186	12	GB193-82
				11-25	373	216	11	
				26-40	333	198	8	
				41-70	314	196	6	
				71-80	284	196	4	
			35-80	高向 294	—	4 \downarrow		
	挤压棒材	CZ	直径	<160	373	216	12 \downarrow	GB191-82
				>160	353	190	10 \downarrow	
	高强度挤压棒材	CZ	直径	20-120	392	245	8 \downarrow	GB192-82
	R	直径	20-160	392	245	8 \downarrow		

续表

代号	半成品种类	材料状态	尺寸 (mm)		σ_s	$\sigma_{0.2}$	δ	标准号
					(MPa)		(%)	
LY12	热轧板材	CZ	厚	5~10	412	255	10	GB3193—82
				11~25	422	275	7	
				26~40	392	255	5	
			度	41~70	373	245	4	
				71~80	343	245	3	
				85~80	高向 343	—	3	
挤压棒材	CZ	直	≤22	392	255	12D	GB3191—82	
			23~160	422	275	10D		
			>160	412	255	8D		
高强度挤压棒材	R	径	20~160	441	304	8D	GB3192—82	
	CZ		20~120	441	304	8D		
LY13	挤压棒材	CZ	直径	≤22	314	—	4D	GB3191—82
				>23~160	343	—	4D	
				>160	—	—	—	
LY16	挤压棒材	CS	直径 所有尺寸		353	235	8D	GB3191—82
LY2	热轧板材	CZ	厚	5~25	177	—	14	GB3193—82
				26~40	167	—	12	
				41~80	167	—	10	
		度	5~25	294	—	7		
			26~40	284	—	6		
			41~80	275	—	6		
LY2	挤压棒材	CS	直径, 所有尺寸	294	—	12D	GB3191—82	
LY5	挤压棒材	CS	直径, 所有尺寸	353	—	12D	GB3191—82	
	高强度挤压棒材	R	直径 20~160	383	—	10D	GB3192—82	
CS		直径 20~120	383	—	10D			

续表

代号	半成品种类	材料状态	尺寸 (mm)	σ_b	$\sigma_{0.2}$	δ_5	标准号	
				(MPa)		(%)		
1107、1108	挤压棒材	CS	直径、所有尺寸	353	—	8①		
1109				353	—	10①		
1110	挤压棒材	CS	直径 ≤ 22	441	—	10①	GB3191—82	
			直径 23—160	451	—	10①		
			直径 > 160	432	—	8①		
	高强度挤压棒材	R	直径 20—160	461	—	8①	GB3192—82	
CS	直径 20—120	461	—	8①				
	热轧板材	CS	厚度 5—10	432	343	5	GB3193—82	
1114、1119	挤压棒材	CS	直径 ≤ 22	490	373	7①	GB3191—82	
			直径 23—160	530	402	6①		
			直径 > 160	510	402	5①		
	高强度挤压棒材	R	直径 20—100	549	451	6①	GB3192—82	
CS	直径 101—160	530	432	6①				
1114—1119	热轧板材	CS	厚度	5—10	490	412	6	GB3193—82
				11—25	490	412	4	
				26—40	490	412	3	
				35—40	高强度 392	—	2	

注：状态符号表示意义：M—退火，CZ—淬火（自然时效），CS—淬火（人工时效）Y—硬，Y₂—半硬，R—热轧或热挤，B—不包铝，J—加厚包铝的。

① δ_5 (%)

二、模具常用材料

模具在锻压生产中占有特殊重要的地位。根据用途的不同，模具的种类是多种多样的；根据使用要求的不同，模具所用材料也是多种多样的。为了提高模具的寿命，国内外都十分重视研制能满足各种使用要求的新型、优质的模具材料。

1 碳素工具钢和合金工具钢

见表 1-12 (a) ~ 表 1-13 (b)。

2. 普通硬质合金

表 1-24 中国普通硬质合金的牌号、化学成分及物理力学性能
(YB849-75)

牌 号	化学成分 (质量分数)				物 理 力 学 性 能 ^①		
	WC	TiC	TaC (NbC)	Co	密度 ($\times 10^3$ kg/m ³)	抗弯强度 $\sigma_{0.2}$ (MPa)	硬 度 HRA
钨 钴 合 金							
YG3X	96.5	—	<0.5	3	15.0~15.3	>1079	91.5
YG4C	96.0	—	—	4	14.9~15.2	>1422	89.5
YG6X	93.5	—	<0.5	6	14.6~15.0	>1373	91.0
YG6A	92.0	—	2	6	14.6~15.0	>1373	91.5
YG6	94.0	—	—	6	14.6~15.0	>1422	89.5
YG8N	91.0	—	1	8	14.5~14.9	>1471	89.5
YG8	92.0	—	—	8	14.5~14.9	>1471	89.0
YG8C	92.0	—	—	8	14.5~14.9	>1716	88.0
YG10I	90.0	—	—	10	14.3~14.6	>2156	91.5
YG11C	89.0	—	—	11	14.0~14.4	>2060	86.5
YG15	85.0	—	—	15	13.0~14.2	>2060	87.0

续表

牌 号	化学成分 (质量分数)				物 理 力 学 性 能		
	WC	TiC	TaC (NbC)	Co	密度 ($\times 10^3 \text{kg/m}^3$)	抗弯强度 σ_b (MPa)	硬 度 HRA
YG20K	80.0	—	—	20	13.4 - 13.8	>2200	83.0

钨钽钼 (钨) 钴合金 (通用合金)

YW1	84 - 85	6	3 - 4	6	12.6 - 13.5	>1177	91.5
YW2	82 - 83	6	3 - 4	8	12.4 - 13.5	>1324	90.5

钨 钽 钴 合 金

Y15	85.0	5	—	10	12.5 - 13.2	>1373	89.5
Y14	78.0	14	—	8	11.2 - 12.0	>1177	90.5
Y115	79.0	15	—	6	11.0 - 11.7	>1127	91.0
YT30	66.0	30	—	4	9.3 - 9.7	>883	92.5

碳 化 钽 镍 钼 合 金

YN10	15	62	1	Mo-10 Ni-12	>6.30	>1079	92.0
------	----	----	---	----------------	-------	-------	------

刚 结 类

YE65	—	35	Cr2 Co 6	Mo2 Fe 余量	6.4 - 6.6	C1300 - 2300	HRC 39 - 46(退火) 67 - 73(淬火)
YES0	50	Ni0.3	Mo0.3 Cr1.1	Co.6 Fe 余量	10.3 - 10.6	2700 - 2900	35 - 42(退火) 68 - 72(淬火)

表 1-25 德国模具用硬质合金成分和性能

标准	牌号	化学成分 (%)			硬度 HV _{0.05} (100MPa)	抗弯强度 (MPa)	抗压强度 (MPa)	热膨胀 系数 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	用途举例	国际标准 牌号	
		WC	TiC	Co							
Titan	GTi 05	93	1	6	1600	1500	5700	5.0	64 ^①		
	GTi 10	93	1	6	1550	1700	5400	5.0	64 ^①		
	GTi 15	90	1	9	1450	1900	5000	5.5	62 ^①		
	GTi 20	88	1	11	1300	2200	4300	5.5	60 ^①		
	GTi 30	84	1	15	1150	2400	4100	6.0	54 ^①		
	GTi 40	70	1	20	1050	2600	3800	6.5	48 ^①		
	GTi 50	75	1	24	900	2700	3400	7.0	44 ^①		
	GTi 60	73	1	26	850	2700	3000	7.5	43 ^①		
	DIN	G2	88	—	12	1300 ^②	2100		14.3 ^③	用作拉拔模	K40 G20
		G3	85	—	15	1200 ^②	2400		13.8 ^③	用作冲压, 拉拔模	G30
G4		80	—	20	1100 ^②	2600		13.5 ^③	同上	G40	
G5		75	—	25	1000 ^②	2700		13.1 ^③	同上	G50	
G6		70	—	30	900 ^②	2800		12.8 ^③	同上	G60	

①是在载荷 300MPa 下的 HV 值。

②是密度 ($\times 10^3 \text{kg}/\text{m}^3$)。

③是弹性模量 ($\times 10^4 \text{MPa}$)。

表 1-26 英国模具硬质合金的成分和性能

组 号	标准 Co 含量 (%)	大部分晶粒尺寸 (μm)	平均硬度 (HV)	最小密度 (g/cm^3)	平均抗弯强度 (MPa)
B81	4-6	0.5-1	1750	14.80	1390-2085
B82	4.5-7	0.5-1.5	1700-1745	14.65	1390-2085
B83	4.5-7	0.5-2	1600-1695	14.65	1620-2085
B84	5.5-7.5	1-3	1500-1595	14.60	1775-2315
B85	7-9.5	1-5	1400-1495	14.40	1885-2395
B86	8.5-12.5	1-5	1300-1395	14.10	2085-2470
B87	10-14	1-5	1200-1295	13.95	2160-2550
B88	11-17	1-5	1100-1195	13.65	2315-2700

表 1-27 前苏联模具用硬质合金

合金牌号	化学成分 (质量分数)			合金特点	应用范围
	WC	Co	Mo		
BK8Mo	92	7	1	中 粗 粒	用于制造钟表、仪器、仪表行业的小模数铣刀、钻头
BK10M	90	10	—	很细颗粒	
BK15M	85	15	—	很细颗粒	
BK15B	85	15	—	粗 颗 粒	矿山工具和模具
BK20B	80	20	—	粗 颗 粒	模 具
BK25B	75	25	—	粗 颗 粒	模 具
BK20K	80	20	—	粗 颗 粒	冷锻模具
BK10KC	90	10	—	特粗颗粒	冷锻模和冷挤压模的凹模和冲头
BK20KC	80	20	—	特粗颗粒	冷锻模和冷挤压模的凹模和冲头

表 1-28 美国用作模具的硬质合金牌号、成分和性能

统一牌号	化学成分 (质量分数)					物理—力学性能				用途举例
	W	Ta	Nb	C	C ₆	密度 ρ	硬度 (HRA)	σ_{bb} (MPa)	晶粒尺寸 (μm)	
CU-3	65.7	3.1	1.5	4.7	25	12.8	85	2530	1~3	用于制造承受猛烈冲击的模具
CU-4	71.7	2.7	0.9	4.7	20	13.4	86.5	2670	1~3	用于制造承受中等与猛烈冲击的模具
CU-5	77.0	1.5	0.3	5.2	16	13.9	87.5	2710	1~2	用于制造承受中等冲击的模具

表 1-29 日本 JIS 标准模具用硬质合金

分类牌号	化学成分 (质量分数)			硬度 (HRA)	抗弯强度 σ_{bb} (MPa)
	C	W	C ₆		
V1	5-6	88-91	3-6	≥ 89	≥ 1200
V2	5-6	85-90	5-9	≥ 88	≥ 1300
V3	5-6	78-87	8-16	≥ 87	≥ 1500

3. 热作模具材料

表 1-30 热作模具钢的分类

按用途分类	按性能分类	按合金元素分类	钢 号
锻钢模具用钢	高韧性热模钢	低合金热锻钢	5CrNiMo, 5CrMnMo, 45MnMoV 5Cr4Mo, 5CrSiMnMoV
热锻模具用钢 压铸模具用钢	高热强热模钢	钨系热模钢 铬系热模钢 钨钼系热模钢	3Cr2W8, 4Cr5MoSiV, 4Cr5MoSiV1, 4Cr5W2SiV, 4Cr4Mo2W5SiV, 5Cr4W5Mo2V, 4SiCrV
热冲裁 模具用钢	高热强热模钢 高耐磨热模钢	钨系热模钢 铬系热模钢	3Cr2W8 8Cr3

表 1-31 常用热锻模具的性能比较

钢 号	标准号	性 能 比 较								
		耐磨性	韧性	高温强度	热稳定性	耐热疲劳性	可切削加工性	淬硬深度	淬火不变形性	脱碳敏感性
5CrMnMo	GB1299 —85	中等	中等	较差	<500℃	较差	较好	中等	中等	较大
5CrNiMo		中等	较好	较差	500~550℃	中等	较好	中等	中等	较大
3Cr2W8V		较好	中等	较好	<600℃	较好	较差	中-深	较好	较小
8Cr3		中等	较差	较差	400-500℃	中等	较差	中等	中等	中等
4Cr5MoVSi		较好	中等	较好	<600℃	好	较好	深	较好	中等
4Cr5W2VSi		较好	中等	较好	<600℃	好	较好	深	较好	中等
4Cr5MoV1Si	YH/Z10 —76	较好	中等	较好	<600℃	好	较好	深	较好	中等
4Cr4Mo2WVSi		较好	中等	好	600-650℃	较好	较好	深	较好	中等
5Cr4W5Mo2V		较好	较差	好	600-650℃	较好	较好	深	中等	中等
5CrMnSiMoV		中等	中等	中等	<600℃	中等	较好	中-深	中等	中等
4Cr3W4Mo2VTiNb	非标准	较好	中等	好	<600℃	较好	较好	深	较好	中等
3Cr3Mo3V		较好	中等	较好	<600℃	较好	较好	深	较好	中等
3Cr3Mo3W2V		较好	中等	较好	600-650℃	较好	较好	深	较好	中等

表 1-32 锤锻模的材料选用举例及其要求的硬度值

锻模种类	工作条件	推荐选用的材料牌号		热处理后要求的硬度值			
		简单	复杂	模腔表面	燕尾部分		
		HB	HRC	HB	HRC	HB	HRC
整体锻模 或嵌块模	小型锻模 (高度 < 275mm)	5CrMnMo	4Cr5MoVSi	387 ~ 444①	42 ~ 47①	321 ~ 364	35 ~ 39
	中型锻模 (高度 275 ~ 325mm)	5SiMnMoV	4Cr5MoV1Si	364 ~ 415②	39 ~ 44②		
	大型锻模 (高度 325 ~ 375mm)		4Cr5W2VSi	364 ~ 415①	39 ~ 44①	302 ~ 340	32 ~ 37
嵌块模	特大型锻模 (高度 375 ~ 500mm)	5CrMnSiMoV		321 ~ 364	35 ~ 39	286 ~ 321	30 ~ 35
		5Cr-NiMo		302 ~ 340	32 ~ 37	269 ~ 321	28 ~ 35
堆焊 锻模	同上	ZG50Cr 或 ZG40Cr		—	—	269 ~ 321	28 ~ 35
	同上	ZG45Mn2		—	—	269 ~ 321	28 ~ 35
堆焊 材料	同上	5Cr4Mo		302 ~ 340	32 ~ 37	—	—
		5Cr2MnMo					
锤杆	中、小型锻锤	40Cr		241 ~ 269		—	—
	大型锻锤	40CrNi				—	—

①用于模腔浅而形状简单的锻模。

②用于模腔深而形状复杂的锻模。

5CrNiMo 钢有高的冲击韧度、良好的综合力学性能和良好的淬透性；其不足之处是工作温度稍低、是大型、特大型锤锻模的主要钢种。

5CrNiW 的力学性能与 5CrNiMo 差不多。

5CrNiTi 的硬度及强度不如上面两种，但它的塑性及韧性较高。

5CrNiMo、5CrNiW 加热到 500℃ 时，其高温硬度能保持在 HB300，而 5CrNiTi 在 450℃ 时才能保持该硬度，因此，其热稳定性稍差，它们在 600~700℃ 时的硬度值见下表：

表 1-33 锤锻模用钢在 600~700℃ 时的硬度

钢号	5CrNiMo	5CrNiW	5CrNiTi	5CrMnMo	4SiMnMoV
600~700℃ 时的硬度(HB)	207~125	202~120	179~105	175~115	220~200

5CrMnMoSiV 钢是为代替 5CrNiMo 而研制的，它的强度较 5CrNiMo 高，塑性、冲击韧度稍低，热疲劳性能和高温强度则相近。用它制造的汽车连杆锻模的寿命比 5CrNiMo 提高 65.8%。

表 1-34 其他类型热锻模的材料选用举例及其要求的硬度值

锻模类型或零件名称	推荐选用的材料牌号	可代用的材料牌号	要求的硬度值		
			HB	HRC	
型 腔 力 机 锻 模	凸模镶块	4Cr5W2VS, 4Cr5MoVS 3Cr2W8V, 3Cr3Mo3V	5CrMnMo 5CrMnSiMoV	390~490	
	凹模镶块	35Cr3Mo3W2V	5CrNiMo	390~440	
	凸、凹模镶块模体	45Cr	45	349~390	
	整体凸、凹模	5CrMnMo, 5SiMnMoV	8Cr3	369~422	
	上、下口紧圈	45	40, 35	349~390	
	上、下垫板和顶杆	T7	T8	369~422	
	导柱、导套	T8	T7		56~58

续表

锻模类型或零件名称	推荐选用的材料牌号	可代用的材料牌号	要求的硬度值		
			HBS	HRC	
热模锻压力机锻模	终锻模膛镶块	5CrMnSiMoV, 5CrNiMo 3Cr3Mo3V, 4Cr5W2VS	5CrMnMo 5SiMnMoV	368 - 415	
	顶锻模膛镶块	4Cr5MoVSi, 4Cr3W4Mo2VTiNb		352 - 388	
	锻件原料	4Cr5MoVSi, 4Cr5W2VS 3Cr2W8V	6Cr15	477 - 555	
	顶出板、顶杆	45	40Cr	368 - 415	
	垫板			444 - 514	
镶块固定零件	45 40Cr	40Cr —	341 - 388 368 - 415		

表 1-35 热挤压模的材料选用举例
及其要求的硬度值

被挤金属	钢、钛及钛合金 (挤压温度 1100 ~ 1260℃)	铜及铜合金 (挤压温度 650 ~ 1000℃)	铝、镁及其合金 (挤压温度 350 ~ 510℃)	铅、锌及其合金 (挤压温度 < 100℃)	
工具名称	推荐选用的材料牌号				
挤压模	凹模(整体 模块或嵌镶 模块)	4Cr5MoVSi 4Cr5W2VS 3Cr2W8V 4Cr4Mo2WVS 5Cr4W5Mo2V 4Cr3W4Mo2VTiNb 高温合金 HRC43 - 51 ⁽¹⁾	4Cr5MoVSi 4Cr5W2VS 3Cr2W8V 4Cr4Mo2WVS 5Cr4W5Mo2V 4Cr3W4Mo2VTiNb 高温合金 HRC40 - 48 ⁽¹⁾	4Cr5MoVSi 4Cr5W2VS HRC46 - 50 ⁽²⁾	45 HRC16 - 20
	模垫	4Cr5MoVSi 4Cr5W2VS HRC42 - 46	5CrMnMo 4Cr5MoVSi 4Cr5W2VS HRC45 - 48	5CrMnMo 4Cr5MoVSi 4Cr5W2VS HRC48 - 52	不用
	模座	4Cr5MoVSi 4Cr5MoVSi HRC42 - 46	5CrMnMo 4Cr5MoVSi HRC42 - 46	5CrMnMo 4Cr5MoVSi HRC44 - 50	不用

续表

被挤金属	钢、钛及铝合金 (挤压温度 1100 - 1260℃)	铜及铜合金 (挤压温度 650 - 1000℃)	铝、镁及其合金 (挤压温度 350 - 510℃)	铅、铋及其合金 (挤压温度 < 100℃)	
工具名称	推荐选用的材料牌号				
挤压筒	内衬套	4Cr5MoV1Si 4Cr5W2VSi 3Cr2W8V 4Cr4Mo2WVSi 5Cr4W5Mo2V 4Cr3W4Mo2VTiNb 高温合金 HB400 - 475	4Cr5W6V1Si 4Cr5W2VSi 3Cr2W8V 4Cr4Mo2WVSi 5Cr4W5Mo2V 4Cr3W4Mo2VTiNb 高温合金 HB400 - 475	4Cr5MoV1Si 4Cr5W2VSi HB400 - 475	不用
	外套筒	5CrMoMo 4Cr5MoVSi HB300 - 350	5CrMoMo 4Cr5MoVSi HB300 - 350		110A(退火)
挤压垫	4Cr5MoV1Si, 4Cr5W2VSi, 3Cr2W8V 4Cr4Mo2WVSi, 5Cr4W5Mo2V 4Cr3W4Mo2VTiNb, 高温合金 HRC40 - 44		4Cr5MoV1Si 4Cr5W2VSi HRC44 - 48	不用	
挤压杆	5CrMnMo, 4Cr5MoVSi, 4Cr5MoV1Si HB450 - 500			5CrMnMo HB450 - 500	
挤压芯棒(挤压 管材用)	4Cr5MoV1Si 4Cr5W2VSi 3Cr2W8V HRC42 - 50	4Cr5MoV1Si 4Cr5W2VSi 3Cr2W8V HRC40 - 48	4Cr5MoV1Si 4Cr5W2VSi HRC48 - 52	45 HRC16 - 20	

①对于复杂形状的模具，硬度比表列值应低 4-5 个 HRC。

表 1-36 某些新模具钢的热加工、热处理规范及性能

钢号 (代号)	热加工温度 ($^{\circ}\text{C}$)	退火工艺	淬 火		回 火		性 能					
			温度 ($^{\circ}\text{C}$)	HR c	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	HR c	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	σ_b (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	δ (%)	ψ (%)	α_k (J/cm^2)
35CrMn3W2V (HM1)	始锻 1120~1150 终锻 ≥ 850 灰冷或 堆冷	870 $^{\circ}\text{C}$ \times (2 ~ 4) h 730 $^{\circ}\text{C}$ \times (4 ~ 6) h, 炉 冷 全 <	950	50~51	300	55~56	20	1610	—	7.3	43.5	40
			1000	52~53	500	56~57	300	1200	1200	8.0	46.5	—
			1030	54~55	550	56~57	500	1180	975	10.0	51.5	54
25Cr2Mn3V2Nb (HM2)	始锻 1120~1150 终锻 ≥ 850 灰冷或 堆冷	860 $^{\circ}\text{C}$ \times (2 ~ 3) h 710 $^{\circ}\text{C}$ \times (4 ~ 6) h, 炉 冷 至 < 1100 550 $^{\circ}\text{C}$ 出 炉, 空冷	950	47	550	48.5/49D	20	1380	—	9.6	55	30
			1000	48	580	48.5/49D	550	985	830	10	59	—
			1020	49	600	49/49.5D	600	875	710	12	64	—
35CrMn3W2V (HM1)	始锻 1120~1150 终锻 ≥ 850 灰冷	870 $^{\circ}\text{C}$ \times (2 ~ 4) h 730 $^{\circ}\text{C}$ \times (4 ~ 6) h, 炉 冷 全 <	950	50~51	300	55~56	20	1610	—	7.3	43.5	40
			1000	52~53	500	56~57	300	1200	1200	8.0	46.5	—
			1030	54~55	550	56~57	500	1180	975	10.0	51.5	54
25Cr2Mn3V2Nb (HM2)	始锻 1120~1150 终锻 ≥ 850 灰冷	860 $^{\circ}\text{C}$ \times (2 ~ 3) h 710 $^{\circ}\text{C}$ \times (4 ~ 6) h, 炉 冷 至 < 1100 550 $^{\circ}\text{C}$ 出 炉, 空冷	950	47	550	48.5/49D	20	1380	—	9.6	55	30
			1000	48	580	48.5/49D	550	985	830	10	59	—
			1020	49	600	49/49.5D	600	875	710	12	64	—

续表

钢号 (代号)	热加工温度 ($^{\circ}\text{C}$)	退火工艺	淬火		回火		性能						
			温度 ($^{\circ}\text{C}$)	HRC	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	HRC	热处理 规范	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	σ_b (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	δ (%)	ψ (%)	α_k (J/cm^2)
SCr4W5Mo2V (R102)	始锻	870 $^{\circ}\text{C}$ × 3h	1100	58	450	57	1140 $^{\circ}\text{C}$ 油淬	20	2400	1800	1.8	55	19
	1170 - 1190	730 $^{\circ}\text{C}$ × 4h, 炉冷	1050	58.5	500-550	57	200 $^{\circ}\text{C}$ 回火						
	终锻	< 500 $^{\circ}\text{C}$	1100	60		58	1140 $^{\circ}\text{C}$ 油淬	20	2200	1820	4.4	33	22
	850 - 600	出炉, 空 冷; 球化退 火后	1120	60.5	600		600 $^{\circ}\text{C}$ 回火	20	HV540				15
			1140	59.5	650	55	1130 $^{\circ}\text{C}$	300					22.6
			1160	58	700	47	油淬	400					20.5
			1180	55.5		42	630 $^{\circ}\text{C}$ 回火	500					21.9
								550					22.5
								600					25.9
								650					23.6
								700					43.3

续表

牌号 (代号)	热加工温度 (°C)	退火工艺	淬火		回火		性能					
			温度 (°C)	HRC	温度 (°C)	HRC	硬度 (°C)	σ_b (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	δ (%)	ψ (%)	α_k (J/cm ²)
50Cr4Mn3 SiMnVA1 (012Al)	正火 1050~1080	球化退火: 860°C × 4h	1060	60	0	61/62②	450	1450	1265	8.8	43	31③
	退火 ≥850	720°C × 6h	1120	62	350	58/58	550	1200	1120	12.4	59.6	
	正火 1180	随炉冷却	1150	62.5	450	60/60	650	640	520~	20.5	64.5	
	正火 1180	随炉冷却	1180	62.5	510	61/61.5	450	1130	985	7.6	37	3.4④
			540		540	58.5/61	550	890	805	12.8~	62	
			580		580	54/57	650	540	455	21.2	80.9	
			620		620	49.5/53	450	1550	1415	8.0	36.8	3.7⑤
			650		650	41/44.5	550	1300	1200	8.8	43	
							650	895	828	14.8	59.5	
							450	1110	900	8.4	34	1.9⑥
							550	960	890	13	43	
							650	800	580	22	69	

续表

钢号 (代号)	热加工温度 (℃)	退火工艺	淬火		回火		性能									
			温度 (℃)	HRC	温度 (℃)	HRC	σ _b (MPa)	σ _{0.2} (MPa)	δ (%)	ψ (%)	α _k (J/cm ²)					
6Cr4Ni3 Ni2WV (002)	始锻	球化退火;	1020	58	(120℃) 回火				85							
	1140~1160	810℃ × 3h	1050	59	淬火	57~	1850~		4.5~							
	终锻	≥650℃ × (4~6)h	1080	61		59	2300		11.5							
	砂冷	炉冷至	1100	61.5		54.5~	2060		6							
	锻制需反复	550℃ 以下	1120	62.5		56			6							
	锻放二次以	出炉, 空冷	1140	61		56~	2000		6							
	上, 以保持	IF220	1180	59		58			6							
	碳化物分布		1200	59		590	1860									
	均匀					60.5~										
						62										
						520	2000									
						61~										
					62.5											
					540	2000										
					61~											
					62											
					560	2500										
					61~											
					62											
					600	2450										
					57~											
					59											
					630	2000										
					51~											
					53											
					650	1550										
					48~											
					50											
					21~											
					26											

续表

钢号 (代号)	热加工温度 (°C)	退火工艺	淬 火		回 火		性 能						
			温度 (°C)	HRC	温度 (°C)	HRC	热处理 规范	温度 (°C)	σ_b (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	δ (%)	ψ (%)	α_k (J/cm ²)
6Cr1Mn3 Ni2Wv (002)							1120℃ 油 淬	550	1400~ 1560	室温	5~8	10~ 15	19
							+630℃ × 2h × 2	600	1150~ 1350	硬度	11	34	20
								650	900~	HRC	9.5~	22~	25
								700	1120		12	32	
									660~	51~53	9~	30~	75
									720		10	32	
4Cr1Mn3 W4VTNb (002)	始锻						1220℃ 淬	室温	1880/1500/	1500/	6.7/	20/	16/
	1150						火		2130 ^②	1790 ^②	5.0 ^②	10 ^②	20 ^②
	终锻	850℃ × 3h ↓					+600℃ × 1	600	1440	1160	1.25	3.0	23/22 ^②
	960 砂冷	720℃ × 4h 炉冷至 550℃ 以下出炉					+580℃ × 1	650	1220	1030	2.0	3.0	26/16
								700	—	—	—	—	72/56
								750	675	580	3.75	18	110/108

续表

牌号 (代号)	热加工温度 (°C)	退火工艺	淬火		回火		性能						
			温度 (°C)	HRC	温度 (°C)	HRC	热处理 规范	温度 (°C)	σ_b (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	δ (%)	ψ (%)	α_k (J/cm ²)
50CrW3Mn2 VNB (50Nb)	始锻 1100~1150 终锻 850 炉冷至 550°C 随冷	860°C × 3h ↙ 740°C × 6h 炉冷至 550°C 以下出炉	1140 ~ 1160	—	530~ 640 二次	50~52	50Nb	室温 600	1500 950				21 28
50CrW3Mn2 VS (50Si)							50%	室温 600	1600 1230				
45MnW3 Mn2VN		860°C × 2h ↙ 680°C × 3h 炉冷至 500°C 以下出炉 空冷 FB 229 ≥950	1020	53.5	550	50~58	1140°C 油 + 600°C 580°C 各回 火一次	20 2140 200 2330 300 2330 400 2190 500 1750~ 1980 550 1305~ 1450 600 1100~ 1240 650	1980~ 2140 1910~ 2330 2080~ 2330 1940~ 2190 1980 1450 1100~ 1240 1010				27 — — — 17.4 22 28 28

- ①分子为回火一次，分母为回火两次。
 ②分子为1090°C淬火，分母为1120°C淬火。
 ③室温的冲击韧性。
 ④室温性能。
 ⑤分子为空气感应熔炼，分母为电渣重熔。

三、算料和下料

1. 算料基本公式

算料的主要目的是为了选择坯料的尺寸。基本原理是体积不变定律，即：锻造变形前的坯料体积和锻造变形后的锻件体积相等。实质上这个定律本身并不严密，因为金属在锻造过程中消除了气孔、缩孔、疏松等缺陷会使体积缩小，又因为加热时的氧化和烧损也会使锻件体积小于原坯料的体积。在锻造过程中，为了使锻件成形，还会产生轴端切头、冲孔连皮、模锻飞边等多余的工艺废料，所以坯料的体积应大于锻件的体积。可写成：

$$V_{\text{坯料}} = V_{\text{锻件}} + V_{\text{工艺}} + V_{\text{烧损}}$$

物体的质量等于体积乘以密度，如果金属在锻造前后的密度相同，体积不变定律也可以看成是质量不变定律。前式又可写成：

$$G_{\text{坯料}} = G_{\text{锻件}} + G_{\text{工艺}} + G_{\text{烧损}}$$

计算物体质量的公式为：

$$G = \rho V$$

式中 G ——质量，

ρ ——密度，各种材料的密度，见表 1-37 中所列密度值。

V ——体积，各种几何体的体积计算公式，可查阅表 1-38 (a)、1-35 (b) 中常用几何体及几何图形的计算公式。

表 1-37 各种材料的密度值

材料名称	密度 (g/cm ³)	材料名称	密度 (g/cm ³)
工业纯铁	7.87	63-3 铅黄铜	8.5
钢材	7.85	51-1 铅黄铜	8.5
铸钢	7.8	90-1 锡黄铜	8.8
低碳钢(含碳 0.1%)	7.85	70-1 锡黄铜	8.54

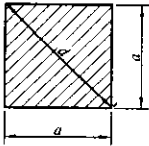
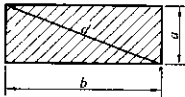
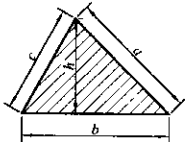
续表

材料名称	密度 (g/cm ³)	材料名称	密度 (g/cm ³)
中碳钢(含碳0.4%)	7.82	62-1 锡黄铜	8.45
高碳钢(含碳1%)	7.81	60-1 锡黄铜	8.45
高速钢(含钨9%)	8.3	77-2 铅黄铜	8.6
高速钢(含钨18%)	8.7	60-1-1 铝黄铜	8.6
不锈钢(含铬13%)	7.75	58-2 锰黄铜	8.5
不锈钢(含铬18%含镍9%)	7.96	59-1-1 铁黄铜	8.5
紫铜	8.9	80-3 硅黄铜	8.6
96 黄铜	8.85	4-3 锡青铜	8.8
90 黄铜	8.80	4-4-2.5 锡青铜	8.79
85 黄铜	8.75	4-4-4 锡青铜	8.9
80 黄铜	8.65	6.5-0.1 锡青铜	8.8
68 黄铜	8.60	5 铝青铜	8.2
62 黄铜	8.50	7 铝青铜	7.8
74-3 铅黄铜	8.7	9-2 铝青铜	7.63
9-4 铝青铜	7.6	10-5 锌铝合金	6.3
铝	2.73	锡	7.3
一号防锈铝	2.67	铅	11.37
五号防锈铝	2.65	T.业镍	8.9
二十一号防锈铝	2.73	9 镍铬合金	8.72
一号硬铝	2.75	锡基轴承合金	7.34~7.75

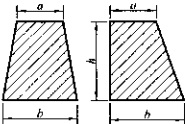
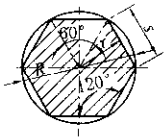
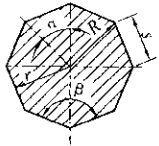
续表

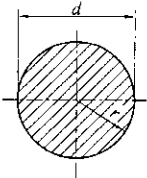
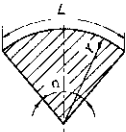
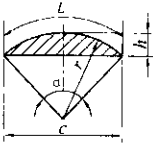
材料名称	密度 (g/cm ³)	材料名称	密度 (g/cm ³)
三号硬铝	2.73	铅基轴承合金	9.33 - 10.67
十一号硬铝	2.84	钨	19.3
十二号硬铝	2.80	钴	8.9
十四号硬铝	2.80	钛	4.51
二号锻铝	2.69	3 钨钴合金	14.9 - 15.3
四号锻铝	2.65	6 钨钴合金	14.6~ 15.0
五号锻铝	2.75	8 钨钴合金	14.4 - 14.8
八号锻铝	2.8	5 钨钴钛合金	12.3~ 13.2
九号锻铝	2.8	15 钨钴钛合金	11.0~ 11.7
十号锻铝	2.8	汞	13.6
四号超硬铝	2.8	锰	7.43
工业铁	1.74	铬	7.19
锌	7.2	钒	6.11
铝	10.20	铀	22.4
铈	6.62	银	10.5
铈	8.64	金	19.3
钡	3.5	铂	21.4
铍	1.85	铅	11.34
铋	9.84		

表 1-38(a) 面积的计算

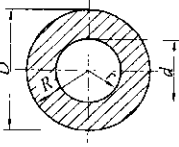
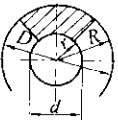
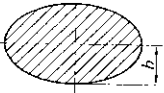
图形	形状	面积 F
正方形		$F = a^2 - \frac{1}{2}d^2$ 其中 $d = 1.414a$
长方形		$F = ab$
三角形		$F = \frac{bh}{2} = \frac{b}{2} \sqrt{a^2 - \left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2b} \right)^2}$

续表

图形	形状	面积 F
梯形		$F = \frac{a+b}{2}h$
六角形		$F = 2.598R^2 = 3.464r^2$ <p>或 $F = 1.1\pi r^2$</p> <p>其中 $R = S = 1.155r$ $r = 0.866R$</p>
正多边形		$F = \frac{nsr}{2}$ <p>其中 $s = 2\sqrt{R^2 - r^2}$</p>

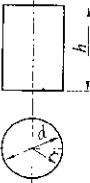
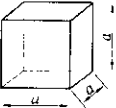
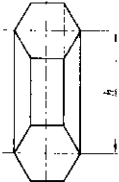
图形	形状	面积 F
圆形		$F = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4}$
扇形		$F = \frac{1}{2} rL$ <p>其中 $L = \frac{r\alpha\pi}{180}$</p>
弓形		$F = \frac{1}{2} [rL - c(r - h)]$ <p>其中 $c = 2\sqrt{h(2r - h)}$ $r = \frac{c^2 + 4h^2}{8h}$ $h - r = \frac{1}{2}\sqrt{4r^2 - c^2}$</p>

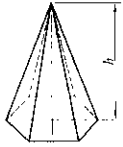
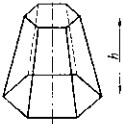
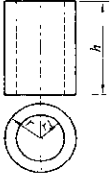
续表

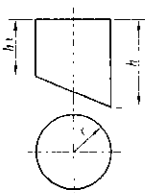
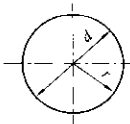
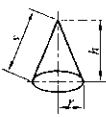
图形	形状	面积 F
圆环		$F = \pi(R^2 - r^2) = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$
截圆环		$F = \frac{\alpha\pi}{360}(R^2 - r^2) = \frac{\alpha\pi}{4 \times 360}(d^2 - d^2)$
椭圆形		$F = \pi ab$

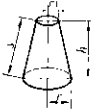
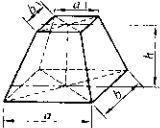
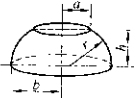
表中符号说明： n ——多边形的边数；
 L ——圆周或弧长。

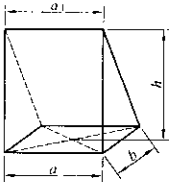
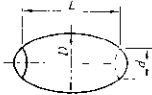
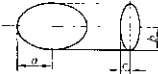
表 1-38 (b) 体积的计算

图形	形状	体积 V
圆柱体		$V = \pi r^2 h = \frac{\pi d^2 h}{4}$
正立方体		$V = a^3$
棱柱体		$V = F_{\text{底}} \times h$ $F_{\text{底}} = \text{底面积}$

图形	形状	体积 V
角锥体	 <p>A diagram of a hexagonal pyramid. The base is a regular hexagon. A vertical dashed line from the apex to the center of the base represents the height, labeled h. The edges of the pyramid are shown with solid lines for the front and dashed lines for the back.</p>	$V = \frac{h}{3} \times F_{\text{底}}$ $F_{\text{底}} = \text{底面积}$
截面角锥体(锥台)	 <p>A diagram of a hexagonal frustum. The top and bottom bases are regular hexagons. A vertical dashed line between the centers of the two bases represents the height, labeled h. The edges are shown with solid lines for the front and dashed lines for the back.</p>	$V = \frac{h}{3} (F_1 + F_2 + \sqrt{F_1 F_2})$ <p>其中 F_1——上底面积 F_2——下底面积</p>
空心圆柱体	 <p>A diagram of a hollow cylinder. The top view shows two concentric circles with radii r (outer) and r_1 (inner). A vertical dashed line represents the height, labeled h. The side view shows the cylindrical shape with dashed lines for the hidden back edges.</p>	$V = \pi h (r^2 - r_1^2)$

图形	形状	体积 V
斜切圆柱体		$V = \pi r^2 \frac{h + h_1}{2}$
球体		$V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{\pi d^3}{6}$
圆锥体		$V = \frac{h}{3} \pi r^2$

图形	形状	体积 V
截面圆锥体(圆锥台)		$V = (r^2 + r_1^2 + rr_1) \frac{\pi h}{3}$
梯形体		$V = \frac{h}{6} [(2a + a_1)b + (2a_1 + a)b_1]$ $= \frac{h}{6} [ab + a_1b_1 + (a + a_1)(b + b_1)]$
球带体		$V = \frac{\pi h}{6} (3a^2 + 3b^2 + h^2)$

图形	形状	体积 V
斜楔体		$V = (2a + a_1) \frac{bh}{6}$
鼓筒体		$V \approx \frac{\pi L}{15} (2D^2 + Dd + 0.75d^2)$
椭圆体		$V = \frac{4}{3} abc\pi$

2. 算料计算方法

除了查表计算法外，算料盘计算法也是计算坯料的方法之一。算料盘各部分名称及用途见图 1-1。

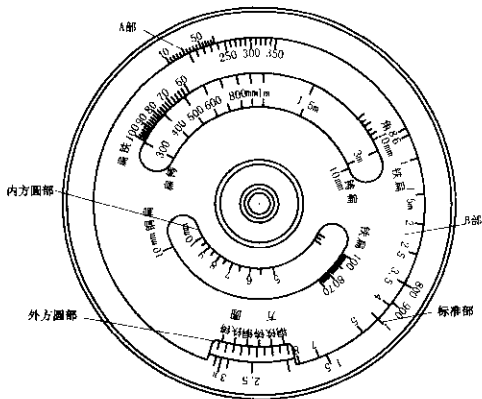


图 1-1 算料盘构造

(1) 算料盘各部分的名称和构造：

底——算料盘的下层；

盖——算料盘的上层；

标准数——底的外周“1”；

A部——在底的外周；

B部——在盖的外周；

扁铁部——在长半圆孔的外侧，用以计算扁钢的尺寸（算料盘中的“铁”，实际上代表低碳钢，下同）；

外方圆部——在盖的外周缺口处，有方、圆两组，各有铜、铁和铸的标线，用以计算100mm以上的数。

内方圆部——在短半圆孔的内侧，用以计算100mm以下的各数。

(2) 圆、方钢质量计算：要算出每一种圆（方）钢的质量时，要用方圆部的圆（方）的标线和已知直径的数字对准，再看B部物体的长度数字，相对应的A部数字就是质量。

(3) 扁钢质量计算：计算扁钢（横截面为矩形）是用扁铁部宽与厚的数字相对；在B部找出长度数字，与它相对A部的数字就是质量。

(4) 钢球质量计算：把球的标线，对在直径数字上，再看B部直径数字相对A部的数字就是球的质量。

(5) 六角钢质量计算：先计算内切圆料的质量，算后再加上角的质量。

方法：算出内切圆料质量后，把B部“6角”对在标准线1上，再从A部查出已计算出的数值，在B部上与此对应的数就是加角后的质量。

(6) 八角钢质量计算：与六角同，加角时把“8角”对在标准线上即可。

(7) 六角形钢锻件的近似计算：把六角形的对方尺寸（内切圆直径）当做直径，在算料盘上按“圆钢”对好刻度线，根据原有长度查出钢锻件的质量。

例1 求对方为40mm，长为250mm的碳素六角钢质量。

计算方法：把算料盘上盖的圆钢刻度绝对对准下底刻度线40处，从上盖外缘刻度线250处，在算料盘下底的相应部位可以找到锻件的组量为2.8kg。

(8) 其他金属材料的质量计算：算料盘上的刻度线是以密度为 7.85g/cm^3 的普通钢材为标准制作的。对于密度不等于 7.85g/cm^3 的

钢铁材料或有色金属，可用以下方法进行计算。

使用算料盘上的铜、铝、铸刻度线计算钢材、铝材和铸铁材料的质量（图 1-2）。

根据物体的几何形状，按照普通钢材计算出质量，然后参照材质的不同再乘以一个质量系数（表 1-39）作为最终计算结果。

表 1-39 常用金属材料的质量系数表

序号	材 料 名 称		质量系数
1	碳素钢		1
2	铸钢（碳素钢，一般合金钢）		0.99
3	一般合金结构钢		1
4	一般合金工具钢		1
5	高速钢	含钨 9%	1.06
		含钨 18%	1.11
6	不锈钢	含铬 13%	0.99
		含铬 18%，含镍 9%	1.01
7	紫铜		1.13
8	普通黄铜	62 黄铜	1.08
		68 黄铜，80 黄铜	1.1
		85 黄铜	1.11
		90 黄铜	1.12
		96 黄铜	1.13
9	铅黄铜	S9-1 铅黄铜，63-3 铅黄铜	1.08

续表

序号	材料名称		质量系数
10	锡黄铜	60-1 锡黄铜, 62-1 锡黄铜	1.08
		90-1 锡黄铜	1.12
11	铝黄铜	60-1 1 铝黄铜	1.04
12	58-2 锰黄铜		1.08
13	59-1-1 铁黄铜		1.08
14	80-3 硅黄铜		1.1
15	锡青铜	4-3 锡青铜, 4-4-2.5 锡青铜, 6.5-0.1 锡青铜	1.12
		4-4-4 锡青铜	1.13
16	铝青铜	9-2 铝青铜, 9-4 铝青铜	0.97
		7 铝青铜	0.99
		5 铝青铜	1.04
17	工业纯铝		0.35
18	防锈铝	二号防锈铝, 五号防锈铝	0.34
19	硬铝	一号硬铝	0.35
		十一号硬铝, 十二号硬铝	0.36
20	锻铝	二号锻铝	0.34
		五号锻铝	0.35
		八号锻铝, 九号锻铝, 十号锻铝	0.36

(9) 算料盘上的乘、除法运算：在 B 部找被乘数对准标准数，在 A 部找出乘数，乘数对着 B 部的数就是积。

在 B 部找被除数，在 A 部找出除数并使其对准被除数，标准数对着 B 部的数就是商。

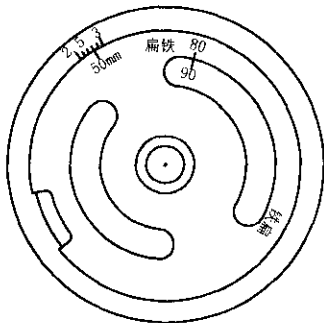


图 1-2 其他金属的质量计算

例 2 有矩形锻件，尺寸为： $80 \times 90 \times 50\text{mm}$ ，材质为高速工具钢 W18Cr4V，求质量。

计算方法：在扁铁部将 80mm 与 90mm 对准，再看 B 部 50mm 相对的 A 部数 2.8，即此矩形件如是普通钢材，质量应为 2.8kg (图 1-3)

查常用金属材料质量系数表 (表 1-39)，W18Cr4V 的质量系数为 1.11。

在 B 部上找到 2.8 对准标准数，在 A 部找出 1.11。对着 B 部的

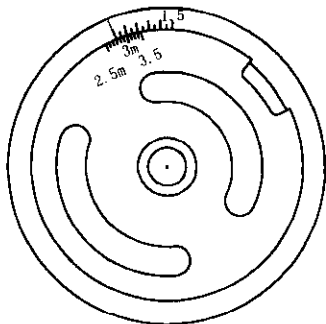


图 1-3 其他金属材料的质量计算

3.1 就是此锻件的质量。

3. 下料长度的计算

计算出锻件的体积或质量，再根据本手册有关章节确定工艺余料和烧损量的大小。选定使用坯料的规格后，就可以用体积不变定律的基本公式计算出下料长度。

如果不需要知道锻件或坯料的真实质量，只是为了计算下料长度，就不必考虑各种材料密度不同的影响。用对普通钢质锻件的计算方法计算出各种钢铁及有色金属的下料长度。也可以使用算料盘进行计算。

例 如用 $\phi 70$ 的圆钢锻造前一例题中的高速钢锻件。已知烧损率和工艺余料各为锻件质量的 7%，求下料长度。

计算方法：按普通钢计算，锻件重 2.8kg，烧损和工艺余料各为 0.2kg

$$G_{\text{坯料}} = 2.8 + 0.2 + 0.2 = 3.2$$

用算料盘的内外圆部圆铁线对着 70，在 A 部上找到 3.2，对着 B 部的 105mm 就是下料长度。

4. 下料方法

表 1-40 下料方法及其特点汇总表

下料方法	使用设备	特 点
车削切断	车床	端面质量好，尺寸精度高，材料有损耗 用于端面质量及尺寸精度要求较高的毛坯
锯切	弓锯床 半自动圆锯床 卧式带锯床	端面质量好，尺寸精度高 用于有色金属下料，如铝镁、铜等合金，或端面尺寸精度要求较高的钢材下料 使用弓锯床和圆锯床时，生产率低，锯口部分金属消耗大，使用卧式带锯床时较好
片砂轮切割	卧式砂轮 切断机	端面质量好，尺寸精度高，生产率较锯切下料高一些，但不及剪切下料方法，材料有损耗 用于其他方法下料困难的金属切割，如高温合金等
剪切	联合冲剪机 棒料剪切机 (曲柄剪床) 钢坯剪断机 曲柄压力机 螺旋压力机	生产率高，切口没有材料损耗，适用于成批大量生产，是模锻毛坯的主要下料方法 用普通剪切方法，剪切端质量不如车削切断好。用精密剪切方法，端面质量很好

续表

下料方法	使用设备	特 点
热剝切	自由锻锤 自由锻造 液压机	下料范围广，工具简单 劳动条件不好，下料长度不易控制，毛坯需加热至锻造温度，端面质量差 多用于自由锻毛坯下料，在锻锤上操作比较危险
氧-乙炔气 火焰切割	氧气瓶、乙炔 发生器、割炬	设备轻便简单，可进行野外作业 端面质量差，金属损耗大，精度低，生产率低，操作技术要求较高，劳动条件不好 用于大截面毛坯和低碳钢、低碳合金钢材料的切割 高碳钢、高合金钢和各种有色金属不能用此种方法下料

(1) 锯切下料:

表 1-41 弓锯床的锯切参数

锯口宽度 (mm)	锯片规格(销孔间距×宽×厚) (mm)	切割棒料最大 直径(mm)	机床型号
2	300×25×1.4 300×30×1.6		
2	350×25×1.4 350×30×1.6	160	G7015
2-2.5	400×30×1.6 400×35×1.8	220	G7022

续表

锯口宽度 (mm)	锯片规格(销孔间距×宽×厚) (mm)	切割棒料最大 直径(mm)	机床型号
2.5	450×35×1.8 450×40×2.0	220	G72
2.5-3	500×40×2.0 500×45×2.5	250	G7025
2.5-3	550×40×2.0 550×45×2.5	320	G7132
3	600×45×2.5	320	G7132

表 1-42 圆锯床的锯切参数

锯口宽度 (mm)	锯片规格(外径×齿宽×孔径) (mm)	切割棒料最大 直径(mm)	机床型号
4	350×3.6×40		
5.5	350×5×32		
6.5	540×6×70		
6.5	640×6×80		
7	660×6.5×60.5		
7	740×6.5×80	φ250	G607
8.5	1010×8×120	φ350	G6010
11	1430×10.5×150	φ500	G6014
15	2000×14.5×240		

表 1-43 带锯床的锯切参数

锯口宽度 (mm)	锯带尺寸(长×宽×厚) (mm)	切割棒料最大 直径(mm)	机床型号
1.4	3505×25×0.95	250	G5025
1.4~1.7	3660×25×(0.9~1.2)	300	G5030

表 1-44 片砂轮切割的技术参数

切口宽度 (mm)	砂轮尺寸(外径×厚度×孔径) (mm)	切割棒料最大 直径(mm)	机床型号
4~5	400×(3~4)×32	φ60	G228

(2) 剪切下料:

剪切力: 剪切力可用下式计算:

$$P = KF\tau$$

式中 P —剪切力(N);

F —剪切面积(mm^2),

K —考虑刀口变钝等影响的系数, 可取 $K = 1.2 \sim 1.7$;

τ —材料的抗剪强度(10MPa), 可取为抗拉强度的 0.7~0.8 倍, 即 $\tau = (0.7 \sim 0.8)\sigma_b$, 也可以参照表 1-45 计算。

表 1-45 一些金属材料的抗剪强度

材料	τ (MPa)	σ_b (MPa)	τ/σ_b	备注
Q195	290	336	0.86	退火
	375			冷作硬化

续表

材料	τ (MPa)	σ_b (MPa)	τ/σ_b	备注
Q235	347	423	0.82	退火
	410			冷作硬化
Q255	356	454	0.79	退火
	460			冷作硬化
15	280	380	0.74	
30	356	454	0.79	退火
35	420	540	0.78	退火
40、45、50	460			退火
75	610	1008	0.61	
30CrMnSiA	750	1200	0.62	调质
紫铜	160	200	0.80	
H68	200	300	0.66	
HPb59-1	260	420	0.62	
锌	150	187	0.91	
LY12	130	230	0.56	退火
LY11	220~240	380~420		热挤压后
LD2	70	130	0.54	退火

• 专用剪切设备:在选用剪切设备时要使剪切力小于设备的吨位。

表 1-46 专用剪切设备一览表

设备名称	型号	最大剪切能力	
		圆钢直径(mm)	方钢边长(mm)
联合冲剪机	Q34 10	35	28
	Q34-16	45	40
	Q34-16A	38	35
	QA34-25	65	55
棒料剪切机 (曲柄剪床)	Q42-250	90	—
	Q42 500	132	125
	10000kN	190	180
	12500kN	210	185
	16000kN	250	220
钢坯剪断机	QA95-100	50(冷剪)	50(冷剪)
		—	150(热剪)

需加热剪切材料剪切时的加热温度:对于强度(硬度)较高的材料和截面尺寸较大的材料,剪切前要对材料进行预热,可参照表 1-47 选择剪切状态,决定是否需要加热。具体加热温度可参照表 1-48。

表 1-47 不同牌号不同规格材料的剪切状态

材料牌号	毛坯直径或边长 (mm)	硬度 (HB)	剪切状态
35	≤ 75		冷剪
	80~85	≥ 187	热剪
		< 187	冷剪
35	> 85		热剪
45	≤ 60		冷剪
	65~75	≥ 207	热剪
		< 207	冷剪
	> 75		热剪
40Cr	≤ 50		冷剪
	55~60	≥ 241	热剪
		< 241	冷剪
	> 60		热剪
45Cr 18CrMnTi 12Cr2NiA	≤ 35		冷剪
	40~48	≥ 255	热剪
		< 255	冷剪
	> 48		热剪

表 1-48 加热剪切的预热温度

材料硬度(HB)	269	241	229	207
预热温度(℃)	550	400	380	350

注:预热温度为材料本身预热到的温度。

剪切间隙:为保证剪切质量,上、下刀片间应有合理的间隙值,见表 1-49。材料硬度高或被剪截面尺寸大时可取大值,反之应取小值。加热剪切时也应取小值。

表 1-49 剪切刀片的合理间隙(mm)

棒料直径	20 以下	20~30	30~40	40~60	60~90
刀片间隙	0.2~1	0.5~1.5	0.8~2	1.5~2.5	2.0~3.0
棒料直径	90~100	100~120	120~150	150~180	180~200
刀片间隙	2.5~3.5	3~4	3.5~5	4.5~8	7~12

表 1-50(a) 剪切生产能力(不同材料规格)

毛坯直径(mm)	不同毛坯长度(mm)时剪床生产率(个/h)											
	100	200	300	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
20	2100	1600	1400	1250	800	720	650	590	380	340	300	270
30	1900	1400	1350	1150	760	680	600	540	360	320	290	260
40	1500	1200	1100	1000	660	600	540	490	320	290	260	230
50	1300	1000	900	800	520	470	420	380	250	220	200	180
60	1050	800	720	650	430	390	350	320	210	200	170	150

续表

毛坯直径(mm)	不同毛坯长度(mm)时剪床生产率(个/h)											
	100	200	300	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
70	900	700	630	550	360	330	300	270	180	160	140	130
80	800	600	540	480	320	290	260	240	160	140	130	120
90	650	500	450	400	260	230	210	190	130	120	110	100
100	450	350	310	280	180	160	140	130	90	80	70	65
110		300	270	250	160	140	130	120	80	70	65	60
120		250	230	210	140	130	120	110	70	60	55	50
130		200	180	160	110	100	90	80	55	50	45	40
140		150	130	120	80	70	60	55	35	30	27	25
150		110	90	80	50	45	40	35	25	23	21	20

注:热剪切时表中数据应降低20%。

表 1-50(b) 剪切生产能力(不同剪切设备)

设备名称	在下列毛坯平均质量(kg)下的年产量(kt/年)					
	0.25~ 0.6	0.6~ 1.0	1.0~ 1.6	1.6~ 2.5	2.5~ 4.0	4.0~ 6
1. 曲柄剪床						
同时冷切一根	—	—	—	10	12	15
同时冷切二根	—	—	—	15	18	22

续表

设备名称	在下列毛坯平均质量(kg)下的年产量(kt/年)					
	0.25~ 0.6	0.6~ 1.0	1.0~ 1.6	1.6~ 2.5	2.5~ 4.0	4.0~ 6
同时热切一根	—	—	—	8	10	12
同时热切二根	—	—	—	12	15	18
2. 联合冲剪机	—	4	5.2	6.5	8.5	11
3. 曲柄压力机	1.3	2.3	4	—	—	—
4. 锯床	0.06	0.08	0.1	0.14	0.21	0.27

续表

设备名称	在下列毛坯平均质量(kg)下的年产量(kt/年)					
	6~10	10~ 16	16~ 25	25~ 40	40~ 60	60~ 100
1. 曲柄剪床						
同时冷切一根	18	22	26	31	36	43
同时冷切二根	27	33	39	45	54	—
同时热切一根	14	18	21	24	29	34
同时热切二根	22	26	31	36	43	—
2. 联合冲剪机	14	18	23	27	—	—
3. 曲柄压力机	—	—	—	—	—	—
4. 锯床	0.4	0.48	0.6	0.9	—	—

(3) 剪刀片的设计:设计刀片时,主要考虑以下两个条件:设备工艺规格;被剪切材料的形状和尺寸。

- 圆形刃口刀片的主要尺寸确定(图 1-4):

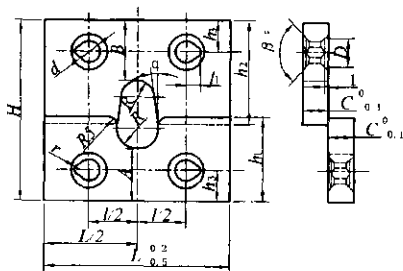


图 1-4 圆形刃口刀片的主要尺寸

刃口半径 R 可根据被剪切棒料直径确定(表 1-51)。 R 过大会使棒料断面过分压扁,有时甚至造成裂纹,若 R 小于被剪切棒料直径之半,则棒料侧面将产生压痕,并影响刀片寿命。

表 1-51 圆形刃口半径与棒料直径对应表(mm)

棒料直径 D	28 ~ 32	34 ~ 36	38 ~ 42	45 ~ 50	54 ~ 56	60 ~ 65
刃口半径 R	17	19	22.5	26.5	29.5	34.5
棒料直径 D	70 ~ 75	80 ~ 85	90 ~ 95	100	110	130
刃口半径 R	39.5	44.5	50	53	58	68

下刀片尺寸 A 主要是为了保证下刀片的强度,并有一定的磨修量,由设备工艺规格取经验数据。

5000kN 剪床 $A = 120 \sim 130\text{mm}$;

10000kN 剪床 $A = 130 \sim 140\text{mm}$ 。

在保证刀片强度和多次磨修的情况下,上刀片尺寸 B 越小越好,可参照下式确定:

$$B = H - [S + A + (0.3 \sim 0.32)D_{\text{最小}}] \text{mm}$$

式中 H —剪床剪刀开口高度(mm);

S —剪床行程(mm),由设备工艺规格决定。

上、下刀片高度 h_1 及 h_2 的确定:剪床在工作时,当上刀(动刀)在最高位置,上、下刀片仍应有一段重叠距离 Δh ,即所谓导程(图 1-5)以防止、下刀片在剪切时相撞而损坏设备或刀片。导程 Δh 一般取 $15 \sim 20\text{mm}$ 。

在具体设计时,上、下刀片之刃口高度取相等值。可按下式确定:

$$h_1 = \frac{(H + A + B)}{2} + 7 \sim 10\text{mm}$$

$$h_2 = H - h_1 + (15 \sim 20)\text{mm}$$

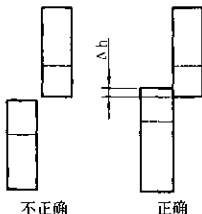


图 1-5 上刀片在最高位置时,上下刀片的相对位置

根据刀片的强度和刚度确定它的厚度 C , 可取:

$$C = (0.25 \sim 0.5)D$$

式中 D ——被剪切棒料直径(mm)。

刀片厚度 C 和刀片宽度 L 也可按设备吨位查表 1-49 选取。刀片开口处的倾斜角 α 可取 10° 。

表 1-52 刀片主要尺寸与设备吨位对应表

设备吨位	d	D	l	l_1	h_3	r	C	L
5000kN	36	55	230	22	55	5	60	419
10000kN	48	72	260	27	60	6	80	479

· 方形刃口刀片主要尺寸的确定: 方钢一般是沿对角线剪切, 刀片分整体式和组合式两种。图 1-6 为整体式方形刃口刀片主要尺寸示意图。为防止剪切时产生应力集中而损坏刀片, 刃口必须有圆角。同时, 希望在剪切开始时, 方料的圆角部分与刀刃立即接触。刃口圆角半径可参考下式确定:

$$r \geq 0.1a$$

式中 a ——方料边长。

方形刃口刀片其他尺寸确定原则同圆形刃口刀片。

下刀尺寸 A : 根据设备取经验数据。对 5000kN 及 10000kN 剪床可取 110~120mm。

上刀尺寸 B :

$$B = H - [S + A + 0.7a_{\text{最小}}]$$

式中 H ——剪床剪刀开口高度(mm), 由设备工艺规格查取;

S ——剪床之行程(mm)。由设备工艺规格决定;

$a_{\text{最小}}$ ——同一剪刀所剪切的最小方料边长(mm)。允许剪切的最大方料边长应在以下范围内:

$$a_{\text{最大}} \leq 1.25a_{\text{最小}}$$

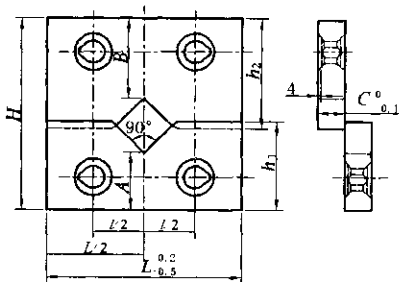


图 1-6 方形刃口刀片的主要尺寸

刀片高度 h_1

$$h_1 = \frac{(H + A - B)}{2} + (7 \sim 10)\text{mm}$$

上刀片高度 h_2

$$h_2 = H - h_1 + (16 \sim 20)\text{mm}$$

刀片外形尺寸的确定同圆形刃口刀片。

· 刀片材料选择:在剪切过程中,刀片遭受严重的磨损。因此,用于制造刀片的材料要具备高的耐磨性,其硬度应大于被切材料的一倍。对于热剪的刀片,还需具备一定的红硬性,即在剪切温度下,刀片还能具备所需的硬度,在具体选择时,还须考虑刀片的大小、剪切材料的批号等因素,详见表 1-53、表 1-54。

表 1-53 冷剪刀片材料的硬度及应用

	材料名称	热处理硬度 HRC	应用
碳素工具钢	T7, T8	58~62	用于小刀片,且生产 批量不大
	T9, T10	58~62	
合金工具钢	Cr, 9SiCr	58~62	用于大刀片,成批大 量生产
	CrWMn	60~62	
	7Cr3, 8Cr3	50~55	
	Cr12Mo, Cr12MoV	58~62	

表 1-54 热剪刀片材料的硬度及应用

材料名称	热处理硬度 HRC	应用
5CrMnMo	42~45	用于剪切温度大于 200℃ 的成批大量 生产
5CrNiMo	45~47	
3Cr2W8V	45~48	
5CrW2Si	45~50	
6CrW2Si	45~50	
T7 T8 T9 T10	55~60	用于剪切温度低于 150℃ 的小型刀片 及小批量生产

四、金属加热及温度测量

正确地加热金属坯料和对其温度进行准确及时地测量，对于减少设备吨位，提高锻件质量，降低燃料消耗均具有重要意义，是锻造与模锻前首先需要解决的重要问题。

1. 金属加热目的及加热方法

锻造和模锻前金属的加热目的是：提高金属的塑性，降低变形抗力，以利于金属的变形和获得良好的锻后组织。因此金属加热是热锻生产中不可缺少的重要工序之一。根据热源不同，在锻压生产中金属的加热方法可分为两大类：火焰炉加热、电加热。

表 1-55 常见加热设备的应用范围及特点

加热方法及 设备分类		应用范围			特点
		坯料形状 尺寸	批量	适用的工艺 方式举例	
火焰 加热	手锻炉	各种形状 中小件	单件小批	手工锻、修 锻	构造很简单，加热质量不容易控制
	室式炉	各种形状 中小件	单件或成批	中小型自由 锻	构造简单
	双室式炉	各种形状 中小件	单件或成批	中小型自由 锻	生产能力变化性强，适用于多次加热和合金钢加热

续表

加热方法及 设备分类		应用范围			特点
		坯料形状 尺寸	批量	适用的工艺 方式举例	
火 间 加 装 热 料	开隙式炉	中小型 毛坯加热 及杆料端 部加热	成批	小型模锻、 胎模锻、手 锻及摩擦压 力机上模锻	构造简单, 不用炉门
	双室开 隙式炉	中小型 毛坯、加 热及杆料 端部加热	成批	小型模锻、 胎模锻、手 锻及摩擦压 力机上模锻	适应生产 能力变化性 能强
	贯通式炉	各种形 状中小件 及长杆件	单件或成批	自由锻模 锻	炉子带预 热段, 适应 生产变化性 强
	车底炉	中小型钢 锭	单件小批	大型自由 锻, 如钢锭 加热及大锻 件热处理加 热	炉底可进 出运动, 装 出料方便
	敞焰无 氧化加 热炉	中小件	成批	精密锻造	利用不完 全燃烧在炉 膛下部形成 保护气氛

续表

加热方法及 设备分类		应用范围			特 点
		坯料形状 尺寸	批 量	适用的工艺 方式举例	
火 焰 加 热	半连 续炉	中小型模 锻毛坯	大批	模锻	用机械化 推料, 结构 稍复杂, 有 预热, 加热 两段炉膛
	转壁炉	中小棒料 端部加热	大批	平锻、摩 擦压力机模 锻	结构稍复杂
	盘形转 底炉	中小型毛 坯	成批大量	中小型模锻	结构较复 杂, 可机械 化进、出料
	环形转 底炉	大、中型 模锻毛坯	大批大量	大、中型模 锻	结构较复 杂, 可机械 化进出料, 炉膛内有预 热, 加热两 段
	步进 式炉	长方料或 长棒料毛 坯	大批大量	模锻或精锻	结构复杂, 可机械化装 出料, 炉内 有预热, 加 热段
	专用机 械化炉	中小件、 长棒料	大批	卷簧弯曲热 切下料等	结构复杂

续表

加热方法及 设备分类	应用范围			特点
	坯料形状 尺寸	批量	适用的工艺 方式举例	
电 加 热	电阻炉	某些有色金属及合金钢中小件	少量成批	自由锻、模锻 结构简单，控温精确，升温慢，单位电能消耗为： $0.5 \sim 1.0 \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{kg}$
	盐浴炉	小件（或局部）无氧化加热	少量成批	自由锻、模锻 结构简单，单位电能消耗为： $0.3 \sim 0.8 \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{kg}$
	接触加热	直径小于80mm棒料加热	大批大量	模锻，电锻卷簧、电热弯曲及轧制等 结构简单，加热速度快，耗电少，单位电能消耗为： $0.3 \sim 0.45 \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{kg}$ 。很适用于局部加热，短毛坯整体加热困难，温度不均匀

续表

加热方法及 设备分类	应用范围			特点	
	坯料形状 尺寸	批量	适用的工之 方式举例		
电 加 热	工频感 应加热	直径大于 150mm 的 棒料	大批	模锻、热冲 挤、轧制	不用变频 设备, 耗电 较少, 单位 电能消耗为 0.35 ~ 0.55kW · h/ kg, 用电容 器数目较多
	中频感 应加热	直径 $\phi 20$ ~ 160mm 的棒料	大批大量	模锻、轧制、 热冲挤	结构复杂, 单位电能消 耗为: 0.4 ~ 0.55kW · h/ kg, 加热速 度快, 自动 化程度高
	高频感 应加热	直径小于 20mm 的 棒料	大批大量	模锻、轧制、 热冲挤	结构复杂, 加热速度快, 自动化程 度高, 只能加 热小件, 单 位电能消耗 为: 0.6 ~ 0.7kW · h/ kg

2. 金属加热时产生的缺陷及防止方法

(1) 氧化：在高温下，表面层金属与炉气中的氧化性气体（ O_2 、 CO_2 、 H_2O 及 SO_2 ）进行化学反应生成氧化皮，造成金属的烧损。氧化皮还加剧模的磨损，降低模锻件的精度和增大粗糙度，因此在精密锻造中应当采用少氧化和无氧化的加热方法。影响金属氧化的主要因素为：金属成分、炉气成分、加热温度及加热时间。对于一般的火焰炉，为了减少氧化皮，在加热工艺上应采取如下措施：

- 在保证加热质量前提下，尽量采用快速加热，缩短加热时间，尤其是金属在高温下停留时间不宜过长，应尽量用少装勤装的操作方法。

- 在燃料完全燃烧的条件下，尽可能减少过剩空气量，以免炉内剩余氧气过多，并注意减少燃料中的水分。

- 炉膛应保持不大的正压力，防止冷空气吸入炉膛。

在锻工算料时必须算进烧损金属的质量，它一般用坯料质量的百分比（即烧损率6%）表示。其数值和所用加热设备种类，加热规范和毛坯尺寸有关，煤炉（和油炉）由于过剩空气较多，烧损也较大。烧损率还和加热操作（如风量的调节，装炉毛坯数量等）有很大关系。所以各工厂的实际烧损率也不同。

热坯料重复加热时，每次的烧损率按表 1-56 中数值再增加 50%。对于空心件烧损率还应取得大些。

表 1-56 不同加热方法钢的烧损率

加 热 方 法	烧 损 率 δ (%)
室式煤炉	2.5~4
油 炉	2~3
煤 气 炉	1.5~2.5
电 阻 炉	1~1.5
接触加热和感应加热	<0.5

(2) 脱碳：在高温下钢料所含的碳分与炉气中的 H_2O 、 CO_2 、

O_2 、 H_2 等进行化学反应，造成钢料表面层含碳量减少。如果脱碳层深度小于锻件加工余量，则对零件没有危害；如果脱碳层的深度超过锻件余量，则零件表面的硬度和强度降低，从而影响零件使用性能。所以重要锻件和精密锻造的锻件应注意防止脱碳。影响脱碳的因素主要也是加热温度、加热时间、炉气成分和金属成分等。为了减少脱碳，在加热操作上，应力求进行快速加热，特别是对容易脱碳的钢应避免在高温下长时间地加热，加热好后应尽快出炉锻打。

(3) 过烧：金属加热到接近熔点温度时，晶间低熔点物质开始熔化，由于炉气中的氧化性气体渗入晶粒边界，使晶间物质氧化，破坏了晶粒间的联系，一经锻打即破碎而成为废品，不能挽救，这种现象称为过烧。不仅是氧化性气体在高温下能渗入晶界形成氧化物而使材料变脆，就是熔点较钢低的铜也能在高温下从晶界渗入而削弱晶间的联系。例如有些工厂加热钢及加热铜用同一个加热炉，在加热铜材后，炉底如不清理，再加热钢材时，原先落入炉底的铜屑及表层剥落物溶化渗入钢材晶界，情况和“过烧”类似，锻时就破碎。所以有经验的工厂在加热铜材时，在铜材下面垫以薄钢板，加热完毕再抽出，不使铜屑等落入炉底。或者先将炉底的铁皮渣清除，然后再向炉内撒上一层食盐，生成的氯化亚铜极易挥发，这样就可以消除铜脆。

(4) 过热：钢料在稍低于过烧温度的高温下长期保温时，会使晶粒过分长大，这种现象叫做过热。过热使金属在锻造时的塑性有些降低，更重要的是在锻造和热处理后，锻件的晶粒比较粗大，降低了钢的力学性能。为了纠正过热后造成的粗大晶粒组织，对于已过热但尚未锻造者可用冷却后重新加热然后锻造的方法来挽救，若锻后发现粗晶组织，对于有些钢也可通过热处理的办法来细化晶粒。对于不能用热处理方法细化晶粒的合金钢（如高铬镍奥氏体钢）应特别防止过热。为了避免过热，必须控制加热温度和时间，如因锻压设备发生故障而长时间停锻时，必须降低炉温，或采取其他措施。

(5) 内部裂纹：钢锭和钢材加热时，钢锭（或钢材）表面和中心之间存在温度差，由于表面的热膨胀大于中心的膨胀，中心部分形成三向拉应力，这种由于温度不均而产生的应力叫温度应力。加热速度

过快时温度应力很大，在温度应力和坯料中原有的残余应力共同作用下，就有可能产生内裂。为了防止内部裂纹，应制定和遵守正确的加热规范。

3. 金属锻造温度范围的确定

锻造温度范围是指始锻温度和终锻温度间的一段温度间隔。

在锻造温度范围内金属应具有良好的可锻性（足够的塑性、低的变形抗力等等）和合适的金相组织。为了减少火次，应力求扩大温度范围。锻造温度范围是通过各种试验和金相状态图及再结晶立体图的方法确定的。

始锻温度主要受到过热和过烧的限制，它一般应低于熔点 $100 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 。对于碳钢，由状态图（图 1-10）可看出，始锻温度应该随着含碳量的增加而降低。对于合金钢，通常始锻温度随含碳量的增加降低得更多。

钢锭由于液态凝固时得到的原始晶粒组织比较稳定，过热的倾向较小，因此钢锭的始锻温度可比同钢种的钢坯和钢材高 $20 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 。

终锻温度主要应保证在结束锻造之前金属还具有足够的塑性以及锻件在锻后获得再结晶组织，但过高的终锻温度也会使锻件在冷却过程中晶粒继续长大，因而降低了机械性能，尤其是冲击韧性。

钢料在高温单相区（例如图 1-10 所示 GSE 线以上的奥氏体区）具有良好的塑性。对于亚共析钢一般应在 A_3 以上 $15 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 左右锻造，但对于低碳钢 ($C < 0.3\%$) 通过试验可知，在 GS 线 (A_3) 以下的两相区 ($\gamma + \alpha$) 也有足够的塑性，因此终锻温度可在 GS 线以下。对于过共析钢温度降至 SE 线 (A_{cm}) 以下即开始析出二次碳化物，且沿晶界呈网状分布，为了打碎网状渗碳体，在 A_{cm} 以下还应继续锻打。但温度进一步下降则因塑性显著降低而必须终止锻造。过共析钢的终锻温度一般应高于 A_1 (SE' 线) $50 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 以上。

对于冷却时不产生重结晶转变的钢种（例如—奥氏体钢、铁素体钢），由于不能用热处理方法细化晶粒，所以必须严格控制终锻温度，终锻温度不能过高。

精整工序时，终锻温度允许比规定值低 $50 \sim 80^{\circ}\text{C}$ （图 1-10）。

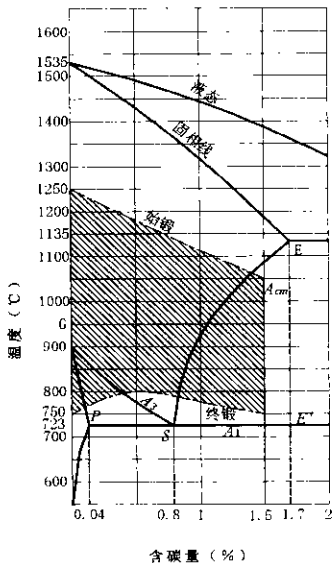


图 1-10 铁-碳合金相图

由于生产条件的不同，各工厂所用的锻造温度范围也不完全相同。钢料的锻造温度范围见表1-57。有色金属的锻造温度范围见表1-58。钢锭加热规范见第二章自由锻造。

表 1-57 钢的锻造温度范围

钢 类	钢 号	锻造温度(°C)	
		始锻	终锻
普 通 碳 素 钢	A1(Q195), A2(Q215A)	1300	700
	A3(Q235A), A4(Q255A), A5	1250	700
	A6, A7	1200	750
化 质 碳 素 钢	08F, 08, 10F, 10, 15F, 15, 20F, 20, 25, 30, 35, 15Mn, 20Mn, 30Mn	1250	800
	40, 45, 50, 55, 60, 40Mn, 45Mn, 50Mn	1200	800
合 金	10Mn2, 15Mn2, 20Mn2, 30Mn2, 35Mn2, 40Mn2, 45Mn2, 50Mn2, 27SiMn, 35SiMn	1200	800
	42SiMn	1150	800
	20MnV, 35SiMn2MoV	1200	800
	25Mn2V, 42Mn2V, 30SiMn2MoV	1180	800
	30Mn2MoW	1150	850
	12SiMn2WV	1180	850
	15SiMn3MoWV	1200	900
	37SiMn2MoWV	1170	800
	20Mn2B, 20MnTiB	1200	800
	25MnTiB, 20Mn2TiB, 20MnVB	1200	850
结 构	20SiMnVB	1180	800
	30Mn2MoTiB	1100	850
	40B, 45B, 40MnB, 45MnB, 40MnVB, 40MnWB, 38CrSi, 40CrSi	1150	850
构	15CrMn, 20CrMn, 40CrMn	1150	800
	20CrMnSi, 25CrMnSi	1200	800
	30CrMnSi, 35CrMnSi	1150	850
钢	15CrMn2SiMo	1200	900
	20CrV, 16Mo	1250	800
	40CrV, 45CrV, 18CrMoTi, 20CrMnTi, 30CrMnTi, 35CrMoTi, 40CrMnTi	1200	800
	12CrMo, 15CrMo, 20CrMo	1200	800
	30CrMo	1180	800
	35CrMo, 42CrMo	1150	850

续表

钢 类	钢 号	锻造温度(℃)	
		始锻	终锻
合 金 结 构 钢	15CrMoMo, 20CrMnMo	1200	900
	40CrMoMo	1180	850
	12CrMoV, 24CrMoV, 25Cr2MoV	1100	850
	12Cr1MoV, 35CrMoV	1150	850
	38CrMoAl	1180	850
	18Cr3MoWV, 20Cr3MoWV	1150	850
	15Cr, 20Cr, 30Cr, 35Cr, 40Cr, 45Cr, 50Cr	1200	800
	20Cr-Ni	1200	800
	40CrNi, 45CrNi	1150	850
	12CrNi2, 12CrNi3	1200	800
	20CrNi3, 37CrNi3, 12Cr2Ni4, 20Cr2Ni4	1180	850
	40CrNiMo	1150	850
	18Cr2Ni4W	1180	850
	20CrNiMo	1230	830
40CrNiMo	1150	900	
碳 素 工 具 钢	T7, T7A, T8, T8A	1150	800
	T9, T9A, T10, T10A	1100	770
	T11, T11A, T12, T12A, T13, T13A	1050	750
合 金 工 具 钢	9Mn2, 9Mn2V, MnSi, 6MnSiV, 5SiMnMoV, 9SiCr, SiCr, Cr2	1100	800
	Cr, Cr06, 8Cr	1050	850
	Cr12	1080	840
	CrMn, 5CrMnMo	1100	800
	Cr6WV, Cr7W5	1050	850
	CrW, Cr12W	1150	850
	3Cr2 W8V	1120	850
	Cr WMn	1100	800
	9CrWMn, 5CrW2Si, 6CrW2Si, 4CrW2Si	1100	850
	Cr12, MoV	1100	840
	3CrAl, CrV	1050	850
	8CrV	1120	800
	5CrNiMo, W1, W2	1100	800
5W2Cr5V, 4W2Cr5V, 3W2Cr5V, WCrV, W3CrV	1050	850	
3W4Cr5V, 3W4Cr2V, V, CrMn2SiWMoV, CrW2MoV	1100	850	

续表

钢 类	钢 号	锻造温度(℃)	
		始锻	终锻
合 金 工 具 钢	8V	1100	800
	4Cr5 W2SiV	1150	950
	SiMnMo	1000	850
	5CrMnSiMoV	1200	700
高 速 工 具 钢	W 18Cr4V, W9Cr4V2	1150	900
	W6Mo5Cr4V2, 高碳 W 18Cr4V	1130	900
	W6Mo5Cr4V3	1100	900
不 锈 耐 酸 钢	0Cr13	1150	750
	1Cr13, 2Cr13, 3Cr13, 4Cr13, Cr17Ti	1150	750
	Cr17	1100	750
	Cr28	1120	700
	Cr9Mn18	1180	850
	3Cr17Mo	1150	800
	Cr17Ni2	1130	850
	0Cr18Ni9, 1Cr18Ni9, 2Cr18Ni9	1130	850
	Cr18Ni8Ni5	1200	850
	1Cr18Ni9Ti	1180	850
	Cr17Mo2Ti, Cr25Mo3Ti3	1150	800
	Cr18Ni11Nb	1200	900
	9Cr18MoV	1100	750
	Cr18Ni12Mo2Ti, Cr18Ni12Mo3Ti	1200	850
9Cr17MoVCo	1130	850	
Cr18Ni9Cu3Ti	1200	870	
Cr18Ni9Mo2Cu2Ti	1200	900	
耐 热 不 起 皮 锈	4Cr9Si2	1130	850
	Cr13Si3, Cr18Si2, Cr20Si3	1100	800
	Cr25Si2	1050	800
	4Cr3Si4, Cr5Mo	1150	850
	Cr6SiMo	1170	850
	4Cr10Si2Mo, Cr11MoV	1150	850
	Cr13SiAl, Cr17AlSi	1100	800
	Cr6Al5, Cr7Al7, Cr20Al5Co2, Cr13Al4, Cr17Al5	1050	800
	0Cr25Al5	1050	800
	1Cr14Ni14W2MoTi	1150	850
	4Cr14Ni14W2Mo, Cr15Ni36W3Ti	1130	900

续表

钢 类	钢 号	锻造温度(℃)	
		始锻	终锻
热 处 理 钢	65,70,75,85,60Mn,65Mn	1100	800
	55Si2Mn,60Si2Mn,60Si2MnA	1100	840
	50CrMn,50CrMnA,50CrVA,50CrMnVA	1150	850
滚珠轴承钢	GCr6, GCr9, GCr9SiMn, GCr15, GCr15SiMn	1080	800

表 1-58 有色金属锻造温度范围

类 别	牌 号	始锻温度(℃)	终锻温度(℃)	类 别	牌 号	始锻温度(℃)	终锻温度(℃)	
铝	Zr-7	150	110	青 铜	QA17	840	700	
	Zr-3	165	135		QA1c 2.5	750	650	
黄 铜	H59	800	700		QCt 0.5	870	670	
	H62	820	700		QA1 10-3-15	830	700	
	H68	830	700		QSi 3-1	800	630	
	H180	870	700		QCd 10	850	650	
	H190	900	750	QMn5	850	650		
	H96	930	700	白 铜	B19	1000	850	
	HAl 59-3-2	780	650		BZn 15-20(德银)	940	810	
	HAl 60-1-1	750	650		BMn 40-1.5	1030	800	
	铜	HAl 77-2	760	670	铜	TMn 3-12	820	700
		HAl 85-0.5	820	670		HVn 43-0.5	1120	750
HMn 58-2		780	650	紫 铜	T1	950	800	
HFe 59-1-1		780	650		T2	950	800	
HS 65-05		780	670		T3	950	800	
HS 80-3		820	700		T4	950	800	
HN 65-5		850	650		T5	950	800	
镍		HCu 60-1	800	650	镍	Ni4	1150	870
		HSn 62-1	820	650		Ni	1150	870
		HSn 90-1	900	650	工业纯铝	L6	470	380
	HPb 59-1	800	650	防锈铝	LF6	450	380	
	HPb 64-2	850	700					

续表

类别	牌 号	始锻温度 (°C)	终锻温度 (°C)	类 别	牌 号	始锻温度 (°C)	终锻温度 (°C)
铸 钢	LY1	470	380	锻	LJ6	480	380
	LY2	455	380		LJ7	470	380
铸 铝	LY11	470	380	铝	LJ8	470	380
	LY12	470	380		LJ9	470	380
铸 钢	LJ2	500	400		LJ10	470	380
铸 铝	LJ5	480	380	超 硬 铝	LC4	450	380

4. 金属的加热规范

(1) 加热速度和加热时间:

①对于截面尺寸不大的普通钢材和有色金属,可以采用一段加热的方法,不必控制加热温度,实际加热速度由坯料截面大小、炉温、加热温度的要求和装炉方式等因素决定。

在这种情况下,直径小于200mm的低、中碳钢和低合金结构钢,加热时间可参照(图1-11)进行估算。

例 已知被加热的坯料为Q235钢,直径为 $\phi 100\text{mm}$,其始锻温度为 1250°C ,如加热炉的温度为 1300°C ,求需用多长时间才能将坯料加热到始锻温度。

解 从横坐标炉温 1300°C 处向上,与 $t = 1250$ 的曲线交端点,由此交点沿水平向左,与纵坐标加热速度交于1.45处,即此时的加热速度为 1.45min/cm 。

加热时间: $\tau = 10 \times 1.45 = 14.5 (\text{min})$

即:将坯料加热到 1250°C 、约需14.5min。

②对于截面尺寸较大的坯料,为防止出现加热裂纹,应适当控制加热速度,一般采用降低装炉温度后的两段加热方法,见表1-59。

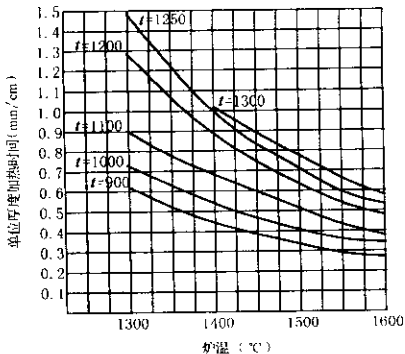


图 1-11 中小型结构钢材的加热时间
 t 金属加热温度

表 1-59 直径为 200~350mm 的钢还在室式炉内加热时的
 装炉温度和单个加热时的平均加热时间

钢种	装炉温度 (°C)	每 100mm 的平均加热时间 (h)
低碳钢, 中碳钢, 低合金钢	≤ 1250	0.6~0.77
高碳钢, 合金结构钢	≤ 1150	1

续表

钢种	装炉温度 ($^{\circ}\text{C}$)	每 100mm 的平均加热时间 (h)
碳素工具钢、合金工具钢 轴承钢 高合金钢	≤ 900	1.2~1.4

③对于截面尺寸更大的钢锭或导热性能较差的高合金钢、特殊合金等，应控制加热速度，采用三段加热的方法。

(2) 保温时间：为了减小坯料截面上的温度差，避免出现因加热不均而产生的各种缺陷，在两段加热或三段加热中都必须有一定的保温(均热)时间。

④用煤气炉、油炉和燃煤反射炉进行锻件加热时，可以把最小保温时间的计算方法简化成一个经验系数，即截面尺寸的每一毫米要保温 0.2~0.4min，最多也不超过 1 分钟。可以写成：

$$\tau_{\text{保}} = KD \text{ (min)}$$

式中 K —经验系数，0.2~0.4min/mm；

D —坯料最大截面的尺寸(mm)。

计算时，对于始锻温度要求低的、合金成分复杂的钢种，对于截面尺寸特大的钢锭或钢坯，在公式中以上限 K 值。

表 1-60 加热钢锭的保温时间

钢锭质量 (t)	钢锭截面尺寸 (mm)	最大保温时间 (h)	钢锭质量 (t)	钢锭截面尺寸 (mm)	最大保温时间 (h)
1.6~5.0	386~604	30	22~42	1029~1265	50
6~20	647~960	40	43	≥ 1357	60

⑤使用表面温度不低于 600°C 的热态钢锭作坯料。即：在钢锭浇注后并没有完全冷却时，就直接装入加热炉，可以缩短保温时间(表 1-61)。

表 1-61 热锭装炉时保温时间

钢 锭 重 (t)	钢锭直径 (mm)		锻造温度下最短保温时间(h)		
	上 部	下 部	装 炉 方 式		
			●	●●	●●●
11	857	800	3.5	4.5	5.5
13	904	845	4	5.5	6.5
14	998	929	4	5.5	6.5
16	966	904	4	5.5	6.5
18~20	1025	960	4.5	6	7
22~24	1097	1029	5	6.5	8.5
26~33	1218	1140	6	7.5	9.5
34~42	1352	1265	7	8.5	10.5
43~57	1455	1357	8	10	12
53~64	1547	1450	10	12	14
67~77	1649	1539	12	14.5	17
79~88	1750	1630	13	16	18
91~105	1839	1717	14	17	19.5
110~120	1940	1811	16	19	
125~145	2050	1921	17	20.5	
140~170	2177	2033	18		
200~230	2509	2241	24		

5. 金属加热温度的测试方法

(1) 目测：钢加热到 530℃ 以上会产生不同颜色的光线，随温度升高，钢的颜色由深变浅，亮度逐渐增强。根据目测颜色和亮度的变化，可以确定加热温度。这种测量方法最简便，但误差较大 ($\pm 50^\circ\text{C}$)，也需要有一定经验的人才能掌握。

(2) 光学高温计：测量原理与目测相同。通过调整镜头内灯丝亮度与被加热坯料亮度对比而确定温度，测量误差比目测小，也比目测容易掌握。仪表简单、携带方便，适合在锻造现场使用。

表 1-62 光学高温计的型号与性能

型 号	测温范围 ($^\circ\text{C}$)	测温分档 ($^\circ\text{C}$)	误 差 ($^\circ\text{C}$)	质 量 (kg)
WGJ ₂ -201	700~2000	700~1500	± 22	1.8
		1200~2000	± 13	
WGJ ₂ -202	700~2000	700~1500	± 13	1.2
		1200~2000	± 20	
WGJ ₃ -301	700~3000	700~1500	± 13	2.2
		1200~2000	± 20	
		1600~3000	± 47	
WGJ ₂ -302	700~3000	700~1500	± 13	1.1
		1200~3000	± 47	
WGJ ₂ -202	800~2000	800~1500	± 8	—
		1200~2000	$+ 13$	

(3) 光电高温计：任何物体的温度在高于零开尔文 ($K = -273^\circ\text{C}$) 时都会放出辐射能。光电高温计是用硅光电池接收物体的辐射能，转换成电讯号，通过仪表显示出被测物体的温度。

这种方法测温误差较小，但仪表复杂，使用不便，多用于自动化的锻造生产线中。

表 1-63 光电高温计的型号和性能

型 号	测量范围 ($^{\circ}\text{C}$)	距离系数 (D/L)	误 差 ($^{\circ}\text{C}$)
WDL	900~1400	1/20	--
WDL--2	700~1300	1/40	$\pm(15\sim 20)$
	1100~2000		
WDK	750~1000	1/10~1/15	--
	900~1200		
WDH—I	300~500	—	—
	400~700		
	700~1000		
	800~1200		
	900~1400		
	1000~1500		
WDH—II	100~250	1/40	—
	250~500		
	400~800	1/90	
	700~1100	1/70	
	900~1200		
	1000~1600	1/275	

(4) 光电比色高温计：可见光是由许多不同波长的单色光组成的。把被测物体发出的两种波长的光线进行比较，从而测得物体的温度，这就是光电比色高温计的原理。

这种方法测温比较准确，但仪表更为复杂娇贵，一般锻造场合不使用。

表 1-64 光电比色高温计的型号和性能

型 号	测温范围 ($^{\circ}\text{C}$)	测量精度	反应速度 (s)	距离系数 (D/L)
WDS	900~1600 1200~2000	1%	1	$\frac{1}{20}$; $\frac{1}{50}$; $\frac{1}{100}$
WDS-1	1100~1700 1400~2000	$\pm 1.5\%$	<2.5	$\frac{1}{30}$

(5) 热电偶: 热电偶是利用两种不同金属连成的回路, 因温差而产生电势的原理制成的, 在热电偶中产生的电势, 要经过毫伏计或电子电位差计等仪表才能把温度值显示出来。

热电偶可以直接插入炉膛内测量炉温, 必要时也可以直接接触坯料表面, 是各种加热炉应用最多的测温装置。

表 1-65 常用热电偶的型号和性能

名 称	型 号	测量温度范围 ($^{\circ}\text{C}$)	允许误差	
			温度 ($^{\circ}\text{C}$)	误差 ($^{\circ}\text{C}$)
铂铑-铂热电偶	WRLB-110	0~1300	≤ 600 > 600	+2.4
镍铬-镍硅(镍铝)热电偶	WREU-111	0~1100	≤ 400 > 400	1.4
镍铬-考铜热电偶	WREA-111	0~600	≤ 400 > 400	± 4
表面热电偶	WREA-890M	0~600	—	—
	WREA-891M			
	WREU-892M	0~800		

(6) 数字显示温度计：数字显示温度计与热电偶测温原理相同，是把测温、显示综合在一起的精密仪表，其特点是体积小、测量范围大、精度高，可以直接读出被测温度数值，多用于实验研究工作。

表 1-66 数字显示温度计的型号和性能

型 号	测温范围 ($^{\circ}\text{C}$)	分辨能力 ($^{\circ}\text{C}$)	反应速度 (s)	质 量 (kg)
3412	-50~999	1	0.8	0.17
3414	-50~199.9	0.1	0.8	0.17

第二章 自由锻造

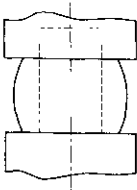
一、锤上自由锻造

自由锻造的基本工序有镦粗、拔长、冲孔、弯曲、扭转、切割和焊接

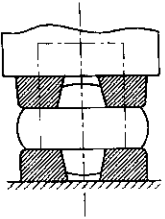
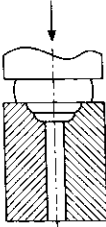
1. 自由锻造主要工序分析

(1) 镦粗：镦粗和局部镦粗的主要方法和用途见表 2-1。

表 2-1 镦粗的方法和用途

序号	名称	简图	用途
1	平砧间镦粗		用于镦粗棒料和切去冒口、底部后的锭料

续表

序号	名称	简图	用途
2	在带孔的垫板间锻粗		<p>用于锻造带凸座的齿轮、突缘等锻件。当锻件直径较大，凸座直径很小，而且所用的毛坯直径比凸座的直径要大得多时采用。</p>
3	在漏盘或楔子内局部锻粗		<p>用于锻造带凸座的齿轮和长杆类锻件的头部和凸缘等。这时凸座的直径和高度都较大。</p>

锻粗时的注意事项:

①为防止锻粗时产生纵向弯曲,圆柱体毛坯高度与直径之比不应超过 2.5~3;对于平行六面体毛坯,其高度与较小基边之比应小于 3.5~4。锻粗前毛坯端面应平整,并与轴心线垂直。

锻粗前毛坯加热温度应均匀,锻粗时要把毛坯围绕着它的轴心线不断地转动,毛坯发生弯曲时必需立即校正

②锻粗时每次的压缩量应小于材料塑性允许的范围。如果锻粗后需进一步拔长时,应考虑到拔长的可能性,即不要锻得太低。

③对有皮下缺陷的锭料,锻粗前应进行倒棱制坯,其目的是焊合皮下缺陷,使锻粗对侧面不致产生裂纹,同时也去掉钢锭的棱边和锥度。

④为减小锻粗所需的力量,毛坯应加热到该种材料所允许的最高温度;

⑤锻粗时毛坯高度应与设备空间相适应。在锤上锻粗时,应使

$$H - h_0 > 0.25H$$

式中 H ——锤头的最大行程;

h_0 ——毛坯的原始高度。

⑥锻粗高合金低塑性材料时,为使变形均匀,防止裂纹产生,必须采取措施改善变形时外部条件(提高工具工作面的光洁度、预热工具和用润滑剂等)和采用合适的变形方法,例如采用柳墩(图 2-1)。

锻锤吨位的确定:

锻粗碳钢和低合金结构钢锻件时可以按图 2-2 来选择锻锤吨位。

(2)拔长:其形式分为有矩形断面毛坯的拔长和圆断面毛坯的拔长,拔长的主要问题是生产率和质量,主要的工艺参数是送进量(l)和压下量(Δh)(图 2-3)。

①矩形断面毛坯的拔长:矩形断面毛坯在平砧间拔长,轴向的变形程度 ϵ_l 和横向的变形程度 ϵ_n 随相对送进量(送进长度 l 与坯料宽度 a 之比,即 l/a ,也叫进料比)变化的情况如图 2-4 所示。由图可见,为提高拔长时的生产率,应当采用较小的进料比。但送进量

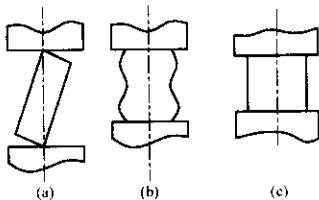


图 2-1 锻锤

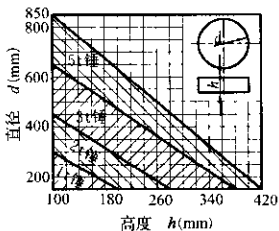


图 2-2 锻粗毛坯和锻锤规格的关系

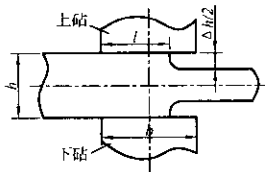


图 2-3 拔长

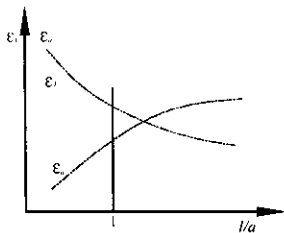


图 2-4 轴向和横向变形程度随相对送进量的变化情况
 ϵ_r 、轴向变形程度 ϵ_a 、横向变形程度

l 也不宜过小, 因为 l 过小时, 总的送进次数要增多。因此, 通常取 $l = (0.4 \sim 0.8)b$ 。式中 b 为平砧的宽度。

②圆断面毛坯的拔长: 用于平砧拔长圆断面毛坯时, 若压下量较小, 则接触面积较窄较长 (图 2-5), 金属多做横向流动, 不仅生产效率低, 而且常易在锻件内部产生纵向裂纹 (图 2-6)。

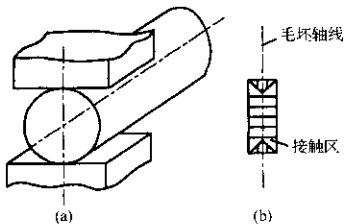


图 2-5 平砧小压下量拔长圆形断面坯料

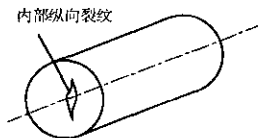


图 2-6 平砧拔长圆断面坯料时产生的纵向裂纹

拔长圆断面毛坯通常采用下述两种方法：

- 在平砧上拔长时先将圆断面毛坯压成矩形断面，再将矩形断面毛坯拔长到一定尺寸，然后再压成八角形，最后锻成圆形（图 2-7），其主要变形阶段是矩形断面毛坯在平砧上拔长。

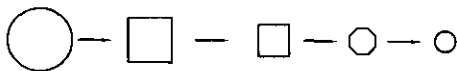


图 2-7 圆断面毛坯拔长时截面的变化过程

- 在型砧（或棒子）内进行拔长，利用工具的侧面压力限制金属的横向流动，迫使金属沿轴向伸长。与平砧比可提高拔长生产率 20% ~ 40%。在型砧（或棒子）内拔长时的应力状态，也能防止内部纵向裂纹产生，拔长用型砧有圆型砧和 V 型砧两类（图 2-8）。

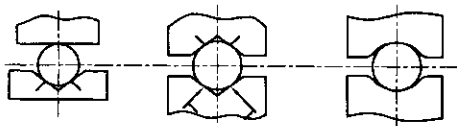


图 2-8 型砧拔长圆断面毛坯

拔长时的注意事项：

- 每次锤击的压下量应小于材料塑性允许的数值，此外，为保证不产生局部夹层，还应使：

每次压缩后的锻件宽度与高度之比应小于 2 ~ 2.5，即 $b/h < 2 \sim 2.5$ （图 2-9），否则翻转 90° 再锻打时容易产生弯曲和折叠。

每次送进量与单边压缩量之比大于 1 ~ 1.5，即 $\Delta l/h > 1 \sim 1.6$ 。

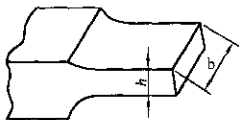


图 2-9 拔长后的尺寸

否则容易产生折叠 (图 2-10), 拔长低塑性材料或脆料时, 送进量 l

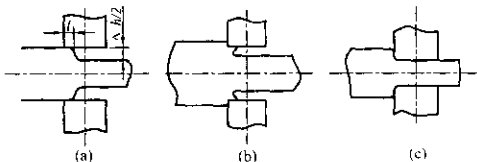


图 2-10 拔长时形成折叠的过程

在 $(0.5 \sim 1)h$ 之间较为适宜, 生产中常用的是 $(0.6 \sim 0.8)h$, 而且前后各遍压缩时的进料位置应当相互交错开,

- 为得到平滑的锻件表面, 每次送进量应小于 $(0.75 \sim 0.8)B$ 砧 (B 为砧宽)

- 沿方形毛坯的对角线锻压时 (图 2-11) 应当锻得轻些, 以免中心部分产生裂纹

- 拔长锻件端部时, 为防止产生端部内凹和夹层现象 (图 2-12), 端部压料长度的最小值应满足下列规定: 对圆形断面毛坯应使端部压料长度 $A > 0.3D$ (图 2-13a);

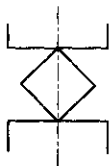


图 2-11 对角线锻压

对矩形断面毛坯(图 2-13b)。

当 $B/H > 1.5$ 时, $A > 0.4B$;

当 $B/H < 1.5$ 时, $A > 0.5B$ 。

● 钢锭倒棱制坯时, 单边压缩量应不大于 20~60mm。当锻造高合金钢时, 倒棱不能重打。

● 为防止锻件表面裂纹, 上、下砧的边缘应作出圆角, 这可减少产生夹层的危险。

(3) 芯轴拔长: 预冲孔的直径 d_1 如小于芯轴的直径时, 拔长前需进行扩孔, 这时坯料尺寸取 $H_0 \approx D_0$ 为宜。

在芯轴上拔长时的主要质量问

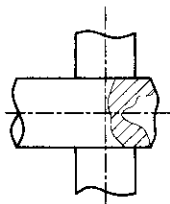
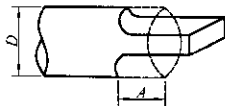
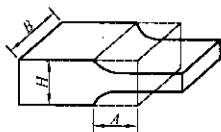


图 2-12 拔长时产生端部凹陷



(a)



(b)

图 2-13 拔长端部时的压料长度

(a) 圆断面 (b) 矩形断面

题是内孔壁常易产生裂纹, 尤其是在两端。为保证锻件质量和提高拔长效率, 对不同尺寸的锻件应采用不同的方法和工具:

①对薄壁的空心件应在型砧内拔长。

②对厚壁空心件，可用平砧，但必需先锻成六角形再进行拔长，达到一定尺寸后再锻成圆形；

③对 $H/D \leq 1.5$ 的空心件，由于拔长时的变形量不大，可不用芯轴，直接用冲头拔长。

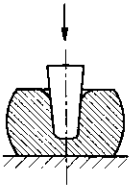
④锻件两端部锻造终了的温度应比一般的终锻温度高 $100 \sim 150^\circ\text{C}$ ，锻造前芯轴应预热到 $150 \sim 250^\circ\text{C}$ 。

为了使锻件壁厚均匀和端面平整，坯料加热温度应当均匀，操作时每次转动的角度应均匀。

⑤在锤上锻造时如果芯轴被咬住，可将锻件放在平砧上，沿轴线轻压一遍，然后翻转 90° 再轻压，使锻件内孔扩大一些，即可取出芯轴。

(4) 冲孔：常用的冲孔方法和应用范围见表 2-2。

表 2-2 冲孔方法和应用范围

序号	冲孔方法	简 图	应用范围和工艺参数
1	实心冲子冲孔 (双面冲孔)		用于冲一般的孔 工艺参数 (1) $\frac{D_0}{d_1} \geq 2.5 \sim 3$ (2) $H_0 \leq D_0$ D_0 —原毛坯直径; H_0 —原毛坯高度; d_1 —冲头直径

续表

序号	冲孔方法	简图	应用范围和工艺参数
2	在垫环上冲孔 (漏孔)		用于冲较薄的毛坯,例如锻件高度 H_0 和直径的比值 $\frac{H_0}{D} < 0.125$ 时,常采用此法

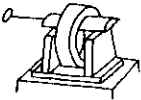
冲孔时的注意事项:

- ①冲孔前料必须锻粗,使端面平整,高度减小,直径增大;
 - ②冲头必须放正,打击方向应和冲头端面垂直;
 - ③在冲出的初孔内应撒上煤末或木炭粉,以便取出冲头;
 - ④要不断地移动冲头并把毛坯绕轴线转动,以免冲头卡在坯料内,并可防止孔型位置的偏斜;
 - ⑤冲制深孔时要经常取出冲头在水中冷却。
- (5) 扩孔:常用的扩孔方法和应用范围见表 2-3。

表 2-3 锤上扩孔方法和应用范围

序号	扩冲方法	简图	应用范围
1	冲头扩孔		用于 $\frac{D}{d_1} > 1.7$ 和 $H \leq 0.125D$ 的锻件

续表

序号	扩冲方法	简 图	应 用 范 围
2	在马杠上扩孔		用于薄壁的环形件

注：①扩孔前，如冲孔直径 $d_1 < d_{1.5H}$ ，则应先用冲头扩孔，再用马杠扩孔。

②冲头扩孔前如孔冲偏了，应采用局部沾水等办法，使薄壁处变形抗力增大，以保证扩孔正常进行。

③在马杠上扩孔时，为保证壁厚均匀，每次转动量和压缩量应尽可能一致，马架间距离亦不宜过宽，还可以在马杠上加一垫铁以控制壁厚。

冲头扩孔时，壁厚减薄，内、外径扩大，高度变化很小。由于冲头扩孔时坯料沿切向受拉应力，容易胀裂，故每次扩孔量 A 不宜太大（ A 可参照表 2-4 选用）。

表 2-4 每次允许的扩孔量

d_2 (mm)	30~115	25
A (mm)	120~270	30

冲孔后可直接扩孔 1~2 次（质量小者扩两次），当需多次扩孔时，应中间加热，每中间加热一次允许扩孔 2~3 次，锤上扩孔时锻锤吨位可按图 2-14 近似确定。

(6) 弯曲：弯曲时的注意事项：

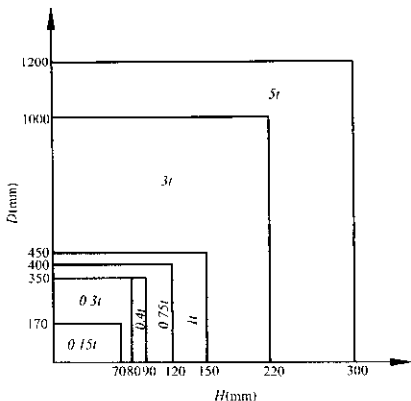


图 2-14 锤上允许扩孔的锻件尺寸

①当锻件有数处弯曲时，弯曲的次序一般是先弯端部及弯曲部分与直线部分交界的地方，然后再弯其余的圆弧部分。

②为了抵消弯曲区断面积的减小，一般弯曲前在弯曲的地方预先聚集金属，或者取断面尺寸稍大的原毛坯（约 10% ~ 15% 左右，视具体情况定），弯曲以后再把两端延伸到要求的尺寸。

③被弯曲锻件的加热部分不宜太长，最好只限于被弯曲的一段，加热必须均匀。

最简单的弯曲方法是在砧角上用大锤弯曲，或毛坯夹在锤子上下砧间，用吊车来弯曲，或采用断面相适应的垫模、冲头或万能辅具进行弯曲。

(7) 扭转：扭转前对毛坯的要求：

①受扭转的部分必须仔细地锻造，表面应尽可能地光滑，不能有缺陷，此部分全长上的横断面积应该一致，对粗而短的曲轴轴颈，最好经粗加工后再进行扭转。

②受扭转的部分应该加热至材料塑性最好的温度范围，并沿长度上均匀热透。

③扭转后锻件应该缓慢冷却，最好予以退火。

(8) 错移：错移分两种：第一，在一个平面内错移。第二，在两个平面内错移。

2 自由锻造工艺规程的制定

编制工艺规程时应注意两条原则：第一，根据车间现有生产条件，所编制的工艺技术先进，能满足产品的全部技术要求。第二，在保证优质的基础上，提高生产率，节约金属材料消耗，经济合理。

制定自由锻工艺规程的主要内容有：

①根据零件图作出锻件图；

②确定毛坯的质量和尺寸；

③决定变形工艺和工具；

④选择设备；

⑤确定火次、锻造温度范围、加热和冷却规范；

⑥确定热处理规范；

⑦对锻件提出技术要求和检验要求；

⑧编制工时定额

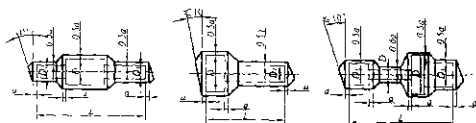
(1) 锻件图的绘制及余量与公差的标准：锤上钢质自由锻件的机械加工余量与公差见表 2-5 - 表 2-12，这适用于含碳量不超过 0.9% 或其他合金成分总含量不超过 4% 的碳素钢和合金钢的自由锻件。凡超越该规定范围的自由锻件，其余量与公差由供需双方另行协商确定

表 2-5~表 2-14 适用于以钢坯锻造的自由锻件。凡采用钢锭锻造时，余量与公差数值应增加 15%。钢质自由锻件的形状与位置公差如无特殊要求时，均不得大于表中规定的公差值。

自由锻件的锻造精度分为两个等级，F 级用于一般精度，E 级用于较高要求，往往需要特殊模具和附加加工费用，因此只用于大批量生产。

表 2-13 是台阶和凹档的锻出条件，表 2-14 是法兰的最小锻出宽度。锤上锻造时，钢质自由锻件上的孔是否冲出可参照表 2-7 附注中的规定。

表 2-6 台阶轴类锻件机械加工余量与公差 (JB4249. 2-86)



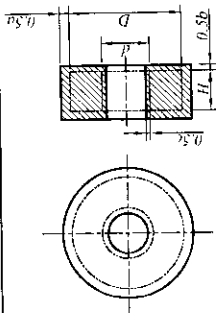
零件总长 L		零件直径 D								
		大于 0	50	80	120	160	200	250	315	
大于	至	0	50	80	120	160	200	250	315	400
余量 α 与极限偏差										
锻造成精度等级 F										
0	315	7 ± 2	8 ± 3	9 ± 3	10 ± 4	—	—	—	—	—
315	630	8 ± 3	9 ± 3	10 ± 4	11 ± 4	12 ± 5	13 ± 5	—	—	—
630	1000	9 ± 3	10 ± 4	11 ± 4	12 ± 5	13 ± 5	14 ± 6	16 ± 7	—	—
1000	1600	10 ± 4	12 ± 5	13 ± 5	14 ± 6	15 ± 6	16 ± 7	18 ± 8	19 ± 8	—

续表

零件总长 L		零件直径 D								
		大于	0	50	80	120	160	200	250	315
		至	50	80	120	160	200	250	315	400
		余量 a 与极限偏差								
大于	至	锻造精度等级 F								
1600	2500	—	13-5	14-6	15-6	16-7	17-7	19-8	20-8	
2500	4000		—	16-7	17-7	18-8	19-8	21-9	22-9	
4000	6000		—	—	19-8	20-8	21-9	23-10	—	
大于	至	锻造精度等级 F								
	315	6±2	7±2	8±3	9-3	—	—	—	—	
315	630	7±2	8-3	9-3	10+4	11+4	12+5	—	—	
630	1000	8±3	9-3	10-4	11+4	12+5	13±5	15-6	—	
1000	1600	9+3	11+4	12+5	13+5	14±6	15-6	17-7	18+8	
1600	2500	—	12±5	13±5	14±6	15-6	16-7	18±8	19±8	
2500	4000	—	—	15-6	16-7	17+7	18±8	20±8	21±9	
4000	6000	—	—	—	18-8	19-8	20-8	22+9	—	

- 注：①各台阶直径上的余量按零件之总长度和最大直径来确定。
 ②当某部分长度与其直径之比为 15-25 时，该直径之余量增加 20%，大于 25 时，余量增加 30%。
 ③当相邻直径之比大于 2.5 时，可按省料原则将其中一部分的余量增大 20%。

表 2-7 带孔圆盘类自由锻件机械加工余量与公差 (JB4249.4-86)



(mm)

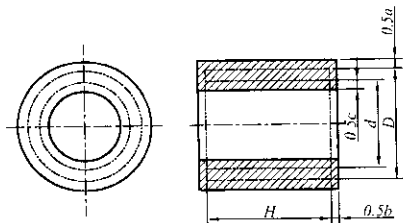
零件高度 H		零件直径 D											
		大于 80	120	160	200	250							
大于	0	5±2	9±3	7±2	6±2	10±4	8±3	7±2	11±4	9±3	8±3	12±5	
至	80	6±2	10±4	8±3	7±2	12±5	9±3	8±3	13±5	10±4	9±3	14±6	
	120	—	—	9±3	8±3	13±5	10±4	9±3	14±6	11±4	10±4	15±6	
加工余量 a, b, c 与极限偏差													
		锻造精度等级 F											
		a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c

续表

零件高度 H		零件直径 D											
		大于 80	120	160	200	250	至 120	160	200	250	200		
		加工余量 a, b, c 与极限偏差											
大于	至	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
锻造精度等级 F													
160	200	-	-	-	11±4	10±4	15±6	12±5	11±4	16±7	12±5	11±4	16±7
200	250	-	-	-	-	-	-	13±6	12±5	17±7	13±6	12±5	17±7
250	315	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
315	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
锻造精度等级 E													
大于	至	5±2	4±1	8±3	6±2	5±2	9±3	7±2	6±2	10±4	8±3	7±2	11±4
80	120	6±2	5±2	9±3	7±2	6±2	10±4	8±3	7±2	12±5	9±3	8±3	13±5
120	160	-	-	-	8±3	7±2	12±5	9±3	8±3	13±5	10±4	9-3	14±6
160	200	-	-	-	-	-	-	10±4	9±3	14±6	11±4	10±4	15±6
200	250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12±5	11±4	16±7
250	315	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
315	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

零件高度 H		零件直径 D											
		250		315		400		500		630			
		a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
		加工余量 a, b, c 与极限偏差											
尺寸		制造精度等级 f											
0	80	10±4	9±3	13±5	11±4	10±4	15±6	13±5	12±5	17±7	15±6	14±6	19±8
80	120	11±4	10±4	15±6	12±5	11±4	17±7	14±6	13±5	19±8	16±7	15±6	21±9
120	160	12±5	11±4	16±7	13±5	12±5	18±8	15±6	14±6	20±8	17±7	16±7	22±9
160	200	13±5	12±5	17±7	14±6	13±5	19±8	16±7	15±6	21±9	18±8	17±7	23±10
200	250	14±6	13±5	18±8	15±6	14±6	20±8	17±7	16±7	22±9	19±8	18±8	24±10
250	315	15±6	14±6	19±8	16±7	15±6	21±9	18±8	17±7	23±10	20±8	19±8	25±11
315	400	—	—	—	17±7	16±7	22±9	19±8	18±8	24±10	21±9	20±8	26±11
尺寸		制造精度等级 g											
0	80	9±3	8±3	12±5	10±4	9±3	14±6	12±5	11±4	16±7	14±6	13±5	18±8
80	120	10±4	9±3	14±6	11±4	10±4	16±7	13±5	12±5	18±8	15±6	14±6	20±8
120	160	11±4	10±4	15±6	12±5	11±4	17±7	14±6	13±5	19±8	16±7	15±6	21±9

表 2 9 套筒类自由锻件机械加工



零件高度 H		零件直									
		尺寸	100	160	200	250	加工余量 a, b, c				
大小	至	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a
		锻造精度									
100	160	9 ± 3	8 ± 3	14 ± 6	—	—	—	—	—	—	—
160	200	10 ± 4	12 ± 5	15 ± 6	12 ± 5	10 ± 4	18 ± 8	—	—	—	—
200	250	11 ± 4	16 ± 7	17 ± 7	13 ± 5	14 ± 6	20 ± 8	15 ± 6	12 ± 5	23 ± 10	—
250	315	12 ± 5	20 ± 8	18 ± 8	14 ± 6	18 ± 8	21 ± 9	16 ± 7	16 ± 7	24 ± 10	18 ± 8
315	400	13 ± 5	30 ± 13	20 ± 8	15 ± 6	26 ± 11	23 ± 10	17 ± 7	23 ± 10	26 ± 11	19 ± 8
400	500	—	—	—	—	—	—	18 ± 8	32 ± 13	27 ± 12	20 ± 8
500	630	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21 ± 9

余量与公差 (J14249. 5—86)

								(mm)						
径 D								等 级						
315				400										
400				500										
f 级极限偏差								大于	0	4	6.3	10	16	25
b	c	a	b	c	a	b	c	至	4	6.3	10	16	25	40
等 级 F								F 级增值系数						
	-	-	-	-	-	-	-	1.7	1.5	1.3	1.1	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	1.8	1.6	1.4	1.2	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	1.8	1.6	1.4	1.2	-	-	-
14 ± 6	27 ± 12			-	-	-	-	1.9	1.7	1.5	1.3	1.1	-	-
20 ± 8	29 ± 12	21 ± 9	18 ± 8	32 ± 13	-	-	-	1.9	1.7	1.5	1.3	1.1	-	-
28 ± 12	30 ± 13	22 ± 9	24 ± 10	33 ± 14	24 ± 10	20 ± 8	36 ± 15	2	1.8	1.7	1.5	1.3	1.1	-
36 ± 15	32 ± 13	23 ± 10	32 ± 13	35 ± 14	25 ± 11	28 ± 12	38 ± 15	2	1.9	1.7	1.5	1.3	1.1	1.2

零件高度 H		零件直径									
		100		160		200		250		315	
		a	b	c	a	b	c	a	b	c	a
100	160	8 \pm 3	7 \pm 2	12 \pm 5	—	—	—	—	—	—	—
160	200	9 \pm 3	11 \pm 4	14 \pm 6	11 \pm 4	9 \pm 3	17 \pm 7	—	—	—	—
200	250	10 \pm 4	15 \pm 6	15 \pm 6	12 \pm 5	13 \pm 5	18 \pm 8	14 \pm 6	11 \pm 4	21 \pm 9	—
250	315	11 \pm 4	19 \pm 8	17 \pm 7	13 \pm 5	17 \pm 7	20 \pm 8	15 \pm 6	15 \pm 6	23 \pm 10	17 \pm 7
315	400	12 \pm 5	29 \pm 12	18 \pm 8	14 \pm 6	25 \pm 11	21 \pm 9	16 \pm 7	22 \pm 9	24 \pm 10	18 \pm 8
400	500	—	—	—	—	—	—	17 \pm 7	31 \pm 13	26 \pm 11	19 \pm 8
500	630	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20 \pm 8

注：①尽量不使用阶梯线以上尺寸

②套筒类自由锻件的机械加工余量与公差，除根据套筒的直径而变动，其增值系数应符合表的规定。此时孔径和高度的加工余量的计算值应化整成以毫米为单位的整数。

例：求薄壁的锻件尺寸：

设零件尺寸为： $D=280\text{mm}$ ， $d=260\text{mm}$ ， $H=350\text{mm}$ ，如要求锻件得： a 的加工余量与极限偏差 $19\pm 8\text{mm}$ b 的加工余量与极限

壁厚 $\frac{280-260}{2}=10$ 时的增值系数为1.5。

求得锻件基本尺寸：

$D=280+(19\times 1.5)=309\text{mm}$ $d=260-(29\times 1.5)=216\text{mm}$

求得精度等级 F 极限偏差：

$a=\pm 8\times 1.5=\pm 12\text{mm}$ $b=\pm 8\times 1.5=\pm 12\text{mm}$

续表

径 D								壁 厚						
315				400										
400				500										
c 与极限偏差								大于	0	4	6.3	10	16	25
b	c	a	b	c	a	b	c	至	4	6.3	10	16	25	40
等 级 F								F 级增值系数						
—	—	—	—	—	—	—	—	1.7	1.51	31.1	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	1.8	1.61	41.2	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	1.8	1.61	41.2	—	—	—	—
13 ± 5	26 ± 11	—	—	—	—	—	—	1.9	1.71	51.31.1	—	—	—	—
19 ± 8	27 ± 12	20 ± 8	17 ± 7	30 ± 13	—	—	—	1.9	1.71	51.31.1	—	—	—	—
27 ± 12	29 ± 12	21 ± 9	23 ± 10	32 ± 13	23 ± 10	19 ± 8	35 ± 14	2	1.81	71.51.31.1	—	—	—	—
35 ± 14	30 ± 13	22 ± 9	31 ± 13	33 ± 14	24 ± 10	27 ± 12	36 ± 15	2	1.91	71.51.31.2	—	—	—	—

和高度而变化外,尚根据套筒的厚薄 $\left(\frac{D-d}{2}\right)$ 的不同
工余量与公差根据表中查得数值乘以系数求得。薄壁筒加工

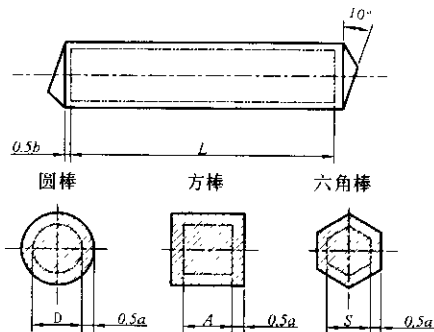
造精度等级 F:

偏差 (20 ± 8) mm c 的加工余量与极限偏差 (29 ± 12) mm

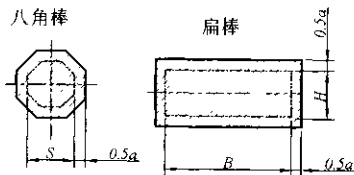
$$H = 350 + (20 \times 1.5) = 380 \text{ mm}$$

$$c = \pm 12 \times 1.5 = \pm 18 \text{ mm}$$

表 2-10 光轴类自由锻件机械加工



零件长度 L		零件厚度 D 、 A 、 S (扁棒)								
		大于	0	50	80	120				
		至	50	80	120	160				
		余量 a 、 b 与								
大于	至	a	b	a	b	a	b	a	b	
0	315	7 ± 2	$7 \begin{smallmatrix} +6 \\ -2 \end{smallmatrix}$	8 ± 3	$8 \begin{smallmatrix} +7 \\ -2 \end{smallmatrix}$	9 ± 3	$9 \begin{smallmatrix} +8 \\ -3 \end{smallmatrix}$	10 ± 4	$11 \begin{smallmatrix} +10 \\ -4 \end{smallmatrix}$	
315	630	8 ± 3	$9 \begin{smallmatrix} +8 \\ -3 \end{smallmatrix}$	9 ± 3	$10 \begin{smallmatrix} +9 \\ -3 \end{smallmatrix}$	10 ± 4	$11 \begin{smallmatrix} +10 \\ -4 \end{smallmatrix}$	11 ± 4	$13 \begin{smallmatrix} +12 \\ -5 \end{smallmatrix}$	
630	1000	9 ± 3	$11 \begin{smallmatrix} +10 \\ -4 \end{smallmatrix}$	10 ± 4	$12 \begin{smallmatrix} +11 \\ -4 \end{smallmatrix}$	11 ± 4	$13 \begin{smallmatrix} +12 \\ -5 \end{smallmatrix}$	12 ± 5	$15 \begin{smallmatrix} +14 \\ -6 \end{smallmatrix}$	



锻件为零件宽度 B

160	200	250	315
200	250	315	400

规格、偏差

a	b	a	b	a	h	a	h
12-5	$15 \begin{smallmatrix} +14 \\ -6 \end{smallmatrix}$	13 ± 5	$17 \begin{smallmatrix} +16 \\ -8 \end{smallmatrix}$	—	—	—	—
13+5	$17 \begin{smallmatrix} +16 \\ -8 \end{smallmatrix}$	14 ± 6	$19 \begin{smallmatrix} +18 \\ -10 \end{smallmatrix}$	$15+6$	$22 \begin{smallmatrix} +21 \\ -13 \end{smallmatrix}$	17 ± 7	$26 \begin{smallmatrix} -25 \\ 14 \end{smallmatrix}$

零件长度 L	零件厚度 D 、 A 、 S (扁棒)				
	大于	0	50	80	120
	至	50	80	120	160

余量 a 、 b (μ)

大于	至	a	b	a	b	a	b	a	b
1000	1600	11 ± 4	13 $\begin{smallmatrix} +12 \\ -5 \end{smallmatrix}$	12 ± 5	14 $\begin{smallmatrix} +13 \\ -5 \end{smallmatrix}$	13 ± 5	15 $\begin{smallmatrix} -14 \\ +6 \end{smallmatrix}$	14 ± 6	17 $\begin{smallmatrix} +16 \\ -8 \end{smallmatrix}$
1600	2500	—	—	13 ± 5	16 $\begin{smallmatrix} +15 \\ -7 \end{smallmatrix}$	14 ± 6	17 $\begin{smallmatrix} +16 \\ -8 \end{smallmatrix}$	15 ± 6	19 $\begin{smallmatrix} +18 \\ -10 \end{smallmatrix}$
2500	4000	—	—	—	—	16 ± 7	19 $\begin{smallmatrix} +18 \\ -10 \end{smallmatrix}$	17 ± 7	21 $\begin{smallmatrix} +20 \\ -12 \end{smallmatrix}$
4000	6000	—	—	—	—	—	—	19 ± 8	23 $\begin{smallmatrix} +22 \\ -13 \end{smallmatrix}$

注：光轴类自由锻件中的扁棒，厚度的机械加工余量与公差，应根据下列公式求得厚度关系值：

$$\text{厚度关系值} = \frac{\text{扁棒宽度 } B + \text{扁棒厚度 } H}{2}$$

求得的厚度关系值再查余量与公差表相应的值，此值即为厚度的机械加工余量与公差值。

例：扁棒 (60 × 165 × 4000) mm

续表

设计为零件宽度 B)

160	200	250	315
200	250	315	400

极限偏差

a	b	a	b	a	b	a	b
17 \pm 6	19 $\begin{smallmatrix} +18 \\ -10 \end{smallmatrix}$	16 \pm 7	21 $\begin{smallmatrix} +20 \\ -12 \end{smallmatrix}$	17 \pm 7	24 $\begin{smallmatrix} +2 \\ -13 \end{smallmatrix}$	19 \pm 8	28 $\begin{smallmatrix} +26 \\ -15 \end{smallmatrix}$
16 \pm 7	21 $\begin{smallmatrix} +20 \\ -12 \end{smallmatrix}$	17 \pm 7	23 $\begin{smallmatrix} +22 \\ -13 \end{smallmatrix}$	18 \pm 8	26 $\begin{smallmatrix} +25 \\ -14 \end{smallmatrix}$	20 \pm 8	30 $\begin{smallmatrix} +28 \\ -15 \end{smallmatrix}$
18 \pm 8	23 $\begin{smallmatrix} +22 \\ -13 \end{smallmatrix}$	19 \pm 8	25 $\begin{smallmatrix} +24 \\ -14 \end{smallmatrix}$	20 \pm 8	28 $\begin{smallmatrix} +26 \\ -15 \end{smallmatrix}$	22 \pm 9	32 $\begin{smallmatrix} +30 \\ -16 \end{smallmatrix}$
20 \pm 8	25 $\begin{smallmatrix} +24 \\ -14 \end{smallmatrix}$	21 \pm 9	27 $\begin{smallmatrix} +26 \\ -15 \end{smallmatrix}$	22 \pm 9	30 $\begin{smallmatrix} +28 \\ -15 \end{smallmatrix}$	24 \pm 10	34 $\begin{smallmatrix} +32 \\ -17 \end{smallmatrix}$

求宽度、长度、厚度的余量与极限偏差：

查表得：宽度 B 的加工余量与极限偏差 a 为 $18 \pm 8\text{mm}$ 长度 L 的加工余量与极限偏差 b 为 $23 \begin{smallmatrix} +22 \\ -13 \end{smallmatrix} \text{mm}$ 厚度关系值

$$\frac{60 + 165}{2} = 112.5\text{mm}$$

查表得：厚度 H 的加工余量与极限偏差 $16 \pm 7\text{mm}$

表 2-12 黑皮锻件公差 (JB4249. 8—86) (mm)

锻件总长度 L		锻件公称直径或高度							
		大于	0	80	120	180	250	315	400
		至	80	120	180	250	315	400	以上
大于	全	锻件断面直径或高度的极限偏差							
0	630	+2	+2	-3	-3	-3	-4	-5	-
630	1000	±2	+3	-3	-3	-4	-5	-6	-
1000	1600	+3	+3	-4	+4	-5	-6	-7	-
1600	2500	-3	+3	+4	-5	-6	+7	-8	-
2500	3150	-	+4	-5	-6	-7	-8	-	-
3150	4000	-	-	+6	-7	-8	-	-	-

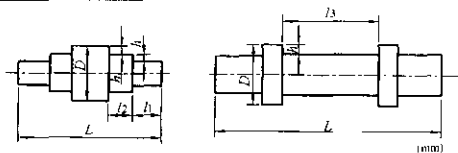
锻件总长度 L		锻件公称直径或高度							
		大于	0	80	120	180	250	315	400
		至	80	120	180	250	315	400	以上
大于	全	锻件门挡直径或深度的极限偏差							
0	630	+3	-3	-4	±4	+5	±6	+7	-
630	1000	±3	-4	-4	±5	±6	±7	±8	-
1000	1600	+4	+4	-5	-6	+7	±8	-9	-
1600	2500	±4	±5	-6	-7	±8	-9	+10	-
2500	3150	-	±6	-7	+8	±9	-10	-	-
3150	4000	-	-	+8	±9	±10	-	-	-

锻件总长度 L		锻件公称直径或高度							
		大于	0	80	120	180	250	315	400
		至	80	120	180	250	315	400	以上
大于	全	锻件长度的极限偏差							
0	630	±4	±6	±8	±10	±11	+12	±13	-

续表

零件总长度 L		锻件公称直径或高度							400 以上	—
		大于	0	80	120	180	250	315		
		至	80	120	180	250	315	400		
大于	至	锻件长度的极限偏差								
630	1000	± 6	-8	-10	-12	± 13	-14	-15	—	
1000	1600	± 8	-10	-12	-13	± 14	-15	-16		
1600	2500	± 10	-12	-13	-14	± 15	± 16	± 17		
2500	3150	—	-13	-14	± 15	± 16	-17	—	—	
3150	4000	—		-15	± 16	± 17	—	—	—	

表 2-13 台阶和凹档的锻出条件



(mm)

台阶高度 h	零件总长度 L	零件相邻台阶直径 D									
		大于	0	50	80	120	160	200	250	315	
大于	至	大于	至	80	120	160	200	250	315	400	
5	8	0	315	100	120	140	160	180	—	—	—
		315	630	140	160	180	210	240	—	—	—
		630	1000	180	210	240	270	300	—	—	—
		1000	1600	240	270	300	330	360	—	—	—
		1600	2500	—	330	360	400	440	—	—	—
		2500	4000	—	—	440	480	520	—	—	—
		4000	6000	—	—	—	560	600	—	—	—

续表

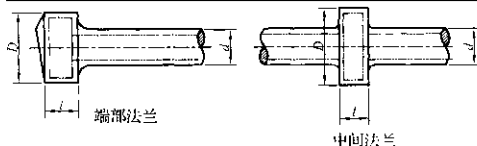
台阶高度 h		零件总长度 L		零件相邻台阶直径 D							
				大于 至	0 50	50 80	80 120	120 160	160 200	200 250	250 315
大于	至	大于	至	最出台阶或凹档的最小长度 l							
8	14	0	315	70	80	90	100	110	120	140	—
		315	630	90	100	110	120	140	160	180	—
		630	1000	110	120	140	160	180	210	240	—
		1000	1600	140	160	180	210	240	270	300	—
		1600	2500	—	210	240	270	300	330	360	—
		2500	4000	—	—	300	330	360	400	440	—
		4000	6000	—	—	—	400	440	480	520	—
14	23	0	315	—	60	70	80	90	100	110	120
		315	630	—	80	90	100	110	120	140	160
		630	1000	—	100	110	120	140	160	180	210
		1000	1600	—	120	140	160	180	210	240	270
		1600	2500	—	160	180	210	240	270	300	330
		2500	4000	—	—	240	270	300	330	360	400
		4000	6000	—	—	—	330	360	400	440	480
23	36	0	315	—	—	60	70	80	90	100	—
		315	630	—	—	80	90	100	110	120	140
		630	1000	—	—	100	110	120	140	160	180
		1000	1600	—	—	120	140	160	180	210	240
		1600	2500	—	—	160	180	210	240	270	300
		2500	4000	—	—	210	240	270	300	330	360
		4000	6000	—	—	—	—	330	360	400	440
36	55	0	315	—	—	—	60	70	80	—	—
		315	630	—	—	—	80	90	100	110	—
		630	1000	—	—	—	100	110	120	140	160
		1000	1600	—	—	—	120	140	160	180	210
		1600	2500	—	—	—	160	180	210	240	270
		2500	4000	—	—	—	210	240	270	300	300
		4000	6000	—	—	—	—	300	330	360	—

续表

台阶高度 h	零件总长度 l		零件相邻台阶直径 D									
			大于	0	50	80	120	160	200	250	315	
			至	50	80	120	160	200	250	315	400	
大于	至	大于	至	锻出台阶或凹档的最小长度 l								
55	75	0	315	—	—	—	—	—	—	—	—	
		315	630	—	—	—	—	80	90	100	110	
		630	1000	—	—	—	—	100	110	120	140	
		1000	1600	—	—	—	—	120	140	160	180	
		1600	2500	—	—	—	—	160	180	210	240	
		2500	4000	—	—	—	—	210	240	270	300	
		4000	6000	—	—	—	—	270	300	330	360	

注：①端部台阶长度 $l_1 \geq l$ 时则应予锻出。②中间台阶长度 $l_2 \geq 0.8l$ 时则应予锻出。③凹档长度 $l_3 \geq 1.5l$ 时则应予锻出。

表 2-14 法兰的最小锻出宽度



(mm)

与法兰相邻部分 的尺寸 d		法兰直径 D								
		大于	0	50	80	120	160	200	250	315
		至	50	80	120	160	200	250	315	400
大于	至	锻出法兰的最小宽度 l								
0	40	$\frac{23}{15}$	$\frac{30}{22}$	$\frac{40}{30}$	$\frac{55}{42}$	—	—	—	—	

续表

与法兰相邻部分的尺寸 d		法兰直径 D								
		大于	0	50	80	120	160	200	250	315
		至	50	80	120	160	200	250	315	400
大小	至	锻出法兰的最小宽度 l								
40	50	—	$\frac{26}{20}$	$\frac{36}{28}$	$\frac{50}{39}$	$\frac{65}{51}$	—	—	—	
50	65	—	$\frac{23}{18}$	$\frac{32}{25}$	$\frac{45}{36}$	$\frac{60}{48}$	$\frac{85}{65}$	—	—	
65	80	—	—	$\frac{28}{22}$	$\frac{40}{33}$	$\frac{55}{45}$	$\frac{80}{60}$	$\frac{110}{80}$	—	
80	100	—	—	$\frac{23}{18}$	$\frac{35}{33}$	$\frac{50}{42}$	$\frac{75}{55}$	$\frac{105}{75}$	$\frac{135}{100}$	
100	120	—	—	—	$\frac{30}{26}$	$\frac{45}{38}$	$\frac{65}{50}$	$\frac{95}{70}$	$\frac{125}{95}$	
120	160	—	—	—	—	$\frac{40}{33}$	$\frac{60}{45}$	$\frac{85}{65}$	$\frac{115}{90}$	
160	200	—	—	—	—	—	$\frac{50}{38}$	$\frac{75}{58}$	$\frac{105}{80}$	
200	250	—	—	—	—	—	—	$\frac{65}{50}$	$\frac{95}{70}$	
250	315	—	—	—	—	—	—	—	$\frac{85}{60}$	

- 注：①表中分子数值适用于端部法兰，分母数值适用于中间法兰。
 ②中间法兰按法兰直径 D 与相邻较小直径 d 来确定其最小锻出宽度。
 ③法兰按台阶轴类锻件加放余量后其宽度值如小于表列数值则可增大至表列数值。

(2) 确定毛坯的质量和尺寸；

① 毛坯质量的计算：锻制锻件所需用的毛坯质量为锻件质量与锻造时金属损耗的质量之和，计算质量的公式如下：

$$G_{\text{毛坯}} = G_{\text{锻件}} + G_{\text{切头}} + G_{\text{烧损}}$$

式中 $G_{\text{毛坯}}$ ——所需的原毛坯质量；

$G_{\text{锻件}}$ ——锻件的质量；

$G_{\text{切头}}$ ——锻造过程中切掉的料头等的质量；

$G_{\text{烧损}}$ ——烧损的质量。

当用钢锭作原毛坯时，上式中还应加上冒口质量 $G_{\text{冒口}}$ 和底部质量 $G_{\text{底部}}$ 。

锻件质量 $G_{\text{锻件}}$ 根据锻件图决定。对于复杂形状的锻件，一般先将锻件分成形状简单的几个单元体，然后按公称尺寸计算每个单元体的体积， $G_{\text{锻件}}$ 可按式求得：

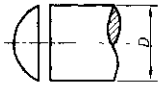
$$G_{\text{锻件}} = \gamma (V_1 + V_2 + \dots + V_n)$$

式中 γ ——金属的密度；

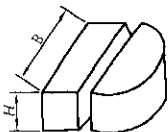
V_1 、 V_2 、 \dots 、 V_n ——各单元体体积。

$G_{\text{切头}}$ 包括修切锻件端部时的料头质量和冲孔芯料等，端部料头质量的计算方法见表 2-15。

表 2-15 端部切头质量

毛坯形状	端部料头质量 (kg)
	$G = 1.8D^3$

续表

毛坯形状	端部料头质量 (kg)
	$G = 2.36HB^2$

注：表中 D 、 H 、 B 单位均为 cm 。

冲孔芯料决定于冲孔方法和锻件尺寸，计算方法见表 2-16。

表 2-16 冲孔芯料的计算

冲孔方法	芯料体积 (mm^3)	芯料质量 (kg)
实心冲子冲孔	$V_{\text{芯}} = (0.15 \sim 0.20) d^2 H$	$G_{\text{芯}} = (1.18 \sim 1.57) d^2 \cdot H$
在垫环上冲孔	$V_{\text{芯}} = (0.55 \sim 0.60) d^2 H$	$G_{\text{芯}} = (4.32 \sim 4.71) d^2 \cdot H$

注：表中 d ——实心冲子之直径 (mm)；

H ——冲孔前坯料的高度 (mm)。

烧损的质量 $G_{\text{烧损}}$ 与炉子的类型、毛坯的性质和加热次数等有关
 钢锭冒口和底部切去的质量 $G_{\text{冒口}}$ 和 $G_{\text{底部}}$ 占整个钢锭质量的百分比见表 2-17。

表 2-17 钢锭冒口和底部切去的质量百分比 (%)

原材料种类 切去质量	碳素钢锭	合金钢锭或锻 重要零件时
	冒口	14~25
底部	5~7	7~10

② 毛坯尺寸的确定：毛坯尺寸的确定与所采用的第一个基本工序（墩粗或拔长）有关，所采用的工序不同，确定的方法也不一样。

● 采用墩粗法锻制锻件时，毛坯尺寸的确定

对于钢坯，为避免墩粗时产生弯曲，应使毛坯高度 H 不超过其直径 D （或方形边长 A ）的 2.5 倍，但为了在截料时便于操作，毛坯高度 H 不应小于 $1.25D$ （或 A ），即 $1.25D(A) \leq H \leq 2.5D(A)$

对圆毛坯：

$$D = (0.8 \sim 1) \sqrt[3]{V_{\text{坯}}}$$

对方毛坯：

$$A = (0.75 \sim 0.9) \sqrt[3]{V_{\text{坯}}}$$

初步确定了 D （或 A ）之后，应根据国家标准选用标准直径或边长。

最后根据毛坯体积 $V_{\text{坯}}$ 和毛坯的截面积 $F_{\text{坯}}$ 即可求得毛坯的高度（或长度）

$$H = \frac{V_{\text{坯}}}{F_{\text{坯}}}$$

对算得的毛坯高度 H ，还需按下式进行检验：

$$H < 0.75 H_{\text{行程}}$$

式中 $H_{\text{行程}}$ — 锤头的行程。

此外，毛坯高度，还应小于加热炉底的有效长度。

对于锭料，根据所需的毛坯质量和钢锭规格来选择

● 采用拔长法锻制锻件时，毛坯尺寸的确定

对于钢坯，拔长时所用截面 $F_{\text{坯}}$ 的大小应保证能够得到所要求的锻造比。即

$$F_{\text{坯}} > Y F_{\text{锻}}$$

式中 Y — 锻造比；

$F_{\text{锻}}$ — 锻件的最大横截面积。

按上式求出钢坯的最小横截面积，并可进一步求出钢坯的直径（或边长）。

然后, 根据国家标准选用标准直径 (或边长), 若没有所需的尺寸时, 则取相邻的较大的标准尺寸。

最后, 根据毛坯体积 $V_{\text{坯}}$ 和确定的毛坯截面积求出钢坯的长度 $L_{\text{坯}}$

$$L_{\text{坯}} = \frac{V_{\text{坯}}}{F_{\text{坯}}}$$

(3) 决定变形工艺和工具: 决定变形工艺和工具包括: 确定锻制该锻件所必须的基本工序、辅助工序或修正工序, 决定工序顺序, 设计工序尺寸并选择或设计所需的基本工具和辅具。

各类锻件变形工序的选择可根据各变形工序的变形特点, 锻件的形状、尺寸、技术要求和参考有关典型工艺具体确定。

工序尺寸设计和工序选择是同时进行的, 具体确定工序尺寸时应注意下列各点:

- 工序尺寸必须符合各工序的规则, 例如锻粗时毛坯高度与直径的比值应小于 2.5~3。拔长时截面变换经验计算公式见表 2-18。

表 2-18 拔长截面变换经验计算公式

截面变换内容	变形简图	计算公式
由圆变方		当 $t = b$ 时: $D = (1.35 \sim 1.45) A$ t —送进量; b —砧宽
由方变圆		$A = (0.98 \sim 1.0) D$

续表

截面变换内容	变形简图	计算公式
由圆变扁方		1. 当 $H < 0.5B$ 时: $D = \frac{2B+H}{3}$ 2. 当 $H_2 > 0.5B$ 时: $D = \sqrt{16^2 + H^2}$
由方变扁方		$A = 1.5H \left(\sqrt{1 + 1.8 \frac{B}{H}} - 1 \right)$
由八角变圆		$D = 1.03C$
由扁方变方		当 $\frac{\text{扁宽}b}{\text{扁件宽}H} \geq 1 \sim 1.4$ 时: $B = (1.4 \sim 1.65) A$ $H = (0.75 \sim 0.8) A$

● 必须估计到各工序中毛坯尺寸的变化，例如冲孔时毛坯高度有些减小，扩孔时高度有些增加等等。

- 必须保证各部分有足够的体积，这在使用分段工序（压痕、压肩）时必须估计到。

- 多火次锻打大件时必须注意中间各火次加热的可能性。

- 必须保证在最后修光时有足够的修整留量，因为在压肩、错移、冲孔等工序中毛坯有拉缩等现象，这就必须在中间工序中留有一定的修整留量。

- 有些长轴类零件长度方向尺寸要求很准确，但沿长度方向又不允许进行墩粗（例如曲轴等），设计工序尺寸时，必须估计到长度方向的尺寸在修整时会略有延伸

二、液压机上自由锻造

通常在 5~8MN 以上自由锻造液压机（或水压机）上，用钢锭锻造的锻件称为大锻件

大锻件多数是各种重型机器设备的重要的部件，例如：大型汽轮机转子、发电机护环、大型轧机的轧辊、水电机轴、船用舵杆、重型液压机立柱、高压容器、大型轴承环、大型锻模模块等。大锻件的生产能力、工艺水平和技术经济指标是衡量一个国家工业发展水平的重要标志之一。

1. 大锻件的生产特点

大锻件的主要生产和技术特点：①单件体形质量大，需用钢锭锻造。②内在质量要求严格。③生产工艺复杂、技术难度大。④生产费用高。

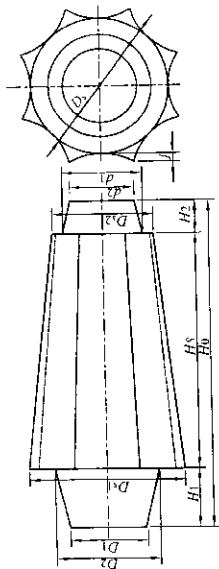
2. 锻造用钢锭

锻造用钢锭的冶金质量对锻造过程和锻件的组织性能都有重要影响。优质钢锭是生产优质锻件的基础。优质钢锭主要是指钢液纯净度高，铸造结晶结构合理，表面和内部缺陷少，钢锭的冶金质量首先取决于冶炼和铸锭工艺，但钢锭的形状和尺寸结构，对其冶金质量也有重要影响。

(1) 普通锻造用钢锭：普通锻造用钢锭锭身横截面为波浪状 8 角形，高径比为 2~3，锥度为 4%~7%，其参考规格列于表 2-19。

(2) 特殊类型的锻造用钢锭：

表 2-19 普通锻造用钢锭



钢锭总 质量	质量(t)			尺寸(mm)												锥部 $\frac{I_{D_2}}{I_{D_1}} \times 100(\%)$			
	可用锭 身部分	冒口 部分	底部	可用锭身部分						冒口部分							底 部	f	R
				D ₁	D ₂	D ₃	H ₁	H ₂	H ₀	D ₁	D ₂	H ₁	d ₁	d ₂	f ₁				
1.6	1.27	0.275	0.055	435	355	395	1280	270	360	395	355	200	125	1800	18	18	6.28		
2.0	1.61	0.319	0.071	470	395	433	1380	340	390	380	395	250	125	1885	18	18	5.44		
2.5	2.063	0.35	0.087	520	435	477.5	1485	367	430	420	435	250	125	2030	20	20	5.72		
3.0	2.503	0.41	0.087	545	450	497.5	1640	400	465	450	450	250	125	2245	18	18	5.80		
3.5	2.9	0.5	0.1	570	474	522	1760	420	508	425	474	250	130	2315	18	18	5.46		
4.0	3.4	0.6	0.1	620	500	560	1730	470	540	460	500	250	125	2315	16	22	7.0		
4.5	3.531	0.864	0.105	670	600	635	1395	508	600	480	600	250	125	2000	20	20	5.02		
5.0	3.852	0.978	0.17	694	618	656	1430	470	616	480	590	300	200	2110	22	22	5.32		
6.0	4.15	0.745	0.105	648	518	583	1965	485	560	470	510	250	170	2605	20	20	6.64		

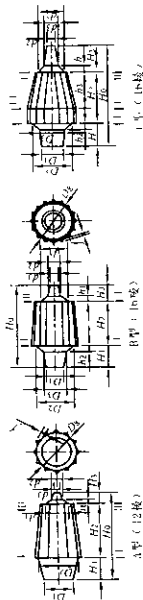
砂轮总质量	质量(t)		尺寸(mm)										佛部 $\frac{D_{s1}}{D_{s2}}$ $\frac{H_s}{H_0}$ > 100(%)				
	可用破身部分	底部	可用破身部分				底部		H ₀	f	R						
			D _{s1}	D _{s2}	H _s	D ₁	D ₂	H ₁				d ₁		d ₂	H ₂		
6.0	4.662	1.168	0.17	740	662	701	1360	495	688	540	590	300	200	2300	22	22	5.0
7.5	5.8	1.443	0.257	880	775	827.5	1375	625	820	500	670	315	230	2106	24	24	7.6
8.0	6.282	1.461	0.257	820	736	778	1645	565	760	600	670	355	230	2475	24	24	5.1
9.0	7.02	1.545	0.435	890	820	855	1565	630	830	520	790	355	295	2380	26	26	4.92
10.0	7.78	1.785	0.435	890	820	855	1725	620	830	600	790	355	295	2620	26	26	4.92
10.3	7.8	2.243	0.257	985	880	932.5	1465	737	905	590	670	315	230	2285	26	26	7.2
11.2	8.672	2.098	0.435	890	820	855	1900	620	830	710	790	355	295	2905	26	26	4.92
13.3	10.373	2.492	0.435	940	864	902	2020	687	880	790	790	355	295	3105	26	26	5.2
15.6	12.474	2.691	0.435	1005	925	965	2140	720	945	830	900	450	290	3260	26	26	5.12
19.2	15.085	3.525	0.590	1070	980	1025	2340	805	1010	910	900	450	290	3540	28	28	5.48
21.0	16.38	3.915	0.705	1150	1060	1105	2170	840	1080	745	1020	520	300	3330	28	28	5.3
23.0	18.066	4.23	0.705	1150	1060	1105	2380	805	1080	860	1020	520	300	3425	28	28	5.3
25.5	20.017	4.778	0.705	1200	1116	1158	2400	855	1130	860	1020	520	300	3560	30	30	4.4
27.6	21.674	5.221	0.705	1200	1116	1158	2585	825	1130	950	1020	520	300	3635	30	30	4.4
30.0	23.4	5.6	1.0	1265	1165	1215	2570	895	1195	1000	1020	520	300	3870	32	30	5.0
32.0	25.05	5.96	1.0	1265	1165	1215	2715	895	1195	1000	1020	520	300	4015	32	32	5.0
34.0	26.86	6.14	1.0	1330	1225	1277.5	2610	972	1260	900	1140	550	320	3830	32	32	4.9
36.0	28.47	6.53	1.0	1330	1225	1277.5	2760	960	1260	940	1140	550	320	4020	32	32	4.9
39.0	30.615	6.925	1.46	1400	1290	1345	2732	1049	1330	880	1270	650	380	3992	34	34	4.88

续表

钢锭总 质量	质 量(t)			尺 寸(mm)											钢 锭 $\frac{D_1 - D_2}{F_1}$ $\times 100(\%)$		
	可用锭 身部分	冒口 部分	底部	可用锭身部分			冒口部分			底 部			f ₀	f		R	
				D ₁	D ₂	H ₁	D ₁	D ₂	H ₁	d ₁	d ₂	H ₂					
41.5	32.88	7.16	1.46	1400	1290	1345	2935	1030	1330	935	1270	650	380	4250	34	34	4.88
45.0	35.28	8.26	1.46	1500	1400	1450	2670	1140	1430	930	1270	650	380	3980	36	34	4.32
47.0	36.8	8.74	1.46	1500	1400	1450	2780	1115	1430	980	1270	650	380	4140	36	34	4.32
51.6	40.86	9.28	1.46	1500	1400	1450	3060	1090	1430	1065	1270	650	380	4505	36	34	4.32
57.0	44.5	10.6	1.9	1600	1478	1539	3020	1185	1530	1085	1450	720	405	4510	38	36	4.84
63.0	49.37	11.73	1.9	1600	1478	1539	3360	1169	1530	1130	1450	720	405	4895	38	36	4.84
68.0	53.5	12.6	1.9	1705	1580	1642.5	3155	1315	1635	1010	1450	720	405	4570	40	38	4.76
74.8	60.3	12.6	1.9	1705	1580	1642.5	3520	1315	1635	1010	1450	720	405	4935	40	38	4.76
82.0	63.6	15.6	2.8	1800	1670	1735	3470	1370	1730	1120	1640	820	450	5040	40	38	4.4
87.0	68.13	16.07	2.8	1800	1670	1735	3670	1360	1730	1160	1640	820	450	5280	40	38	4.4
104.0	81.43	19.77	2.8	1900	1760	1830	3900	1410	1830	1310	1640	820	450	5600	44	38	4.7
120.0	94.33	21.77	3.9	1990	1860	1925	4150	1495	1920	1330	1820	840	550	6030	46	38	4.0
132.0	103.0	25.1	3.9	2100	1970	2036	4020	1560	2030	1380	1820	840	550	5950	50	38	3.82
170.0	134.805	31.295	3.9	2226	2078	2152	4700	1670	2156	1510	1820	840	550	6760	54	38	4.06

说明: 25.5~87t 钢锭可采用大气浇注, 也可采用真空浇注; 104t 以上钢锭只采用真空浇注。

表 2-20 多棱角短粗型钢锭



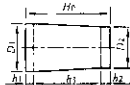
钢锭总质量	质量 (t)		尺寸 (mm)																锭型		
	锭身部分	锭身部分	锭身部分				锭身部分				锭身部分				底部						
			截面 I-I	截面 II-II	截面 III-III	截面 IV-IV	H ₂	h ₃	D ₃	H ₁	h ₂	d ₁	d ₂	d ₃	H ₃	h ₁	H ₀				
34.5	25.37	8.03	1.1	1500	1250	-	2135	-	1105	1385	1020	-	1085	670	570	520	205	3675	20	A	
37.5	27.02	9.27	1.21	1530	1290	-	2150	-	1150	1440	1000	-	1250	590	510	520	235	3670	22.5	A	
51.0	37.35	12.21	4.5	1720	1430	-	2400	-	1420	1700	1100	-	1395	715	450	550	115	4050	25	A	
60.6	42.2	15.9	2.5	2030	1710	-	2050	-	1110	1830	1300	1300	1480	835	710	490	225	3930	25	B	
65.3	45.5	17.9	1.9	1830	1510	-	2650	-	1410	1675	1320	-	1330	690	540	570	180	4540	30	A	
87.0	60.18	23.6	3.21	2300	1940	-	2200	-	1435	2155	1645	1450	530	1430	935	760	580	255	4230	30	B
136.5	95.97	36.1	4.3	2700	2300	-	2530	-	1595	2610	1800	1720	730	1675	1085	835	600	275	4850	30	B
180	119.66	50.5	9.84	2760	2360	-	3000	-	1720	2550	1905	1990	995	2130	1330	1130	810	375	5800	35	A
205	144.66	50.5	9.84	2760	2360	2760	3560	560	1720	2550	1905	1990	995	2130	1330	1130	810	375	6360	35	C
235	174.66	50.5	9.84	2760	2360	2760	4200	1200	1720	2550	1905	1990	995	2130	1330	1130	810	375	7000	35	C
300	190	90	20	3370	3930	3150	3180	1600	1950	3150	2220	2480	885	2680	1200	1080	1670	500	7330	35	C

①多棱角短粗型钢锭：多棱角短粗型钢锭用于转子、冷轧辊等合金钢大锻件，并且多采用真空浇注。短粗型钢锭对于改善锻件内部质量，减少锻件废品有良好作用，其参考规格列于表 2-20。增多锭身棱角数，可减少棱角处角偏析，同时保持较大锭身侧表面积，有利于散热，能防止纵裂。但棱角过多，钢锭模制造困难，常采用 12、16 棱角数。

短粗型钢锭高径比较小（1~1.5），锥度较大（8%~12%），大锥度有利于夹杂物上浮和气体逸出，减少偏析。但大锥度造成钢液与空气接触面增大，加速钢液氧化，因此，只宜采用真空浇注。短粗型钢锭冒口较大，钢液补缩良好，疏松和偏析区上移到冒口部分，便于锻造时切除。

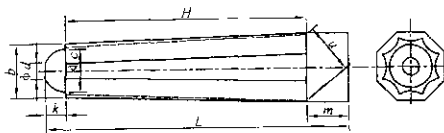
②电渣重熔钢锭：电渣重熔钢锭一般为圆截面、小锥度、高径比约 2.5，用于合金钢和高合金钢锻件。电渣锭铸造结晶组织致密，偏析小，钢锭利用率高，但生产成本高，其参考规格列于表 2-21。

表 2-21 电渣重熔钢锭

	质量 (t)			尺寸 (mm)					
	钢锭 总质量	锭身 部分	底部 头部	D_1	D_2	H_0	h_1	h_2	h_3
	18.0	15.3	0.9, 1.8	1130	1020	2550	120	280	2150
	30.0	25.5	1.5, 3.0	1370	1210	3050	150	330	2570
	40.0	34.0	2.0, 4.0	1530	1420	3000	150	320	2530
	60.0	49.8	3.0, 7.2	1680	1560	3750	180	470	3100

③细长型钢锭：细长型钢锭高径比 2.5~4、锥度 1%~5%，最大规格约为 10t，用于一般轴类锻件，只采用拔长工序，可减少锻造工时，提高钢锭利用率，其参考规格列于表 2-22。

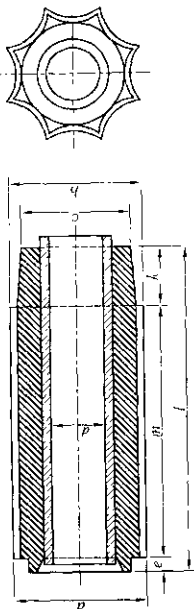
表 2-22 细长型钢锭



钢锭质 量 (kg)	开口部分		锭身部分		底部		钢锭尺寸 (mm)							
	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)	a	b	c	d	k	m	l	H
2950	330	11.3	2555	86.6	65	2.2	508	416	314	145	172	205	2297	1920
3500	430	12.3	3000	85.7	70	2.0	530	431	330	145	180	235	2465	2050
5800	710	12.2	4885	84.3	205	3.5	650	539	441	145	260	260	2735	2215
6800	695	10.2	5900	86.8	205	3.0	670	539	441	145	260	225	2955	2470
10500	1050	10.0	9200	87.6	250	2.4	784	627	520	242	240	265	3395	2890

①空心钢锭：空心钢锭用于锻造筒、环类大锻件，可节约加热时燃料消耗；提高钢锭利用率；简化锻造工序减少工时。空心钢锭偏析与宏观疏松较少，表面质量好，其参考规格列于表 2-23。

表 2-23 空心鋼錠



鋼錠總重量 (t)	尺 寸 (mm)							冒口部分 (t)	底部 (t)	瘦身部分 (t)	
	a	b	c	d	e	m	k				
8.1-7.7	840	900	800	280	325	90	1850	300	2240	0.25	6.9-6.5
10.5-9.9	920	980	880	310	370	95	2000	370	2465	0.314-0.3	8.9-8.4
14.0-13.2	980	1070	950	345	410	100	2225	420	2745	0.42-0.4	11.85-11.2
22.2-20.8	1215	1255	1050	400	480	110	2550	460	3120	0.5-0.6	19.0-17.8
25.0-23.5	1215	1300	1100	420	500	120	2645	470	3235	0.7	21.3-20.0
30.0-27.5	1315	1405	1200	450	540	130	2765	475	3370	0.7	26.0-23.5
37.5-35.2	1435	1530	1300	490	590	140	2960	510	3610	1.0	32.0-30.0
43.2-40.3	1485	1585	1370	510	615	150	3165	520	3835	1.0	37.0-34.5
55.5-52.1	1625	1730	1530	550	670	155	3270	520	3945	2.0-1.5	47.0-44.5
62.5-59.0	1765	1870	1670	600	720	160	3255	500	3915	1.5-2.0	53.5-50.0
75.0-70.5	1824	1940	1740	620	750	165	3615	550	4330	2.0	64.0-60.0
105.0-100.0	2060	2180	1950	700	850	170	4040	600	4810	3.3-2.3	90.0-85.0
130.0-122.0	2195	2330	2130	750	900	175	4390	620	5185	5.0-3.8	110.0-104.0

⑦ 三瓣型钢锭：三瓣型钢锭锭身横截面为三瓣九角形。其特点是铸锭时冷却较快，铸态结晶组织较细密、偏析较少。

采用上平砧下 V 型砧锻造时，钢锭中心部能在较大静水压应力条件下，产生较大变形，可提高钢锭中心部位孔穴性缺陷的锻合。

特殊类型的钢锭除上述外，还有无冒口钢锭、扁方型钢锭、盘形定向凝固钢锭等。随着冶炼、铸锭和锻造技术的进步，还可能出现新的异形钢锭。

3. 钢锭与钢坯加热

(1) 钢锭或钢坯的锻造温度范围：坯料允许的锻造温度范围主要取决于钢的化学成分，大锻件常用钢号钢锭的允许锻造温度范围列于表 2-24。

(2) 钢锭或钢坯的加热规范：

(i) 热坯料及冷坯料：

● 热坯料按其温度状况还分为两组：

“热型”： $t_m = 700 \sim 800^\circ\text{C}$ ； $t_f = 900 \sim 1000^\circ\text{C}$ ，第一火后重复加热的钢坯均属“热型”钢坯。

“温热型”： $t_m = 450 \sim 700^\circ\text{C}$ ； $t_f = 800 \sim 900^\circ\text{C}$ ，生产中的热钢锭均属“温热型”。

热坯料的加热规范可参考表 2-25。

表 2-24 钢锭锻造温度范围

钢 号	锻前最 高加热 温度 ($^\circ\text{C}$)	终锻温度 ($^\circ\text{C}$)	
		大变形 开缩	小变形 修整
A0 43, 10-35	1280	750	700
A5, 20Mn, 15Cr, 20Cr, 15CrMo	1260	750	700
40-55, 35Cr-50Cr, 30Mn-50Mn	1240	750	700
34CrMo, 12Cr1MoV, 20Cr3MoV, 30CrMoSi, 5CrNiMo, 34CrNiMo, 34CrNi3Mo		800	700
1Cr13-3Cr13		850	800

续表

钢 号	锻前最 高加热 温度 (°C)	终锻温度 (°C)	
		大变形 压缩	小变形 精修
60, 55Cr, 20SiMn, 50SiMn, 17MoV, 20MnMo, 35CrMn2, 20CrNi, 40CrMo, 40CrNi, 60CrNi, 12Cr2Mo1, 34CrMo1, 60SiMnMo, 60CrMnMo, 30Cr2MoV, 18CrMnMoW, 30Cr1MoV, 26Cr2Ni4MoV	1220	750	700
65Mn, 10Mn2, 35Mn2, 60CrMn, 18CrMn1, 40CrNiMo, 12CrNi3, 30CrNi3, 40CrNi2Mo		800	750
08Cr13, 12Cr2Ni4, 25Cr1MoV, 4Cr2W2MoVSi 20Cr23Ni13, 20Cr23Ni18, 12Cr17, 08Cr17Ti		850	850
38SiMnMo, 35CrMoSi, 18MnMoNb, 18CrNiW, 25CrNi3MoV, 28CrNi1Mo, 43Cr2MoV, FCrNi1Mo, FCrNi3Mo	1200	900	800
55Si2, 60Si2, 38CrSi, 20Cr2Ni4, 35CrMoSi, 5CrMnMo, 38Cr2Ni2Mo		750	700
45Mn2, 50CrV, 15Cr5Mo (Cr5Mo), 42CrMoV, 60CrMoV, 20CrMnMo, 37SiMn2MoV, 3Cr2W8V, 6CrW2Si, 50Mn18Cr4, 50Mn18Cr4N, 50Mn18Cr4WN		800	700
32Cr3WMoV, 1Cr18Ni9Ti, 18CrNiW, 18Cr4WN	1200	800	750
4Cr13, 12Cr18Ni9, 17Cr18Ni9, 12Cr18Ni12Ti		850	750
40Cr9Si2, 12Cr18Ni9Ti, 08Cr18Ni10, 12Cr18Ni10Ti, 36Cr18Ni25Si2		850	800
17-T10, 9Cr1, 9Cr2, 9CrV, 9CrMoV, 9Cr2MoV		850	850
9CrSi, 7Cr3, 6Cr6W3MoVSi, 8Cr4W3Mo3V2	1180	800	750
60Si2Mn, CrWMn, 4Cr5MoVSi, 18CrMnMoVB, 20Cr2Ni4N, Cr17, 20Cr3WMoV, 2Cr18Ni11Ti		800	800
10Cr17Ni13Mo2Ti		850	800
08Cr18Ni10Ti		850	850
112, CrWMn, Cr15, 6Cr5SiMn	1160	900	850
Cr12Mo, 10Cr17Ni13Mo3Ti		800	750
Cr12V1, Cr12MoV1, 45Cr14Ni4W2Mo		850	800
		850	850

注: A₀~A₃, A₅ 钢号为 GB700—79 钢号。

表 2-25 热坯料加热规范

钢锭或钢坯	质量(t)	<3	3~7	7~12	12~24	24~49	45~85	80~200
	断面尺寸 (mm)	300~500	500~750	750~930	940~1200	1250~1500	1550~1800	1850~2300
铸前加热要求的炉温① 下保温时间 (h)②	热型坯料	0.5~2	1~2.5	2~4.5	3~6.5	4~7.5	5~10	7~12.5
	温热型坯料	1~2.5	2~3.5	3~5.5	4~7	5~9	7~12	9~15
总加热时间 (h)②	热型坯料	1.5~2.5	2.5~3.5	3.5~5	5.5~7	7~8.5	9~11	11.5~14
	温热型坯料	2~3	3.5~4.5	5~6.5	7~8.5	9~11	12~14.5	15~18

①炉温一般为材料铸前温度 + 20~40℃

②表列时间均为单件坯料出炉的加热时间,其他装炉方式加热时间增长系数见表 2-2-10。

● 冷坯料按其温度状况也分为两组：

“半冷型”： $t_m = 250 \sim 400^\circ\text{C}$ ； $t_f = 350 \sim 500^\circ\text{C}$

“冷型”： $t_m \leq 250^\circ\text{C}$

加热规范见表 2-26，表 2-27 和表 2-28。

表 2-26 冷坯料钢的分组及钢号举例

分组	钢号举例
I 组：碳钢及低碳低合金钢	10 ~ 45, 15Mn, 30Mn, 15Cr ~ 35Cr
II 组：中碳钢及中低碳合金结构钢	50 ~ 65, 35Mn ~ 50Mn, 35Mn2 ~ 50Mn2, 20SiMn ~ 55SiMn, 35CrMo, 42CrMo, PCrMo, 34CrMo1, 20MnMo, 12CrMoV, 24CrMoV, 18CrMnTi, 35CrMnSi, 38SiMnMo, 42MnMoV
III 组：高碳钢及高合金钢	34CrNi1Mo ~ 34CrNi3Mo, PCrNi1Mo ~ PCrNi3Mo, 20Cr3WMoV, 18CrMnMoB, 37SiMn2MoV, 20Cr2Mn2Mo, 40CrNiMo, 5CrMnMo, 5CrNiMo, 3Cr2W8V, 60SiMnMo, GCr15, GCr15SiMn, 9Cr, 9CrSi, T7 ~ T12, 1Cr13 ~ 4Cr13, Cr17, 1Cr18Ni9Ti, Cr5Mo, 50Mn18Cr4, 70Cr3Mo, 43CrNi2MoV, 42Mn2CrMoVNb, 17Cr1MoV

表 2-27 “半冷型”坯料预热规范(预热温度 $800 \pm 30^{\circ}\text{C}$)

钢 分 组	钢锭 或 钢坯	质量(t)		7~12		12~24		24~49		45~85		80~200	
		断面尺寸(mm)	300~500	500~750	760~930	940~1200	1250~1500	1550~1800	1850~2300				
I	最高装炉温($^{\circ}\text{C}$)	800 \pm 30											
	预热所需最小保温时间(h)	1.5	2.5	3.5	4.5	6	8	12					
II	最高装炉温($^{\circ}\text{C}$)	800 \pm 30											
	预热所需最小保温时间(h)	2	3.5	4.5	6.5	9	12	17					
III	最高装炉温($^{\circ}\text{C}$)	800 \pm 30											
	预热所需最小保温时间(h)	3.5	4.5	5.5	8	11	14	19					

表 2-28 “冷型”坯料预热规范(预热温度 $800 \pm 30^{\circ}\text{C}$)

钢 分 组	钢锭 或 钢坯	质量(t)		7~12		12~24		24~49		45~85		80~200	
		断面尺寸(mm)	300~500	500~750	760~930	940~1200	1250~1500	1550~1800	1850~2300				
I	最高装炉温($^{\circ}\text{C}$)	900 \pm 30											
	预热所需最小保温时间(h)	2	3.5	5	7	9	12	17					
	最高装炉温($^{\circ}\text{C}$)	900 \pm 30											
	由装炉温加热到预热温度的加热速度($^{\circ}\text{C}/\text{h}$)	50											
II	预热所需最小保温时间(h)	3.5	5	7	9.5	13	17	23					
	最高装炉温($^{\circ}\text{C}$)	500 \pm 30											
III	由装炉温加热到预热温度的加热速度($^{\circ}\text{C}/\text{h}$)	50											
	预热所需最小保温时间(h)	5	8	11	15	20	25	31					

(2) 选用加热规范的注意事项:

● 禁冷坯料和热坯料同炉加热。

● 不同钢号不同规格的坯料同炉加热时, 装炉温度和升温速度均按较低的选用, 保温时间按较长的选用。对要求加热温度低和保温时间短的材料, 可先出炉锻造。

● 短粗钢锭按断面尺寸选用加热规范, 冲孔后的坯料, 当壁厚大于等于高度, 或高度小于外径, 按壁厚尺寸选用加热规范。圆筒类坯料 (长度 \geq 外径), 按壁厚 1.3 倍选用加热规范。

● 因设备故障或其他原因, 不能按时出炉锻造, 可将炉温降至 $800 \pm 30^{\circ}\text{C}$ 。

③ 高温扩散加热: 用于重要的合金钢锻件 (如发电机和汽轮机转子)。高温扩散加热可以改善钢锭的微观偏析 (初生晶粒内的偏析), 提高钢锭的工艺塑性, 有利于孔穴性缺陷的锻合。高温扩散加热的保温时间比一般以均匀热透为目的的钢锭保温时间长二倍以上。保温时间规范见表 2-29。

表 2-29 转子锻件用钢锭的高温扩散时间

钢 号	30Cr2MoV, 34CrNi3Mo, 26Cr2Ni4MoV, 34CrMo1A		
钢锭质量 (t)	22 ~ 57	70 ~ 125	≥ 137
高温保温时间 (h)	25 ~ 30	35 ~ 40	45 ~ 60

4. 大锻件锻后冷却和热处理

锻件冷却及热处理方式, 包括锻后冷却, 退火 (低温退火、中间退火, 完全退火, 等温退火等) 及高温回火, 调质 (淬火加高温回火)。大锻件还常用等温冷却、起伏等温冷却, 起伏等温退火等工艺。

(1) 大锻件锻后热处理的特点:

① 锻件组织性能不均匀, 缺陷多, 尺寸大, 相变潜热扩散困难, 温度分布不均匀, 热处理过程复杂。

② 晶粒结构粗大不均匀, 因此要提高机械性能应该注意细化, 均匀化组织结构。

④内应力(温度应力,组织应力,残余应力)大,内部缺陷多,要求正确控制加热、冷却速度,以防产生裂纹。

⑤扩气困难,相变复杂,热处理周期长,能源损耗大。

(2) 锻后冷却与热处理规范:用钢锭锻制的锻件冷却方式,见表 2-30

表 2-30 锻制锻件的冷却方式

钢号举例	锻件有效截面最大尺寸 (mm)			
	≤50	51-100	101-400	401-500
15-30	坑冷			
35-45				
55Cr, 55Mn2 35CrMo, 20MnMo 35CrMnSi, T8 38SiMnMo 60Si2	空冷		炉冷	
GCr15, 9Cr2 5CrMnMo 60CrNi				

各种钢号的热处理工艺参数,见表 2-31。

表 2-31 各种钢号正火(退火)高温回火温度

钢号	临界点(°C)			正火(退火)温度(°C)		高温回火温度(°C)	
	Ac1	Ac3/Acm	M _s	单独生产	配炉	单纯去氢	考虑性能
15	735	863	450	900-920	880-920	620-660	580-660
20	735	855		800-900	870-910	620-660	580-660
25	735	840		870-890	870-900	620-660	580-660
30	732	813	380	860-880	850-900	620-660	580-660
35	724	802		850-870	840-870	620-660	580-660

续表

牌号	临界点(°C)			止火(退火)温度(°C)		高温回火温度(°C)	
	Ac1	Ac3/Acm	M _s	单独生产	配炉	单独供货	考虑性能
40	724	790	340	840~860	830~860	620~660	580~660
45	724	780	330	830~850	820~850	620~660	580~660
50	725	760	320	820~840	810~840	620~660	580~660
55	727	774		810~830	810~840	620~660	580~660
20Cr	766	838		880~900	870~920	630~660	560~660
30Cr	740	815		860~880	850~890	630~660	
40Cr	743	782	330	840~860	830~880	630~660	
50Cr	721	771		830~850	820~860	630~660	
55Cr				820~840	820~850	630~660	590~660
50Mn	723	760	320	820~840	810~850	630~660	
15CrMo	745	845		900~920	890~920	630~660	560~660
20CrMo	743	818	400	890~900	880~910	630~660	560~660
30CrMo	757	807	345	860~880	850~890	630~660	560~660
34CrMo, 35CrMo	755	800	271	850~870	840~880	630~660	560~660
20Cr2Ni4				870~890		610~660	
42CrMo	721	780	360	840~860	830~870	630~660	560~660
40CrNiMoA				850~870	860~880	640~660	
34CrNiAl	735	800		860~880	850~900	630~660	560~660
12Cr1MoV	820	945		970~990			720~740
18CrMnTi				880~900		620~660	
24CrMoV	790	840	344	880~900	870~920	630~660	
35CrMoVA	755~775	835~855		900~920		630~660	
20MnSi	772	840		900~920	900~930	630~660	600~660
20MnMo	730	845	380	880~900	870~900	630~660	560~660
35SiMn	750	830		880~900	870~900	630~650	
42SiMn	766	798		860~880		630~650	
50SiMn				840~860		630~650	
18MnMoNb	736	850		900~920		630~660	

续表

钢号	临界点(°C)			止火(退火)温度(°C)		高温回火温度(°C)	
	Ac1	Ac3/Acm	M _s	单独生产	配炉	单纯入炉	考虑性能
18CrMnMoB	740	840		880-900	880-910	630-660	
35SiMnMo	730	800		880-900	860-900	630-660	560-660
35CrMnMo	718	766		870-890	860-890	630-660	
42SiMnMo				860-880	850-880	630-660	
40CrMnMo	735	780		840-860		630-660	
42MnMoV	718	796		870-890	870-890	640-670	
42SiMnMoV	748	852		870-890		630-660	
30Mn2MoV	695	832	290	880-900		630-660	
34Mn2MoB	734	800		850-870		630-660	
37SiMn2MoV	729	823	305	880-900		630-660	
37SiMnMoWV	722	836		880-900		630-660	
50SiMnMoV3	737	772	230	820-840		630-660	
30Cr2MoV	770~705	840-880		970-990		680-700	
30CrMn2MoB	724	815		880-900		630-660	
20Cr2Mn2MoA	761	828	315	880-910	880-910	630-660	
32Cr2MnMo	733	793	278	880-910	870-910	630-660	
12CrNi2A	715	830	375-405	880-900		630-660	
34CrNi2Mo	700	780	300	850-870	840-900	630-660	
34CrNi3Mo	720	790		850-870	840-900	630-660	
40CrNi	730	770	305	840-860	830-870	630-660	
60CrMnMo	732	775		830-850	820-860	630-660	600-680
60SiMnMo	699	761	264	810-830		630-660	
5CrMnMo	700	800	225-250	840-860	830-860	620-660	
5CrNiMo	710	790	250-270	840-860	830-860	620-660	
5CrNiW	735	820	205-260	840-860	830-860	620-660	
5SiMnMoV	764	788		840-860	830-860	620-660	
5SiMn2W	706	777		840-860	830-860	620-660	
3Cr2W8(V)	810	1100	308-420	850-870			

续表

钢号	临界点(℃)			止火(退火)温度(℃)		高温回火温度(℃)	
	Ac1	Ac3/Acm	M _s	单独生产	配炉	单纯去氢	考虑性能
6CrW2S	765~775	810	270	780~800			
9CrV	770		215	780~800		650~670	
9Cr2	740		270	780~800		650~670	
9Cr2Mo	780	880	175	780~800		650~670	
9Cr2W	740~750		230~240	780~800		650~670	
2Cr11	820	950		1000~1050		640~680	
3Cr13	800			1000~1050		640~680	730~750
Cr5Mo				1000~1050			730~750
T7	730	770					630~660
T8	730		210~245				630~660
T10	730	800	175~210				630~660
T12	730	820	200~210				630~660
CrCr15	745	900	240	780~800			700~720
CrCr15SMn	770	872	290	780~800			700~720
32Cr3WMoV				900~1050		700~720	
5CrMnSiMoV	773	820		870~890		640~660	

锻件锻后冷却热处理规范如下:

表 2-32 为炉冷(等温炉冷)规范,适用于碳钢及合金钢小截面锻件和粗加工后需要再热处理的锻件。

表 2-33 为起伏等温炉冷规范,该曲线带有一次 280~320℃ 过冷,但无重结晶,适于高合金钢锻件。

表 2-34 为锻制工具钢锻件球化退火规范。既考虑防止白点又考虑球化碳化物质点。

表 2-35 为热装炉正火高温回火规范,该曲线带有过冷及重结晶,适用于不再热处理的合金钢锻件等。

表 2-36 为热装炉等温退火规范,该曲线有两次过冷,适用于高合金钢重要锻件。

表 2-37 为冷装炉正火回火规范。

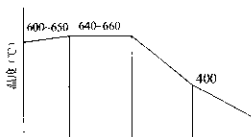
表 2-32 等温炉冷规范

钢号	截面 (mm)	待料	保温 (h)	冷却	保温 (h)	加热 (°C/ h)	均温	保温 (h)	冷却 (°C/ h)	冷却 (°C/ h)	出炉 温度 (°C)
37SiMn2MoV 37SiMnMoWV	≤300	—	2	炉冷	3~5	≤100	—	20~30	≤50	≤25	300
30Mn2MoV 34Mn2MoB 35CrMnMo 40CrMnMo	301~500	—	3	炉冷	5~8	≤80	—	30~50	≤40	≤20	250
30Cr2MoV 50SiMnMoB 24CrMo10	501~700	—	4	炉冷	8~10	≤60	—	60~80	≤30	≤15	200
18CrMnMoB	≤300	—	2		3~5	≤100	—	24~45	≤50	≤25	300
	301~500	—	3		5~8	≤80	—	45~80	≤40	≤20	250
40CrNi	501~700	—	4		8~10	≤60	—	80~110	≤30	≤10	200
32Cr3WMoV 32Cr2MnMo 30CrMn2MoB	≤300	—	3	炉冷	4	≤80	—	32~70	≤40	≤20	250
20Cr2Mn2MoA 12CrNi2A	301~500	—	3	炉冷	4~6	≤60	—	70~120	≤30	≤15	200

续表

钢号	截面 (mm)	待料	保温 (h)	冷却	保温 (h)	加热 ($^{\circ}\text{C}/\text{h}$)	均温	保温 (h)	冷却 ($^{\circ}\text{C}/\text{h}$)	冷却 ($^{\circ}\text{C}/\text{h}$)	出炉 温度 ($^{\circ}\text{C}$)
5CrMnMo 5CrNiMo 5CrNiW 5SiMnMoV 5CrSiMnMoV 5SiMn2W 3Cr2W8 (V) 6CrW2Si	≤ 500	—	4	炉冷	5	≤ 80	—	100	≤ 40	≤ 20	250

表 2-33 起伏等温炉冷规范



钢号	截面 (mm)	待料 均温	保温 (h)	冷却 ($^{\circ}\text{C}/\text{h}$)	冷却 ($^{\circ}\text{C}/\text{h}$)	出炉温度 ($^{\circ}\text{C}$)
15-55	≤ 300	—	9-15	≤ 60	—	500
	301-500	—	15-20	≤ 50	—	400
	501-800	—	20-35	≤ 50	≤ 30	300
20Cr-40Cr, 20CrMo 20MnMo, 20MnSi 42CrMo, 35SiMn 3Cr13, 40Mn2	≤ 300	—	14-18	≤ 60	—	400
	301-500	—	18-35	≤ 50	≤ 30	300
	501-800	—	35-64	≤ 40	≤ 20	250
55Cr, 34CrMo1A 50SiMn, 18MnMoNb	≤ 300	—	24-30	≤ 50	—	400
	301-500	—	30-50	≤ 40	≤ 20	300
	501-800	—	50-88	≤ 30	≤ 15	250

表 2-34 等温球化退火规范

钢号	退火温度		等温温度		400		出炉温度(°C)
	升温	保温(h)	冷却(°C/h)	保温(h)	冷却(°C/h)	保温	
T7, T8 T10, T12	500~600	(750~770°C) 1.5~3.5	炉冷	(660~680°C) 2~4	500 ± 10	均温	200
	650-670	(790~810°C) 1.5~3.5		(700~720°C) 3~5			
50CrW2S 60CrW2S		(770~790°C) 1.5~3.5	炉冷	(680~700°C) 3~5		升温	200
		(900~910°C) 1.5~3.5		(730~750°C) 3~5	功率	功率	
GCr15 GCr15SiMn						冷却	200
						冷却	
3Cr2W8V						冷却	200

三、合金钢及有色金属锻造

1. 莱氏体高合金工具钢锻造

莱氏体高合金工具钢主要包括高速钢和铬 12 型冷模具钢。目前,我国较常使用的莱氏体高合金工具钢有 W18Cr4V、9W18Cr4V、W9Cr4V2、W2Mo9Cr4V2、W12Cr4V4Mo、W14Cr4VMnRE、W6Mo5Cr4V2、W6Mo5Cr4V2A1、W6Mo5Cr4V5SiNbAl、W10Mo4Cr4V3A1、W12Mo3Cr4V3Co5Si、W7Mo4Cr4V2Co5、W2Mo9Cr4VCo8、Cr12MoV 和 Cr12 等。

(1) 莱氏体高合金工具钢的组织特点及锻造实质: 试验和实践经验表明, 钢中碳化物的分布状况对莱氏体高合金工具钢的使用性能影响极大。只有当碳化物呈细小颗粒并均匀分布(碳化物不均匀度级别低)时, 这类钢的良好使用性能才能充分地表现出来。从表 2-38、表 2-39 及表 2-40 中可以看出, 碳化物均匀度级别高的高速钢, 无论是室温力学性能、热处理后的红硬性还是抗磨性能, 都比碳化物均匀度低的高速钢为好。

应当指出, 一味追求过低的碳化物不均匀度级别既无必要, 也不经济。应当根据莱氏体高合金工具钢零件的工作条件、精度要求和几何尺寸等来规定恰当的碳化物均匀度等级。表 2-41 所列数据可为选用高速钢刀具碳化物均匀度级别时作参考。表 2-42 所列数据, 可为选用铬 12 型工、模具零件的碳化物均匀度时作参考。

表 2-38 碳化物均匀性与钢力学性能的关系

碳化物不均匀度级别 (K)	抗弯强度 (MPa)	抗扭强度 (MPa)	冲击初度 (J/cm ²)
3	358.7	229.4	22.35
4	334.2	212.7	21.76
5	310.7	212.7	16.56

注: 试件取自钢材。

表 2-39 碳化物均匀性对钢的热处理性能的影响

碳化物不均匀度级别 (K)	硬 度			热硬度 HRC		
	退火状态 HB	淬火状态 HRC	回火状态 HRC	600℃	625℃	650℃
3	239	65.1	65.2	61.3	59.2	51.1
4	225	64.7	64.5	61	59	50.6
5	235	64.3	65	59.9	58.9	50.1

注：试件取自钢材。

表 2-40 碳化物均匀性对插齿刀磨损量的影响

碳化物不均匀度级别 (K)	试验件数	磨 损 量 (mm)				
		100min	200min	300min	400min	500min
3~4	3	0.05	0.08	0.12	0.19	0.23
5~6	3	0.06	0.10	0.13	0.20	0.26
7~8	3	0.08	0.11	0.18	0.23	0.31

注：由锻造插齿刀实测数据。

表 2-41 高速钢锻件对碳化物均匀度的要求

刀具名称	刀具直径 D (mm)	碳化物均匀度合格级别 (不大于)
直齿插齿刀	< 100	3
	$\geq 100 \sim 160$	4

续表

刀具名称	刀具直径 D (mm)	碳化物均匀度合格级别 (不大于)
齿轮滚刀	≤ 100	4
剃齿前滚刀 渐开线花键滚刀	$> 100 \sim 125$	5
盘形剃齿刀	≤ 240	4

注：①带状和弯曲状碳化物均匀度评级合格级别图与碳化物均匀度合格级别同。

② $\leq 240\text{mm}$ 系指公称分度圆直径。

表 2-42 铬 12 型钢锻件对碳化物均匀度的要求

1. 模具名称	碳化物均匀度合格级别 (不大于)
一般模具 (一般的冷冲模、冷挤模、拉丝模等)	4
重要工、模具 (重要的冷冲、冷挤模、搓丝板、滚丝模等)	3
特殊工具 (冷挤冲头, 小尺寸冷轧辊等)	2

(2) 保证莱氏体高合金工具钢锻件质量的环节:

①原材料供货技术条件: 高速钢钢材的质量应符合 YB12-77 的

规定，铬 12 型钢钢材的验收按 GB1299-85 的规定进行。一般的供货技术条件如下：

- 高速钢钢材应为退火状态供应，其硬度应符合表 2-43 的规定。铬 12 型钢钢材应以退火或高温回火状态供应，其硬度值应符合表 2-44 的规定，且组织中不得有共晶碳化物网络。

- 钢材表面不得有裂纹、折叠等缺陷。

- 钢材断口晶粒应当均匀、细小，低倍组织中不得有缩孔、气泡、杂质、白点等。高速钢中心疏松和一般疏松应符合表 2-45 的规定。

- 高速钢钢材碳化物均匀度级别应符合表 2-46 的规定，铬 12 型钢钢材应符合表 2-47 的规定。

表 2-43 高速钢钢材的供货硬度要求

钢 号	交货时的硬度 (HB) (不大于)	
	切削用	锻造用
W 18Cr4V	255	277
9W 18Cr4V	262	285
W 12Cr4V4Mo	262	285
W 14Cr4VMnRE	255	277
W6Mo5Cr4V2	255	285
W 6M _o 5Cr4V2Al	269	285
W 6M _o 5Cr4V5SiNbAl	269	285
W 10M _o 4Cr4V3Al	269	285
W 12M _o 3Cr4V3Co5Si	269	285

表 2-44 铬 12 型钢钢材供货硬度

钢 号	交 货 状 态	
	退火硬度 (HB)	压痕直径 (mm)
Cr12	269~217	3.7~4.1
Cr12MoV	255~207	3.8~4.2

表 2-45 对高速钢钢材疏松和偏析的要求

名 称	疏松合格级别 (不大于)	
	一般要求	特别要求
中心疏松	2	1
一般疏松	2	1
偏 析	2	1

表 2-46 对高速钢钢材碳化物均匀度的要求

钢材截面尺寸 (mm)	共晶碳化物均匀度级别 (不大于)	
	一般要求	特别要求
≤40	4	3
>40~60	5	4
>60~80	6	5
>80~100	7	6
>100~120	8	7

注：按 YB12-77 评级。

表 2-47 对铬 12 型钢钢材碳化物均匀度的要求

钢材截面尺寸 (mm)	共晶碳化物均匀度级别 (不大于)	
	一般要求	特别要求
≤ 50	4	3
> 50 ~ 70	5	4
> 70 ~ 120	6	5
> 120	双方协议	

注：按 GB1299-85 评级。

② 莱氏体合金工具钢钢坯的加热：

● 锻造温度范围：对莱氏体合金工具钢来说，由于对锻造的上、下限温度都比较敏感，所以应当通过严格的试验来确定。表 2-48 列出部分国产莱氏体高合金工具钢的锻造温度范围，供选用时参考。

生产中也常见从国外引进的同类钢种，为了掌握这些钢种的热加工参数，表 2-49 中所列的的钢种和数据，可作为这些资料的补充。

表 2-48 部分莱氏体高合金工具钢的加热锻造温度

钢种	预热温度 (°C)	始锻温度 (°C)	终锻温度 (°C)
W 18Cr4V	800 - 900	1100 ~ 1150	900 ~ 950
W 12Cr4V4Mo	800 - 900	1050 ~ 1100	900 ~ 950
W6Mo5Cr4V2	800 - 900	1080 ~ 1130	900 ~ 950
W 6Mo5 Cr4V2Al		1130 ~ 1150	920 ~ 950
W 9Cr4V2		1130 ~ 1150	900
W 2Mo9Cr4V2		1130 ~ 1150	900

高速
钢

续表

钢种		预热温度 (°C)	始锻温度 (°C)	终锻温度 (°C)
铬口型钢	Cr 12MoV		1050~1100	840~880
	Cr 12		1040~1080	840~880
	Cr 12V		1040~1080	840~880

表 2-49 部分美国高速钢的加热锻造温度

钢种		预热温度 (°C)	始锻温度 (°C)	终锻温度 (°C)
钨高速钢	M1, M10	815	1040~1150	925
	M2	815	1065~1175	925
	M4	815	1095~1175	925
	M30, M34, M35, M36	815	1065~1175	955
钨高速钢	T1	870	1065~1205	955
	T2, T4, T8	870	1095~1205	955
	T3	870	1095~1230	955
	T5, T6	870	1095~1205	980

● 加热时间的确定：由于莱氏体钢的导热性差，一般都分段加热。低温段加热温度为 800~900°C，加热时间一般按 1min/mm 左右计算，高温时快速加热，加热温度为 1130~1180°C，加热时间一般按 0.5min/mm 左右计算。

对不需反复锻拔的锻件，加热速度可以快一些，直径小于

φ 80mm 的坯料还可不预热，加热总时间按 0.6~1min/mm 计算。

● 加热次数的确定：加热次数可按表 2-50 根据墩拔次数来选定，但决定火次及各火次间的变形量分配时，还应考虑下述几方面：

a. 在不产生裂纹及其他疵病的情况下，火次应尽量减少。

b. 各火次的变形量应当均匀，并在可能情况下增加最后一火的变形量。

c. 特小和特大的锻件，每一火次的变形量均不宜过大。

d. 操作工人技术熟练，设备能力足够时，火次可以减少。反之，要适当增加。

表 2-50 加热次数选定

总墩粗拔长系数	第一火	第二火	第三火	适用范围 (kg)
1—1	1—1	—	—	1.5~20
2—1	2—1	—	—	1.5~15
3—2	3—2	—	—	1.5~10
4—3	3—2	1—1	—	2.5~10
5—4	3—2	2—2	—	≤10
6—5	4—3	2—2	—	≤10
6—5	3—2	2—2	1—1	10~25
7—6	5—4	2—2	—	1~4
7—6	3—2	3—3	1—1	4~25
7—7	3—2	3—3	1—2	≤13
8—7	3—2	3—3	2—2	≤13

● 加热操作要领:

- a. 装炉数量不宜过多, 避免在高温下的停留时间过长。对于铬高速钢要更严地控制加热温度和时间, 因此, 装炉量不要太多。
- b. 最好逐个按序装炉, 使每个坯料在炉内停留时间尽量接近。
- c. 坯料在炉内相距不小于坯料半径。
- d. 经常翻转以保证温度均匀。
- e. 锻制中经完全冷却的锻件重新回炉加热时, 最好预先进行退火处理, 以消除残余应力。

● 变形程度的确定: 生产实践证明, 拔长比镦粗对改善碳化物分布的效果明显。因此, 对莱氏体钢锻件反复拔长时, 建议只计算拔长的锻造比, 反复镦拔时的总锻造比等于各次拔长的锻造比之和。

生产经验还说明, 随着锻造比(或镦拔次数)的增加, 碳化物不均匀度级别会逐渐降低, 原碳化物不均匀度级别高时(例如 7~6 级), 降低比较显著, 但达到 3~4 级后再继续镦拔, 降低速度就慢了。因此, 对一般刀具追求过大的锻造比(或改过多的镦拔次数)是没有必要的。一般, 总锻造比在 5~14 之间取值。

● 锻锤吨位的选择: 锻锤吨位过小时, 打击力不够, 变形只发生在表层, 中心部分的碳化物不能击碎; 而吨位过大, 打击过重时, 则容易失控而出现裂纹。

(3) 莱氏体高合金工具钢锻件的冷却和退火: ①锻件的冷却: 莱氏体高合金工具钢的锻后冷却速度较快时, 由于温度应力和组织应力较大, 容易出现开裂, 因此锻后应缓慢和均匀地冷却, 可以堆冷、灰冷或砂冷, 必要时进行炉冷。

一般, 高速工具钢锻件应整体埋入不通风的干沙(或白灰)中冷却。干沙(或白灰)保持 100~200℃ 的温度。较小的高速钢锻件, 锻后可以在炉内保温(600℃ 左右), 然后随炉冷却或直接退火。对于大批连续生产的高速钢锻件, 可在预先加热到 200~300℃ 的保温桶中冷却, 桶径一般为 400~500mm。

铬 12 型钢锻件锻后一般放入石棉灰或干沙中缓慢冷却到 100~150℃, 然后再取出空冷。

②锻件的退火：莱氏体高合金工具钢锻件都应进行退火处理。为防止心部金属（尤其是大尺寸锻件）在低温条件下由奥氏体转为马氏体时产生组织应力而开裂，铬 12 型钢锻件应在锻后 24h 内进行退火。

高速工具钢锻件退火后的硬度应符合表 2-43 的规定。铬 12 型钢锻件退火后的硬度应符合表 2-44 的规定。

退火硬度每一退火炉次抽查不少于 4 件，试样应在退火炉膛的不同部位抽取。退火硬度不合格时，允许返修。

锻件退火后的脱碳层深度不得超过单边加工余量实际值的 1/2。表面缺陷和脱碳层叠加后的总深度不得超过单边加工余量实际值的 2/3。脱碳层每一退火炉次抽检 2 件，若工艺能保证质量，允许免检。

2. 不锈钢锻造

(1) 不锈钢的种类：不锈钢既是耐蚀材料，又可以作耐热材料，还可以作低温材料及无磁材料。从化学成分来看，不锈钢铬的含量一般都在 12% 以上，另外还含有一种或多种其他合金元素，所含合金元素的综合影响的结果，产生了三种基本类型的不锈钢，即奥氏体型、马氏体型和铁素体型，还有介于这三种类型之间以及派生的其他类型的不锈钢。不锈钢在使用条件下，可以具备奥氏体、铁素体、回火马氏体组织。

(2) 变形温度的选择和加热要求：①变形温度的选择：铁素体不锈钢在加热过程中晶粒易于长大，为了获得细晶粒组织，减轻晶间腐蚀和缺口敏感性，应尽可能在低的温度下锻造，一般始锻温度为 1120℃，终锻温度为 700~800℃，而且不允许高于 800℃。

马氏体不锈钢的始锻温度一般取 1150℃，终锻温度随其碳含量而异，高碳的取 925℃，低碳的取 850℃，两者均应高于钢的同素异构转变温度。

奥氏体不锈钢的始锻温度范围一般为 1150~1200℃，终锻温度一般为 825~850℃。对于普通的 18-8 型始锻温度取 1200℃，当含钼或含高硅则取低于 1150℃，对于 25-12 型和 25-20 型，始锻温度不高于 1150℃，其终锻温度均不低于 925℃。

沉淀硬化不锈钢的始锻温度范围一般取 1120~1180℃，终锻温度一般为 850℃~950℃。对于马氏体型始锻温度取 1180℃，终锻温度不低于 850℃。形状较复杂的零件应回炉缓冷。对于半奥氏体型始锻温度取 1150℃，终锻温度取高于 950℃。

不锈钢的锻造温度范围见表 2-51。

此外，为了得到细晶粒组织，对终锻工序或精压工序等应将始锻温度取低些，一般可比规定温度降低 50~80℃。

②加热要求：为了确保耐腐蚀性，不锈钢宜在保护性气氛、中性气氛或微氧化性气氛中加热，不许在还原性气氛或过分氧化中加热，也不许火焰直接喷射在毛坯上，否则会使钢增碳或含铬，而降低钢的抗晶界腐蚀的能力。锻件在高温区的停留时间不宜过长，否则易造成严重氧化、元素贫化和晶粒粗化，具体可按表 2-51 选择，一般不得少于 10~20min。其他加热要求和结构钢类同。

(3) 锻后冷却的控制：由不锈钢组织结构特殊性所决定，对锻后冷却应当控制。对马氏体不锈钢应当缓冷至 600℃左右，然后空冷，以免产生马氏体相变裂纹和 475℃脆性；对铁素体和奥氏体不锈钢锻后都要求快冷，以免铁素体不锈钢出现 475℃脆性和奥氏体不锈钢沿晶界析出 Cr₂₃C₆ 而增加晶间腐蚀倾向。奥氏体不锈钢的进化温度为 815~480℃左右，这时将有 Cr₂₃C₉ 沿晶界析出。大大降低抗蚀性能，所以在这些温度区间不得停留，必须快冷。

(4) 变形后续工艺的安排：变形后续工序的安排，对不锈钢的耐腐蚀性和锻件质量有较大影响。马氏体不锈钢有着良好的淬透性，在锻后冷却过程中即可产生马氏体相变，所以锻件的酸洗清理工序必须安排回火处理之后进行，否则会产生龟裂—应力腐蚀裂纹，锻后应及时回火处理，否则会出现自然开裂现象。对铁素体和奥氏体不锈钢为防止晶间腐蚀，只要锻件使用性能要求允许，锻后可在 1050~1070℃退火，然后水淬，使 Cr₂₃C₆ 保留在固溶体中，可减轻晶间腐蚀敏感性。奥氏体不锈钢往往经冷变形使用，只要按“固溶处理—冷变形—敏化处理”工序顺序，就具有优异的抗应力腐蚀和抗晶间腐蚀性能，但是决不允许按“固溶处理—敏化处理—冷变形”工艺顺序。

因为后者导致耐蚀性急骤下降。

表 2-51 不锈钢锻造温度及加热规范

钢 的 牌 号	锻造问题 (℃)		预 热		加 热	
	始锻	终锻	温度 (℃)	保温时间 (min/mm)	温度 ⁺²⁰ -10 (℃)	保温时间 (min/mm)
0Cr13, 1Cr13, 2Cr13 3Cr13, 4Cr13	1150	850	750	0.6~0.8	1170	0.3~0.8
9Cr18	1100	880	750	0.6~0.8	1120	0.3~ 0.18
Cr17Ni2	1150	900	750	0.6~0.8	1170	0.3~ 0.8
2Cr13Ni2	1150	900	750	0.6~0.8	1170	0.3~ 0.8
0Cr18Ni9, 1Cr18Ni9 2Cr18Ni9, Cr23Ni18 1Cr18Ni9Ti	1160	850	直径大于 100mm. 预热 800℃	0.6~0.8	1180	0.5~ 1.0
1Cr21Ni5Ti	1160	850	750	0.6~0.8	1180	0.4~ 0.8
3Cr13Ni7Si2 2Cr13Ni4Mn9	1160	900	750	0.6~0.8	1180	0.3~ 0.8
4Cr14Ni14W2Mo	1130	900	750	0.6~0.8	1150	0.3~ 0.8

续表

钢的牌号	锻造问题 (°C)		预 热		加 热	
	始锻	终锻	温度 (°C)	保温时间 (min/mm)	温度 ⁺²⁰ -10 (°C)	保温时间 (min/mm)
1Cr11Ni2W2MoV	1150	900	800	0.6~0.8	1170	0.3~ 0.8
1Cr12Ni2WMoVNB 2Cr12Ni2W2MoVNB	1150	900	750	0.6~0.8	1170	0.3~ 0.8
1Cr19Ni11Si4AlTi	1160	900	750	0.6~0.8	1180	0.3~ 0.8
1Cr14Ni3W2V8	1130	900	750	0.6~0.8	1150	0.3~ 0.8
2Cr18Ni8W2	1100	900	750	0.6~0.8	1120	0.3~ 0.8
Cr18Mn8Ni5	1100	850	750	0.6~0.8	1120	0.3~ 0.8
0Cr17Ni4Cu4Nb	1140	900	750	0.6~0.8	1160	0.3~ 0.8
0Cr17Ni7Al	1130	950	750	0.6~0.8	1150	0.3~ 0.8

综上所述,对不锈钢锻件来说,压力加工工艺安排不仅要考虑塑性变形的良好成形性和工艺性,更重要的是通过合理的压力加工变形和后续处理工序获得细小弥散的碳化物质点(而不是沿晶界分布)。

3. 铝合金锻造

铝合金的锻造有其本身的工艺特点，介绍如下：

(1) 坯料准备：供锻造用的铝合金原材料有铸锭、轧制毛坯和挤压毛坯。大多数铝合金锻件都是以挤压毛坯作为原材料。

铸锭用于制造自由锻件和各向异性比较小的模锻件。对于大型模锻件的坯料，当挤压棒材的尺寸不够时，都采用铸锭经锻造后的锻坯作坯料。锻前铸锭表面要进行机械加工，使其粗糙度低于 Ra12.5，并作均匀化退火处理，以改善塑性。

铝合金的轧制毛坯，具有纤维状的宏观组织。常用来轧制厚度小于 100mm 的板坯和条坯，制造壁板类锻件和大批生产的小型薄锻件。轧制厚板下料困难，下料过程中金属损耗大。轧制毛坯较挤制的和锻制的毛坯具有较好的表面、较均匀的组织 and 力学性能。因此在用棒材制成大型重要锻件和模锻件时，最好采用轧制棒材，其次是挤制的，而最后是锻制的。

铝合金的挤制毛坯各向异性大，而且表皮有粗晶环、成层、表皮气泡等缺陷，因此模锻前必须清除这些表皮缺陷。挤压棒材作为长轴类锻件的原材料很合适。

对于铝合金，锯床、车床或铣床下料是常用的下料方法，剪床下料用得很少，个别情况下采用加热后锤上剁切。

(2) 锻前加热：加热铝合金毛坯，因锻造温度范围很窄，最好采用带有隔热屏的加热元件，空气强制循环及温度自动控制的箱式电阻炉。其优点是能够保证任何温度规范并易于自动调整。目前，我国铝合金毛坯多用铁铬铝丝电阻炉加热，炉子装有精度在 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 范围内的自动控制仪表。为测量温度，在加热区距毛坯 100~150mm 处安装有热电偶。

装炉前，毛坯要除去油污及其他污物，炉内不得保留有钢毛坯，以免铝屑和氧化铁屑混在一起容易产生爆炸。装炉时毛坯不得与加热元件接触，以免短路和碰坏加热元件。炉内毛坯放置离开炉门 250~300mm，以保证加热均匀。在毛坯和电阻丝之间加放钢板，预防毛坯在加热过程中过烧。

铝合金导热性良好，任何厚度的毛坯均不需要预热，可直接在高温炉内加热，要求毛坯加热到锻造温度的上限。为保证强化相的充分溶解，其加热时间仍比一般钢的加热时间长。挤压、轧制坯料加热到始锻温度后是否需要保温，以在锻造和模锻时不出现裂纹为准，而对于铸锭则必须保温。

没有电炉时，可以使用煤气炉和油炉，但不允许火焰直接接触坯料，以防过烧。燃料的含硫量要低，以免高温下硫渗入晶界。常见的铝合金锻造温度范围见表 2-52 和表 2-53。

表 2-52 铝合金的锻造温度范围

合 金	温度范围(℃)	合 金	温度范围(℃)
L1, L2, L3	470 ~ 380	LD5(铸造状态)	450 ~ 350
LF2	510 ~ 380	LD5(变形状态)	500 ~ 350
LF21	510 ~ 380	LD8	480 ~ 350
LF3	475 ~ 380	LD10(铸造状态)	450 ~ 350
LY2	450 ~ 350	LD10(变形状态)	450 ~ 350
LY11	500 ~ 380	LC4(铸造状态)	430 ~ 350
LY12	460 ~ 380	LC4(变形状态)	430 ~ 350
LD2	500 ~ 380	LC5(铸造状态)	425 ~ 350
LD7	475 ~ 380	LC5(变形状态)	425 ~ 350

表 2 53 铝合金锻造和模锻温度范围、允许的变形程度、变形速度

合 金	锻造和模锻温度范围 (°C)		变形速度(m/s) 及采用的设备	允许的变形程度(%)	
	开始	终结		锻锤	压力机
LF21、LF2 LD2、LD5、LD6	470-420	350	8-0.3 锻锤,压力机	LF21和 LF2 80 或更高 铸造的 40-50 变形的 50-65	
LY11、LD10 LY2	470-440	400	0.3,压力机	铸造的 40	>50 达 80
	450-420	380	8,锻锤	变形的 50-70	达 80
LD9、LD8 LD7、LD5、LD6	470-420	350	8-0.3	50-60	60 以上
	430-400	320	锻锤,压力机		
LC3、LC4 LC6、LC5	430-400	350	0.3,压力机	铸造的 30-40	40-50
	400-370	320	8,锻锤	变形的 50-60	80

(3) 锻造:

①变形速度和变形程度:变形速度对大多数铝合金工艺塑性没有太大的影响,只是个别高合金化的铝合金在高速变形时,塑性才显著下降。此外,当由低变形速度过渡到高变形速度时,变形抗力随着合金的合金化程度不同,大约增大 0.5~2 倍。因此,铝合金既可在低的又可在高的加工速度下进行压力加工。但是为了增大允许的变形程度和提高生产效率,降低变形抗力和改善合金充填模具型腔的流动性,选用压力机来锻造和模锻铝合金比锤要好些。对于大型铝合金锻件和模锻件尤为如此。

铝合金在高速锤上锻造时,由于变形速度很大,内摩擦很大,热效应也大,使合金在锻造时的温升比较明显,温升约 100°C。因此,

铝合金的始锻温度应加以调整。锻前毛坯的加热温度宜取一般规定的始锻温度下限。另外，由于铝合金的外摩擦系数大，流动性差，若变形速度太快，容易使锻件产生起皮、折叠和晶粒结构不均匀等缺陷，对于低塑性的高强度铝合金还容易引起锻件开裂。所以铝合金最适宜于在低速压力机上锻造。

铝合金的临界变形程度为 12% ~ 15%，为避免形成粗晶，终锻温度下的变形程度应控制在小于或等于 12% ~ 15%。铝合金锻件最易于产生大晶粒，除了临界变形原因外，模具表面粗糙，变形剧烈不均匀，终锻温度低，淬火温度高，时间长等都会导致产生大晶粒。

②锻件、锻模设计和工艺操作特点：对于铝合金锻件在选取分模面时，除了与钢锻件在选取分模面所考虑的因素相同外，特别还要考虑到变形均匀和流线的分布。若分模面选取不合理，容易使锻件的流线紊乱，切除毛边后流线末端外露，而且铝合金锻件更容易在分模面处产生穿流、穿肋裂纹等缺陷，从而降低其疲劳强度和抗应力腐蚀能力。在可能允许的条件下应尽量加大圆角半径。铝合金锻件的圆角半径一般比钢锻件大。为了防止铝合金锻件切边后在分模线上产生裂纹，其锻模的毛边槽桥部高度和圆角半径要比钢锻件锻模大 30%。

铝合金不适宜采用滚压和拔长模膛。因为在滚压和拔长制坯中，易使毛坯内部产生裂纹。一般多采用单模膛锻模。特别对形状复杂的锻件，更要采用多套模具，多次模锻，使简单形状的毛坯逐步过渡到复杂形状的锻件，这样易使金属流动均匀，充填容易，纤维连续。

由于铝合金的粘附力大，流动性差，要求对模具工作表面进行仔细抛光，磨痕的方向最好顺着金属的流动方向，模具工作表面粗糙度达到 Ra1.6 以上。

为了减少模具工作表面的表层热应力，有利于金属的流动和充满模膛，确保终锻温度，模具在工作前必须进行预热，预热温度为 250 ~ 400℃。

锤上模锻时，由于铝合金棒材表面有粗晶环，塑性差，锻造时容易产生裂纹，因此在操作过程中，开始应先轻击几下，打碎表面粗晶环，提高金属的塑性，然后逐渐重击，使金属充满模膛。

③切边、冷却和热处理：除超硬铝外，铝合金锻件都是在冷态下用切边模切边的。对于大型模锻件，通常是用带锯切割毛边的。连皮用冲头冲掉或用机械加工切除。

对于合金化程度较高的铝合金，模锻后长时间不切去毛边是不行的。因为可能因时效而析出强化相，在切边时于剪切处出现断裂。

铝合金锻件锻后一般在空气中冷却。但为了及时切除毛边，也可在水中冷却。

铝合金锻件退火工序一般用于数道压力加工工序之间或用于在退火状态下供应的锻件。退火的目的是为了消除锻件中遗留的加工硬化和内应力，提高合金的塑性或便于机械加工。

铝合金锻件主要采用高温退火（又称再结晶退火）和完全退火。目前逐步采用快速退火工艺代替老的高温退火工艺。对于热处理强化的铝合金锻件，应采用完全退火工艺。

(4) 模锻时的润滑：由于铝合金粘附力大，流动性差。模锻铝合金时，模具必须润滑。常用的润滑剂有人造蜡、掺石墨的油、动物脂、38号或24号汽缸油、2号或3号锭子油等。

润滑剂的配比可根据生产实际情况自行控制，一般对小件或形状复杂件，容易产生折叠的锻件，可按80%~90%锭子油+20%~10%石墨，对于大件或形状简单的铸件可按70%~80%汽缸油+30%~20%石墨。

根据国外资料介绍，下列几种润滑剂配方是铝合金模锻效果较好的润滑剂。

- 8%~25% Pb3O4 + 10% 石墨 + 10% 滑石粉 + 72%~55% 汽缸油。
- 石墨与亚硫酸废纸浆以1:3的比例混合成的润滑剂。
- 15% 石墨 + 20% 果胶 + 65% 水或 15% 石墨 + 15% 果胶 + 70% 水组成的润滑剂。

- 86.7% 工业硬脂酸 + 13.3% 工业苛性钠组成的润滑剂。

用于热锻的润滑剂也适用于铝合金的温锻。对于铝合金的冷锻，可用植物油，动物脂等作为润滑剂。

必须指出，含有石墨的润滑剂，对于模锻铝镁合金有严重的缺点，其残留物不容易去除，嵌在锻件表面的石墨粒子可能引起污点，麻坑和腐蚀，因此，锻后必须进行表面治理。

4. 铜合金锻造

(1) 坯料的准备：铜合金锻造用的原材料主要有铸锭和挤压棒材两种。

铸锭作为大型锻件的坯料之用，铸锭于锻前要进行均匀化退火，以改善塑性，铸锭表面若有缺陷，应打磨干净或表面经扒表后再进行锻造。铸锭若作为模锻毛坯，经适当制坯后可直接进行模锻。

挤压棒材适用于中小型模锻件或自由锻件。为了消除挤压棒材内部的残余应力、防止裂纹的产生，挤压变形后的棒材，必须及时进行退火。

铜合金多用圆盘锯下料，对产品质量要求高的铜合金毛坯，可直接在车床上下料，端面倒角，可消除表面缺陷。

(2) 锻前加热：铜合金最好采用电加热，也可以用火焰炉加热。在电阻炉内加热铜合金时用热电偶控制炉温是比较准确的，而在火焰炉内加热时，炉温测量误差较大。

铜合金因导热性好，可以把冷坯料直接在最高炉温时装入，并进行一定时间的保温。炉温比始锻温度高 50~100℃（火焰炉）或高 30~50℃（电炉）。对常用的一些铜合金加热时间如表 2-54。

表 2-54 铜和铜合金的加热时间

合 金 牌 号	加热时间(min/mm)
T1、T2、T3、T4、H 96、H 90、H 85、H 80、HSn90-1、QCr0.5、QSi1-3、QCd1	0.4

续表

合 金 牌 号	加热时间(min/mm)
H170, H 68, H 62, HAl 77-2, HAl 60-2-1, HAl 59-3-2, HPb59-1, HPb60-1, HSn70-1, HSn62-1, HSn60-1, HMn58-2, HFe59-1-1, QSn4-3, QSn4-3, QAl5, QAl7, QMn5, QPc2, QPc2.5	0.6
HNi65-5, HSi80-3, HSi65-5, HSi65 1.5-3, H59, QSn6.5-0.4, QSn6.5-0.1, QAl9 2, QAl9 4, QAl10-3-1.5, QAl10-4-4, QSi3-1	0.7

注：①加热时间从合金加热到始锻温度后开始计算。

②表中数据为第一火加热所需时间，以后各火则为第一火加热时间的一半。

③炉温应比合金始锻温度高 30~100℃。

(3) 锻造：

①变形温度：铜合金的始锻温度较钢低，锻造温度范围比碳钢窄得多。见表 2-55，在中温有脆性区存在。因此，要采取措施防止锻造时坯料的热量过多损失。锻造铜合金时要求把凡是变形所需的工、模具先预热到较高温度。自由锻时，将操作工具预热到 200~250℃，操作时动作要快，坯料在砧面上要经常翻转，这样，可避免坯料过多的热量损失，使在一火内有较长的操作时间。模锻前，锻模先预热到 150~300℃，并尽量减少铜合金在模具内的停留时间。

对铜合金锻造终锻温度控制要比碳素结构钢严。这是因为不少铜合金在终锻温度以下很快进入脆性区，所以坯料温度降低到 650℃左

右时，应立即停止锻造，否则锻造时易开裂。从另一方面来说，若终锻温度过高就会引起晶粒长大，而对铜合金晶粒长大后又不能像碳钢那样能通过热处理细化晶粒，所以在应用表 2-55 来选择锻造变形温度时也要根据不同的变形条件，具体选用不同的数值。表 2-56 是国外资料：介绍的是同一种铜合金在不同变形条件下，变形温度是不一样的。

表 2-55 铜及铜合金的锻造温度范围

合 金	锻造温度 范围(℃)	合 金	锻造温度 范围(℃)
T1、T2、T3、T4	900~650	HSn62-1	820~650
H190	900~700	HMn58-2	800~650
H80	830~700	HF e59-1-1	800~650
H70	832~700	HAl77-2	760~670
H68	820~650	HAl60-1-1	750~650
H62	820~650	HAl59-3-2	730~650
H59	820~650	HSi80-3	800~700
HPb60-1	800~650	HSi65-1.5-3	780~650
HPb59-1	730~650	HNi65-5	840~650
HSn60-1	820~650	QA15	830~700
QA17	840~700	QSn7-0.2	780~700
QA19-2	900~700	QSn6.5-0.4	740~650
QA19-4	900~700	QSn6.5-0.1	790~660
QA10-3-1.5	850~700	QMn3-1	800~630
QA10-4-4	900~750	QCd1	850~650
QSi1-3	880~700	QCr0.5	870~670
QSi3-1	800~630	QBe2	800~600

表 2-56 铜合金热变形温度

合金	温度(°C)		合金	温度(°C)	
	锻造、模锻	挤压		锻造、模锻	挤压
铜			黄铜		
T2, T3, T4	800-950	775-925	H62, S9-1	640-780	640-780
黄铜			青铜		
H96	700-850	830-880	QA15	750-900	830-880
H90	800-900	820-900	QA17	760-900	850-900
H80, H85, H70	—	820-870	QA19-2	800-960	750-850
H68	700-850	750-830	QA19-4	750-900	700-850
H62		650-850	QA10-3-1.5		700-850
HAl 77-2	—	700-830	QA10-4-4	800-900	830-880
HAl 60-1-1	700-750	700-750	QB2	650-800	720-660
HAl 59-3-2			700-750	QB2.5	720-800
HN65-5	650-850	750-850	QS 3-1	600-780	850-900
HFe 59-1-1	650-820	650-750	QS 1-3	800-910	750-800
HMn58-2	600-750	625-700	QSn 4-0-2.5	800-920	680-770
HMn57-3-1	600-730		QSn 6.5-0.4		750-825
HSn90-1	850-900	850-900	CK7-0.5	800-920	850-950
HSn70-1	650-750	650-750	ESn 15-20		750-825
HSn62-1	680-750	700-750	HFe 28-2.5-1.5		
HSn60-1	700-820	780-820			

②变形程度和变形速度：为了避免粗大晶粒，要求铜合金锻造时每次变形量大于临界变形量，即大于10%~5%。多数铜合金对于变形程度并不敏感，可在压力机或锤上进行锻造，但在压力机上锻造为宜。含铅量较高的铅黄铜对变形速度很敏感，当进行静拉伸和动拉伸变形时，塑性有明显不同，这类合金应在压力机上锻造。锡磷青铜和锰青铜锻造时，热效应现象较显著，若变形速度过快，容易产生过热，甚至于产生过烧。

③锻件、模具设计和工艺操作特点：铜合金模锻件及锻模设计原

则与钢锻件相同。只是，由于铜合金与模具之间的摩擦系数较小，故模锻斜度比钢锻件小。由于锻造温度范围窄，导热性好，一般不采用多模膛模锻，由于流动性好，也较少采用预锻模膛。对于形状复杂的锻件，可经自由锻制坯后，再模锻成型。模膛表面粗糙度一般为 $Ra1.60 \sim 0.40$ 。

铜合金非常适宜于挤压成型。

对于含铅量较高的铅黄铜模锻件，若变形程度较大和变形速度较快，热效应显著，使合金的温度升高，引起合金中低熔点杂质的熔化，破坏了晶间联系。为此，在设计锻件和拟订锻造工艺规范时，应根据具体条件，合理确定变形程度和变形温度。

由于铜合金对内应力比碳钢敏感，若不消除会在使用时自行开裂，这就要求锻件上各处的变形温度和变形量比较一致。所以在锻造时锤击应轻而快，一次锤击量不宜过大，当坯料经过一定程度的变形后，可适当加大变形量。

在锻造长轴类锻件时，操作时要经常反复调头锻造，在一火中使各段的变形温度相近。这样全相组织均匀，力学性能较一致。

由于铜合金比较软，坯料拔长时压出的台阶棱角比钢料拔长时尖锐，若压下量过大，在下次锤击时容易在台阶处形成折叠，所以拔长时送进量与压下量之比应比钢料拔长时稍大。

铜合金锻造时易形成折迭，所以模锻前的制坯工序在转角处圆角半径应做得比钢料锻件适当大些。另外，一旦折迭产生，需要以后清除，将造成较多的金属消耗，所以在选定加工余量和计算用料时应比钢料锻件适当放大。

④冷却和切边：铜合金锻造后，通常在空气中冷却。铜合金锻件一般在室温下切边，只有遇到下列情况时，才需要热切边：

- 室温下塑性很低的铜合金锻件，如含铅量较高的 $QA19$ 、 $QA110-4-4$ 等铅青铜它们在室温下塑性低，强度高，冷切边时会在切边处撕裂锻件。生产实践表明，即使是小尺寸的铅青铜锻件，也不得在冷态下切边。

- 大尺寸的锻件，热切边温度通常为 420°C 左右。

(4) 模锻时的润滑：模具润滑剂通常采用胶状石墨与水或油的混合液。挤压铜合金用的润滑剂有两种：豆油磷脂+滑石粉+38号汽缸油+石墨粉（微量）；机油（95%）+石墨粉（5%）。冷挤压铜合金用的润滑剂有：工业豆油、菜油、蓖麻油、粉状硬脂酸锌。

(5) 清理和热处理：铜合金锻件锻后的清理方法主要是酸洗，小型锻有时也采用吹砂处理。锻件的酸洗工艺如表2-57所示。

含硅量高的铜合金锻件，表面可能生成氧化硅，这种氧化层要用氢氟酸才能去除。

含镍最高的铜合金锻件，最好在控制气氛中加热，以减少表面氧化皮的生成，表面微量的氧化皮可用酸洗黄铜的溶液清除掉。如果锻件表面氧化皮较厚，则很难用上述酸洗方法去除氧化皮，因为氧化镍在这类溶液中的溶解度不大。

黄铜锻件的热处理方式有低温去应力退火和再结晶退火两种。低温去应力退火主要用于冷变形制品。其目的是为了消除工件的内应力，防止工件发生应力腐蚀开裂和切削加工中的变形，并保证一定的机械性能。低温退火方法是在260~300℃的温度下，保温1~2h，然后空冷。再结晶退火的目的是消除加工硬化，并得到较均匀的组织。黄铜的再结晶温度约在300~400℃之间，常用的退火温度为600~700℃。

对于 α 黄铜，因退火过程中不发生相变，所以退火的冷却方式对合金的性能影响不大，可以在空气或水中冷却。对于 $(\alpha+\beta)$ 黄铜，因退火加热时发生 $\alpha-\beta$ 相变，冷却时又发生 $\beta-\alpha$ 相变，冷却愈快，析出的 α 相愈细，合金的硬度有所提高。若要求改善合金的切削加工性能，可用较快的冷却速度；若要求合金有较好的塑性，则应缓慢冷却。

青铜锻后的热处理方式也是退火。但对于能热处理强化（淬火、时效）的铍青铜及硅镍青铜等合金，一般不进行退火处理。

表 2-57 铜及铜合金锻件酸洗工艺

酸洗工序	溶液成分	溶液温度 ($^{\circ}\text{C}$)	浸蚀时间 (min)	附 注
除油	NaOH 或 KOH 密度 3.2 或 2.12, 纯度 $\geq 95\%$ 或 88%, 浓度 50~70 (g/L)	60~80	一般为 3~5, 具体的停留时间要根据锻件表面油污程度而定	锻件表面若无油污, 可不必进行除油处理
洗涤	水 洗	室温流水	1~2	
		热水 50~60		
酸洗	① HNO_3 : 比重 1.53, 纯度 $\geq 96\%$ 浓度 200~300 (g/L)	室温	1~3	浸洗时间长短要根据锻件表面实际情况而定
	② 容积的 4%~15% H_2SO_4 + 余量 H_2O 容积的 40%~90% HCl + 余量 H_2O	20~60 20	0.5~5 1~2	去除氧化皮

续表

酸洗工序	溶液成分	溶液温度 ($^{\circ}\text{C}$)	侵蚀时间 (min)	附注
酸洗	10% NaOH + 余量 H_2O (按质量) 水洗 重复	室温	2~6	消除铝青铜 锻件表层的氧化膜
洗涤	水洗	室温	洗涤时间自定	洗净锻件表面上的残液
光亮处理	铬酐 (CrO_3) 30 - 50 (g/L) (密度 2.7) 纯度 $\geq 98\%$ 硫酸 2~3 (g/L) (比重 1.84, 纯度 $\geq 92\%$)	室温	一般为 2~5 (s) 按实际情况而定	
洗涤	热水漂洗	60~80	3~5	
干燥	用干燥的压缩空气吹干			
检验	锻件表面应洁净有光泽, 不应有过腐蚀, 但允许有黑色斑点存在			

①适用于一般铜合金锻件的酸洗。 ②适用于铜及黄铜锻件的酸洗。

第三章 锤上模锻

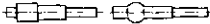
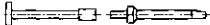
锤上模锻主要采用双作用有砧座蒸汽-空气模锻锤（简称模锻锤），其落下部分质量为 1 - 16t，可进行多模膛模锻，由于其冲击力大，易于充满模膛，故模锻的工艺适应性较好，加上模锻锤结构简单、价格低、无过载损坏的危险等优点，是应用最广的一种模锻设备。

一、自由锻锤上胎模锻

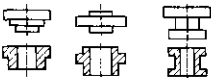



1. 胎模锻件及胎模分类

胎模锻较模锻工艺灵活多样，几乎可锻出所有类别的锻件。根据锻件的批量、形状和大小、生产条件等因素可选用不同的胎模锻工艺及胎模类型。为了便于胎模锻的工艺分析、胎模设计，将胎模锻件分成五大类十一小类（表 3-1），将胎模分成七类（表 3-2）。

表 3-1 胎模锻件分类表

分 类		形状特征及简图	锻件举例
圆轴类	旋转体长轴类	 由多个直径相差不大的台阶组成，也包括一些断面平滑变化的锻件	主轴、传动轴、齿轮轴变速杆
	法兰轴	 由直径较大、长度较小的法兰（头部）和直径较小的轴（杆）组成	汽门、半轴、法兰轴

续表

分 类		形状特征及简图	锻件举例
圆盘类	旋转体短轴类	 <p>由法兰和凸台组成。可分为无孔和有孔两组,依法兰位置分为端面法兰、中间法兰和双面法兰</p>	法兰盘、压盖、联轴器、倒档内轮
		 <p>由较明显的轮毂、轮辐、轮缘组成。分有孔和无孔;低齿、高齿和薄辐齿轮</p>	变速齿轮、锥齿轮、薄辐齿轮
		 <p>具有较深的盲孔类锻件,分为有杆和无杆两类</p>	套、壳体、阀体
圆环类	空心圆柱旋转体	 <p>圆柱形通孔件。按锻件壁厚和高度的比值,可分为扁平环和套</p>	垫圈、内圈、轴承环套筒

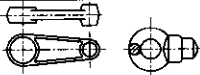

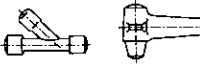
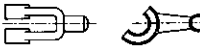
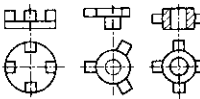
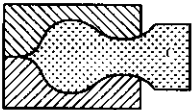
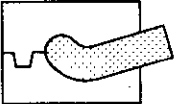
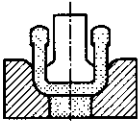
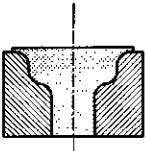
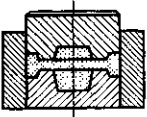
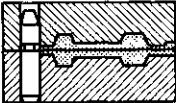
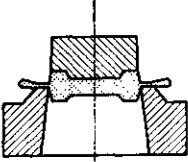
分 类		形状特征及简图	锻件举例
长 杆 类	非旋转体 长轴类	 <p>直杆</p> <p>直长轴线锻件</p>	杠杆、拉杆、吊环
		 <p>弯杆</p> <p>弯曲轴线锻件</p>	曲轴、吊钩、轴承盖
		 <p>枝杆</p> <p>枝芽轴线锻件</p>	枝杆、阀体
		 <p>叉杆</p> <p>具有明显叉头及叉杆类锻件</p>	叉形接头、叉杆、拨叉等
多 枝 类	非旋转体短轴类	 <p>锻件平面投影近似圆形或方形，在水平或垂直方向有枝芽</p>	多通道阀体、十字轴

表 3-2 胎模分类表

名称	简图	特点及应用
棒子		<p>由上下棒组成,锻打过程中锻件不断绕轴线旋转,不产生飞边,生产率低</p> <p>主要用于圆轴、杆叉类锻件制坯或成形</p>
扣模		<p>由上、下扣(或仅有下扣)组成。扣形时锻件不翻转,一般不产生飞边,生产率低</p> <p>常用于杆、叉类锻件制坯或成形</p>
弯曲模		<p>由上、下模组成,操作时锻件不翻转,用于弯杆类锻件制坯或成形</p>
垫模		<p>只有下模,在锻件上端面形成小飞边,属开式小飞边模锻,生产率高</p> <p>用于法兰轴和圆盘类锻件的成形</p>

续表

名称	简图	特点及应用
套模		<p>一般由模套、模冲、模垫组成。属闭式无飞边模锻，但有纵向毛刺</p> <p>用于法兰轴、圆盘类锻件成形</p>
合模		<p>由上、下模和导向装置组成，属开式有飞边模锻，工艺通用性强，生产率高</p> <p>可用于各类锻件的成形，主要用于杆叉类复杂件的成形</p>
冲切模		<p>由冲头、凹模、定位部分组成</p> <p>用于切边、冲连皮、冲切成形锻件局部轮廓形状</p>

2. 胎模锻件图的设计

(1) 锻件分模面的选定：胎模锻件分模面的定义、种类和选择原则等与模锻件的相同。在确定合模锻件分模结构时，可参阅模锻件的有关要求。同一锻件在同一工序中可选取不同的分模位置，如图 3-1 所示。

胎模和套模成型的锻件分模面一般取在端面上，但根据零件的形

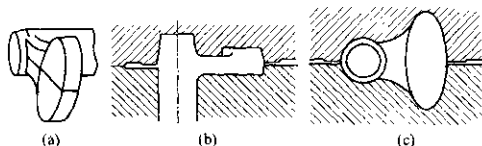


图 3-1 同一锻件的不同的分模位置

(a) 锻件 (b) 锻模分模 (c) 合模锻分模

状特点，也可选用多向分模，如锻件侧壁有内凹的锻件，如图 3-2 所示。

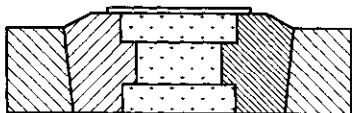


图 3-2 双向分模的锻件

(2) 机加工余量和公差；胎模锻件机加工余量和公差值见表 3-3、表 3-4、表 3-5。本表

①适用于含碳量不超过 0.9% 的碳钢和合金含量不超过 4.0% 的合金钢。

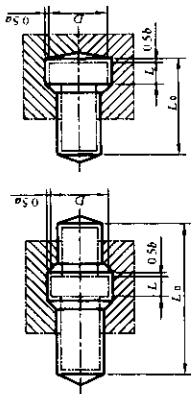
②适用于零件表面粗糙度为 $Ra3.2 \sim 2.5\mu\text{m}$ 的胎模锻件。

③适用于锻件在胎模内成形的部分，而在胎模外成形部分按 JB4249—86《锤上钢质自由锻件机械加工余量与公差》的规定。

④本表规定的公差值为双面余量，若锻件为单面加工则余量取表列数值之半，其公差值不变。

⑤锻件的形位公差，在无特殊要求的情况下，均包括在尺寸公差范围内。

表 3-3 棒端成形类 (JB4250-86) (mm)

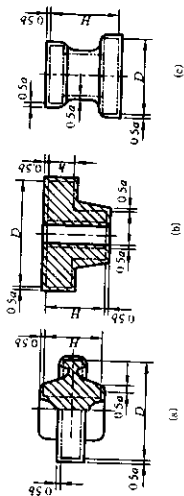


成形部分零件长度 L

成形部分 零件直径 D	成形部分零件长度 L					
	大于 0	30	50	80	120	160
至	30	50	80	120	160	
余量 a、b 及极限偏差						
大于	a	b	a	b	a	b
0	3.0±1.0	3.5±1.0	4.0±1.0	4.5±1.5	5.0±2.0	5.5±2.0
30	3.5±1.0	4.0±1.0	4.5±1.5	5.0±2.0	5.0±2.0	5.0±2.0
50	—	4.5±1.5	5.0±2.0	5.5±2.0	6.0±2.0	6.5±2.0
80	—	—	5.5±2.0	6.0±2.0	6.5±2.0	7.0±2.0
120	—	—	—	—	—	—
160	—	—	—	—	—	—

表 3-4 垫模、套模成形类 (JB4250-86)

(mm)



注: 图 (b)、(c) 中的尺寸 D 表示直径或边长。

套模、毡模成型胎模锻件机械加工余量与公差

续表

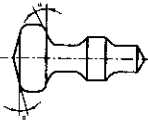
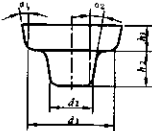
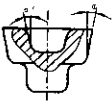
零件最大高度 H		零件最大截面尺寸 D								
		0		100		160				
至		100		160		200				
余量 a, b, c 与极限偏差										
大于	至	a	b	c	a	b	c			
50	100	$4.0^{+1.5}$ -1.0	$3.5^{+2.0}$ -1.0	$6.0^{+2.0}$ -1.5	$4.5^{+1.5}$ -1.0	$4.0^{+2.0}$ -1.0	$7.0^{+2.0}$ -1.5	$5.0^{+2.0}$ -1.0	$4.5^{+2.0}$ -1.0	$7.5^{+2.5}$ -1.5
100	160	$4.5^{+1.5}$ -1.0	$4.0^{+2.0}$ -1.0	$7.0^{+2.0}$ -1.5	$5.0^{+2.0}$ -1.0	$4.5^{+2.0}$ -1.0	$7.5^{+2.5}$ -1.5	$5.5^{+2.0}$ -1.0	$5.0^{+2.5}$ -1.0	$8.5^{+3.0}$ -2.0
160	200	$5.0^{+2.0}$ -1.0	$4.5^{+2.0}$ -1.0	$7.5^{+2.5}$ -1.5	$5.5^{+2.0}$ -1.0	$5.0^{+2.5}$ -1.0	$8.5^{+3.0}$ -2.0	$6.0^{+2.0}$ -1.5	$5.5^{+3.0}$ -1.5	$9.0^{+3.0}$ -2.0
200	250	—	—	—	$6.0^{+2.0}$ -1.5	$5.5^{+3.0}$ -1.5	$9.0^{+3.0}$ -2.0	$6.5^{+2.0}$ -1.5	$6.0^{+3.0}$ -1.5	$10.0^{+3.5}$ -2.5
250	315	—	—	—	—	—	—	$7.0^{+2.0}$ -1.5	$6.5^{+3.0}$ -1.5	$10.5^{+3.5}$ -1.5
315	400	—	—	—	—	—	—	—	—	—
零件最大截面尺寸 D										
200		250		315		400				
250		315		400		—				

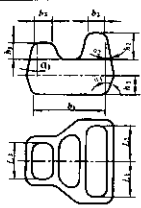
续表

零件最大高度 H		零件最大截面尺寸 D								
		大于 200	250	315	400	大于 250	315			
		余量 a, b, c 与极限偏差								
		a	b	c	a	b	c	a	b	c
大于	至 50	$5.5^{+2.0}_{-1.0}$	$5.0^{+2.5}_{-1.0}$	$8.5^{+3.0}_{-2.0}$	—	—	—	—	—	—
50	100	$6.0^{+2.0}_{-1.5}$	$5.5^{+3.0}_{-1.5}$	$9.0^{+3.0}_{-2.0}$	$7.0^{+2.0}_{-1.5}$	$6.5^{+3.0}_{-1.5}$	$10.5^{+3.5}_{-2.5}$	—	—	—
100	160	$6.5^{+2.0}_{-1.5}$	$6.0^{+3.0}_{-1.5}$	$10.0^{+3.5}_{-2.5}$	$7.5^{+2.5}_{-1.5}$	$7.0^{+3.5}_{-1.5}$	$11.5^{+4.0}_{-2.5}$	$8.5^{+3.0}_{-2.0}$	$8.0^{+4.0}_{-2.0}$	$13.0^{+4.5}_{-3.0}$
160	200	$7.0^{+2.0}_{-1.5}$	$6.5^{+3.0}_{-1.5}$	$10.5^{+3.5}_{-2.5}$	$8.0^{+3.0}_{-2.0}$	$7.5^{+4.0}_{-2.0}$	$12.0^{+4.5}_{-3.0}$	$9.0^{+3.0}_{-2.0}$	$8.5^{+4.5}_{-2.0}$	$13.5^{+4.5}_{-3.0}$
200	250	$7.5^{+2.5}_{-1.5}$	$7.0^{+3.5}_{-1.5}$	$11.5^{+4.0}_{-2.5}$	$8.5^{+3.0}_{-2.0}$	$8.0^{+4.0}_{-2.0}$	$13.0^{+4.5}_{-3.0}$	$9.5^{+3.0}_{-2.0}$	$9.0^{+4.5}_{-2.0}$	$14.5^{+4.5}_{-3.0}$
250	315	$8.5^{+3.0}_{-2.0}$	$8.0^{+4.0}_{-2.0}$	$13.0^{+4.5}_{-3.0}$	$9.5^{+3.0}_{-2.0}$	$9.0^{+4.5}_{-2.0}$	$14.5^{+4.5}_{-3.0}$	$10.5^{+3.5}_{-2.5}$	$10.0^{+5.0}_{-2.5}$	$16.0^{+5.5}_{-4.0}$
315	400	—	—	—	$10.0^{+3.5}_{-2.5}$	$9.5^{+5.0}_{-2.0}$	$15.0^{+5.5}_{-2.5}$	$11.0^{+3.5}_{-2.5}$	$10.5^{+5.5}_{-2.5}$	$16.5^{+5.5}_{-4.0}$

(3) 模锻斜度：胎模锻件的模锻斜度设计与其形状、添加斜度部位的高宽比和胎模的类型有关，见表 3-6。但靠翻转顶出的胎模锻件的模锻斜度可按有顶出机构取值（类似热模锻压机、平锻机等）。

表 3-6 胎模锻件模锻斜度

胎模类型	锻件简图	模锻斜度								
<p>摔模</p>		<p>同合模，一般 α 不小于 7°，α' 不小于 10°</p>								
<p>套模</p>	<p>开式（垫模）</p> 	<p>①靠翻转模具，用垫环顶出锻件部分的斜度：</p> <table border="1" data-bbox="519 700 860 767"> <tr> <td>α_1</td> <td>$0^\circ, 30', 1^\circ, 1^\circ 30'$</td> </tr> <tr> <td>$\alpha_2$</td> <td>$1^\circ, 1^\circ 30', 2^\circ, 3^\circ$</td> </tr> </table> <p>②不用垫环顶出锻件的斜度：</p> <table border="1" data-bbox="519 848 798 915"> <tr> <td>α_1</td> <td>$5^\circ, 7^\circ, 10^\circ$</td> </tr> <tr> <td>$\alpha_2$</td> <td>$7^\circ, 10^\circ$</td> </tr> </table>	α_1	$0^\circ, 30', 1^\circ, 1^\circ 30'$	α_2	$1^\circ, 1^\circ 30', 2^\circ, 3^\circ$	α_1	$5^\circ, 7^\circ, 10^\circ$	α_2	$7^\circ, 10^\circ$
α_1	$0^\circ, 30', 1^\circ, 1^\circ 30'$									
α_2	$1^\circ, 1^\circ 30', 2^\circ, 3^\circ$									
α_1	$5^\circ, 7^\circ, 10^\circ$									
α_2	$7^\circ, 10^\circ$									
	<p>闭式（套模）</p> 	<p>外壁斜度 α 与开式的相同 内壁斜度 α' 与合模的相同</p>								

胎模类型	锻件简图	模锻斜度															
合模		外壁斜度 α <table border="1" data-bbox="497 282 911 443"> <thead> <tr> <th>h/b</th> <th>< 1</th> <th>$1 \sim 3$</th> <th>$3 \sim 4.5$</th> <th>$4.5 \sim 6.5$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>L/b</td> <td>< 1.5</td> <td>5°</td> <td>7°</td> <td>10°</td> </tr> <tr> <td></td> <td>> 1.5</td> <td>3°</td> <td>5°</td> <td>7°</td> </tr> </tbody> </table> <p>内壁斜度应较相应部位的外壁斜度增大一级</p>	h/b	< 1	$1 \sim 3$	$3 \sim 4.5$	$4.5 \sim 6.5$	L/b	< 1.5	5°	7°	10°		> 1.5	3°	5°	7°
		h/b	< 1	$1 \sim 3$	$3 \sim 4.5$	$4.5 \sim 6.5$											
L/b	< 1.5	5°	7°	10°													
	> 1.5	3°	5°	7°													

(4) 圆角半径：胎模锻件圆角半径可参照模锻件选定，按不同胎模的特殊要求适当加大其圆，以便金属在该胎模内流动，避免出现折叠等缺陷。

(5) 冲孔连皮及压凹：胎模锻件的孔径大于 30mm 时，可在锻件上设计带有连皮的孔，然后再用冲孔模冲掉。如孔径大于 100mm，一般都经自由锻冲孔，然后再用胎模锻造，所以内孔没有冲孔连皮。

冲孔连皮一般采用平底连皮和端面连皮两种。如图 3-3 所示。

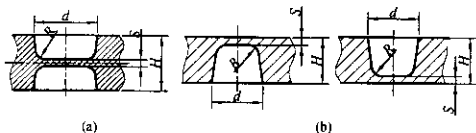


图 3-3 胎模锻连皮形式
(a) 平底连皮 (b) 端面连皮

连皮尺寸见表 3-7。

对于盲孔采用压凹，其形式如图 3-4 所示三种。但孔径小于 30mm 时不压凹。

表 3-7 冲孔连皮尺寸 (mm)

H	≤25		>25~50		>50~75		>75~100	
	S	R	S	R	S	R	S	R
连皮尺寸	S	R	S	R	S	R	S	R
d								
≤50	3	$\frac{4}{5}$	4	$\frac{6}{8}$	5	$\frac{8}{12}$	6	$\frac{14}{16}$
>50~70	4	$\frac{5}{8}$	5	$\frac{8}{10}$	6	$\frac{10}{14}$	7	$\frac{16}{18}$
>70~100	5	$\frac{6}{8}$	6	$\frac{10}{12}$	7	$\frac{12}{16}$	8	$\frac{18}{20}$

注：表中 R 值中，上面数值属平底连皮，下面数值属端面连皮。

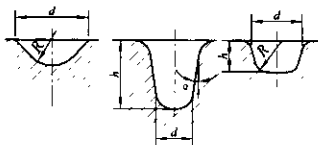


图 3-4 胎模锻件的压凹形式

3. 胎模锻的工艺设计

胎模锻是介于自由锻和模锻间的一种锻造方法，除了大量采用自由锻的基本工步、辅助工步、修整工步和模锻基本工步外，还有一些


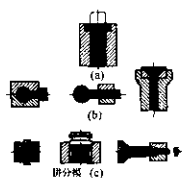
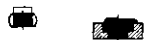


特有的工步。自由锻、模锻和胎模锻的基本工步的比较见表3-8。

胎模锻的绝大部分工步即可用于制坯，也可用于最终成形。通常一个特定的胎模锻件的成形，需要将单个工步灵活有机地组合起来。由于胎模锻件的种类不同，其工步选择及组合的复杂程度也不同。各类锻件常用胎模锻变形工艺可见表3-9。

表3-8 胎模锻和自由锻、模锻工步比较



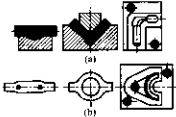

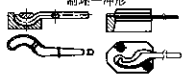
序号	胎模锻	自由锻	模锻
1	镦粗(镦粗、局部镦粗)	镦粗(镦粗、局部镦粗)	镦粗、压扁
2	拔长(拔长、芯轴拔长)	拔长(拔长、芯轴拔长)	拔长
3	棒形		滚挤
4	扣形(扣形、卡形)		成形、压肩
5	冲孔	冲孔	
6	扩孔(冲头扩孔、芯轴扩孔)	扩孔	
7	弯曲	弯曲	弯曲
8	翻边(内翻边、外翻边)		
9	剁切(剁切、剁形)	剁切	切断
10	劈形		
11	挤压(镦挤、冲挤、翻挤、拉挤、劈挤)		
12	焖形		终锻、予锻
13	冲切(切边、冲形)		切边、冲连皮
14		错移	
15		扭转	
16		锻焊	

表 3-9 各类锻件常用胎模锻变形工艺

锻件类别	变形工艺简图	说明
台阶轴	<p style="text-align: center;">棒形拔长</p> 	<p>胎模轻便, 所需设备能力小; 台阶同心度及锻件平直度不易保证, 生产率低, 适用于长度较大的多阶轴 (如主轴) 及截面平滑变化的杆轴 (如变速杆)</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl;">圆轴类</p> <p style="text-align: center;">法兰轴</p>	<p style="text-align: center;">局部镦粗—棒形拔长</p>  <p style="text-align: center;">拼分模 (c)</p>	<p>头部镦粗长径比不大于 2, 锻件总长不大于 500mm 时, 采用直径等于杆部的坯料直接局部镦粗 (见分图 a); 当不能直接镦粗时, 一般采用直径接近头部的坯料先棒形拔长再局部镦粗 (见分图 b), 此时头部与杆部垂直度好, 生产率高, 但胎模笨重; 也可采用直径近于头部的坯料先局部镦粗后棒形拔长方案 (见分图 c), 胎模轻便, 锻件长度不受限制; 但法兰与轴垂直度差, 校正费工</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl;">圆盘类</p> <p style="text-align: center;">法兰</p>	<p style="text-align: center;">镦挤</p>  <p style="text-align: center;">局部镦粗</p>  <p style="text-align: center;">拼分模</p> <p style="text-align: center;">冲挤</p>  <p style="text-align: center;">冲活动头</p>	<p>法兰部分镦粗成形, 凸台部分挤压成形, 适用于中小型宽缘矮台法兰</p> <p>坯料直接 (或拔长后) 局部镦粗, 适用于窄缘高台法兰及双面法兰</p> <p>模内固定 (或活动) 冲头冲挤镦粗, 适用于中小型窄缘厚壁有孔法兰</p>

续表

零件类别	变形工艺简图	说明
法兰	拉挤	坯料预锻后拉挤孔壁，微粗法兰；所需设备能量小，操作技术要求高；适用于大中型宽缘薄壁（尤其是斜壁）有孔法兰。
	外翻边	预锻筒坯，然后将筒壁翻边为法兰，适用于窄缘薄壁大孔法兰。
圆盘类	套模锻形	坯料预锻或以其他方式制坯后，套模无飞边锻形；节约金属，高度方向公差大；适用于中小型扁薄齿轮。
	辗压	采用小型压扁工具，多次局部辗压成形；工具简单，大大降低所需设备能力，但锻件精度差生产率低；适用于大中型薄辐齿轮。
杯筒	冲挤	模内冲挤制孔；适用于厚壁小孔杯筒。
	拉翻	制坯后将法兰拉翻为筒壁，A为拉翻附加余料。适用于薄壁大孔杯筒。

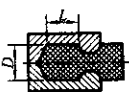
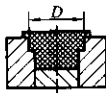

锻件类别	变形工艺简图	说明
圆环类	<p style="text-align: center;">冲切</p> 	<p>成形后冲切制孔、孔壁光洁，生产率高，冲切芯料较大；适用于扁平环（如挡圈）</p>
		<p>冲孔扩孔后模内整形，不但提高扩孔效率、锻件尺寸精度，并可获得直径相差不大的台阶内（外）径环套（如锥齿轮）</p>
杆叉类	<p style="text-align: center;">制坯—制形—切边</p> 	<p>根据锻件截面及轴线形状采用拔长、摔形、扣形、弯曲、制形、冲孔、偏置等制坯工序，然后在合模内整体（或局部）制形；适用于各类锻件（如拉杆、连杆、吊钩、阀体、拨叉等）</p>
	<p style="text-align: center;">制坯—弯曲</p> 	<p>制坯后模内弯曲成形；适用于截面变化平缓、弯曲角度较大的弯杆（如连杆盖、吊环）</p>
	<p style="text-align: center;">制坯—冲形</p> 	<p>制坯后模内冲形；适用于外形复杂扁平弯杆（如钩头扳手）</p>

4. 胎模锻设备能力的选用

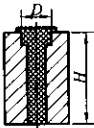


设备能力的选用即要考虑胎模成形方法和胎模类型，又要兼顾车间设备能力的实际情况，尽可能充分地利用现有设备的能力，均衡设备负荷，做到一锤多用。

胎模锻设备能力的选择见表 3-10。

表 3-10 各类空气锤胎模锻设备能力

成形方法	锻件尺寸 (mm)	空气锤落下部分质量 (kg)				
		250	400	560	750	1000
 <p>冲模</p>	$D \times L$	60×80	80×90	90×120	100×150	120×180
 <p>砂模</p>	D	120	140	160	180	220
 <p>跳模</p>	D	65	75	85	100	120

续表

成形方法	锻件尺寸 (mm)	空气锤落下部分质量 (kg)				
		250	400	560	750	1000
 <p>顶墩垫模</p>	$D \times H$	65 × 250	100 × 320	120 × 380	140 × 450	160 × 500
 <p>套模</p>	D	80	130	155	175	200
 <p>台模</p>	D	60	75	90	110	130

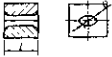

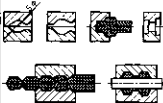

注：①表中锻件尺寸系指一火成形（或坯制后一火焖形）时的上限尺寸；若增加火次，锻件尺寸可以增大或选用较小锻锤。

②捧模 L 受砧宽限制；顶墩垫模 H 受锤头有效打击行程限制。




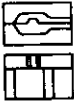
5. 胎模锻模具设计

胎模锻生产中经常使用的胎模有捧模、扣模、垫模、套模、台模及冲切模等，各种模具结构见表 3-11。



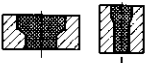

表 3-11 胎模锻分类及常用胎模结构

分类及 工艺特点	名称	结构简图	结构特点	主要用途
	光棒		$\frac{l}{B} = 1.5 - 3.0$	用于成形、 抛光
棒模 成形时，不断旋转工件，不产生毛边和纵向毛刺，主要用于旋转体锻件成形及制坯。	卡棒		$\frac{l}{B} < 0.5$	用于卡槽
	型棒		模膛形状及尺寸视聚集金属的多少及形状而定	用于整料、 成形
	校正棒		模膛形状及尺寸与锻件校正部分一致	用于长轴类 锻件的校正和 整形


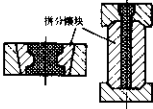
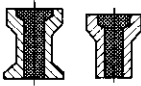


续表

分类及 工艺特点	名称	结构简图	结构特点	主要用途
扣模 成形时锻件 不旋转,扣 形与用砧面 平面锻件侧 面交替进行, 用于非旋转 体锻件制坯、 成形	单扇扣模		只有下模, 上模为平砧	适用于顶面 为平面的锻件 扣形
	双扇扣模 (对称)		由上下模 组成	适用于上下 对称的锻件扣 形
	前导锁扣模		由上下模 及前导锁组 成	适用于有较 大水平错移力 的锻件扣形
	侧导锁扣模		由上下模 及侧导锁组 成	适用于有较 大水平错移力 的锻件扣形


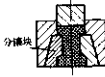
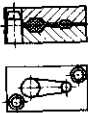
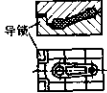
续表

分类及 工艺特点	名称	结构简图	结构特点	主要用途
扣模 成形时锻件不旋转,扣形与用砧面平整锻件侧面交替进行,用于非旋转体锻件制坯、成形	前导板扣模		由上下模及焊接式前导板组成	适用于有较大大水平错移力的锻件扣形
	侧导板扣模		由上下模及焊接式侧导板组成	适用于有较大大水平错移力的锻件扣形
平模 模具仅有下模,锻件上端而靠平砧面成形,成形终了锻件有小毛边,出模时胎模需翻转180°,主要用于圆盘类锻件制坯及成形	普通胎模		只有下模,下模为平砧,结构简单,制造方便	用于锻造齿轮、法兰等顶面为平面的饼类锻件
	带垫胎模		由下模及下模垫组成	更换不同高度的下模垫,可锻造不同高度凸台的锻件

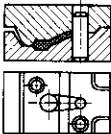
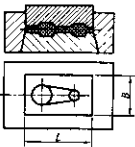


续表

分类及 工艺特点	名称	结构简图	结构特点	主要用途
垫模 模具仅有下模, 锻件上端向靠平砧面成形。成形終了锻件有小毛边。出模时胎模需翻转 180° , 主要用于圆盘类锻件制坏及成形	跳模		为整体式不通孔块模, 模锻斜度大于 3° , 模膛粗糙度小	用于锻造凸台高度不大的饼类锻件
	拼分垫模		由模套及拼分锻块组成	用于锻造带有内凹的锻件, 如双联齿轮等
	局部顶锻垫模		可制成整体式、焊接式或拼分式	用于长轴类锻件的局部顶锻
套模 模具由模套、冲头和下垫组成; 成形終了会形成纵向毛	上活动模垫套模		由上模垫和外套组成, 取件时需翻模 180°	用于锻造形状较简单的法兰齿轮类锻件
	上下活动模垫套模		由上、下模垫和外套组成, 取件时不需翻模	用于锻造形状较简单的法兰齿轮类锻件



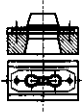


续表

分类及 工艺特点	名称	结构简图	结构特点	主要用途
柄: 出模时, 胎模翻转 180° 或不翻转; 主要用下圆环类锻件成形	活动冲头套模		冲头活动, 更换方便	常用于环套、有孔法兰类锻件的冲挤成形
	拼分模垫套模		下模垫由两半模组成, 可锻造侧壁具有内凹的锻件	常用于双联齿轮、双凸缘法兰类锻件的锻造
合模	导销式合模		由上下模及导销组成, 结构简单, 加工方便	为通用的合模结构, 多用于水平分模锻件的锻造
	导销式合模		导销强度高, 可承受较大的水平错移力	多用于精度要求较高的水平分模或水平落差不大的弯曲分模锻件的锻造

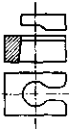
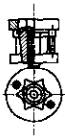
续表

分类及 工艺特点	名称	结构简图	结构特点	主要用途
合模 模具由上、下模及导向装置组成。成形终了时在分模面上产生横向飞边，需切边。主要用于杆类锻件。	导销—导锁式合模		变形开始阶段由导销导向，终了阶段由导锁导向。	多用于水平落差较大且精度要求高的锻件的锻造。
导框式合模	导框式合模		由上下模及导框组成，导框导向。	主要用于锻造形状与尺寸相近，长宽比不大于2的锻件锻造。
冲切模	单体模		只有凹模，用锻件顶部传力完成切边。	
冲孔	冲孔		只有凸模（冲头），用锻件本身支承完成冲孔。	

续表

分类及 工艺特点	名称		结构简图	结构特点
<p>冲切模</p> <p>模具由冲头、凹模及定位、导向装置组成。用于零件的冲孔、切边、冲形或切断。</p>	简单模	切边		<p>由凸模和凹模组成，凸模由零件顶部形状定位。</p>
		冲孔		<p>由凸模和凹模组成，零件由凹模支承并定位。</p>
	带有定位板模	切边		<p>由凹模、凸模及定位板组成，凸模由定位板定位完成切边。</p>
		冲边		<p>由凹模、凸模及定位板组成，凸模由定位板定位完成冲孔。</p>
	复合模		<p>由凹模、凸模及上下冲子组成，在一次锤击中同时完成切边和冲孔。</p>	

续表

分类及 工艺特点	名称	结构简图	结构特点
	局部切边模		由凹模及凸模组成，可切除局部炯形时形成的局部飞边
	冲形模		相当于厚板冲裁模，可冲出各种孔形或外形的零件

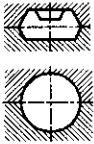
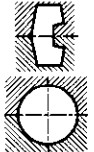


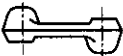
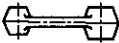
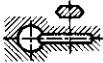

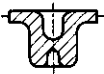

二、模锻锤上模锻

锤上模锻分为带飞边开式模锻与无飞边闭式模锻两类。无飞边闭式模锻受到坯料条件（要求坯料尺寸精确）限制，应用较少。目前广泛采用的是带飞边开式模锻。

1. 锻件图的设计

(1) 锻件分模面的选定：分模面的选定原则见表 3-12。

表 3-12 分模面的选定原则

选定分模面的原则	正确(合理)图例	不正确(不合理)图例
<p>保证锻件能从模腔中取出</p>		
<p>易检查上下模腔的相对错移</p>		
<p>为了简化模具制造(例如尽量选取平分模面)</p>		
<p>应考虑到坯料易充满模腔</p>		
<p>应考虑节约金属,便于模具加工及保证锻件外形一致</p>		

(2) 机加工余量的确定:

① 确定主要参数:

● 锻件质量: 锻件质量 G_1 根据锻件图的名义尺寸进行计算, 并可按此质量查表确定公差和余量。

● 锻件形状复杂系数: 锻件形状复杂系数 (S) 是锻件质量 (G_1) 与相应的锻件外轮廓包容体的质量 (G_2) 的比值。即:

$$S = \frac{G_1}{G_2}$$

圆形锻件外廓包容体 (如图 3-10 所示), 其质量为:

$$G_2 = \frac{\pi}{4} d^2 \times h \times \rho$$

式中 ρ ——密度 ($7.85\text{g}/\text{cm}^3$)。

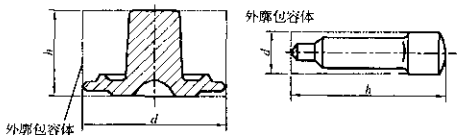


图 3-10 圆形锻件的外廓包容体

非圆形锻件的外廓包容体 (图 3-11), 其质量为:

$$G_2 = L \times b \times h \times \rho$$

锻件形状复杂系数分为四级:

简单: $S_1 > 0.63 \sim 1$

一般: $S_2 > 0.32 \sim 0.63$

较复杂: $S_3 > 0.16 \sim 0.32$

复杂: $S_4 \leq 0.16$

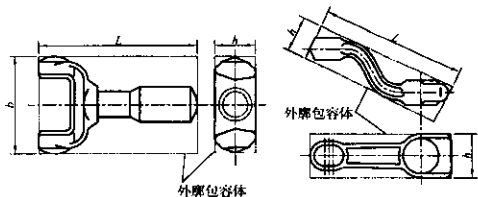


图 3-11 非圆形锻件的外廓包容体

特例：当锻件为薄形圆盘或法兰件（图 3-12）其圆盘厚度和直径之比 $L/d \leq 0.2$ 时，取形状复杂系数 S_a 。

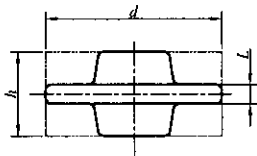


图 3-12 薄形圆盘件的外廓包容体

● 锻件的材质系数：锻件的材质系数分为两级：

M1：钢的含碳量小于 0.65% 的碳钢，或合金元素总含量小于 3.0% 的合金钢。

M2：钢的含碳量大于或等于 0.65% 的碳钢，或合金元素总含量大于或等于 3.0% 的合金钢。

● 零件的机械加工精度：零件表面粗糙度低于 $Ra1.6$ ，机械加

工余量从余量表查出；粗糙度高于 $Ra1.6$ ，机加工余量要适当加大；对扁薄截面或在锻件相邻部位截面变化较大的零件（图 3-13），在长度 L 范围内应适当加大局部的余量。

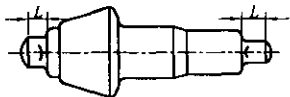


图 3-13 截面变化较大的零件

● 加热条件：采用煤气或油炉加热钢坯时，机加工余量和公差从余量表和公差表查得；当采用煤加热钢坯，或经二火进行加热时，适当增大加工余量和公差。

② 确定机加工余量：确定机加工余量时，根据锻件估算质量、形状复杂系数和零件的加工精度要求，由表 3-13、表 3-14 查得。

表 3-13 锻件内孔直径的单边机加工余量 (mm) (JB3834—85)

孔径 (mm)		孔 深 (mm)				
大 于	至	大于 0	63	100	140	200
		至 63	100	140	200	280
	25	2.0	—	—	—	—
25	40	2.0	2.6	—	—	—
40	63	2.0	2.6	3.0	—	—
63	100	2.5	3.0	3.0	4.0	—
100	160	2.6	3.0	3.4	4.0	4.6
160	250	3.0	3.0	3.4	4.0	4.6

(3) 锻件公差的确 定：锻件公差分为普通级和精密级。

①长度、宽度和高度公差：长度、宽度和高度公差是指在分模面一侧，同一块模具上，沿长度、宽度和高度方向的尺寸公差（图 3-14），由表 3-15、表 3-16 查得。当锻件形状复杂系数为 S_1 、 S_2 级，且长宽比小于 3.5 时，选用同一公差值，以简化工作量。

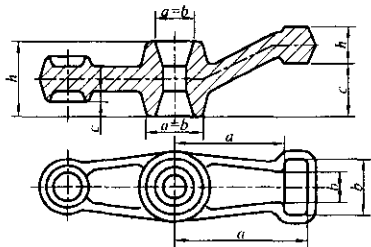


图 3-14 长度、宽度和高度尺寸

a 、长度方向尺寸 b 、宽度方向尺寸
 c 、高度方向尺寸 h 、跨越分模面的厚度尺寸

锻件公差，若属内表面尺寸 A （图 3-15），其上、下偏差按 $+2/3$ 和 $-1/3$ 的比例分配，若属外表面尺寸 B （图 3-16），其上、下偏差按 $+1/3$ 和 $-2/3$ 的比例分配。中心到边缘的尺寸 C （图 3-15）的公差按 $\pm 1/2$ 总公差分配。落差公差是高度公差的一种形式，公差值按 $\pm 1/2$ 比例分配，它应比一般高度公差放宽一档，标注在锻件图 \perp 。

②厚度公差：厚度公差是指跨越分模面的厚度尺寸的公差（图 3-14）。其公差可按锻件的最大厚度尺寸由表 3-17 或表 3-18 查得。

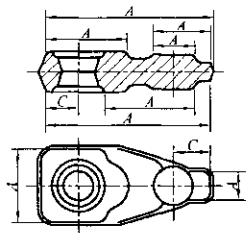


图 3-15 锻件尺寸

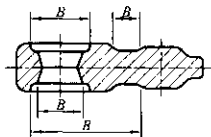


图 3-16 锻件内表面尺寸

④直线性与平面度公差：直线性公差是零件的理论中心线与实际中心线之间的允许偏差值（图 3-17），平面度公差是零件的理论平面与实际平面之间的允许偏差值（图 3-18），

锻件非加工表面的直线性公差由表 3-19 查得

锻件加工表面的直线性度和平面度公差由表 3-20 查得。

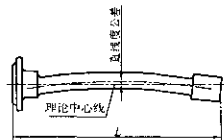


图 3-17 直线性公差

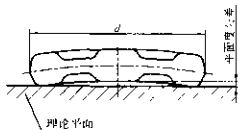


图 3-18 平面度公差

表 3-19 非加工表面直线度 (JB3834—85) (mm)

L		直线度 (不大于)	L		直线度 (不大于)
大于	至		大于	至	
0	120	0.7	400	630	1.8
120	250	1.1	630	1000	2.2
250	400	1.4	1000	—	0.22%

注：对中心线不是直线的锻件不采用本表数值，应当加大。

①中心距尺寸公差：中心距尺寸公差仅适用于平面直线分模，并在同一块模具内的中心距尺寸（图 3-19），其公差由表 3-21 查得；具有弯曲轴线的锻件（如图 3-20）不能采用此表。

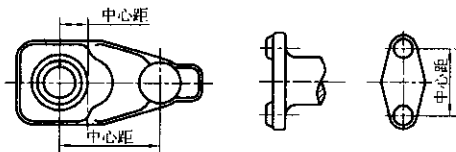


图 3-19 平面直线分模锻件中心距

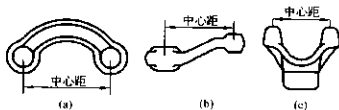


图 3-20 具有弯曲轴线锻件中心距

表 3-20 模锻件的直线度、平面度差 (加工表面) (JF3834-85)

锻件轮廓尺寸直线度、平面度公差 (mm)

轮廓尺寸	0		30		80		120		180		250		315		400		500		630		800		1000		1250		1600		2000		2500	
	大于	至																														
正火锻件 1																																
调质锻件 2																																
锻件精度	普通级	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.2																
	精密级	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	2.8	3.2														

注: ①对带有落差和弯曲的锻件, 直线度和平面度不能采用本表数值, 应适当放宽或由供需双方协商确定。

②精密级不适用平锻件。
例: 当锻件长度 240mm, 该零件是调质锻件时, 直线度和平面度普通级为 1.2mm, 精密级 0.8mm。

⑤原料杆压痕公差：具有顶料杆的模具，在锻件上产生一定深度和高度的顶料杆压痕是允许的。其公差由表 3-18 查得。

⑥残留横向飞边及切入锻件深度；纵向毛刺及冲孔变形量公差：在切边和冲孔后，锻件周边上允许存在少量的残留横向飞边及切入锻件深度；允许有纵向毛刺和冲孔凹陷变形。残留飞边公差由表 3-15、表 3-16 查得；切入锻件深度取横向残留飞边值之半。毛刺允许值和冲孔变形量由表 3-22 查得。

表 3-22 锻件切边冲孔纵向毛刺及局部变形公差 (JB3834—85)

锻件质量 (kg)	锻件纵向毛刺公差 (mm)		变形 c (mm)
	高度 a	宽度 b	
≤ 1	1.0	0.5	0.5
$> 1 \sim 5$	1.6	0.8	0.8
$> 5 \sim 30$	2.5	1.2	1.0
$> 30 \sim 55$	3.0	2.0	1.5
> 55	4.0	2.5	2.0

⑦剪切端变形公差：杆部剪切时，发生局部变形，其公差由表 3-23 查得。

表 3-23 剪切端变形公差 (JB3834—85) (mm)

名义尺寸	许可公差尺寸	
	H	L
d		
≤ 36	$0.07d$	$1.0d$
$> 36 \sim 70$	$0.05d$	$0.7d$
> 70	$0.04d$	$0.6d$
$B < 1.05d$		

⑧表面缺陷深度：对进行机械加工的表面，其最大深度不超过加工余量之半；对非机械加工的表面，其最大深度不超过最大厚度公差之三分之一。

(4) 模锻斜度的确定：锤上模锻的锻件外斜度 (α) 值根据锻件各部分的高度和宽度之比 H/B 及长度于宽度之比 L/B (图 3-21)，查表 3-24 确定。内斜度 (β) 比外斜度增大 2° 或 3° 。模锻斜度公差值由表 3-25 查得。

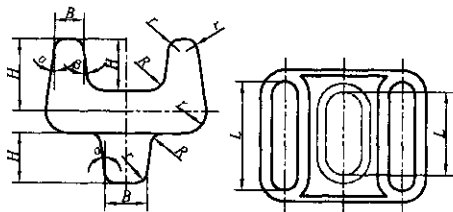


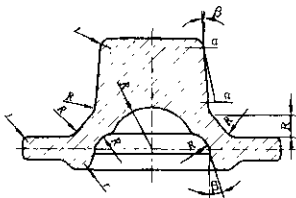
图 3-21 模锻斜度

表 3-24 锤上模锻件模锻斜度数值表 (JB3835—85)

$\frac{L}{B}$		$\frac{H}{B}$				
		≤ 1	$> 1-3$	$> 3-4.5$	$> 4.5-6.5$	> 6.5
≤ 1.5	α	5°	7°	10°	12°	15°
> 1.5		5°	5°	7°	10°	12°

表 3 25 模锻件内外圆角半径和模锻斜度公差 (JB3834—85)

锻件内外圆角半径公差				锻件模锻斜度公差				
公称尺寸 (mm)			+	-	锻件高度尺寸 (mm)		普通级	精密级
大于	至				大于	至		
	10	R	60%	30%	0	6	5°	3°
		r	40%	20%	6	10	4°	2°30'
10	50	R	50%	25%	10	18	3°	2°
		r	30%	15%	18	30	2°30'	1°31'
50	120	R	40%	20%	30	50	2°	1°15'
		r	25%	12%	50	80	1°30'	1°
120	180	R	30%	15%	80	120	1°15'	50'
		r	20%	10%	120	180	1°	40'
180		R	25%	15%	180	260	50'	30'
		r	20%	10%	260		40'	30'



- 注：①在测量模锻斜度公差时，其锻件高度尺寸应去掉 R 值，只测量到 α 点，在 R (r) 部分，按 R (r) 公差测量。
- ② r 、外圆角半径； R 、内圆角半径。
- ③本表适用于在热模锻压力机、模锻锤、平锻机及螺旋压力机上生产的模锻件。

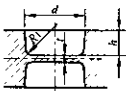
(5) 圆角半径的确定：外圆角半径 (r) 和内圆角半径 (R) 的数值根据锻件各部分的高度和宽度之比值 H/B 来确定 (图 3-21)。其值按表 3-26 所列公式来选取。圆角半径公差值一般不要求检查，由表 3-25 查得。

表 3-26 圆角半径计算表

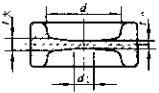
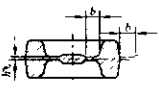
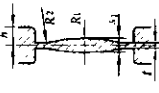
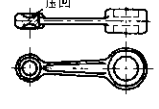
$\frac{H}{B}$	r	R
≤ 2	$0.05H + 0.5$	$2.5r + 0.5$
$> 2 - 4$	$0.06H + 0.5$	$3.0r + 0.5$
> 4	$0.07H + 0.5$	$3.5r + 0.5$

(6) 冲孔连皮：当锻件内孔直径 $d \geq 25\text{mm}$ ，冲孔深度 h 不大于冲头直径时要考虑冲孔，获得带透孔的锻件。若内孔直径 $d \leq 25\text{mm}$ 且高度较大的锻件，一般不冲孔，只在锻件上压出凹穴。冲孔连皮的结构形式和尺寸由表 3-27 确定。平底连皮厚度也可按图 3-22 确定。

表 3-27 冲孔连皮的形式及其尺寸

连皮名称	使用范围	连皮结构型式	连皮尺寸/mm
平底连皮	最为常用		$t = 0.45 \sqrt{d - 0.25h} + 0.6 \sqrt{hR} - R + 0.1h + 2$ 注：R——内圆角半径

续表

连皮名称	使用范围	连皮结构型式	许用尺寸/mm
斜底连皮	常用丁预锻模腔 ($d > 2.5h$ 或 $d > 60\text{mm}$)		$t_1 = 0.6\sqrt{d}$ $t_{\text{大}} = 1.35t$ $d_1 = (0.25 \sim 0.3) d$ t_1, t ——平底连皮的计算值
带仑连皮	用于预锻时采用斜底连皮的终锻模腔		厚度 t 和宽度 b 分别与飞边桥部 b 和桥部厚度 t 相同
拱底连皮	用于内孔很大高度很小的锻件 ($d > 15\text{mm}$)		$t = 0.4\sqrt{d}$ R_1 ——作图决定 $R_2 = 5h$
日凹	内孔小于 25mm 的锻件		

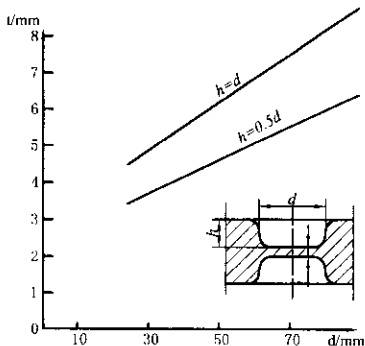


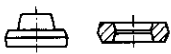
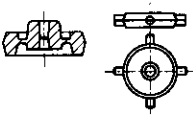
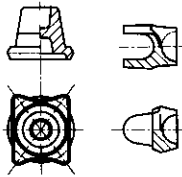
图 3-22 平底连皮厚度确定

(7) 技术要求：凡图上无法表示的均列入技术条件加以说明，其主要内容如下：

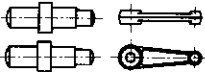


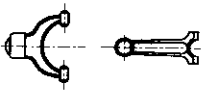
- ①未注模锻斜度；
- ②未注圆角半径；
- ③表面缺陷深度的允许值；
- ④分模面错差的允许值；
- ⑤残留横向飞边与切入深度的允许值；
- ⑥热处理方法及硬度值；
- ⑦表面清理方法及要求；
- ⑧其他要求：如探伤、纤维组织、力学性能、过热的脱碳、特殊标志等。

2. 模锻件的分类

表 3-28 锻件分类表

类别	组别	锻件图例	形状特征
圆饼类锻件	简单形状		
	较复杂形状		模锻件主轴线垂直于分模面, 在分模面上, 投影为圆形或长宽尺寸相差不大的锻件 属于这类锻件的有: 齿轮、盘、饼、环和十字接头等
	复杂形状		

续表

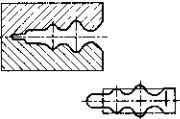
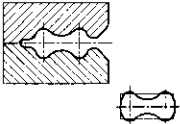
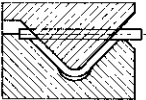
类别	组别	锻件图例	形状特征
	直长轴线		锻件主轴线在分模面上投影为直线, 沿主轴线各横截面是对称或近似对称分布。这组的典型锻件有: 轴、连杆、摇臂等。
长轴类锻件	弯曲轴线		锻件主轴线在分模面上投影为曲线或折线。属于这组的典型锻件有: 弯杆、弯管头等。
	枝芽类		锻件主轴线为直线或略有弯曲, 在主轴线一侧或两侧带有一个或数个枝芽的锻件。
	叉类		在主轴线一端带有叉形体, 另一端为长或短的杆部。

3. 模锻工步的确定

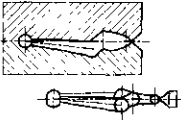
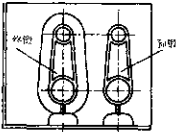
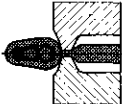
(1) 模锻工步的分类:

表 3-29 各种模锻工步及模膛的特点和作用

分类	工步及模膛名称	简 图	特点和作用
制坯工步或制坯模膛	墩粗		墩粗坯料，使坯料的高度减小，直径增大，用于饼类锻件的制坯，使坯料直径与锻件相接近，有利于锻件的成形，减少终锻锤击次数，提高模膛寿命，并能除去坯料侧表面上的氧化皮
	压扁		压扁坯料，使坯料变扁增宽，压扁后坯料的长度几乎不变。多用于外形扁宽的锻件制坯
	拔长		减少坯料局部横截面积，使坯料长度增加，从而使坯料的体积沿轴线重新分配。操作时坯料绕毛坯轴线作 90° 翻转并沿轴线向模膛进给

分类	上步及 模膛名称	简 图	特点和作用
制坯上步或制坯模膛	滚 压		<p>使坯料局部横截面增大，相邻部分减小，稍许增加坯料的长度。经过滚压后，坯料沿轴线准确分配体积，使表面光滑圆滑。操作时坯料绕轴线作90°翻转，不作进给</p>
	压 肩		<p>使坯料的局部截面略有增加，压下部分展宽。操作时坯料一般不翻转</p>
	弯 曲		<p>使坯料轴线弯曲，获得与锻件水平投影图形相近的形状，以适应轴线弯曲的锻件终锻成形要求</p>

续表

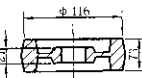
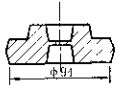
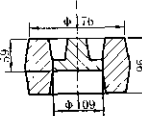
分类	工步及 模膛名称	简 图	特点和作用
模锻工步或模锻模膛	预 锻		<p>通过预锻获得与终锻接近的形状，以利锻件在终锻时的最终成形，能改善金属流动条件，有利终锻的充满，避免终锻产生折叠并提高终锻模膛寿命</p>
	终 锻		<p>通过终锻获得最终的锻件形状，所有的锻件都必须经过终锻。终锻模膛周围有飞边槽，用以容纳多余的金属</p>
切断工步或切断模膛	切 断		<p>在一根棒料上锻多个锻件时，利用切断模膛将锻件从棒料上分离</p>

(2) 圆饼类锻件制坯 1 步选择: 圆饼类锻件一般使用镦粗制坯, 形状较复杂的宜用成形镦粗制坯。不过特殊情况下, 也有用拔长、滚挤或打扁制坯的, 见表 3-30。

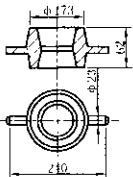
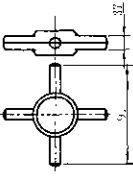
表 3-30 圆饼类锻件模锻工步实例

序号	锻件简图	变形工步	说 明
1		自由镦粗 终 锻	般齿轮锻件
2		自由镦粗 成形镦粗 终 锻	轮毂较高的法兰锻件
3		拔 终 长 镦	轮毂特高的法兰锻件

续表

序号	锻件简图	变形工步	说 明
4		坯料直接 终 锻	直径较大的套环锻件，不 便在锻模上安排镦粗台
5		滚打终切 挤扁锻断	对金属纤维方向无严格要求 的小型圆饼类锻件。逐件 模锻生产率高
6		自由镦粗 套 锻	适用于材料、件数均相同， 尺寸配合有利者

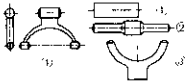
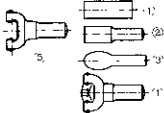
续表

序号	锻件简图	变形工步	说 明
7		自由锻粗 打终 扁 锻	平面接近圆形的锻件
8		自由锻粗 成终 形 锻	十字轴锻件

(3) 长轴类锻件制坯工步的选择：长轴类锻件的模锻工步由拔长、滚挤、卡压、弯曲、成型等制坯工步，以及预锻、终锻和切断工步所组成，见表 3-31。拔长、滚挤、卡压三种制坯工步，可以用经验计算法，即以“计算毛坯”为基础，参照经验图表资料确定。

表 3-31 长轴类锻件模锻工步实例

形状组别	锻件简图	变形工步	工艺特征说明
直长轴类件		①毛坯 ②拔长 ③滚挤 ④(预锻)终锻	这是较简单的一类锻件，一般需用拔长、滚挤、卡压、成形制坯等。如头、杆截面相差不大可无需制坯；形状复杂可加预锻
弯曲轴类件		①毛坯 ②拔长 ③弯曲 ④滚挤 ⑤终锻	若在锻造时锻件弯曲轴线方向与打击方向垂直，则应增加弯曲工步，坯料弯曲后再进入模锻模膛成形
枝芽类件		①毛坯 ②拔长 ③成型 ④预锻 ⑤终锻	锻件带有枝芽时，除了采用拔长、滚挤外，还应考虑枝芽大小及位置，若枝芽在分模面上，还要用成型制坯或不对称滚压工步，迫使金属流向枝芽一边

形状组别	锻件简图	变形工步	工艺特征说明
叉类锻件		①毛坯 ②拔长 ③弯曲 ④终锻	带尾柄的叉形锻件，除了需拔长、滚挤制坯工步外，还要看尾柄长短。 由于叉口大，尾柄短，则作为弯曲件看待，需增加弯曲工步
		①毛坯 ②拔长 ③滚挤 ④预锻 ⑤终锻	由于叉口大，尾柄较长，除按直轴件制坯外，为了压出叉部，还应增加起劈料作用的预锻工步

计算毛坯是长轴类锻件选择制坯工步、设计制坯模膛和确定坯料尺寸的主要依据，一般根据冷锻件图作计算毛坯，其长度等于锻件长度，而各断面面积等于相应的锻件断面面积与飞边断面面积之和：

$$A_{ij} = A_{锻} + A_{飞}$$

式中 A_{ij} ——计算毛坯任一处断面面积；

$A_{锻}$ ——锻件相应处的断面面积；

$A_{飞}$ ——飞边相应处的断面面积；

$$A_{飞} = 2\eta A_K$$

η 为充满系数，形状简单的锻件取 0.3~0.5，形状复杂的取 0.5~0.8，两端面一般取 1； A_K 为飞边槽单边断面面积（见表 3-37）。

计算毛坯任一处的直径用 d_{ij} 表示:

$$d_{ij} = 1.13 \sqrt{A_{ij}}$$

可用长度尺寸 h_{ij} 代表计算毛坯任一处的断面积 A_{ij} ,

$$h_{ij} = A_{ij} / M$$

式中 M ——绘图比例系数, $[M]$ 为 mm^2/mm , 通常取 20 ~ 50 mm^2/mm

对锻件的典型断面用坐标纸绘出计算毛坯直径图和计算毛坯截面图 (图 3-23), 由计算毛坯截面图可求出计算毛坯的体积:

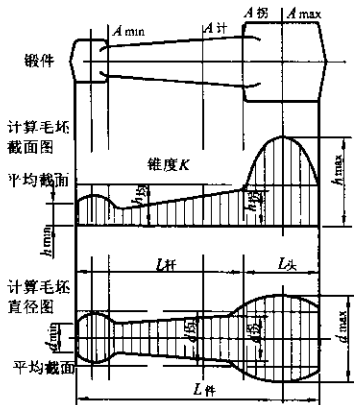


图 3-23 计算毛坯图

$$V_{\text{计}} = MS_{\text{计}}$$

式中 $V_{\text{计}}$ ——计算毛坯的体积；

M ——绘图比例系数；

$S_{\text{计}}$ ——计算毛坯截面图曲线下的面积。

计算毛坯平均直径为：

$$d_{\text{均}} = 1.13 \sqrt{A_{\text{均}}}$$

式中 $A_{\text{均}}$ ——计算毛坯截面图的平均截面积， $A_{\text{均}} = V_{\text{计}} / L_{\text{件}}$ ；

$L_{\text{件}}$ ——锻件长度。

凡是 $d_{\text{头}} > d_{\text{均}}$ 的部分，称为计算毛坯头部， $d_{\text{头}} < d_{\text{均}}$ 的部分称为杆部。

此类锻件制坯工步的选择，取决于下列四个参数：

金属流入头部的系数： $\alpha = \frac{d_{\text{max}}}{d_{\text{均}}}$

金属轴向流动系数： $\beta = \frac{L_{\text{件}}}{d_{\text{均}}}$

杆部锥度： $K = \frac{d_{\text{均}} - d_{\text{min}}}{L_{\text{杆}}}$

锻件质量： m

式中 d_{max} ——计算毛坯的最大直径；

d_{min} ——计算毛坯的最小直径；

$d_{\text{均}}$ ——杆部与头部过渡处的假想直径，把计算毛坯杆部的体积转换成一个截锥体，该截锥体的长度为 $L_{\text{杆}}$ ，小端直径为 d_{min} ，大端直径即为 $d_{\text{均}}$ ，根据截锥体公式可求出：

$$d_{\text{均}} = \sqrt{3.82 \frac{V_{\text{杆}}}{L_{\text{杆}}} - 0.75d_{\text{min}}^2 + 0.5d_{\text{min}}^2}$$

已知上述四个参数，查经验图表（图 3-24），即可确定制坯初步方案。

(4) 模锻方法的选择：合理选择模锻方法可以提高模锻生产率，

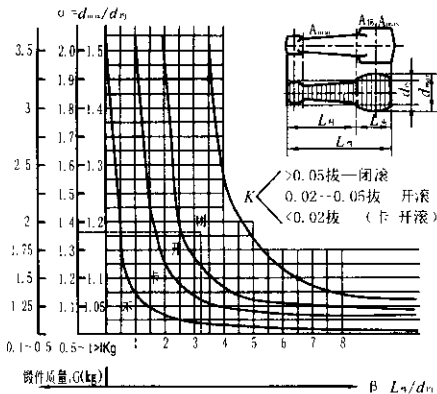
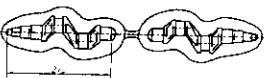
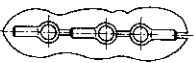


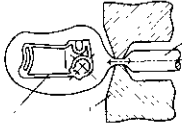
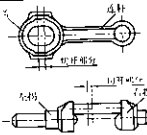
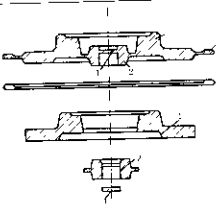
图3-24 轴类锻件制坯工步的选择图

- 不需—不需制坯工步；
- 卡—需卡片制坯；
- 开—需开式滚挤制坯；
- 闭—需闭式滚挤制坯；
- 拔—需拔长制坯；
- 拔—(卡、开)—需拔长或拔长+下压或拔长+开式滚挤制坯；
- 拔—开滚—需拔长+开式滚挤制坯；
- 拔—闭滚—需拔长+闭式滚挤制坯

简化模锻工步和降低材料消耗，几种模锻方法见表3-32。选择可参照图3-25。

表 3-32 模锻方法比较

模锻方法	适用范围及操作方法	实例简图
单件模锻	<p>多数锻件都采用单件模锻,尤其是较大的锻件,即一个坯料只锻一个锻件</p>	
调头模锻	<p>调头模锻是指用可供两个锻件用的坯料,整个加热,锻成第一个锻件后,180°调头,用钳子夹住第一个锻件再锻另一个锻件。毛坯质量在6~7kg以下,坯料长度不超过300mm</p>	
一模多件	<p>在同一模块上一次模锻数个锻件,适用于质量在0.5kg以下、长度不超过80mm的锻件,同时模锻的件数一般为2~3件</p>	

模锻方法	适用范围及操作方法	实例简图
一火多件	<p>一火多件是用一根加热好的棒料连续锻几个锻件。每锻完一个锻件，用切刀将锻件从棒料上分离下来</p>	 <p>1. 棒料 2. 锻件 3. 切断模膛</p>
合锻	<p>将两个不同的锻件组合在一起同时锻造，然后再分开的锻造方法</p>	
套锻	<p>大锻件的内孔连皮用来生产小锻件，可节省金属，同时模锻出两个锻件，提高了生产率</p>	 <p>1. 大锻件 2. 小锻件 3. 飞边 4. 连皮</p>

4. 坯料尺寸的确定

(1) 长轴类锻件的坯料尺寸：这类锻件的坯料尺寸与计算毛坯截面积和制坯工步有关，坯料截面积计算见表 3-33。确定 $A_{\text{坯}}$ 后，应按标准规格选择原材料（圆料或方料），便可计算出实际坯料的截面积 $A_{\text{坯}}$ ，然后确定下料长度：

$$L_{\text{坯}} = \frac{V_{\text{坯}}}{A_{\text{坯}}} + l_{\text{钳}}$$

式中 $l_{\text{钳}}$ ——火钳料头长度；

$V_{\text{坯}}$ ——坯料体积，由下式确定：

$$V_{\text{坯}} = (V_{\text{件}} + V_{\text{飞}}) (1 + \delta)$$

式中 $V_{\text{件}}$ ——锻件体积；

$V_{\text{飞}}$ ——飞边加冲孔连皮的体积；

δ ——火耗率，由表 3-34 查得。

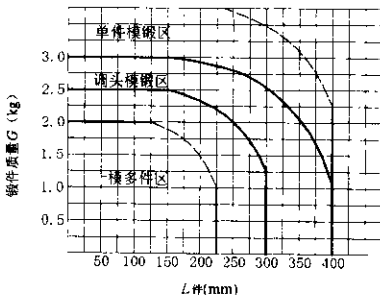


图 3-25 模锻方法选择图

表 3-33 锤上制坯的坯料截面面积计算

制坯工步	坯料截面积	符号说明
无制坯工步	$A'_{\text{坯}} = (1.02 \sim 1.05) A_{\text{均}}$	$A_{\text{均}}$ —计算毛坯截面图上的平均截面积
压扁或成形	$A'_{\text{坯}} = (1.03 \sim 1.3) A_{\text{均}}$	
滚压	$A'_{\text{坯}} = A_{\text{滚}} - (1.05 \sim 1.2) A_{\text{均}}$	$V_{\text{头}}$ —计算毛坯头部的体积
拔长	$A'_{\text{坯}} - A_{\text{拔}} = V_{\text{头}} / L_{\text{头}}$	$L_{\text{头}}$ —计算毛坯头部的长度
拔长+滚压	$A'_{\text{坯}} - A_{\text{拔}} = K (A_{\text{拔}} - A_{\text{滚}})$	K —计算毛坯直径图杆部的锥度

表 3-34 火耗率 δ

加热方法	$\delta \times 100$	加热方法	$\delta \%$
室式油炉	3~3.5	电阻炉	1.5~1.0
连续式油炉	2.5~3.0	高频加热炉	1.0~0.5
室式煤气炉	2.5~3.0	接触电加热	1.0~0.5
连续式煤气炉	2.0~2.5	室式煤炉	3.5~4.0

注：两火加热时 δ 应再乘以 1.5~2 的系数。

(2) 圆饼类锻件的坯料尺寸：

$$d'_{\text{坯}} = 1.08 \sqrt[3]{\frac{V_{\text{坯}}}{n}}$$

$$V_{\text{坯}} = (V_{\text{件}} + V_{\text{尾}})(1 + \delta)$$

式中 n —坯料高度与直径之比，一般取 $n = 1.8 \sim 2.2$ 。

求出 $d'_{\text{坯}}$ 后按标准规格选 $d_{\text{坯}}$ ，从而得到 $A_{\text{坯}}$ ，最后求出下料长度：

$$L_{\text{坯}} = \frac{V_{\text{坯}}}{A_{\text{坯}}}$$

5. 设备吨位的确定

生产上多用从经验中总结出来的经验公式进行快速的运算确定吨位。更为简易的办法是，以参照相似锻件的经验直接判断所需锻锤吨位。经验公式法如下：

双作用锤： $m = (3.5 \sim 6.3) KA$

单作用锤： $m_1 = (1.5 \sim 1.8)m$

无砧座锤： $E = (20 \sim 25)m$

式中 m 、 m_1 ——锤落下部分质量， $[m]$ 、 $[m_1]$ 为 kg ；

E ——无砧座锤的能量， $[E]$ 为 J ；

A ——锻件和飞边（按仓部的 50% 计算）在水平面上的投影面积， $[A]$ 为 cm^2 ；

K ——材料系数，由表 3-35 查得。

表 3-35 终锻温度时的各种材料的变形抗力 σ 和系数 K

材 料	K	$\sigma / (N \cdot mm^{-2})$			$\sigma / (N \cdot mm^{-2})$ 热切边
		锤上	锻压机	平锻机	
碳素结构钢 ($\omega_c < 0.25\%$)	0.9	55	60	70	100
碳素结构钢 ($\omega_c > 0.25\%$)	1.0	60	65	80	120
低合金结构钢 ($\omega_c < 0.25\%$)	1.0	60	65	80	120
低合金结构钢 ($\omega_c > 0.25\%$)	1.15	65	70	90	150
高合金结构钢 ($\omega_c > 0.25\%$)	1.25	75	80	90	200
合金工具钢	1.55	90 - 100	100 - 120	120 - 140	250

系数 3.5 用于生产率不高或锻件形状简单的条件；而系数 6.3 则用于要求高生产率或锻件形状复杂的条件；一般可取中间值 4~5。

6. 模锻模膛的设计

(1) 终锻模膛的设计：终锻模膛是保证锻件最后成型的模膛，其尺寸和形状与热锻件图一致，但在分模面上设有飞边槽。设计的主要内容有：

① 热锻件图：终锻模膛是按照热锻件图来制造和检验的，终锻模膛不注尺寸，完全参照热锻件图上的尺寸。热锻件图依据冷锻件图设计，它与冷锻件图的主要不同点为：

- 考虑金属的热胀冷缩，热锻件图上的尺寸应比冷锻件图的相应尺寸有所放大。终锻温度下的收缩率为：

普通钢：1.2%~1.5%；

奥氏体钢：如 1Cr18Ni9Ti、GH36、GH133 等，因其膨胀系数较大，取 1.5%~1.8%；

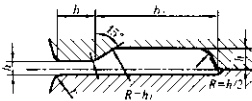
铝合金、铜合金：1%；

镁合金、钛合金：0.8%。

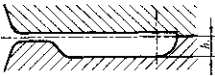
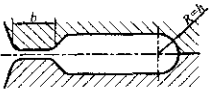

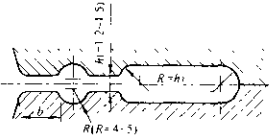
- 高度方向的尺寸从分模面注起，便于加工制造和检验。

② 飞边槽：开式模锻的终锻模膛周边必设有飞边槽。飞边槽的型式可见表 3-36。

表 3-36 飞边槽的型式及用途

飞边槽型式	用途
	<p>桥部位于上模，温度低，不易磨损。用于一般锻件</p>

续表

飞边槽型式	用途
	<p>桥部位于下模。用于切边时需将锻件翻转或整个锻件均在下模成形的锻件</p>
	<p>仓部较大，可容纳较多的多余金属，用于大型、复杂锻件</p>
	<p>仓部较大，可容纳较多的多余金属。用于大型、复杂锻件。加宽了下模桥部，提高了寿命</p>
	<p>桥部增加阻力沟，以便更大地增加金属外流阻力，迫使金属充满深凹复杂的模腔。多应用于局部</p>

飞边槽的尺寸可采用“计算法”计算桥部高度，经验公式如下：

$$h = 0.015 \sqrt{A_f}$$

式中 h ——飞边槽桥部高度；

A_f ——锻件在水平面上的投影面积。

根据 h 值由表 3-37 查得飞边槽的其他尺寸。

表 3-37 飞边槽的尺寸 (mm)

飞边槽 编号	高度尺寸		入口处半径			宽度尺寸								
	h	b_1	r			第一组			第二组			第三组		
			<20	20 40	>40	b	b_1	A_p mm ²	b	b_1	A_p mm ²	b	b_1	A_p mm ²
1	0.6	3	1	1	1.5	6	18	52	6	20	61	8	22	74
2	0.8	3	1	1.5	1.5	6	20	69	7	22	77	9	25	88
3	1.0	3	1	1.5	2	7	22	80	8	25	91	10	23	104
4	1.6	3.5	1	1.5	2	8	22	102	9	25	113	11	30	155
5	2.0	4	1.5	2	2.5	9	25	136	10	28	153	12	32	177
6	3.0	5	1.5	2	2.5	10	28	201	12	32	233	14	33	278
7	4.0	6	2	2.5	3	11	30	268	14	38	344	16	42	385
8	5.0	7	2	2.5	3	12	32	343	15	40	434	18	46	506
9	6.0	8	2.5	3	3.5	13	35	435	16	42	530	20	50	612
10	7.0	10	3	3.5	4	14	38	601	18	46	745	22	55	903
11	8.0	12	3	3.5	4	15	40	768	20	50	988	25	60	1208

注：第一组用于锻造充满，因充满容易，故尺寸可小些；第二组用于压入充满，充满困难一些，因而宽度适当增加；第三组用于很复杂的锻件，因充满困难，故宽度取得更大。

除了计算法确定飞边槽尺寸外，还可用“吨位法”来确定。见表 3-38。

表 3-38 飞边槽尺寸与锻锤吨位的关系 (mm)

锻锤吨位 (t)	h	b	b_1	h_1	r
1	1.0~1.6	8	22~25	4	1
2	1.8~2.2	10	25~30	4	1.5
3	2.5~3.0	12	30~40	5	1.5
5	3.0~4.0	12~14	40~50	6	2
10	4.0~6.0	14~16	50~60	8	2.5
16	6.0~9.0	16~18	60~80	10	3

注：①锤吨位偏大或偏小时， h 适当修改。

②锻件较复杂时， b 、 b_1 适当增大。

③钳口：终锻模膛和预锻模膛都需配置钳口（图 3-26），常用的钳口形式如图 3-27 所示，其尺寸可由表 3-39、表 3-40 查得。

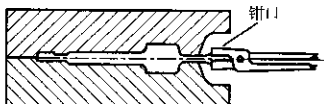


图 3-26 钳口

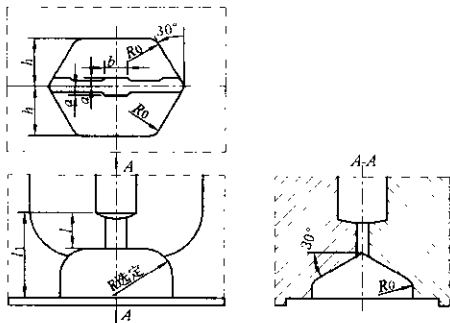


图 3-27 常用的钳口型式

表 3-39 钳口尺寸 (mm)

钳火头直径 d	B	h	R_0	钳夹头直径 d	B	h	R_0
< 18	50	20	10	60~65	120	55	15
18~28	60	25	10	65~75	130	60	15
28~35	70	30	10	75~85	140	65	20
35~40	80	35	15	85~90	150	70	20
40~50	90	40	15	95~105	160	75	20
50~55	100	45	15	105~115	170	80	20
55~60	110	50	15				

表 3-40 钳口颈尺寸 (mm)

锻件质量/kg	b	a	l
<0.2	5	1	$t \geq 0.5t_0$
0.2~2	6	1.5	t_0 —锻模外壁最小厚度
2~3.5	7	2	
3.5~5	8	2.5	
5~6.5	10	3	
6.5~8	12	3.5	
8~10	14	4	

(2) 预锻模膛设计: 锻件形状复杂时应设计预锻模膛, 但应注意:

- ① 预锻模膛的四周不设置飞边槽,
- ② 预锻后的毛坯在终锻时应以锻粗为主, 故预锻模膛的宽度应比终锻模膛小 1~2mm, 高度大 2~5mm (图 3-28)。
- ③ 预锻模膛的模锻斜度一般与终锻模膛相同。

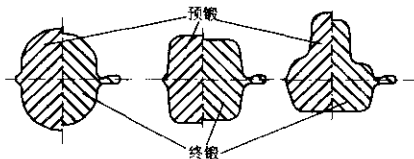


图 3-28 预锻形状与终锻形状的差别

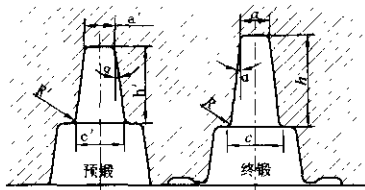


图 3-29 预锻与终锻的尺寸关系

①预锻模膛的圆角半径比终锻模膛稍大(图 3-29), $R = R + C$, 系数 C 由表 3-41 确定。

表 3-41 系数 C 与 h 的关系

终锻模膛筋深 h (mm)	< 10	20~25	25~50	> 50
C (mm)	2	3	4	5

②对于叉类锻件, 预锻时常作成劈料台(图 3-30), 一般采用图中 (a) 的形式, 其有关尺寸为: $B_1 = 0.25B$ ($8\text{mm} < B_1 < 30\text{mm}$)

$$h = (0.4 \sim 0.7) H \quad \alpha = 10^\circ \sim 45^\circ$$

当 $\alpha > 45^\circ$ 、叉部较窄时, 可使用图 (b) 的形式。

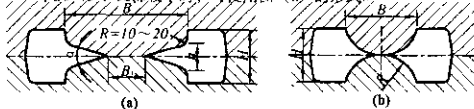


图 3-30 劈料台

⑤对带有枝芽的锻件(图3-31)或断面尺寸突然变化的锻件(图3-32),预锻时应增大该处的圆角半径,简化其形状,必要时可增设阻力沟。

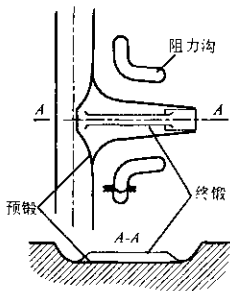


图3-31 带枝芽锻件的预锻模膛

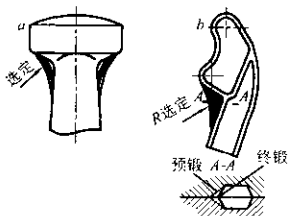


图3-32 断面尺寸突然变化锻件的预锻模膛

7. 制坯模膛的设计

(1) 拔长模膛：常用的拔长模膛有开式（图 3-33）和闭式（图 3-34）两种形式，其主要尺寸的确定见表 3-42。

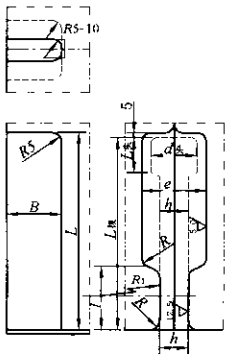


图 3-33 开式拔长模膛

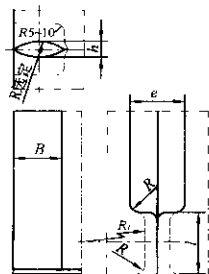


图 3-34 闭式拔长模膛

表 3-42 拔长模膛尺寸 (mm)

项目	计算公式				符号说明
拔长坎高度 h	拔长后小滚孔 $h = k_1 d_{\min}$				d_{\min} —计算毛坯的最小直径
	拔长后滚孔 $h = k_2 \sqrt{\frac{V_{\text{杆}}}{L_{\text{杆}}}}$				
	$L_{\text{杆}}$ (mm)	< 200	200 ~ 500	> 500	$L_{\text{杆}}$ —计算毛坯杆部长度
	k_1	0.85	0.8 ~ 0.75	0.7	
k_2	0.9	0.85	0.8		
拔长坎长度 l	$l = k_3 d_{\text{坯}}$				$d_{\text{坯}}$ —坯料直径 $l_{\text{坯}}$ —坯料被拔长部分的原始长度
	$L_{\text{坯}}$	< 1.5 $d_{\text{坯}}$	(1.5 ~ 3) $d_{\text{坯}}$	(3 ~ 4) $d_{\text{坯}}$	
	k_3	1.1	1.3	1.5	
模膛宽度 B	$B = k_4 d_{\text{坯}} + (10 \sim 20) \text{ mm}$				
	$d_{\text{坯}}$ (mm)	< 40	40 ~ 80	> 80	
	k_4	1.5	1.3 ~ 1.4	1.2 ~ 1.3	

(2) 滚压模膛：滚压模膛有四种形式，其特点及用途见表 3-43。其主要尺寸的确定见表 3-44。

(3) 弯曲模膛：弯曲模膛按锻件平面图设计（图 3-35），有关尺寸见表 3-45。设计时需注意以下几点：

① 模膛转角处的内侧应做成大圆弧，以防产生折叠（图 3-36）。

② 模膛较深处，允许模膛轮廓线在锻件平面图外，以容纳氧化皮。

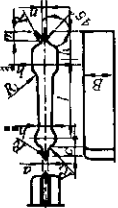
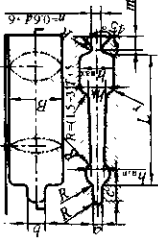
③ 下模应有两个支撑点，且为了保证毛坯定位，需设挡料小凸台（图 3-37）。

④ 模膛上、下模凸出部分应大致相等，即 $z_1 = z_2$ （图 3-35）。

⑤ 弯曲模膛上模凸出部分应制出横向小圆弧凹面，凹面深度 h_1 (0.1 ~ 0.2) h_0 。

⑥ 上、下模侧面应留间隙 Δ ，其值见表 3-45。

表 3-43 滚压模膛的形式、特点及用途

工步名称	工步简图	成形特点	用途
开式滚压模膛		<p>使毛坯某几处金属聚集，增大毛坯横截面面积，而另几处的横截面面积减小。锤击 3~5 次，每锤击一次，将毛坯翻转 90°，但不作轴向移动</p>	<p>用于变截面的轴类锻件、使毛坯符合计算毛坯直径图的要求、横截面变化较小的锻件</p>
闭式滚压模膛		<p>与开式滚挤基本相同，但滚挤效率高，聚料效果好，毛坯表面光滑，不易产生折叠。操作与开式滚挤相同。</p>	<p>用途与开式滚挤相同。是常用的滚挤形式，更适用于横截面变化较大的轴类锻件</p>

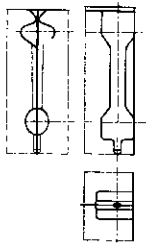
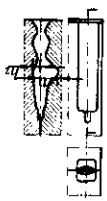
工步名称	工步简图	成形特点	用途
混合式滚压模膛		<p>兼有上述两种滚挤的作用，毛坯头部为闭式滚挤，以提高滚挤效率，而头部是开式滚挤，使毛坯头部呈扁方形横截面</p>	<p>适用于变截面的轴类锻件</p>
不对称滚压模膛		<p>除具有闭式滚挤作用外，兼有成形工步的作用，故又称成形滚挤工步。锤击次数较多，以保证不对称部位的成形</p>	<p>适用于分模面上主轴线两侧不对称或带枝芽的锻件。一般不对称程度为 $h_1/h_2 \leq 1.8$；当 $h_1/h_2 > 2$ 至 2.5 时，头部改用开式滚挤，以利于金属聚集</p>

表 3-44 滚压模膛的尺寸 (mm)

项目	计算公式或数据				符号说明
模膛高度 h	$h = kd_{\text{计}}$ k 系数按下表选取				
	$d_{\text{环}}$ (mm)	杆部		头部	拐点
		闭式	开式		
		< 30	0.8	0.75	1.15
30~60	0.75	0.70	1.10	0.95	
> 60	0.70	0.65	1.05	0.90	
模膛宽度 B	坯料形式	闭式		开式	$A_{\text{环}}$ —坯料 断面面积 h_{min} —模 膛最小深度 d_{max} —计 算毛坯最 大直径 $a_{\text{环}}$ —方环 边长 $A_{\text{杆部}}$ —计 算毛坯杆 部平均断 面积
	原坯料	$1.7d_{\text{环}}$ (或 $1.9a_{\text{环}}$) $> B > 1.15 \frac{A_{\text{环}}}{h_{\text{min}}}$, B $> 1.1d_{\text{max}}$		$1.7a_{\text{环}}$ (或 $1.5d_{\text{环}}) + 10 \geq$ $B \geq \frac{A_{\text{环}}}{h_{\text{min}}} + 10$, 但 $B > d_{\text{max}} + 10$	
	经过拔 长的毛 坯	$(1.4 - 1.6) d_{\text{环}} >$ $B > 1.25 \frac{A_{\text{杆部}}}{h_{\text{min}}}$ 但 B $> 1.1d_{\text{max}}$		$(1.4 - 1.6) d_{\text{环}}$ $+ 10 > B > \frac{A_{\text{杆部}}}{h_{\text{min}}}$ $+ 10$, 但 $B >$ $d_{\text{max}} + 10$	
不同宽 度的滚 压模膛	杆部 $B_{\text{杆}} = 1.25$ $\frac{A_{\text{杆部}}}{h_{\text{min}}}$, 头部 $B_{\text{头}}$ $1.1d_{\text{max}}$				

续表

项目	计算公式或数据						符号说明
模腔长度 L	$L = L_{if} (1 + \delta)$						δ —收缩率
模腔钳口 尺寸	$n = 0.2d_{\text{外}} + 6\text{mm}$ $m = (1 \sim 2)n$ $R = 0.1d_{\text{外}} + 6\text{mm}$						
毛刺槽 尺寸		$d_{\text{外}}$ (mm)	a	c	R_3	R_4	b
	无切刀	<30	4	20	5	4	20
		30~60	6	25	5	6	30
		60~100	8	30	10	8	40
		>100	10	35	10	10	50
	有切刀	<30	6	25	5	6	25
		>30	8	30	5	8	30

注：表中毛刺槽尺寸 b 的尺寸仅适用 J 闭式滚压模腔。

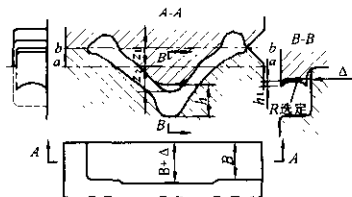


图 3-35 弯曲模膛

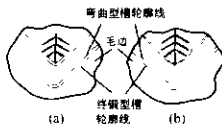


图 3-36 弯曲模膛转角形状

- (a) 折在锻件和飞边上
(b) 折在锻件上



图 3-37 弯曲模膛定位支承

表 3-45 弯曲模膛主要尺寸

项 目	计 算 公 式	符 号 说 明
模膛高度 h (mm)	$h = b_{\text{锻}} - (2 \sim 10) \text{ mm}$ 大锻件取大值, 小锻件取小值	$b_{\text{锻}}$ —锻件平 面图上相应 处尺寸

续表

项 目	计 算 公 式		符 号 说 明					
模腔宽度 B (mm)	$B = \frac{A_{\text{坯}}}{h_{\text{min}}} + (10 \sim 20) \text{ mm}$		$A_{\text{坯}}$ —坯料断面积 h_{min} —模腔的最小高度					
上下模间隙 Δ (mm)	锻锤吨位/t	1	2	3	5	10	16	
	Δ /mm	4	6	6	7	9	9	
凹面深度 h_1 (mm)	$h_1 = (0.1 \sim 0.2) h$		h —模腔高度					

(4) 成形模腔：成形模腔也按锻件平面图设计（图 3-38），有关尺寸见表 3-46。

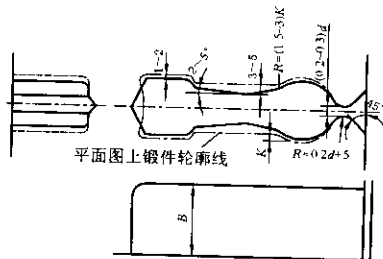


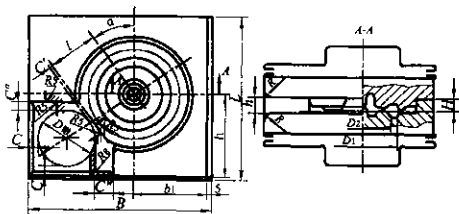
图 3-38 成形模腔

表 3-46 成形模膛主要尺寸(mm)

项 目	计 算 公 式	符 号 说 明
模膛高度 h	头部 $h - b_{锻} - (1 \sim 2)\text{mm}$ 杆部 $h - b_{锻} - (3 \sim 5)\text{mm}$	$b_{锻}$ —锻件平面图相应处的尺寸
模膛宽度 B	$B = \frac{A_{环}}{h_{min}} + (10 \sim 20)\text{mm}$	$A_{环}$ —坯料断面积 h_{min} —模膛最小高度

(5) 镦粗台和压扁台：镦粗台也称镦粗模膛。

表 3-47 镦粗台的尺寸计算 (mm)



续表

坯料锻粗后直径 D_d	坯料锻粗后高度 h	坯料锻粗后至各边缘距离 c, c', c''	键槽中心线位置	燕尾中心线位置
$D_1 > D_d > D_2$	$h = \frac{V_0}{\frac{\pi}{4} D_d^2}$ V_0 —坯料体积 (包括飞边)	$c = 10 \sim 15$ $c' = 5 \sim 10$ $c'' = 15 \sim 20$	$\frac{B-b_1}{b_1} < 1.4$	$\frac{l_1}{L-l_1} < 1.4$

注：在锻模上加工出尺寸 h 时可以提高生产率，为了简化锻模制造也可以不制出此高度。

压扁台主要用于杆类、扁宽形状锻件的压扁制坯，其尺寸计算如下（图 3-39）：

宽度 $B = B_{坯} + 40\text{mm}$

长度 $L = L_{坯} + 40\text{mm}$

其中 $B_{坯}$ 、 $L_{坯}$ ——压扁后毛坯宽度和长度

8. 切断模膛

当采用一棒多锻的连续模锻时，用切断模膛来切断棒料上锻成的锻件，通常安排在四角，而右前角和左后角应用较多。典型切断模膛的形式及尺寸见图 3-40。其中 α 可取 15° 、 20° 、 25° 、 30° 等。

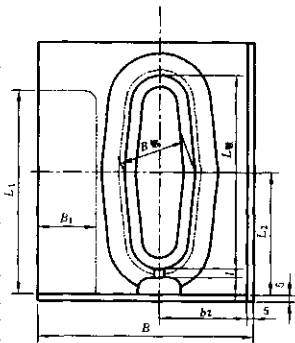


图 3-39 压扁台

9 锻模结构设计

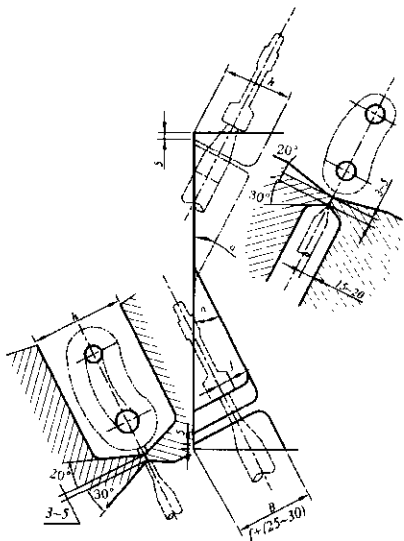


图 3-40 切断模膛

(1) 模膛的排列：模膛的排列包括确定终锻模膛、预锻模膛和制环模膛的位置等。

无预锻模膛时，终锻模膛中心应与锻模中心（燕尾中心与键槽中心的交点）重合

同时有预锻和终锻模膛时，应分别布置在锻模中心线两侧，尺寸关系如图 3-41 所示，并且预锻模膛的中心线必须在燕尾宽度内（见图 3-42），终锻模膛与燕尾中心线的偏移量，以不超过表 3-48 中的允许值为宜。

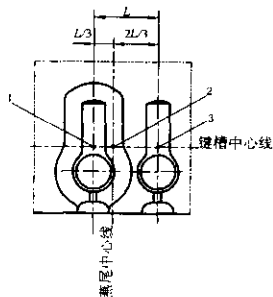


图 3-41 终锻与预锻模膛的布置

1. 终锻模膛中心
2. 锻模中心
3. 预锻模膛中心

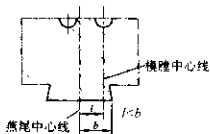


图 3-42 模膛中心不应

超出燕尾承击面

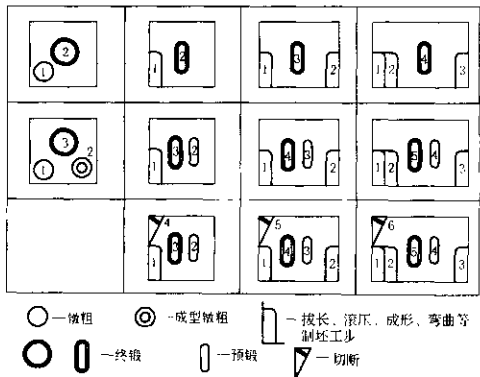
表 3-48 终锻模膛与锻模燕尾中心线间的允许偏移量

设备吨位 (t)	1	1.5	2	3	5	10
L/3 (mm)	25	30	40	50	60	70

制坯模膛布置在模膛两边，而且第一道制坯模膛应靠近加热炉，同时在吹风管对面。

模膛排列次序要考虑坯料模锻时的往返次数最少且移动距离最短。

在加热炉位于锻锤左侧的情况下，经常采用的各种模膛排列方案如图 3-43 所示。



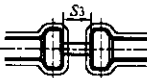


1、2、3、4、5、6等数字代表工步的顺序。

图 3-43 模膛排列方案示例



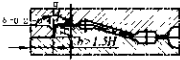

(2) 模膛壁厚：模膛壁厚应足够，过小模块易损坏，过大则造成浪费。具体尺寸见表 3-49。

表 3-49 模膛壁厚 (mm)

项 目	公 式	图 例
终（预）锻模膛的最小壁厚 S_0	$S_0 = (1 \sim 2)h$ 式中： h —模膛深度， h 小者系数取大值	
滚压模膛的最小壁厚 S_1, S_2	$S_1 = 5 \sim 10$ $S_2 = 10 \sim 15$	
--模多件模锻时，相邻两终（预）锻模膛间的最小壁厚 S_3	$S_3 = (0.5 \sim 1)h$	

(3) 锁扣设计：锁扣分平衡锁扣和一般锁扣两种。对于具有落差的非直线分模的锻件，为了防止锤击时锻模错移，需设置平衡锁扣。对于锻件公差要求严格、错移小于 0.5mm、形状复杂且细长的锻件，为保证锻件尺寸精度，便于锻模的安装与调整，需设置一般锁扣。锁扣的形式及特点见表 3-50、锁扣的尺寸可参见表 3-51 和表 3-52、表 3-53。

表 3-50 锁扣的类型

名称	形式简图	特点
对称式		适用于对称排列的锻件，错移力由锻件自身平衡，不需要另设平衡块
倾斜式		适用于锻件落差 $\leq 15\text{mm}$ ，倾斜角 $\gamma \leq 7^\circ$ 时 即将锻件倾斜小于 7° 的 γ 角，使锻件两端平面处于同一水平面上，产生反向错移力，借以平衡
平衡块式		适用于落差 $> 15\text{mm}$ 时。 ①当 $15\text{mm} < H < 25\text{mm}$ 时，取锁扣高为 25mm ②当 $H \geq 25\text{mm}$ 时，取锁扣高为 H
混合式		适用于落差 $> 50\text{mm}$ 时，将锻件倾斜以减少锁扣的平衡块的高度 h ，其倾斜角 $\gamma < 7^\circ$

续表

名称	形式简图	特点
圆形锁扣		<p>饼类锻件多采用圆形锁扣, 以便控制锻件的错移</p>
纵向锁扣		<p>杆类锻件常采用纵向锁扣, 以保证锻件在宽度方向有较小的错移</p>
般锁扣 侧面锁扣		<p>用于较复杂的锻件, 可防止任意方向的错移</p>
角锁扣		

表 3-51 平衡块式锁扣设计尺寸 (mm)

项 目	公 式 与 数 据
锁扣高度 h	$h =$ 锻件分模面落差高度
锁扣壁厚 b	$b \geq 1.5h$
锁扣斜度 α	当 $h = 15 \sim 30\text{mm}$ 时, $\alpha = 5^\circ$ 当 $h = 30 \sim 60\text{mm}$ 时, $\alpha = 3^\circ$
锁扣间隙 δ	$\delta = 0.2 \sim 0.4\text{mm}$ 但 $\delta <$ 锻件允许的错移值之半
锁扣非导向侧面间隙 Δ_1	$\Delta_1 = 3 \sim 5\text{mm}$
锁扣沿分模面非打击面上间隙 δ_1	$\delta_1 = 1 \sim 2\text{mm}$ 但 $\delta_1 <$ 飞边桥部高度
锁扣内圆角 R_1	$R_1 = 0.15h$
锁扣外圆角 R_2	$R_2 = R_1 + 2\text{mm}$

表 3-52 圆形锁扣及纵向锁扣设计尺寸 (mm)

锻锤吨位 (吨)	锁扣尺寸						
	h	b	δ	Δ	α	R_1	R_2
1	25	35	0.2~0.4	1~2	5°	3	5
2	30	40	0.2~0.4	1~2	5°	3	5
3	35	45	0.2~0.4	1~2	3°	3	5
5	40	50	0.2~0.4	1~2	3°	5	8
10	50	60	0.2~0.4	1~2	3°	5	8
16	60	75	0.2~0.4	1~2	3°	5	8

表 3-53 角锁扣及侧面锁扣设计尺寸 (mm)

锻锤吨位 (t) \ 锁扣尺寸	h	b	l	δ	Δ	α	R_1	R_2	R_3	R_4
1~1.5	30	50	75	0.2	1	5°	3	5	8	10
2	35	60	90	0.2	1	3°	3	5	9	12
3	40	70	100	0.3	1	3°	3	5	10	15
5	45	75	110	0.4	1	3°	5	8	12	15
10	55	90	150	0.5	1.5	3°	5	8	15	20
16	70	120	180	0.6	1.5	3°	6	10	20	25

注：取 $l_1 = L/2$ ；式中 L 为锻模长度

(4) 模块尺寸：模块尺寸除了考虑模膛布置、模壁厚度、锁扣等有关因素外，还应考虑：

①最小承击面（图 3-44）应满足下列条件（见表 3-54）。

表 3-54 允许的最小承击面积 (mm^2)

锻锤吨位/t	1	2	3	5	10	16
承击面积 (不小于)	25000~ 30000	45000~ 50000	65000~ 70000	90000	160000	250000

②锻模中心与模块中心的最大偏移量应限制在 $a \leq 0.1A$ ， $b \leq 0.1B$ 的范围内（图 3-45）。

③当模块长度超出锤头外时，其超出长度应小于模块高度的三分之一。

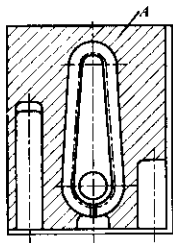


图 3-44 承击面

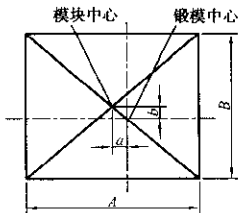


图 3-45 锻模中心偏移范围

④ 锻模的最大宽度要使上模边缘与锻锤导轨之间距离不小于 20mm。锻模的最小宽度要保证模块左右两侧超出燕尾相应的两侧各 10mm。

⑤ 模块的最小高度应与模膛深度相适应，见表 3-55。

表 3-55 模膛深度与模块的最小高度 (mm)

终锻模膛最大深度 h_{\max}	< 32	32 ~ 40	40 ~ 50	50 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100	100 ~ 120	120 ~ 160	160 ~ 200
模块最小高度 H_{\min}	170	190	210	230	260	290	320	390	450

⑥ 上模质量不应超过锻锤吨位的三分之一，下模质量不限。

⑦ 设计模块时应尽可能按模块规格标准确定锻模轮廓尺寸。

第四章 其他压力机模锻

一、螺旋压力机上模锻

在中、小批生产的锻工车间和部分大批量生产的专用生产线上，广泛使用螺旋压力机模锻。






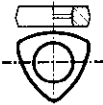





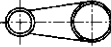
与模锻锤相比，螺旋压力机具有设备造价低，对厂房及基础的要求低，工作时震动和噪音较小，能耗和模具费用较低，劳动条件较好等优点。另外，螺旋压力机有顶出锻件装置，可进行一些模锻锤上难以完成的顶锻长杆件、挤压筒形件、闭式模锻及精锻等工序。但是，普通螺旋压力机的行程次数较低，承受偏击载荷的能力较差，一般只进行单腔模锻。复杂锻件的制坯工序需配备其他设备来完成，生产率也不如模锻锤高。

近年来，随着螺旋压力机性能和结构的日趋完善，它的工艺用途也愈为广泛，例如德国生产的NPS型电动螺旋压力机，具有打击能量大、行程次数高、导向精度好、承受偏击载荷能力强、锻后闷模时间短以及压力机在行程的任意位置都具有很高的打击力等优点，为在螺旋压力机上进行多腔模锻、精锻及模锻高度大、变形量大的锻件提供了有利条件。

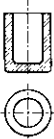

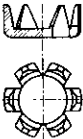



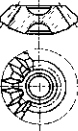
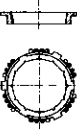
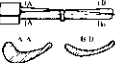
1. 锻件分类

在螺旋压力机上模锻的锻件可分为六类（表4-1）：

表 4-1 锻件分类

类别	A. 头部为回转体的锻件	B. 头部为复杂形状的锻件	C. 头部带内凹的锻件
第一类 带粗大头部的长杆类锻件			
第二类 饼块类锻件	A. 形状简单的回转体锻件 	B. 形状复杂的回转体锻件 	C. 形状复杂的非回转体锻件 
第三类 变断面复杂形状的长轴线锻件	A. 直轴线的锻件  	B. 带枝芽的锻件  	C. 弯轴线的锻件  

续表

类别	A. 圆孔筒形锻件	B. 异形孔的筒形锻件	C. 筒壁带槽的锻件
第四类 筒形锻件			
第九类 上下面及侧面均带内凹或凸块的锻件	A. 侧面带螺纹的锻件 	B. 侧面带凸筋的锻件 	C. 带双凸缘的锻件 
第六类 精密模锻件	A. 带齿的锥齿轮精锻件 	B. 带齿形花键及凹槽的齿环精锻件 	C. 扭曲叶片精锻件 

2. 锻件的工艺特点

表 4-2 锻件的工艺特点

第一类锻件的工艺特点	<p>此类锻件中用得最多的是由长杆毛坯一次局部顶锻成形的锻件。毛坯的直径与锻件杆部直径相同，锻前一般只对毛坯需要顶锻的部分局部加热，锻后锻件的头部带有较小的横向毛边。在靠近头部的杆部，由于受头部温度的影响，顶锻后直径会加粗 1~3mm 左右。</p>
第二类锻件的工艺特点	<p>此类锻件的形状特点是：在水平面上的投影为圆形或平面尺寸相差不大的异形饼块。</p> <p>形状简单的锻件，可直接用原毛坯模锻。模锻前毛坯立放于模中，其高度与直径之比小于 2.5，通常取 1.5~2；当毛坯在模中易于定位且锻件形状较简单，可进行闭式模锻。</p> <p>形状复杂的锻件，需先进行锻粗或预制坯，而后进行开式模锻。由于此类锻件的平面尺寸较大，而摩擦压力机承受偏击能力较差，制坯工步需配其他设备来完成。</p>
第三类锻件的工艺特点	<p>此类锻件的形状较复杂，断面形状和尺寸沿长度方向是变化的，一般都用开式模锻。由于摩擦压力机的行程次数较低，比较适宜模锻沿长度方向断面尺寸变化不大，可直接用原毛坯模锻成形或径弯曲、卡压等一次打击制坯后模锻成形的锻件。对于断面尺寸沿长度方向变化较大，需采用打击次数较多的拔长、滚压等制坯工步的锻件，摩擦压力机只进行终锻，视批量大小不同，制坯工步放在空气锤、辊锻机等其他设备上。</p>

第四类锻件的工艺特点	此类锻件基本上是以热反挤压方式成形，热毛坯先锻粗后再放入挤压模。锻粗的作用是去除毛坯氧化皮和获得易于在挤压模中定位的毛坯尺寸
第五类锻件的工艺特点	此类锻件在上下面及侧面均具有凸起或内凹，所以除上下分模面外，还需将凹模做成可分的。模锻后利用压力机及模具上的顶件装置将可分凹模顶出，并分开取出锻件

3. 锻模的设计特点

(1) 模膛及飞边槽的设计：摩擦压力机承受偏载能力较差，一般是单模膛模锻。终锻模膛尺寸按热锻件图设计。开式模锻模膛周围设飞边槽，摩擦压力机行程次数较低，飞边桥厚度较锤锻模飞边桥的厚度大，可按下式计算：

$$h = 0.02 \sqrt{F} \quad (\text{mm})$$

式中 h ——飞边桥厚度 (mm)；

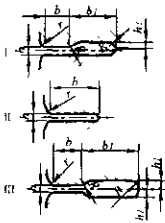
F ——锻件在水平面上的投影面积 (mm^2)。

表 4-3 给出了按压机大小确定飞边槽尺寸的经验值。

由于制坯是在配套设备上完成，毛坯一般不带钳口料，如无特殊需要，摩擦压力机终锻模膛前面一般不开钳口槽。当需做制模检验铸件或为便于撬取锻件，在模膛前开浇灌口或开局部斜槽。浇灌口的尺寸按锻件质量参照锤锻模选取。

对承受偏载能力较强和行程次数较高的新型螺旋压力机，可进行多膛模锻，模膛的设计及排列特点可参考锤锻模确定。

表 4-3 按设备规格确定的飞边槽尺寸

	公称压力 (kN)	h	h_1	b	b_1	r	R
	I	≤ 1600	1.5	4	8	16	1.5
II	2500	2.0	4	10	18	2.0	4
	4000	2.5	5	10	20	2.5	5
III	6300 ~ 10000	3.0	6	12	22	3.0	6
	> 10000	3.5	7	14	24	3.5	7

(2) 锻模的结构型式及紧固方法：螺旋压力机上的锻模，通常是借助于模板、模座或模架用螺栓、压板紧固于压机的滑块及工作台的垫板上，这样有利于减小锻模块尺寸和减少压机滑块及工作台垫板的局部压力。模板、模座可采用铸钢件，对于较小的模座，也可采用锻件或由钢板焊成的。锻模的型式有整体式和组合式两种。

整体式锻模的模膛、导向和承击面都设在上下模块上。较大的模块做出燕尾，用楔紧固于模板上，如图 4-1 所示。表 4-4 为某厂所用整体模块规格尺寸。较小的矩形模块也可用螺栓紧固，如图 4-2 所示。较小的圆形模块，则采用压圈、螺栓紧固于模板或模座上，如图 4-1 所示。此外，也有采用大螺母紧固的，如图 4-3 所示。

组合式锻模的特点是模块的尺寸较小，在其上一般只设模膛。锻模的导向及承击面另外设在模架上。图 4-4 及图 4-5 分别为用楔紧固矩形模块及圆形模块的模架，其尺寸列于表 4-5 及表 4-6，所用模块尺寸列于表 4-7 及表 4-8。

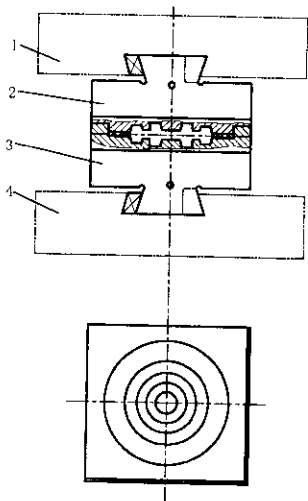
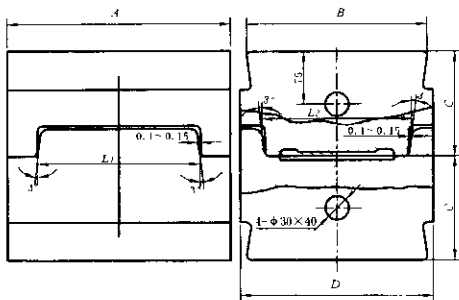


图4 1 用燕尾紧固的整体模
 1. 上模板 2. 上模 3. 下模 4. 下模板

表 4-4 整体模块规格尺寸



设备规格 (kN)	1600、3000			10000	
	1	2	3	4	5
A	220	300	330	360	360
B	$160^{+0}_{-0}^{16}$	$160^{+0}_{-0}^{16}$	$160^{+0}_{-0}^{16}$	$305^{+0.22}_{-0}$	$305^{+0.22}_{-0}$
C	120	120	120	150	150
D	200	200	260	360	400
L ₁	140	220	250	280	280
L ₂	140	140	200	280	320

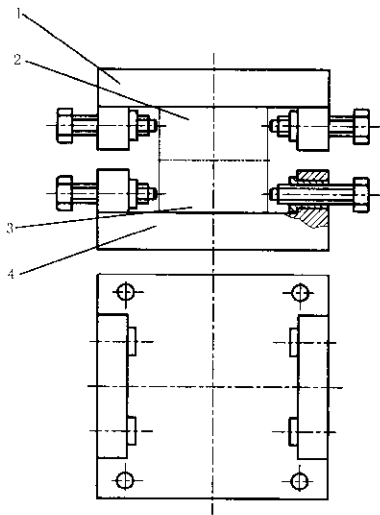


图 4-2 用螺栓紧固的整体模
 1. 上模板 2. 上模 3. 下模 4. 下模板

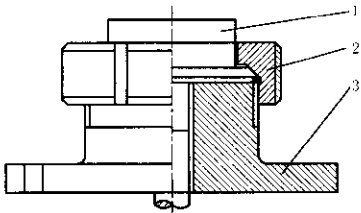


图 4-3 用大螺母紧固的整体模

1. 下模块 2. 大螺母 3. 下模座

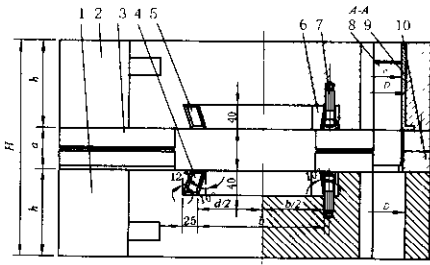


图 4-4 矩形模块的模架

1. 下模座 2. 上模座 3, 10. 限位环 4. 下楔 5. 上模 6. 定位键 7. 内六角螺钉 8. 导柱 9. 导套

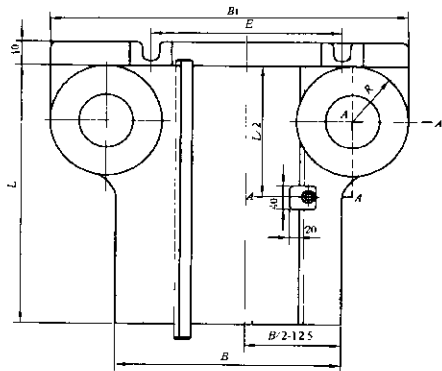


图 4-4 矩形模块的模架

表 4 5 矩形模块模架尺寸

设备规格 (kN)	h	L	b	H					a		B ₁	B	R	d	D	F	
				270	290	310	330	370	20	40							60
1600	160±0.2	310	125	270	290	310	330	20	40	60	80	445	305	65	60	76	260
3000	180±0.2	410	135	310	330	350	370	40	60	80	100	545	340	85	80	98	300

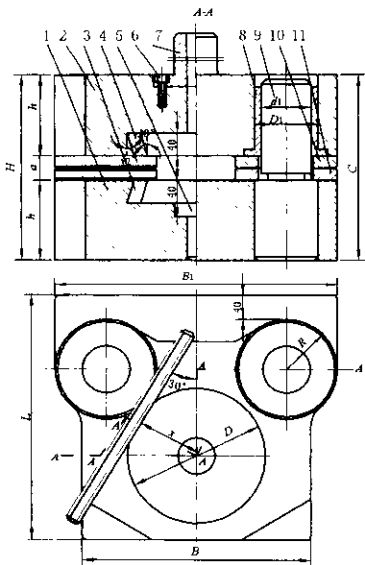


图 4 5 圆形模块的模架

1. 下模座 2. 上模座 3、4. 楔 5. 顶杆 6、11. 内六角螺钉
7. 模柄 8. 导套 9. 导柱 10. 限位环

表 4-6 圆形模块模架尺寸 (mm)

设备规格 (kN)	D	h				H				a		X		B ₁	R	B	I	d ₁	D ₁ 及 d ₂	C
		125	270	290	310	330	350	370	40	60	80	70	410							
1600	180 ± 0.08	125	270	290	310	330	350	370	40	60	80	70	410	65	300	260	60	76	260	
3000	220 ± 0.09	135	310	330	350	370	40	60	80	100	90	460	85	360	290	80	98	300		

表 4-7 矩形模块尺寸 (mm)

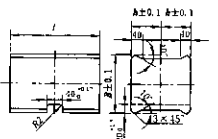
	设备规格 (kN)	1600	3000
	B		160
L		≤ 300	≤ 40
h		50 60 70 80	60 70 80 90

表 4-8 圆形模块尺寸 (mm)

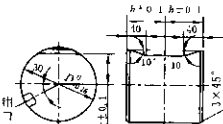
	设备规格 (kN)	1600	3000
	D		180
r		70	90
h		50 60 70 80	60 70 80 90

表 4-9 凸模和凹模间的间隙值 (mm)

凸模直径	间隙值 (单边)
<20	0.1
20~40	0.1~0.15
40~60	0.15~0.20
>60	0.20~0.30

(3) 锻模的导向方法：摩擦压力机的导向精度较差，为平衡模锻过程中的错移力，减少锻件错移和便于模具的安装对正，在模具上需要设有导向。常用的有导锁、导销、导柱和导套几种。回转变锻件的开式模锻，广泛采用环形导锁；闭式模锻时，则是靠凸凹模自身导向，凸凹模之间的间隙值列于表 4-9。角形和条形导锁用于错移力较大的锻件或非回转变锻件，导锁的设计要点可参考锤上模锻一章的有关部分。

导销及销孔是直接设在模块上。通常是将上下模对正固紧后，同时加工出导销的安装孔及导向孔，然后配上导销。一般导销直径较小 ($\phi 25 - \phi 40\text{mm}$)，多用于模锻错移不大的情况。

导柱、导套通常是设在模座上，与上、下模座一起组成模架。导柱、导套的直径和导向长度较大，导向精度较高。加工时需保证导柱、导套孔与模座中模块紧固槽的相对位置精度。导柱、导套的设计要点可参考热模锻压力机上模锻。

对于设备本身导向精度较高的新型螺旋压力机，除为平衡有落差锻件的错移力和便于模具安装而在锻模上设导向外，对一般锻件的锻模，也可不设导向。

(4) 锻模的承击面：摩擦压力机滑块的打击速度比模锻锤低，锻模的受力条件比锤锻模好，它的承击面可较小，一般为相应锤锻模的三分之一左右。对于闭式模锻的凸模，应注意使其具有必要的断面

积, 参考值列于表 4-10 中。若锻模结构上已另有冲击面时, 则凸模断面面积不受表中数值的限制。

表 4-10 闭式模锻时锻模(凸模)允许的最小断面面积

项 目	设备规格 (kN)							
	400	630	1000	1600	2503	4000	6300	
运动部分最大动能(J)	1250	2500	5000	10000	20000	40000	80000	
滑块最大行程(mm)	240	270	310	360	420	500	600	
凸模允许的最小断面面积(cm^2)	当 $\sigma_p = 600$ (MPa) (18CrNiW)	670	1050	1700	2700	4100	6700	10500
	当 $\sigma_p = 720$ (MPa) (5CrNiMo, 5CrMnMo)	550	870	1400	2200	3500	5500	8800

4. 设备选择

选择螺旋压力机的规格, 应注意螺旋压力机具有锻锤和压力机双重工作特性。螺旋压力机技术规格和性能参数中, 除按滑块最大打击力的一半表示其公称压力 P_g (规格) 外, 还注明每次打击的最大打击能量。

螺旋压力机的打击能量 (E) 在模锻过程中, 消耗于三方面 (见图 4-6): 使金属产生塑性变形所消耗的功 (E_d); 在金属变形抗力的作用下, 设备构件弹性变形所消耗的功 (E_p); 还有用于克服摩擦力 (滑块和导轨、螺杆和螺母等) 所消耗的功 (E_f)。螺旋压力机的弹性变形功 E_p 随着压力的增大而急剧增加, 而消耗于锻件塑性变形的功 E_d 则相对减小。

摩擦压力机上的模锻力也可按以下经验公式计算:

$$P = (17.5 \sim 28) KF \text{ (kN)}$$

式中 F —锻件总变形面积 (包括锻件面积、冲孔连皮面积及毛边面积) (cm^2);

K —钢种系数, 其值见表 4-11。

系数 28 用于变形困难及要求生产率高的条件下, 反之则取 17.5。

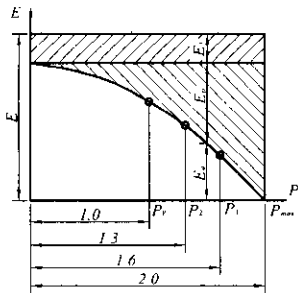


图 4-6 螺旋压力机的力能关系图

表 4-11 钢种系数表

钢 号	K
含碳量低于 0.25% 的碳素结构钢, 例如 10, 20B, A2 (Q215A)	0.9
含碳量高于 0.25% 的碳素结构钢及含碳量低于 25% 的低合金钢, 例如: 45, A5, 20Cr	1
含碳量高于 0.25% 的低合金结构钢, 例如 40Cr, 45CrNi	1.1
高合金结构钢, 例如 GCr15, 45CrNiMoA 及硅铬合金钢等	1.25

表 4-12 是根据生产经验统计给出的能锻的最大锻件尺寸。

表 4-12 摩擦压力机上模锻件的最大尺寸范围

项 目		公称压力 (kN)				
		700	1600	2500, 3000	8000, 10000	
有 飞 边 模 锻	锻件投影面积(cm^2)	低碳钢	64	80	144	700
		中碳钢	55	64	125	700
		合金钢	40	50	86	500
	锻件直径(mm)	低碳钢	90	100	135	300
		中碳钢	80	90	130	300
		合金钢	70	80	105	250
无 飞 边 模 锻	锻件投影面积(cm^2)	低碳钢	64	105	200	600
		中碳钢	55	90	165	420
		合金钢	40	50	85	370
	锻件直径(mm)	低碳钢	90	115	160	270
		中碳钢	80	107	145	230
		合金钢	70	80	105	210

二、热模锻压力机上模锻

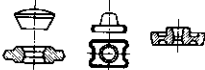
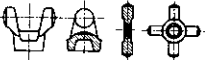
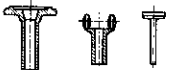
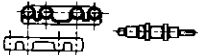


热模锻压力机是与现代工业发展相适应的发展较快的模锻通用设备。汽车、拖拉机、农业机械、造船、铁路机车、航空、兵器等工业的发展,对模锻件提出了高质量、高精度、大批量供应和高生产率的要求。热模锻压力机设备结构和模锻工艺特点可以较好地满足现代工业提出的上述要求。

表 4-13 热模锻压力机上模锻特点


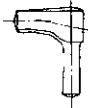
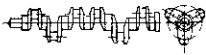
<p>设备特点</p>	<p>刚性好,能承受较大的偏载;设备工作时震动小,噪声低,劳动条件好,操作安全,对厂房建筑要求比模锻锤低;行程固定,滑块和工作台之间的封闭高度可在一定范围内调节(一般为 25mm);具有大平面尺寸的滑块和工作台;具有多个工位和行程可调的上、下顶料机构;便于实现锻造生产线的机械化和自动化</p>
<p>工艺特点</p>	<p>刚性好,锻件精度高;可以安排一模多件和多模膛模锻;滑块行程一定,速度低,操作简单 热模锻压力机上模锻每个工步在滑块一次行程中完成,变形量大</p>
<p>适用范围</p>	<p>要求精度高,大批量连续生产和高生产率的模锻件 多工步、多模膛、形状比较复杂的模锻件可顺序完成模锻成形和切边、冲孔等多工步的机械化、自动化 适用于各类热挤压、温挤压和多向模锻等 这类工艺在模锻锤上不能进行</p>

1. 锻件分类

表 4-14 锻件分类

类	组	主要特点	锻件示例	工艺特点
I	1	平面投影为圆形、矩形或接近这种形状		制坯1步; 锻粗
	2	平面投影为圆形、矩形或接近这种形状而结构复杂		制坯1步; 锻粗, 成形1步多为压入成形
	3	平面投影为圆形、矩形或接近这种形状而具有深孔或长的杆部		采用挤压成形
II	1	具有长轴线回转体零件, 沿轴向截面变化不大		制坯1步; 压挤或压扁
	2	具有长轴线沿轴向截面变化大		制坯1步; 锻粗, 并可采用压扁或压挤
	3	具有长轴线并带有叉形或交叉结构的件		制坯1步; 压挤, 预锻1步用劈料分块

续表

大 型	主要特点	锻件小例	工艺特点
1	具有长轴线带落 尾		沿落差转 角度 平衡错移力, 一般 设有止推锁扣
2	平面弯曲轴线		制坯工步: 弯曲
3	空间弯曲轴线		制坯工步: 弯曲 (压平)预锻要考虑 分流

2. 锻件图设计

锻件图设计可参考第3章锤上模锻中关于锻件图的设计方法, 但应考虑下列特点:

①模锻斜度: 开式模锻: 热模锻压力机上模锻比锤上模锻减小 $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 。挤压、立锻: 外模锻斜度可选 $1^{\circ} \sim 2^{\circ}$ 。内孔可以没有模锻斜度或 $0^{\circ}30' \sim 1^{\circ}$ 。

②公差: 尺寸公差: 在加热条件比较稳定时, 厚度尺寸公差可比

锤上模锻提高 1 个档次 质量公差；对于产品特殊要求的锻件可采用质量公差。公差值 一般为锻件公称质量的 8% 左右。

3. 坯料尺寸确定

模锻件坯料尺寸的选择与锻件形状和模锻工艺有关。

(1) 计算坯料体积 V_m ：

$$V_m = (V_D + V_f + V_l)(1 + \delta\%)$$

式中 V_D ——锻件本体体积 (mm^3)；

V_f ——飞边体积 (mm^3)；

V_l ——连皮体积 (mm^3)；

飞边体积的计算，除锻件分类表中的第 II 类第 3 组和第 III 类第 3 组外，一般均按坯料充满飞边仓部 50% 计算，第 II 类第 3 组叉类锻件叉形内侧飞边按 100% 充满计算，其余部位仍按 50% 充满计算 第 III 类第 3 组，连杆轴颈曲柄之间飞边按 100% 充满，其余部分按 50% ~ 70% 充满计算。

锻件本体体积计算，应考虑欠压量，一般按锻件厚度方向正偏差之半计算

δ 为火耗，采用中频感应加热为 1%。采用煤气、燃油、煤为燃料的加热炉加热为 3% 左右。

(2) 计算坯料尺寸：

①第 I 类第 1 组和第 3 组锻件：这两组锻件多采用镦粗工步。坯料一般选取其长度与直径之比为 1.8~2.2、最大不超过 2.5，并且坯料端面斜度不超过 5° 。

$$D_m = (0.83 \sim 0.89) \sqrt[3]{V_m}$$

式中 D_m ——坯料计算直径 (mm)。

②第 I 类第 2 组锻件：这组锻件也有镦粗工步，但镦粗变形量很小，而且镦粗后坯料是平放在模膛内。一般镦粗后坯料长度比预锻模膛叉形最外侧尺寸小 2~5mm。

坯料选择，找出最大锻件截面积加上该处飞边面积进行计算。即

$$D_m = (1.01 \sim 1.04) \sqrt{F_{D,\max} + F_f}$$

$$A_m = (0.89 \sim 0.92) \sqrt{F_{l, \max} + F_f}$$

式中 $F_{l, \max}$ ——坯料摆放长度方向锻件最大截面积或其邻近区段的平均截面积(mm^2);

F_f ——相应于 $F_{l, \max}$ 处飞边面积(mm^2);

A_m ——方料计算边长(mm)

③第Ⅱ类第1组锻件:当最大截面处于锻件长度中间区段,而且最大截面的长度较短,其两侧的截面又较小,可按最大截面积(含飞边面积)的0.65~0.9计算坯料。

$$D_m = (0.8 \sim 0.9) \sqrt{F_{l, \max} + F_f}$$

④第Ⅱ类第2组锻件:先计算锻件大端的平均截面积,再计算坯料截面

$$V_b = (V_{D, L} + V_{D, f} + V_{D, l})(1 + \delta\%)$$

$$F_{h, p} = \frac{V_b}{L_h}$$

$$A_m = \sqrt{F_{h, p}}$$

$$D_m = 1.13 \sqrt{F_{h, p}}$$

式中 V_b ——锻件大端体积(mm^3);

$V_{D, L}$ ——锻件大端本体体积(mm^3);

$V_{D, f}$ ——锻件大端飞边体积(mm^3);

$V_{D, l}$ ——锻件大端连皮体积(mm^3);

δ ——火耗;

L_h ——锻件大端长度(mm);

$F_{h, p}$ ——大端平均截面积(mm^2);

A_m ——方形坯料边长(mm);

D_m ——圆形坯料直径(mm);

⑤第Ⅱ类第3组锻件:计算体积时,叉形部位内侧飞边槽按100%充满。同时,由于预锻时采用劈开分流,金属沿叉形开口方向流失到飞边去,所以,叉形部分的计算截面采用叉形部分的平均截面

积 叉形部分的体积应按计算的体积增大 10%~13%，作为金属流出到叉形外飞边槽的体积。

$$V = [V_{D,t} + V_{f,t} + (V_{D,c} + V_{f,c})(1.1 \sim 1.3)](1 + \delta\%)$$

$$F_{D,c} = (V_{D,c} + V_{f,c})(1.1 \sim 1.3) / L_c$$

$$D_m = 1.13 \sqrt{F_{\max} + F_f} \text{ 或 } D_m = 1.13 \sqrt{F_{D,c}}$$

$$A_m = \sqrt{F_{\max} + F_f} \text{ 或 } A_m = \sqrt{F_{D,c}}$$

式中 $V_{D,k}$ ——锻件杆部体积(mm^3);

$V_{f,k}$ ——锻件杆部飞边体积(mm^3);

$V_{D,c}$ ——锻件叉形部位体积(mm^3);

$V_{f,c}$ ——锻件叉部飞边体积(mm^3);

$F_{D,c}$ ——锻件叉部平均截面积(mm^2);

L_c ——锻件叉部长度 (mm);

D_m, A_m ——计算坯料直径, 方形边长 (mm)。

选择坯料时, 应根据锻件沿长度方向上最大截面积或叉形部位最大截面积来选择。

多件模锻及其他类锻件的坯料选择, 可按上述类别进行。

(3) 坯料选定: 根据计算的坯料尺寸 D_m 或 A_m 值, 按国家标准的圆钢或方钢规格选用

选定坯料规格后, 计算出坯料长度 L_m 。

$$L_m = \frac{V_m}{\frac{\pi}{4} D_m^2}$$

或

$$L_m = \frac{V_m}{A_m^2}$$

坯料规格须通过调试后最终确定

4. 模锻力计算及设备吨位确定

热模锻压力机上模锻时变形力的计算, 是为了选用适当的设备, 使生产出的模锻件的质量和精度稳定, 生产率高, 充分发挥热模锻压力机的优越性。

变形力的计算方法很多。多数为从事模锻生产和研究的学者、专家、技术工作者的经验公式。本章提出下列比较适用于实际的计算方法。

(1) 开式模锻算力公式之一：

$$P = (50 \sim 70)F$$

式中 P ——变形力 (kN)；

F ——包括飞边桥部在内的锻件投影面积 (cm^2)。

本公式适宜于估算某种锻件变形力。初步选用某种型号的热模锻压力机。

式中系数 50~70，对于锻件形状简单，过渡圆角较大，外圆角较大，壁厚较厚，肋低而厚的可取小值。如第 I 类中的轴对称锻件，对于形状复杂，扁薄、模膛窄而深，外圆角小的锻件应取大值。

(2) 开式模锻算力公式之二：

$$P = W \cdot K_m \cdot F$$

式中 P ——变形力 (N)；

F ——包括飞边桥部在内的锻件投影面积 (cm^2)；

K_m ——单位面积压力 (Pa)。

K_m 值可查图 4-7 (用于长轴类锻件)，和图 4-8 (用圆形锻件)。

图 4-7 根据锻件在平面图上投影的最大宽度 (包括飞边面部) B_{max} 与 4 倍飞边桥部厚度 $4S$ 的比值和 $b=10\text{mm}$ 的交点找出 K_m 值。

图 4-8 根据锻件最大外径 (包括飞边桥部) D 与 4 倍飞边桥部高度 $4S$ 的比值和 $b=10\text{mm}$ 的交点找出 K_m 值。

W 为温度与材料影响系数。例如：当温度为 1200°C ，钢 45 时 $W=1$ ，其余查表确定。见图 4-9。

(3) 设备选择：根据上述变形力的计算，在热模锻压力机上模锻某种锻件时，选择适当的热模锻压力机。根据实践经验，公称压力应比变形力大。设备公称压力选为 1.18 左右的变形力为宜。如图 4-10 所示。

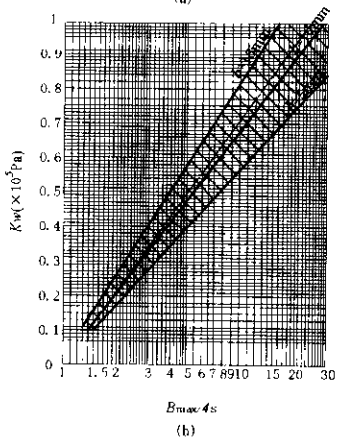
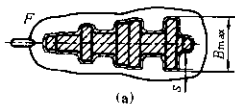
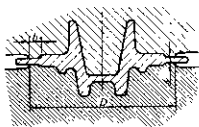
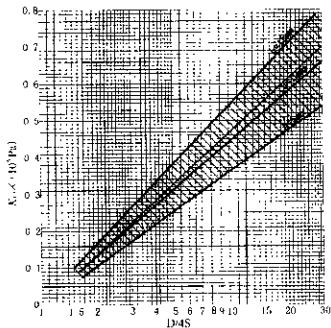


图 4-7 在 1200℃ 时锻造长轴类模锻件的单位面积变形力



(a)



(b)

图 4-8 在 1200°C 锻造圆形模锻时的单位面积变形力

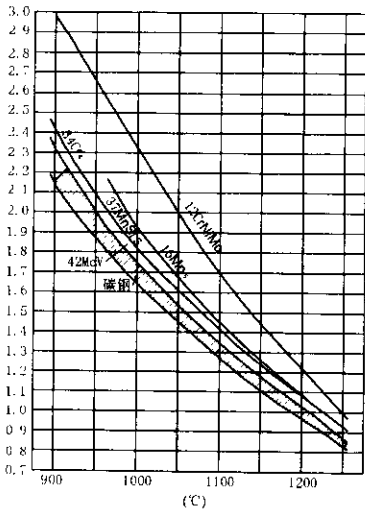


图 4 9 温度与材料影响系数

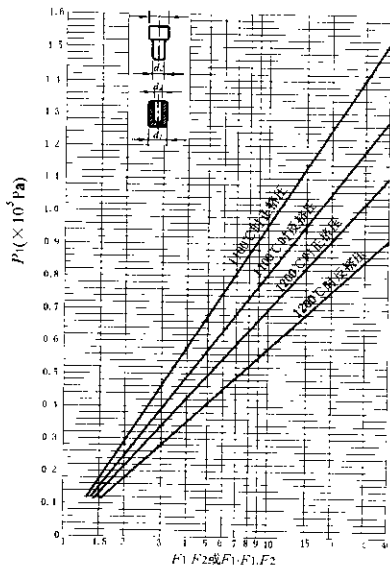


图 4-10 45 钢挤压的单位面积变形力

5. 锻模设计特点

(1) 锻模结构：锻模系指加工成模膛的模块。锻模属于经常更换的部分。根据模锻件形状不同，锻模有各种不同结构，考虑锻模结构的主要因素为：

① 模具钢消耗：模锻用的热作模具钢，含有多种合金元素，价格高。因此，有效寿命和经济是设计模块的首要因素。

② 模具制造与维修：锻模结构必须使制造和维修方便，容易保证精度，便于装卸更新，但必须保证安全可靠。

③ 锻模翻新：如果锻模结构设计合理，有些锻模可以不采用翻新而具使用效果，经济效益、制造等方面与进行翻新的锻模相似，则这种结构的设计是可取的。因为模具翻新后，定位面精度发生变化，修复困难或加工工作量大而增加制造费用。模膛翻新后，其表面硬度降低，影响模具寿命，降低经济效益。充分利用模块有效高度也是重要的。

锻模分为上、下模，其总高度（包括分模面间隙）为锻模的闭合高度。这个高度应尽可能考虑在同一热模锻压力机上可以生产锻件的大小。即模膛最大深度 h_{\max} 和该处模块安全厚度 h_1 ，应使 $h_1 = 1.5h_{\max}$ ，这样可以确定锻模闭合高度。

(1) 锻模型式

整体式锻模：上、下锻模各为一整块。见图 4-11。

镶块式锻模：上、下锻模各分为两块或其中有一个分为两块。分为模座和镶块模。模座不经常更换，镶块模上加工出各种模膛，镶块模可以一次性使用不翻新。镶块模的厚度：对于闭合高度在 320mm 以下，选用 60~70mm。闭合高度在 400mm 以上，选用 80~120mm。选用原则按模膛形状及模膛最深部位的底部强度考虑。超出上述高度则不宜采用镶块模。

镶块与模座之间的定位和紧固：

方形和矩形镶块，如图 4-12；图 4-12a 采用长槽，图 4-12b 采用方键，图 4-12c 采用空心圆键。

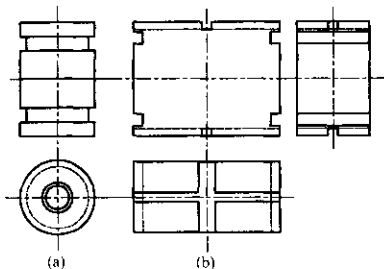


图 4-11 整体式锻模
(a) 圆形锻模 (b) 矩形锻模

圆形模块如图 4-12, 图 4-12d 采用圆销, 图 4-12c 采用窝座定位、采用窝座, 加工同一基准, 模膛中心与模块中心的同心度较易控制。但是, 镶块相对于模块不能调整错差

③ 锻模承压应力计算:

● 模块平面尺寸: 模块平面尺寸按模膛最大外形尺寸加上模壁厚度确定, 模壁厚度 s 按下式确定:

$$s = (1.5 \sim 2.0)h > 40(\text{mm})$$

式中 h ——最外的模膛深度 (mm);

s ——外模壁厚度, 当模膛最外处呈圆形时, 系数可选 1.5
如果该处为 10° 以下的斜面时, 系数应取 2.

从上述, 可以计算出模块初步平面尺寸和平面面积。

● 锻模承压力计算及校核:

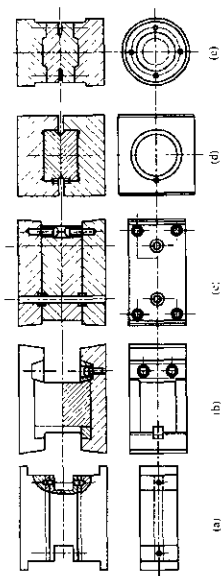


图 4-12 镶块式锻模

(a)、(b)、(c) 矩形镶块 (d)、(e) 圆形镶块

$$\sigma = \frac{P}{F}$$

式中 σ ——模块底部所承受的单位面积压力 (MPa);

P ——设备公称压力 (N);

F ——模块底面实际承压面积 (mm^2), 实际承压面积为模块底面面积减去顶杆孔、键槽等不承受压力部分的面积。

σ 的数值应小于或等于 350MPa, 当大于这一数值时, 应改变模块尺寸, 增大承压面积。通常 σ 值在 300MPa 为好。

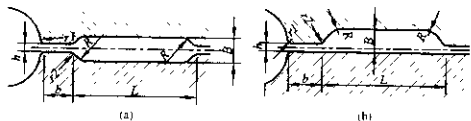
(2) 模腔设计: 热模锻压力机上模锻模腔的制造主要根据模锻工步图。工步设计是模腔设计的依据, 除了工步图外, 模腔设计还包括如下内容。

①分模面间隙及飞边槽: 热模锻压力机上模锻时, 上下锻模不直接接触, 没有承击面, 在滑块行程下死点 (即设备的封闭高度) 时, 上

下模分模面之间有间隙。对于制坯模腔，这个间隙是空的。而对于预锻模腔和终锻模腔，则是飞边桥部的厚度。这个厚度，对于模锻件的成形充满模膛和模锻力有决定性的影响。预锻模膛和终锻模膛的飞边槽尺寸及形式见表4-15和表4-16。

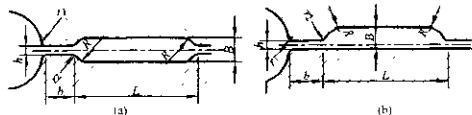
一般情况选用A型飞边槽，只有要求下模飞边桥部和仓部处于同一平面的情况下采用B型。

表4-15 预锻模膛飞边槽尺寸 (mm)



尺寸 \ 设备 (MN)	10		16		20		25		31.5		40		63		80		120	
	10	16	20	25	31.5	40	63	80	120	10	16	20	25	31.5	40	63	80	120
h	3	3	4	5	6	6	7	7	8									
b	10	10	10	12	15	15	20	20	24									
B	10	10	10	10	10	10	10	12	18									
L	40	40	40	50	50	50	60	60	60									
r_1	1.5	1.5	2	2	3	3	3.5	3.5	4									
r_2	2	2	2	2	3	3	4	4	4									

表 4-16 终锻模膛飞边槽尺寸 (mm)



设备 (MN)	10	16	20	25	31.5	40	63	80	120
尺寸									
h	2	2	3	4	5	5	6	6	8
b	10	10	10	12	15	15	20	20	24
B	10	10	10	10	10	10	10	12	18
L	40	40	40	50	50	50	60	60	60
r_1	1	1	1.5	1.5	2	2	2.5	2.5	3
r_2	2	2	2	2	3	3	4	4	4

②顶出器：顶出器的型式应根据锻件的形状和要求选择适当的型式，如图 4·13。

顶出器应尽可能布置在飞边上或冲孔连皮上，因为顶杆将锻件从模膛中顶出时总会在顶出部位形成凹的或凸的痕迹，有时会影响后期工序的进行或影响模锻件的尺寸偏差和形状偏差。顶杆布置在加工面上时，应注意不影响加工定位。

③排气孔：在模锻过程中，深而窄的型腔，变形开始时，坯料覆盖在模膛上，模膛内的空气在金属流入模膛时无法逸出。为使金属能完全充满模膛，应设计排气孔。

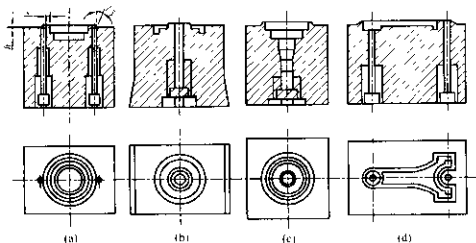


图 4-13 顶出器型式

(a) 顶飞边 (b) 顶连皮 (c) 顶锻件本体 (d) 顶锻件本体和飞边

排气孔应设计在模膛最后被充满的部位。排气孔直径 ϕ 应不大于 2mm，深度为 5~15mm，其下端则扩大为 $\phi 4 \sim \phi 5\text{mm}$ ，以简化制造工艺。

(1) 锻模膛设计：预锻模膛设计是根据预锻工步设计。为了使终锻模膛充满成形，应注意预锻模膛一些特殊部位的设计。

- 叉形锻件预锻模膛设计：为了保证叉形部位的充满和阻止金属沿叉形开口方向流失到飞边槽中，预锻模膛在叉形开口处必须设置阻流沟。阻流沟数量为二条，靠近模膛的阻流沟长度应比叉口内侧宽度长 10~20mm，第 2 条在距第 1 条 8~12mm 处，长度为第一条的 2/3。阻流沟的直径为 $\phi 8 \sim \phi 15\text{mm}$ ，如图 4-14a 所示。

- 枝芽形锻件预锻模膛设计：图 4-14b 所示锻件，在制坯工步采用偏心压挤。为了使金属流到枝芽模膛中去，也采用阻流沟设计，但按枝芽形状，阻流沟设计成相应的弯曲形状。

- 形状变化大的锻件预锻模膛设计：如图 4-15a 所示的锻件，A-A 剖面形状很窄，变化大，预锻模膛为了有利于终锻时不产生折

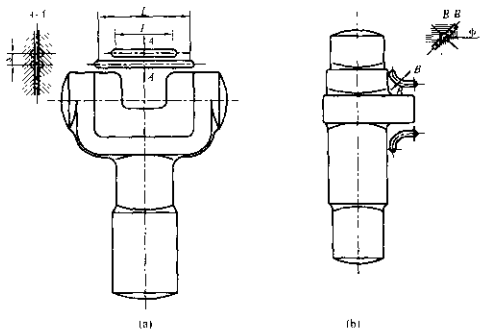


图 4-14 预锻模膛设计之
(a) Y形锻件 (b) 枝芽形锻件

纹，形状改变得较大，主要是降低高度，增加 R 过渡， $R_2 - (2 - 5) R_1$ 、 h_1 与 h_2 的差值，以相应剖面面积相等即可。

● 连杆锻件预锻模膛设计：如图 4-15b 所示，A—A 剖面设计是为了消除终锻时在形状变化大的地方产生折纹，C—C 剖面具有分料和消除折纹的作用。

● 局部突出锻件预锻模膛设计：如图 4-16c 所示，在突出部位向两侧过渡处，设计成近似球面，起分流金属的作用。

● 预锻模膛设计飞边槽的变化：对于锻件某一段形状复杂，模膛很深而窄，为了使金属更好充满模膛，可以改变飞边槽的形状，即把飞边槽的桥部厚度减小，按表 4-15 选用小 1~2 个档次，桥部宽度增大 1~2 个档次。

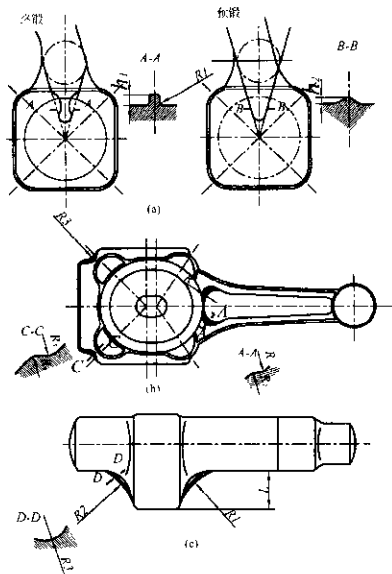


图 4 15 预锻模膛设计之二

(a) 形状变化大的锻件 (b) 连杆锻件 (c) 局部突出锻件

当预锻接膛飞边槽设计变化时，终锻模膛相应部位的飞边槽也作相应的变化。

三、平锻机上模锻

平锻机是曲柄压力机中的一种，所以，它具有曲柄压力机的一切特点，如震动小，不需要庞大的设备基础，劳动条件好；可用组合式、镶块式锻模，节省模具钢，模具费用低；设备行程固定，锻件高度方向尺寸稳定性好。平锻机由两个互相垂直的分模面，因此具有如下模锻特点：

- 能锻出两个不同方向上具有凹档或凹孔的锻件。
- 进行长杆类锻件和长杆空心锻件的模锻，以及进行深冲孔和深穿孔工序。
- 模锻斜度较小，或无模锻斜度。
- 可进行切边、剪料、弯曲、热精压等联合工序，不需另外配压力机。
- 可用长棒料进行多件模锻。
- 模具可采用组合式或镶块式。
- 平锻机冲击力小，基础和厂房造价低。
- 水平分模平锻机可进行热挤压。

平锻机模锻的缺点：

- 锻造同类型大小的锻件，平锻机生产率比热模锻压机低。
- 垂直分模平锻机模锻穿孔锻件时，剩余料头较长，如不利用，材料消耗大，水平分模平锻机模锻穿孔锻件，由于分模面呈水平，夹紧力大，其剩余料头较短。

平锻机可进行开式和闭式模锻，可进行终锻成形和制坯，也可进行弯曲、压扁、切料、穿孔、切边等工步。平锻机主要工序是局部墩粗，又称聚集工序。其主要锻造工序如图 4-16。

1 平锻件分类及其工艺特点

平锻机模锻的锻件品种、尺寸范围甚广，为了便于进行工艺及模具设计工作，根据锻件形状特点，将平锻件分为四类，见表 4-17。

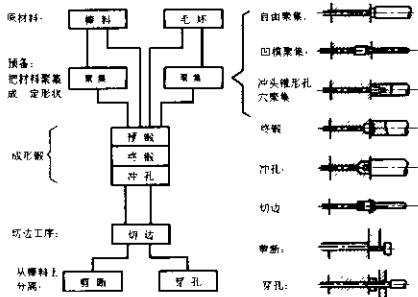
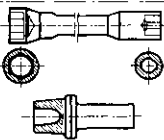
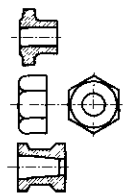
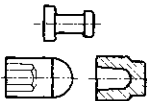


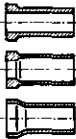
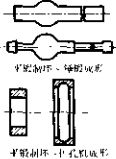
图 4-16 平锻机主要锻造工序

表 4-17 平锻件的分类及其工艺特点

类 别	简 图	工 艺 特 点
第 I 类 带头部的 杆类锻件 (无孔类)		①原材料直径按锻件杆部选用； ②多为单件，后定料模锻； ③模锻工步为聚料、预成形和终成形； ④开式模锻时有切边工步

续表

类别	简图	工艺特点
带头部的 杆类锻件 第 I 类 (不通孔类)		①原材料直径按锻件杆部选用; ②多为单件、后定料模锻; ③模锻工步为聚料、预成形和终成形; ④开式模锻时有切边工步
无杆部的 孔类锻件 第 II 类		①原材料直径尽量按孔径选用; ②多为长棒料、前定料连续锻造; ③主要工步为聚料、冲孔、预成形和终成形、穿孔
无杆部的 无孔或不通孔类 锻件 第 III 类		①原材料直径由工艺需要选定; ②多为长棒料、前定料连续锻造; ③主要工步为聚料、冲孔、预成形和终成形、切断

类	别	简	图	工 艺 特 点	
第 III 类	管材锻粗		<p>①原材料直径按锻件杆部的管子规格选用；</p> <p>②基本上是单件后定料模锻；</p> <p>③加热部分的长度不能过多地超过变形部分尺寸；</p> <p>④主要工步为聚料、预成形及终成形</p>		
	联合模锻件			 <p>平锻制坯、锤锻成形</p> <p>平锻制坯、冲孔机成形</p>	<p>根据锻件形状、尺寸,可先平锻机上制坯,再在其他设备上成形;也可先在其他设备上制坯,再平锻机上成形;或不同设备各成形锻件的不同部位</p>
	第 II 类				

2. 锻件图的设计

(1) 分模面的选择: 对于使用前挡板的锻件, 因能控制变形金属的体积, 多采用闭式模锻 (如图 4-17a)。对于使用后挡板或钳口定位的锻件, 多采用开式模锻 (图 4-17b)。对于形状复杂的锻件, 虽然使用前挡板, 但也采用开式模锻, 以利用飞边槽储存多余金属。

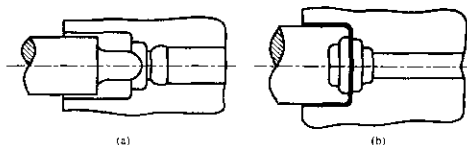
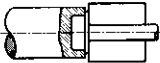


图 4-17 模锻形式
(a) 闭式模锻 (b) 开式模锻

分模面位置应选在锻件最大轮廓处。它分为如下三种情况，见表 4-18

表 4-18 分模面的位置选择

分模位置的类型	分模位置的简图	特点
分模位置设在锻件最大轮廓的前端面		凸模结构简单，可保证头部和杆部的同心度。但在切边时易产生纵向毛刺。
分模位置设在锻件最大轮廓的中间		锻件切边质量好，但当凸凹模调整不好时，易产生错位。

分模位置的类型	分模位置的简图	特点
分模位置设在锻件最大轮廓的后端面		<p>锻件全部在凸模内成形，能获得内外径和前后台阶（若锻件形状要求）同心度好的锻件，但锻件在切边模腔内不易定位，并且锻件和坯料之间易产生错位，采用较少。</p>

(2) 横向飞边的尺寸：横向飞边的尺寸表 4-19，厚度 h_f ，对于精度差的平锻机取大值。

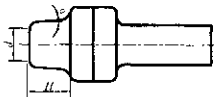
表 4-19 横向飞边尺寸 (mm)

D_d	< 20	20 ~ 80	80 ~ 160	160 ~ 260
c	5	8	12	15
h_f	1.5 ~ 2	2 ~ 4	3 ~ 5	4 ~ 6

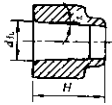
(3) 模锻斜度：锻件在冲头内成形的部分及需采用冲头冲孔的锻件，为保证冲头在机器回程时，锻件外侧及内孔不被冲头拉毛，应在锻件外侧及内孔设置模锻斜度（表 4-20）。

表 4 20 平锻件模锻斜度数值表 (JB3835—85)

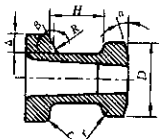
冲头内成形拔模角 α

	$\frac{H}{d}$	≤ 1	$> 1-3$	$> 3-5$
	α	$0^{\circ}15'$	$0^{\circ}30'$	$1^{\circ}00'$

内孔拔模角 γ

	$\frac{H}{d_h}$	≤ 1	$> 1-3$	$> 3-5$
	γ	$0^{\circ}30'$	$0^{\circ}30' - 1^{\circ}00'$	$1^{\circ}30'$

凹模成形内拔模角 β

	Δ	≤ 10	$> 10-20$	$> 20-30$
	β	$5^{\circ}-7^{\circ}$	$7^{\circ}-10^{\circ}$	$10^{\circ}-12^{\circ}$
	α	$3^{\circ}-5^{\circ}$	$3^{\circ}-5^{\circ}$	$3^{\circ}-5^{\circ}$

其他内容见第三章的相关标准 (JB3835—85) 确定。

3. 锻锻力的计算和设备选择

锻锻力可采用下面经验公式来计算：

$$P = 57.5KF$$

式中 P ——平锻机的压力 (kN)；

F ——锻件投影面 (包括飞边) (cm^2)；

K ——钢种系数，见表 4-21。

表 4-21 钢种系数 K

序号	钢种牌号	系数 K
1	中碳钢及低碳合金钢，如 45, 20Cr,	1
2	高碳钢及中碳合金钢，如 60, 45Cr, 40CrNi	1.15
3	高碳合金钢，如 GCr15	1.30

根据以上公式计算所得的模锻力选择平锻机。在确定平锻机吨位时还应同时考虑到，若锻件是薄壁及复杂形状的锻件，或锻件精度要求较高时，应选用较大规格平锻机；当模锻工步过多，平锻机模具固定空间尺寸不足时，可越级选用大规格平锻机。相反，如进行单模膛单件模锻时，因锻造温度较高，则可按下限选用较小规格平锻机。

4. 平锻工步设计

(1) 局部锻粗类工步设计：

①局部锻锻的基本原则：

● 当坯料上需要锻锻部分的长度 l_0 与直径 d_0 之比值 $\phi \leq 2.5$ 时，可将坯料一次锻锻到任意尺寸而不会引起坯料弯曲 (如图 4-18a)。当坯料端面比较平直，且直径较大，加热均匀时，可适当增大 ϕ 值，取 $\phi \leq 3.2$ ，反之，则适当减小。具体数值可参照表 4-22 选取。

表 4 22 局部镦粗基本条件

冲头形状	·次行程局部镦粗条件	说 明
平冲头	$\psi_{允} = \frac{l_0}{d_0} - 2 + 0.01d_0 \left(d \frac{1}{k_1} \right)$	坯料端面斜度 $\alpha < 2^\circ$
平冲头	$\psi_{允} = 1.5 + 0.01d_0 \left(d \frac{1}{k_1} \right)$	坯料端面斜度 $\alpha = 2^\circ \sim 6^\circ$ (一般剪床下料, 平锻机剪断模下料)
有凸台冲头	$\psi_{允} = 1.5 + 0.01d_0 \left(d \frac{1}{k_1} \right)$	坯料端面斜度 $\alpha < 2^\circ$
有凸台冲头	$\psi_{允} = 1.0 + 0.01d_0 \left(d \frac{1}{k_1} \right)$	坯料端面斜度 $\alpha = < 2^\circ \sim 6^\circ$

① 在第二次及以后的镦锻工步中, 用 $d_{m1} = \frac{d+D}{2}$ 代替 d_0 (见图 4-18c)

●当 $\psi \geq 2.5$ 时, 坯料在镦锻时容易弯曲, 这时最好采用锥形凸模镦锻 (图 4-18c)。若在圆柱形凹模中镦锻 (图 4-18b), 虽然可防止坯料弯曲, 但镦锻效果不如锥形凸模, 如需增加工步次数等, 且容易产生纵向毛刺, 影响表面质量, 故很少采用。

②镦锻工步设计: 由于坯料在锥形凸模中镦锻能获得较好的效果而被广泛使用, 因此, 这里仅介绍在锥形凸模中镦锻的工步设计。

●传统法:

根据热锻件镦锻部分的尺寸确定坯料变形部分的体积 V , 并考虑锻件上偏差之半和环形飞边及烧损体积。

计算坯料热镦锻部分的原始长度 l_0 :

$$l_0 = \frac{4V}{\pi d_0^2}$$

确定坯料锻造部分的长径比 ψ :

$$\psi = \frac{l_0}{d_0}$$

计算锥体尺寸, 如图 4-18c 所示, 若 $\psi > 2.5$, 设 $d = \eta d_0$, $D = \epsilon d_0$, $\alpha = \beta d_0$, 则应使锥形模膛符合下列条件:

$$\beta \leq 3, \quad \eta - 1 = 1.2 \quad (\text{第一道工序取小值})$$

$$\epsilon = 1.73 \sqrt{\frac{\psi}{\psi - \beta} - \left(\frac{\eta}{2}\right)^2} - \frac{\eta}{2}$$

$$D = \epsilon d_0, \quad L_{\text{锥}} = \frac{3.82 u V}{D^2 + d^2 + Dd}$$

式中 u ——模膛不充满系数, 查表 4-23。

根据锥体平均直径 $d_{\text{中}} = \frac{D+d}{2}$, 第一次锻造后的长径比 $\psi_1 = \frac{L_{\text{锥}}}{d_{\text{中}}}$, 检验 ψ_1 是否小于 $\psi_{\text{允}}$ 值, 若 $\psi_1 > \psi_{\text{允}}$, 则进行第二次或多次锻造, 直到满足局部锻造基本条件为止。

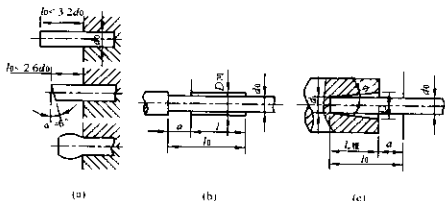


图 4-18 局部锻造工艺参数

(a) 平冲头局部锻粗 (b) 圆柱形凹模局部锻粗 (c) 锥形凸模局部锻粗

表 4-23 模膛不充满系数 u

工步序号	原始直径 d_0/mm				
	<20	20~40	40~60	60~80	>80
1	1.06	1.08	1.10	1.12	1.14
2	1.04	1.06	1.07	1.08	1.10
3	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06
4	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05
5 和以 后工步	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04

●经验法：按传统法求出 V 、 l_0 和 ψ ，
确定锥形镦锻工步数 n' ：

$$n' = \frac{D_{\text{中}} \psi - l_n}{(0.042\psi + m) D_{\text{中}}} - 1$$

n' 有小数时，去掉小数部分取整数。

计算锥腔小底直径 d_n ：

$$d_n = d_{n-1} [(1.03 \sim 1.05) + (0.03 \sim 0.05)(n-1)]$$

计算锥腔大底直径 D_n ：

$$D_n = \frac{2l_0}{\psi \cdot (0.042\psi + m) n} + d_n$$

但不得小于 $1.25d_{n-1}$ （在计算第 n 工步时，将第一工步得到的锥体平均直径 $d_{\text{中}}$ 作为检验 D_n 的 d_{n-1} ）。

计算锥腔长度 l_n ：

$$l_n = \frac{3.82uV}{D_n^2 + d_n^2 + D_n d_n}$$

按以下条件

$$\begin{cases} \eta - 1 \sim 1.05 \\ \eta \psi \leq \frac{0.4838}{\psi} \\ \beta \leq 3.0 \quad (\psi \leq 14) \end{cases}$$

检验 β 值, 当 β 超过 3 或 $\varphi < 2'$ 时, 增大 l_n , 并在锥腔大底附近作出大锥, 如图 4-19 所示。

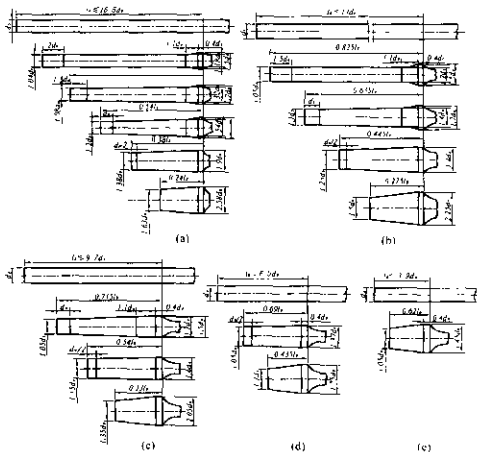


图 4-19 顶锥上步计算图

a. 五次聚料, $13d_0 \leq l_n \leq 16.5d_0$; b. 四次聚料, $9.7d_0 \leq l_n \leq 13d_0$; c. 二次聚料, $6.5d_0 \leq l_n \leq 9.7a_0$; d. 二次聚料, $3.9d_0 \leq l_n \leq 6.5d_0$; e. 一次聚料, $l_n \leq 3.9d_0$

式中 d_0 ——原始热坯料的名义直径；

$D_{中}$ ——锻件墩锻部分的平均直径， $D_{中} = 1.13 \sqrt{\frac{V}{l_{锻}}}$ ；

$l_{锻}$ ——锻件墩锻部分的长度；

m ——表示墩锻过程稳定性的量， $m = 0.69 \sim 0.79$ ，数值越小，稳定性越好；

n ——工步顺序号；

u ——模膛不充满系数，按表 4-24 选取；

其余符号见图 4-18c。

为了简化计算，可按图 4-20（图中折线 abc 是根据具体条件绘制的），根据不同的 ψ 值和 η 值，求出所需的 ϵ 、 β 值，再根据 η 、 ϵ

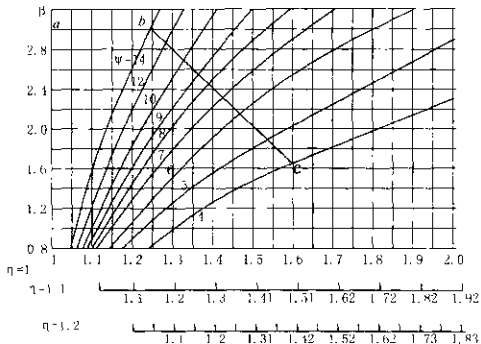


图 4-20 锥形墩锻限制线

②预锻工步设计：根据锻件孔径的大小和孔深的不同，对预锻毛坯设计及冲孔次数由表4-25、表4-26确定。表4-25中 $a+c$ 见表4-24中尖冲头冲孔简图所示。

表4-25 冲孔次数

$(a+c)/d_{\text{锻}}$	<1.5	1.5~3.0	3~5
冲孔次数	1	2	3

表4-26 各类锻件对预锻毛坯形状设计的要求

类型	简图	工艺参数
浅孔 厚壁 锻件		$D'_{\text{锻}} = D_{\text{锻}}$ ，或 $D'_{\text{锻}} = D_{\text{锻}} - (1 \sim 2)\text{mm}$ $a = 5 \sim 20\text{mm}$ $H' = H + (10 \sim 15)\text{mm}$ $d'_{\text{锻}} = d_{\text{锻}} + (8 \sim 10)\text{mm}$ 模膛不充满系数 $K = 1.0 \sim 1.2$ $d'_{\text{锻}}$ 在满足上述条件后按体积不变原则计算确定
浅孔 薄壁 锻件		$D'_{\text{锻}} = D_{\text{锻}} - (0 \sim 2)\text{mm}$ $a = 5 \sim 20\text{mm}$ $H' = H + (8 \sim 15)\text{mm}$ $d'_{\text{锻}} = d_{\text{锻}} + (8 \sim 10)\text{mm}$ 模膛不充满系数 $K = 1.0 \sim 1.2$
		$D'_{\text{锻}}$ 在满足上述条件后按体积不变原则计算确定。

类型	简 图	工艺参数
深孔 厚壁 锻件		$D'_{\text{锻}} - D_{\text{锻}}, \text{ 或}$ $D'_{\text{锻}} = D_{\text{锻}} - (1 \sim 2)\text{mm}$ $d'_{\text{锻}} = d_{\text{锻}} + (8 \sim 10)\text{mm}$ 计算时应尽量做到: $D'_{\text{锻}2} = D_{\text{锻}}^2 - d_{\text{锻}}^2$ $D'_{\text{锻}1} = D'_{\text{锻}}$ $H_2 = H + (5 \sim 10)\text{mm}$ $H_1 = H_2 + (5 \sim 10)\text{mm}$ $\alpha' < \alpha$ 每道工序的冲头斜度 β 应保持不变。
深孔 薄壁 锻件		$D'_{\text{锻}} - D_{\text{锻}} - (0 \sim 2)\text{mm}$ $d'_{\text{锻}} = d_{\text{锻}} + (8 \sim 10)\text{mm}$ $D'_{\text{锻}} = D_{\text{锻}} - (0 \sim 2)\text{mm}$ 计算时应尽量做到: $d_1^2 = D_{\text{锻}}^2 - d_{\text{锻}}^2$ 锻件高度 H_1 、 H_2 和冲头斜度 β 、 α 的要求与深孔厚壁锻件相同

(3) 冲孔坯料尺寸的确定:

① 坯料体积 V

$$V = (V_{\text{锻}} + V_{\text{冲}}) (1 + \delta)$$

式中 $V_{\text{锻}}$ —— 锻件体积, 包括正偏差之半;

$V_{\text{冲}}$ —— 冲孔芯料体积;

δ —— 烧损率, 见表 4-27。

表 4-27 不同加热方法加热时钢的烧损率

加热方法	烧损率 $\delta \times 100$
室内煤炉	2.5~4
油 炉	2~3
煤 气 炉	1.5~2.5
电 阻 炉	1~1.5
接触加热和感应加热	<0.5

② 坯料直径 d_0 : 选择 d_0 时, 主要考虑使计算毛坯直径 $d_{\text{计}} = \sqrt{D_{\text{锻}}^2 - d_{\text{冲}}^2}$, 见图 4-21

当 $\frac{d_{\text{计}}}{d_{\text{锻}}} = 1.0 \sim 1.2$ 时, 应尽量使 $d_0 = d_{\text{锻}}$, 即

$$d_0 = (0.82 \sim 1.0) d_{\text{计}} \approx d_{\text{锻}};$$

当 $\frac{d_{\text{计}}}{d_{\text{锻}}} > 1.2$ 时, 为了减少工步数, 应取 $d_0 \geq d_{\text{锻}}$, 为了减少坯料卡细程度和料头损失, 在不增加聚料工步的前提下, 力求用较小直径的棒料;

当 $\frac{d_{\text{计}}}{d_{\text{锻}}} < 1.0$ 时, 为了防止金属在冲孔过程中先锻后挤压产生的倒流现象, 应选用较大直径的棒料, 使 $d_0 < d_{\text{锻}}$ 。

⑤ 坯料长度 l_0

$$l_0 = 1.27 \frac{V_1}{d_0^2}$$

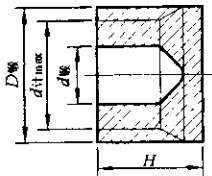


图 4·21 计算毛坯图

第五章 模锻后续工序及其质量控制

一、切边、冲孔

1. 切边、冲孔的方式

切边和冲孔通常在切边压力机上进行。切边和冲孔分为热切、热冲和冷切、冷冲两种方式。其特点和适用范围见表 5-1。

表 5-1 切边、冲孔的方式、特点及适用范围

方式	特 点	适 用 范 围
热切和热冲	热切和热冲是在模锻后利用锻件余热立即进行，受模锻设备生产节拍的限制，影响生产率；所需的冲切力较小；锻件具有较好的塑性，切口不易产生裂纹。但凸凹模需按热锻件尺寸配制，制模有所不便	适用于大、中型锻件，含碳量大于 0.6% 的高碳钢、高合金钢、镁合金、钛合金和高温合金锻件，切边后还需采用热校正、热弯曲的锻件
冷切和冷冲	冷切和冷冲是在模锻以后集中在常温下进行，故不受模锻设备生产节拍的限制，生产率高，劳动条件好，而且凸凹模是按冷锻件尺寸配制的，制模较为方便。但是冷冲切所需的冲切力较大，塑性差的材料切口还容易产生裂纹	含碳量低于 0.45% 的碳钢或低合金钢的小锻件以及非铁合金锻件

2. 切边模和冲孔模的类型

切边和冲孔所用的模具按结构分为简单模、连续模及复合模三种。图 5-1 为三种模具示意图。

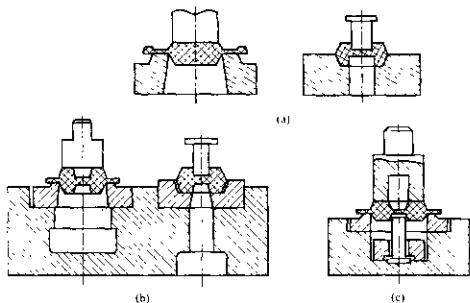


图 5-1 切边与冲孔模示意图

(a) 简单模 (b) 连续模 (c) 复合模

3. 简单切边模设计

切边模一般由切边凹模、切边凸模、模座、卸毛边装置等零件组成。

(1) 切边凹模的设计：

①凹模结构与型式凹模可做成整体式(图 5-2)或拼块式(图 5-3)。整体式多用于旋转体锻件，其他锻件的切边凹模均做成拼块式，以便于加工和调整。分块方法应根据锻件形状、凹模的调整、凹模在热处理时的变形以及凹模的机械加工等因素来确定。从热处理时的变形看，凹模每块长度不宜大于 350mm。分块方法如图 5-3。

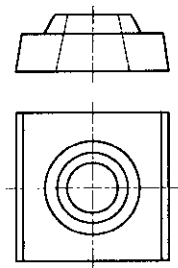


图 5-2 整体式凹模

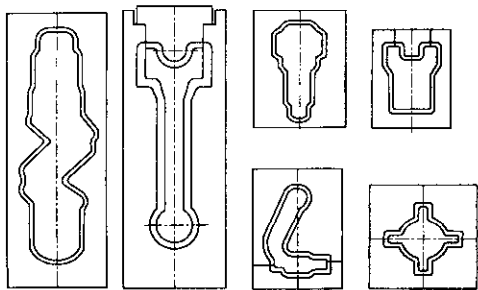


图 5-3 切边凹模分块方法

切边凹模常用的型式如图 5-4, 其主要尺寸见表 5-2, 图 5-5 为切边凹模钳口型式。钳口颈高度 h 与锻件钳口颈高度相同, 其宽度 b 应比锻模钳口颈宽度大 2mm, 锻模钳口颈尺寸见锻模设计数据。

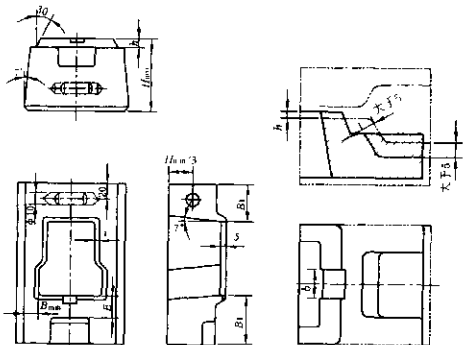


图 5-4 切边凹模的常用型式

图 5-5 切边凹模钳口型式

表 5-2 切边凹模主要尺寸 (mm)

毛边桥 部高度	H_{\min}	h	B_1	B_{\min}	备注
< 1.6	50	10	35	30	1000kN 切 边压力机

续表

飞边桥部高度	H_{\min}	h	B_1	B_{\min}	备注
2~3	55	12	40	35	3150kN 切边压力机
>4	60	15	50	40	3150kN 切边压力机

②凹模刃口型式：凹模刃口的轮廓线按锻件图在分模面上的轮廓线制造，热切边时应考虑冷收缩率 1.2%~1.5%，对于易冷却的细长锻件或锻件杆部取小值，反之取大值。

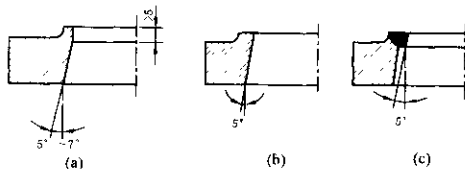


图 5-6 凹模刃口型式

(2) 切边凸模设计：凸模按锻件配制，具体设计时应考虑如下几方面的因素：

①凸模与锻件需有一定的接触面积（承压面），且形状吻合，以防切边时锻件表面被划伤或产生弯曲。

②为了避免啃坏锻件的过渡断面处，应在该处留出空隙（图 5-7），其值见表 5-3。

③为了便于凸模加工，凸模并不需要与锻件所有的接触面接触，

可作适当简化（如图 5-8）。为此，应将锻件形状简单的一面作为切边时的承压面（如图 5-9）。

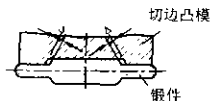


图 5-7 切边凸模与锻件间的间隙



图 5-8 简化凸模形状



图 5-9 锻件承压面的选择

表 5-3 切边凹模与锻件间的间隙

压力机吨位 (kN)	500 ~ 600	2000 ~ 3500	5000 ~ 10000
Δ (mm)	1.5 ~ 2.0	2.5 ~ 3.0	3.5 ~ 4.0

(3) 切边凸凹模间隙的选择：对于凹模起剪切作用的凸凹模间隙 δ ，根据垂直于分模面的锻件横截面形状及尺寸不同，按图 5-10 及表 5-4 确定。也可按压力机吨位选择（表 5-5）对于锻件模锻斜度大于 15° 时（图 5-10c），间隙不宜太大，保持 0.5mm 左右的最小间隙即可。对于凸凹模同时起剪切作用的凸凹模间隙，可按下列式计算：

$$\delta = k \cdot t$$

式中 δ ——凸凹模单边间隙 (mm)；

t ——切边厚度 (mm)；

k ——材料系数：

钢、钛合金、硬铝 $k = 0.08 \sim 0.1$

铝、镁、铜合金 $k = 0.04 \sim 0.06$

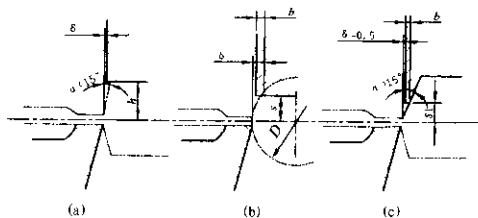


图 5-10 切边凸凹模间隙

表 5-4 切边凸凹模间隙 δ [mm]

型 式 a		型 式 b	
h	δ	D	δ
<10	0.5	<30	0.5
10~18	0.8	30~47	0.8
19~23	1.0	48~58	1.0
24~30	1.2	59~70	1.2
>30	1.5	>70	1.5

表 5-5 切边凸凹模间隙 δ (mm)

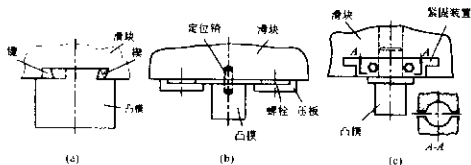
切边压力机吨位 (kN)	δ
1600 ~ 2500	0.5 ~ 0.8
3150 ~ 5000	0.8 ~ 1.2
10000	1.2 ~ 1.5

为了便于模具调整,沿整个轮廓线间隙应按最小值取成一致,图 5-10b、c 中的凸模下端削平后的宽度 b ,对小型锻件为 1.5 ~ 2.5mm,中型锻件为 2 ~ 3mm,大型锻件为 3 ~ 5mm。

(4) 切边凸凹模的固定:

①凸模的固定:常用的固定方式是图 5-11、图 5-12、图 5-13 有关尺寸见表 5-6。

凸模宽度和长度图中未表示出来,应根据锻件配制,高度尺寸根据模具封闭高度计算。



(a) 用于大型锻件 (b) 用于特大型锻件 (c) 用于中小型锻件

图 5-11 凸模直接紧固在滑块上

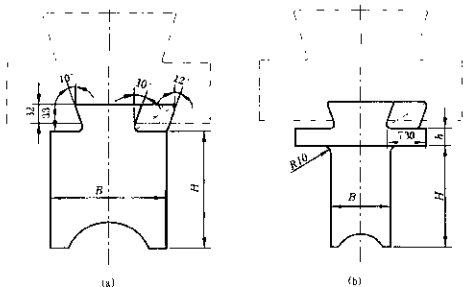


图 5-13 凸模用燕尾固定
(a) 用于 $B > 50\text{mm}$ (b) 用于 $B < 50\text{mm}$

表 5-6 凸模与模座连接部分的有关尺寸 (mm)

压力机吨位(kN)	M	D	d	h_1	h_2	h_3	h_4	b	h
< 3150	16	26	17	>18	7	6	35	25	15
>3150 ~ 6300	20	32	21	>22	10	8	45	32	20
>6300 ~ 12500	24	38	25	>26	12	10	55	40	25

②凹模固定：切边凹模多用楔或螺钉紧固在凹模底座上，用楔紧固较简单、牢固，用于整体凹模或两块组成的凹模（图 5-14 a），螺钉紧固的方法多用于三块以上的组合凹模，便于调整刃口的位置（图

5-14b), 其有关尺寸见表 5-7、表 5-8、表 5-9。轮廓为圆形的小型锻件, 也可用压板固定凹模 (图 5-14c), 其间隙靠移动模座来调整。

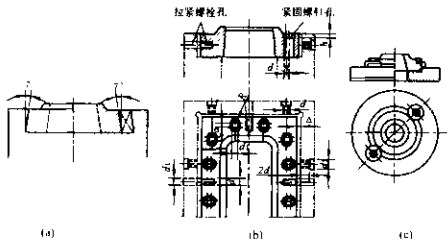


图 5-14 凹模紧固方法

(a) 用楔铁紧固 (b) 用螺钉紧固 (c) 用压板紧固

表 5-7 切边凹模紧固螺钉孔尺寸 (mm)

d	d_1	h	R	a	
M12	13	14	10	3	
M16	17	18	13	4	
M20	21	22	16	5	

表 5-8 凹模座与凹模之间的间隙 Δ (mm)

压力机吨位 (kN)	500 ~ 1600	1600 ~ 3500	5000 ~ 10000
Δ	1 ~ 2	1.5 ~ 3	3 ~ 5

表 5-9 用螺钉紧固的凹模螺孔中心距公差 (mm)

孔中心距	≤50	51~100	101~160	160~250	>250
公差	±0.1	0.15	±0.2	±0.25	±0.3

④下模座的确定：通常用于固定凹模的下模座有：低模座和高模座两类。其夹持可靠，用于大批量生产。其尺寸见表 5-10、表 5-11 和表 5-12。

表 5-10 用模固定凹模的矮型模座尺寸 (mm)

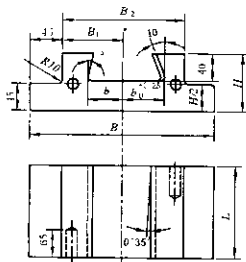
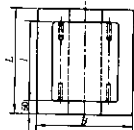
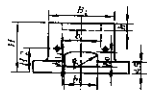
	b		L	B ₁	B ₂	B	H
	最小	最大					
	30	60	160	100	225	315	80
	40	70	180	110	245	335	100
	50	75	200	120	265	355	110
	60	85	240	130	285	375	110
	70	100	300	145	315	405	110
	75	100	360	145	315	405	110

表 5-11 用楔固定凹模的高型模座尺寸 (mm)

		<i>b</i>		<i>l</i>	<i>B</i> ₁	<i>B</i>	<i>H</i>	<i>L</i>	<i>b</i> ₀	<i>h</i> ₀	<i>h</i> ₁
		最小	最大								
	50	85	200	150	325	160	300	120	50	40	
	55	100	250	160	345	215	350	160	110	90	
	65	100	350	160	345	215	450	160	110	90	
	85	100	400	160	345	215	500	160	110	90	
	65	115	300	175	375	280	400	150	150	140	
	100	130	480	190	405	300	580	180	170	160	

表 5-12 凹模用螺钉固定的下模座尺寸 (mm)

b		l	h	B ₂	B	H	L	b ₀	k ₀	b ₁	R
120	220	280	40	280	380	200	380	150	95	75	25
200	300	400	40	360	460	200	500	220	85	75	25
200	300	400	40	360	460	280	500	220	155	135	30
220	340	400	40	400	500	350	500	230	190	170	30
160	260	500	40	320	420	350	600	205	200	180	30
200	340	440	40	400	500	260	540	230	130	120	30
220	340	460	40	400	500	280	560	270	155	135	30
240	360	440	40	440	540	320	540	300	180	170	50
280	380	600	40	460	560	370	700	300	240	230	50
200	300	800	40	360	460	280	900	200	135	120	30
200	300	1000	40	360	460	280	1100	200	135	120	30



(5) 模具高度的计算: 模具高度的计算见图 5-15 及图 5-16 有关符号含义如下:

$H_{(H)}$ ——模具闭合高度;

$H_{(D)}$ ——凹模高度;

H_2 ——上模座高度;

H_F ——下模座高度;

h_n ——凸模下端面至锻件分模面的距离, 一般 $h_n > (6 \sim 8) h$

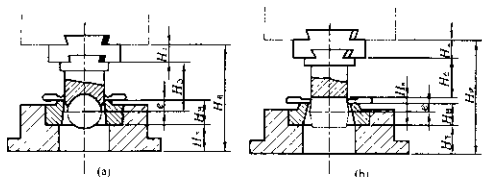


图 5-16 凸模高度的计算
(a) 凸模进入凹模 (b) 凸模不进入凹模

$$H_{凸} = H_{凹} - (H_L + H_{凹} + H_F) + e$$

②当滑块到下死点时，凸模进不进入凹模也能将飞边切净（图 5 16b），高度应为：

$$H_{凸} = H_{凹} - (H_L + H_{凹} + H_F + h_n) + e$$

(6) 卸毛边装置：当切边凸模的间隙 Δ 较小时（冷切时 $\Delta < 0.5\text{mm}$ ，热切时 $\Delta < 0.8\text{mm}$ ）应采用卸毛边装置。常用有以下几种。（图 5 17）。

型式 I 是刚性结构，比较可靠，也是最常用的一种结构

型式 II 用于长度较大的大型锻件，用脱边爪脱出飞边。

型式 III 常用于冷切飞边，当锻件高度较大时，用弹簧代替支承管，以减小凸模高度。

型式 IV 用于冷切或热切特高的锻件，采用这种结构可以减少模具高度，推卸飞边所需的弹簧压力约为切飞边力之半。

4. 简单冲孔模设计

凸模端部起冲切作用，凸模刃口尺寸按锻件内孔公称尺寸设计。锻件以凹模凹穴定位，可取空隙 Δ_1 等于锻件正偏差的 1/2，凹模孔直径应比锻件支承面上的孔径小 1~2mm，凹模孔的高度 H 不应小

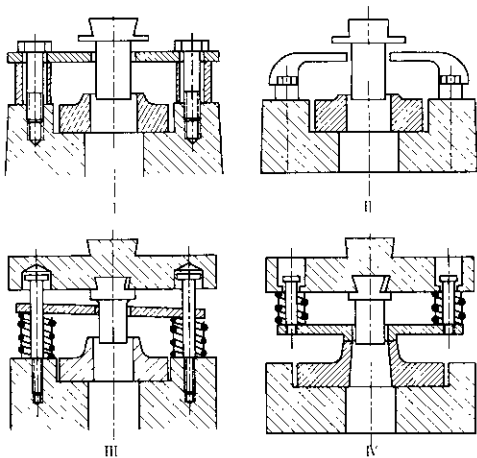


图 5-17 卸毛边装置

于连皮厚度 $S+15\text{mm}$ (图 5-18)。冲孔凸凹模的间隙见表 5-13。

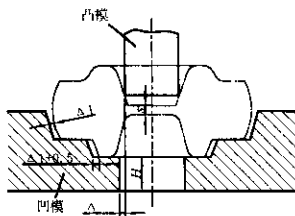


图 5-18 冲孔凹模示意图

表 5-13 冲孔凸凹模的单边间隙

冲孔连皮厚度 (mm)	每边间隙为连皮厚度的百分数 (%)			
	热冲孔	冷冲孔		
		10、20 钢	20、25、35 钢	45 钢以上
<2.5	1.8~2	3.5~4	4~4.5	4.5~5
2.5~5	2~2.5	4~4.5	4~5.5	5~6
5~10	2.5~3	4.5~5.5	5.5~6.5	6~7
>10	3~4	5.5~7	6.5~8	7~9

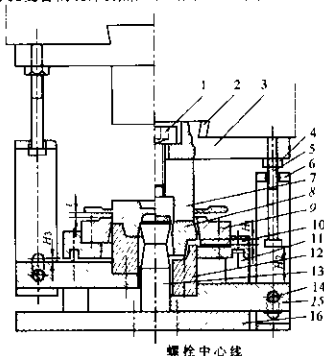
5. 切边冲孔复合模

切边冲孔复合模的结构与工作过程如图 5-19 所示。压力机滑块处于最上位置时，拉杆 5 通过其头部将托架 6 托住，使横梁 15 及顶件器 12 处于最高位置，将锻件置于顶件器上。滑块下行时，拉杆与凸模 7 同时向下移动，托架、横梁、顶件器及其上的锻件靠自重也向

下移动。当锻件与凹模 9 的刃口接触后，顶件器仍继续下移，与锻件脱离，直到横梁 15 与下模板 16 接触。此后，拉杆继续下移，在到达最下位置前，凸模与锻件接触并推压锻件，将毛边切除，进而锻件内孔连皮与冲头 13 接触进行冲孔，锻件便落在顶件器上。

滑块向上移动时，凸模与拉杆同时上移，当拉杆上移一段距离后，其头部又与托架接触，然后带动托架，横梁与顶件器一起上移，并将锻件顶出凹模。

切边冲孔复合模设计要点如下（图 5-19、图 5-20）：



1. 螺栓；2. 楔；3. 上模板；4. 螺帽；5. 拉杆；6. 托架；7. 凸模；8. 锻件；9. 凹模；10. 垫板；11. 支撑板；12. 顶件器；13. 冲头；14. 螺栓；15. 横梁；16. 下模板

图 5-19 切边冲孔复合模

- 凸凹模之间的间隙 δ_1 不小于 1mm，冲孔间隙 δ_2 不小于 0.6mm。若间隙过小，需设置卸毛边和连皮的装置，使模具结构复杂化。

- 切边工序应在冲孔前完成，以减轻压床工作压力。连皮与冲头间应留有适当的间隙 λ' ，一般 $\lambda' \approx 5 \sim 15\text{mm}$ 。

- 切移量 e 的大小应能保证切净毛边和连皮，距离 λ'' 不小于 10~15mm。

- 应考虑到凹模刃口及冲头的磨损会导致模具闭合高度减小，有可能使锻件在凸模和顶件器间受到压伤，必须在其间留出适当的间隙 $H_1 \approx 10 \sim 20\text{mm}$ 。同时横梁与拉杆之间也应留出间距 H_2 。

- 当滑块处于最高位置时，为保证锻件容易取出，毛边与凹模刃口之间留有间隙 $t \approx 2 \sim 5\text{mm}$ ，横梁与垫板之间也应留有一定的间距 $H_3 = 10 \sim 20\text{mm}$ 。

6 切边、冲孔力计算

切边及冲孔力的计算有几种不同的公式，但都属于经验公式，本书推荐下面经验公式来计算切边冲孔力 P (N)。

$$P = 1.6\sigma_b \cdot L \cdot (2.5t + B)$$

式中： σ_b ——金属在切边或冲孔温度下的强度极限 (N/mm²)；

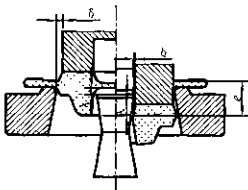


图 5-20 切边冲孔复合模有关尺寸的确定

- L ——锻件分模线的周长 (mm);
 t ——毛边桥部或连皮厚度 (mm);
 B ——锻件高度方向的正公差。

二、精压与校正

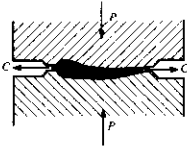
1. 精压

精压可以在精压机、曲柄压力机、摩擦压力机或模锻锤等设备上进行。一般精压锻件的尺寸精度，其公差可达到 $\pm 0.25\text{mm}$ ，经过多次精压可达到 $\pm 0.10\text{mm}$ ，表面粗糙度一般可降到 $0.8\sim 1.6\mu\text{m}$ 。

(1) 精压的分类：根据金属的流动情况，可将精压分为平面精压和体积精压两类。其特点及分类见表 5—14 所示。

表 5-14 精压特点及分类

类别	特点	简图
平面精压	平面精压时只对锻件的一对或数对平面进行加压,使其获得较高的尺寸精度和表面光洁度。平面精压一般是在冷态下在压力机上进行	<p>(a) 精压一对平面 (b) 精压两对平面</p>

类别	特点	简图
体积精压	<p>体积精压时锻件所受的表面均受到压挤,故锻件的全部尺寸精度得到提高,但是由于变形抗力较大,受到精压设备的吨位限制,一般多用于精压截面形状复杂的中小型零件。其模膛要比普通锻模的尺寸更精确(公差在0.1mm以下),模膛的表面粗糙度更低(一般在$Ra3.2\mu m$以下)</p>	

(2) 精压件图的特点: 精压件图是根据产品零件图绘制的, 作为锻压车间的产品图和制造精压模模具的依据。精压件图见图 5-21。

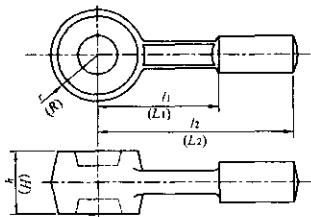


图 5-21 精压件图

图中尺寸为精压前的模锻件尺寸，括号内为精压后的零件尺寸。

①精压余量和精压公差：具有表面粗糙度 $Ra6.3 \sim 1.6 \mu m$ 的精压件，其精压余量按表 5-15 查得。

表 5-15 精压余量 (mm)

高度方向尺寸(即施压方向)	单面余量值
< 10	0.3
10 ~ 20	0.5
> 20	0.7

精压公差一般可取模锻件公差的高一级或更小一点。精压前的模锻件公差见表 5-16，精压件的公差则由表 5-17 查得。

表 5-16 精压前模锻件的公差 (mm)

厚度 最大尺寸	< 10	10 ~ 20	> 20
< 30	+0.4	+0.5	+0.6
30 ~ 60	+0.5	+0.6	+0.8
60 ~ 80	+0.6	+0.8	+1.0
> 80	+0.8	+1.0	+1.2

表 5-17 精压件的公差

精压表面的水平 投影面积(mm ²)	公差 值(mm)	
	般精度精压	超精度精压
<1000	±0.15	-0.08
1000~2000	±0.20	±0.10
>2000	±0.25	+0.15

②精压毛坯尺寸确定：由于精压后精压件在水平方向的尺寸增大，故在设计时需要加以考虑其在水平方向尺寸的变化，一般可按体积不变的原则来计算。平面精压时可按如下近似算法进行：

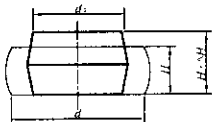


图 5-22 圆形零件精压

- 圆形零件 (图 5-22)：

$$d_0 = d \sqrt{\frac{H}{H + \Delta H}}$$

式中 d_0 ——模锻件 (精压前) 直径 (mm)；

d ——精压件直径 (mm)；

H ——精压件高度 (mm)；

ΔH ——精压余量 (双面) (mm)。

- 正方形零件 (图 5-23)：

$$B_0 = B \sqrt{\frac{H}{H + \Delta H}}$$

式中 B_0 ——模锻件 (精压前) 边长 (mm)；

B ——精压件边长 (mm)；

H ——精压件高度 (mm)；

ΔH ——精压余量 (双面) (mm)。

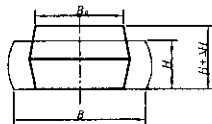


图 5-23 正方形零件精压

- 矩形零件 (图 5-24);

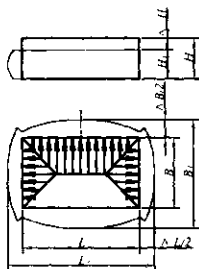


图 5-24 矩形零件精压

由于矩形零件在水平方向金属变形是与长宽比、压缩率有关。根据精压件的尺寸 (L_1 、 B_1 、 H_1) 和压缩量 ΔH ，可用图 5-25 的图表来求得模锻件的尺寸 (L 、 B 、 H)。其步骤如下：

- 计算压缩率 $= \frac{\Delta H}{H_1 + \Delta H} \times 100\%$;

- 计算长宽比 $= \frac{L_1}{B_1}$ 。

- 根据压缩率、长宽比，从图表中求得交点，其交点的横坐标即为伸长率，纵坐标即为宽展率。

- 计算伸长量 (ΔL) 与宽展量 (ΔB):

$$\Delta L = L_1 \times \text{伸长率}$$

$$\Delta B = B_1 \times \text{宽展率}$$

- 计算模锻件尺寸

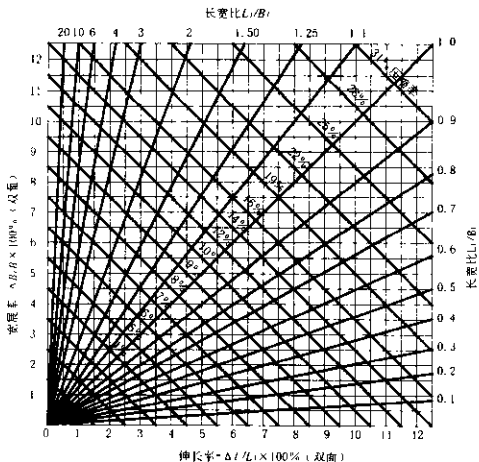


图 5-25 矩形零件精压时宽展率与伸长率图表

$$L = L_1 - \Delta L$$

$$B = B_1 - \Delta B$$

$$H = H_1 + \Delta H$$

整体精压时，为了获得精确的体积（质量），必须减小精压前的模锻件水平方向尺寸，同时也为了能方便地把锻件放入精压模膛内，

故一般在水平方向要小 0.5~0.8mm，这时按体积不变原则计算其高度方向尺寸。如果精压时没有飞边产生，可以不需加精压余量。如果考虑到飞边的产生，则根据飞边体积确定出精压余量。

表 5-18 各种材料精压时的平均单位压力 (MPa)

材 料	平面精压	体积精压
铝 合 金	100~120	140~170
10,15	130~160	180~220
20,25	180~220	250~300
35,45,T ₇ ,T ₈	250~300	300~400

(3) 精压力的确定：所需压力可按下列公式作近似估算：

$$P = p \cdot F$$

式中 P ——所需的精压力 (N)；

F ——锻件的精压投影面积 (cm^2)；

p ——平均单位压力 (MPa)。各种材料在冷精压时的平均单位压力可查表 5-18。

对于热精压时，根据精压的温度，其所需的平均单位压力可取为冷精压的 30%~50%。

(4) 精压模具：精压模的尺寸精度与加工表面粗糙度是根据零件精度要求来定。一般模具制造尺寸精度取零件尺寸公差的一半，局部地方为其公差的四分之三，表面粗糙度为 $0.2\mu\text{m}$ 以下。当多平面精

压时，精压平板之间相对公差控制在 0.03mm 。

具有飞边槽的精压模，采用敞开式的飞边槽（图 5-26），其尺寸见表 5-19。若采用闭式的飞边槽时，应使上下镜面间留有一定的间隙 h （图 5-27）图 5-28 为平面粗压模典型结构。

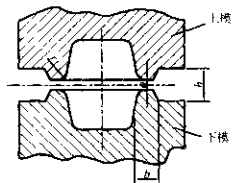


图 5-26 敞开式飞边槽

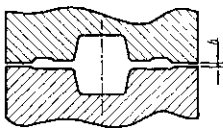


图 5-27 闭式飞边槽

表 5-19 精压飞边槽尺寸 (mm)

精压投影面积 (cm^2)	a	b	h	r
< 30	2	5	7	1.5
30 - 50	3	6	8	2

注：表中符号与图 5-26 对应。

当投影面积小于 10cm^2 时，间隙取 $0.5 \sim 1\text{mm}$ ；若大于 10cm^2 时，间隙可适当加大。

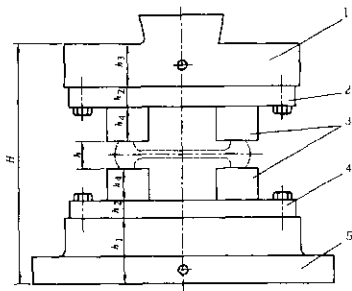


图 5-28 平面精压模典型结构

1. 上模座 2. 上垫板 3. 精压模板 4. 下垫板 5. 下模座
平面精压模只要设计精压模板，其他都采用标准件。

$$\text{精压模板高度 } h_4 = \frac{H - (h_1 - 2h_2 - h_3 + h)}{2} > 40\text{mm}$$

(用于无落差锻件)

2. 校正

(1) 需要校正的锻件种类：在模锻件的传递或冲孔过程中，锻件可能产生弯曲、扭转等变形，因此需对锻件进行校正。在实际生产中，如图 5-29 所示的几种锻件需采用校正模进行校正。

锻件的校正可采用热校正或冷校正。热校正通常与模锻同一火次，在切飞边和冲连皮后进行，一般用于大型锻件和在模锻后及切边冲孔中易产生变形的形状复杂、室温下塑性较低的锻件；冷校正是在锻件清理后进行，作为最后工序，一般用于中小型锻件和在切飞边、冲连皮、热处理及表面清理中易产生变形的锻件。

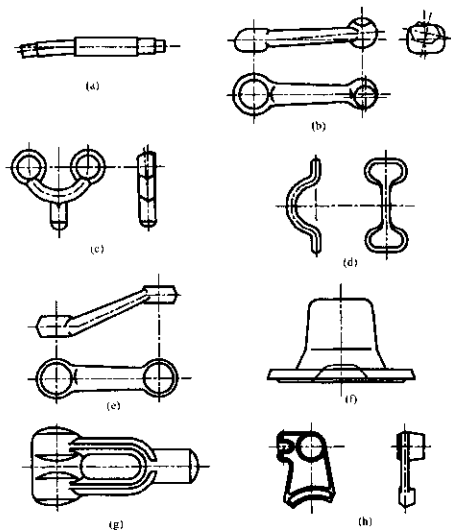




图 5-29 需采用校正模校正的锻件

(a) 细长轴 (b) 具有大小头的长杆类锻件 (c) 叉形锻件 (d) 分模面弯曲的细长锻件 (e) 具有落差的锻件 (f) 具有薄法兰的锻件 (g) 具有冲孔的锻件 (h) 变速叉

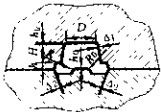
(2) 校正模膛设计：校正模膛是根据锻件图（热的或冷的）来设计的。

为了使锻件放入或取出模膛时方便，并考虑到锻件在高度方向上行欠压现象时在校正过程中锻件横向尺寸会增大，所以在水平方向模膛与锻件之间应留有一定空隙 Δ_1 ，其值与锻件的断面形状和大小有关，可按表 5-20 选用，对于凸起部分较高的锻件 ($H/D > 1$)，其空隙可取大一些，或根据具体情况取不同的空隙值，对于易变形的叉形锻件，为了校正得好，在叉形的顶部某一高度范围内应不留空隙。

表 5-20 校正模膛与锻件之间的间隙 (mm)

断面形状	空 隙 Δ_1					
 圆形与椭圆形断面	D 或 B	≤ 10	11	21	41	> 60
			20	40	60	
	Δ_1	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5
 I 字形与肋筋断面	H	≤ 10	11~20	21~30	31~40	
			Δ_1	1.2	1.5	2.0
$R - R_0 + (2 \sim 5) \text{mm}$						

续表

断面形状	空 隙 Δ_1				
 <p>一般形状</p>	H	≤ 30	31 - 45	46 - 60	> 60
	Δ_1	1.5	2.0	2.5	3.0
	Δ_2	0.8	1.0	1.0	1.0
	$H/D \leq 1$ 时适用 $h_0 = 1 \sim 4(\text{mm})$ $R = R_0 + (2 \sim 5)\text{mm}$				

校正模膛的高度，对于小锻件，因锻件欠压现象不严重，模膛的高度可取等于锻件的高度。对于大中型锻件，校正模膛高度比锻件高度要小些，其差值为锻件的负偏差。

在校正模的模膛边缘应作出 $R = 3 \sim 5\text{mm}$ 的圆角，模膛的表面粗糙度 R_a 为 $1.6\mu\text{m}$ ，其制造公差可按表 5-21 选取。

表 5-21 校正模模膛公差

模膛尺寸(mm)	深度尺寸公差(mm)	长或宽尺寸公差(mm)
≤ 15	+0.1	+0.6
	0.2	-0.2
16 ~ 30	+0.1	+0.8
	-0.3	-0.3
31 ~ 60	+0.2	+1.1
	-0.4	-0.4

续表

模膛尺寸(mm)	深度尺寸公差(mm)	长或宽尺寸公差(mm)
61~120	—	+1.4 -0.5
>120	—	+1.5 -0.6

对于小型锻件，可在一个模块上做两个相同的模膛，轮换使用。对于复杂形状的锻件，如曲轴、凸轮轴等，必须在两个方向（一般相差 90° ）用两个模膛来校正。

(3) 校正模模膛的间距和壁厚：模膛的间距和壁厚是按校正部分的形状来确定。对于平面校正的情况，其壁厚和模膛间距可按图 5-30 选取。如校正部分为斜面时，模膛侧面与锻件接触，其壁厚与模膛间距可按图 5-31 选取。锁扣部分与模膛的间距 s 如图 5-32 根据相邻模膛深度决定，一般 s 为 25~35mm。

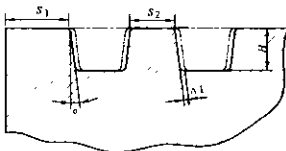


图 5-30 平面校正时的模膛间距与壁厚
($s_1 \geq H$, s_1 不小于 30mm; $s_2 \geq H$, s_2 不小于 20mm)

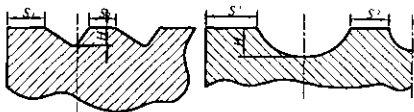


图 5-31 具有斜面的锻件校正时，模膛间距与壁厚
 $(s_1 \geq 1.5H, s_1$ 不小于 40mm; $s_2 \geq H, s_2$ 不小于 30mm)

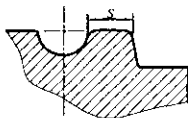


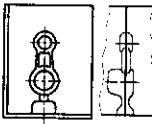
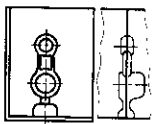
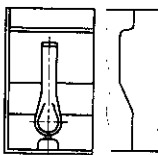
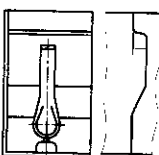
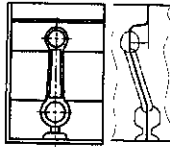
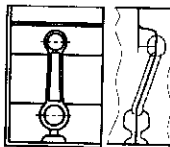
图 5-32 锁扣与模膛的间距

(4) 校正模膛的布置：对于模膛的布置，应考虑操作方便，定位可靠及模具制造简单等因素。表 5-22 为校正模模膛布置示例，尽可能采用合理的布置。

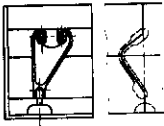
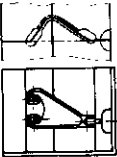
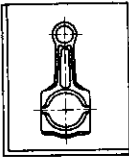
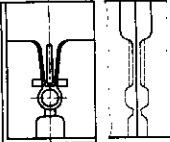
表 5-22 校正模膛布置示例

序 号	不 合 理 布 置	较 合 理 布 置
1		

续表

序 号	不 合 理 布 置	较 合 理 布 置
2		
3		
4		

续表

序 号	不 合 理 布 置	较 合 理 布 置
5		
6		

三、锻件和坯料的清理

1. 滚筒清理

常用的两种清理滚筒的技术参数如表 5-23 所示。

表 5-23 圆形清理滚筒技术参数

型 号	Q ₁₁₆	Q _{118 I}
滚筒内径(mm)	600	800
滚筒有效长度(mm)	1000	1550
滚筒容积(m ³)	0.28	0.77
滚筒转数(r/min)	39	30
锻件最大尺寸(mm)	300×400	600×500
装入锻件质量(kg)	560	1500
吸尘所需空气消耗量(m ³ /h)	600~800	1320
储灰箱真空度(Pa)	1000	600
电机功率(kW)	2.6	7.5
外形尺寸(长×宽×高) (mm)	2660×990×1014	4343×1505×1250
机器质量(kg)	1886	4730

滚筒清理方法可分为：无磨料（简称滚筒清理）和有磨料（简称滚磨清理），前者主要靠撞击清除氧化铁皮，后者则主要靠研磨。这两种方法的工艺特点见表 5-24。

表 5-24 滚筒清理和滚磨清理的工艺特点

清理方法	滚 筒 清 理	滚 磨 清 理 ¹
清理后的工件表面粗糙度	$R_a 50 \sim R_a 12.5$	$R_a 6.3 \sim R_a 0.4$
磨料与填加剂	一般不附加磨料,有时可加三角铁或球,还可附加锯木屑	磨料材料:鹅卵石、石英石、废砂轮碎块、工业陶瓷碎块、氧化铝磨块等磨料粒度尺寸:最小为 3~5mm,最大为 50~80mm 填加剂溶液(清洗剂):肥皂水、洗衣粉溶液、碳酸钠(苏打)溶液
体积比 (%)	磨料	15~20
	工件	85~80
工件与磨料的总装载量	占滚筒容积的 70%~80%	占滚筒容积的 80%~90%,填加剂溶液适量另加
清理时间(h)	0.5~2	12~20
滚筒转数(r/min)	25~20	40~60

① 滚磨清理的磨料及其粒度和填加剂的选用,可参阅本章第四节。

2. 喷丸(砂)清理

这种清理方法是以压缩空气为动力,将金属弹丸或石英砂高速喷射到工件上去去除氧化铁皮。喷丸的工作压力为 0.5~0.6MPa,喷砂的工作压力为 0.2~0.3MPa;喷丸清理的生产率较喷砂高,清理锻件质量也较好。喷砂处理由于灰尘大,生产率低,费用高,现在只用于特殊材料或有特殊技术要求的场合,如不锈钢、钛合金的锻件等。

3. 抛丸清理

抛丸清理是利用高速旋转的叶轮将弹丸抛射到工件表面以去除氧化铁皮。同喷丸清理相比，它的生产效率高，动力消耗少，清理质量好，但噪声大，维修费用较高，是目前使用最广泛的一种清理设备。

抛丸清理（以及喷丸清理）在去除氧化铁皮的同时，可使工件表面层产生加工强化，形成残余压应力，这对提高某些零件（如弹簧）的疲劳强度十分有益。

4. 光饰

光饰处理是将工件混合一定配比的磨料和填充剂，放置在光饰机的容器中，靠容器的振动或转动，使工件与磨料相互研磨，从而达到表面光整、去毛刺、倒圆角和光亮抛光的目地。研磨后，可使零件粗糙度在原有基础上降低1-2级，并有消除内应力和提高零件疲劳强度的作用。

光饰适用十各种精密模锻件的清理和抛光以及小型模锻件（5-6kg以下）的清理。尤其适用于加工内孔、细长薄片、易变形以及形状复杂的零件。根据工作原理的不同，光饰可分为振动光饰和离心光饰两种。

根据锻件的加工要求和生产条件，可选用一种磨料或选几种磨料配用。磨料的种类、特性和用途见表5-25。

表5-25 磨料的种类、特性和用途

磨料种类	特 性	用 途
鹅卵石	来源广，价格低，品种多，以黑色和绿色的最佳	表面粗糙、尺寸大和初破碎的，用于锻件清理。经长期使用，表面光滑的用于抛光
石英石	硬度高（莫氏7度），抗压能力强，耐磨性好，初破碎的多棱角且锋利	

续表

磨料种类	特 性	用 途
烧结氧化铝碎块	氧化铝结晶的聚合物, 硬度很高(莫氏 9.3 度)	用于黑色金属工件的清理
氧化铝成形磨块 ^①	以陶土为粘结剂烧结而成, 硬度较高, 自刃能力强	用于黑色金属工件抛光和去除毛刺
碳化硅成形磨块 ^①	与氧化铝成形磨块性能大致相同, 只是硬度较高些, 但较脆	多用于有色金属工件抛光和去除毛刺
废砂轮碎块	分氧化铝砂轮与碳化硅砂轮, 其性能与同类成形磨块相似, 但硬度较低, 损耗快	用于工件清理
陶瓷磨块, 分为成形磨块与废工业陶瓷碎块	由矾土和二氧化硅混合烧结而成。组织紧密, 粒度细, 硬度高(莫氏 7 度), 能耐油, 酸, 碱的侵蚀	用于低粗糙度的抛光和去除小毛刺, 以及精密模锻件的清理和抛光
有机磨料: 木屑、玉米棒碎块、稻壳等	本身无研磨作用, 能对工件起缓冲作用, 并可加速工件与磨料的相对运动, 提高工效	用于易变形工件的清理和抛光时, 作为附加磨料

① 成形磨块是根据加工要求, 特制成一定形状和尺寸的磨料, 如圆柱形磨块、三棱形磨块、锥形磨块等。

光饰使用的磨料粒度，最小约为 3~5mm，最大为 50~80mm。粗糙度大的清理工序，用人尺寸的碎块磨料；粗糙度小的抛光工序，应用小尺寸的成形磨块。对于易变形的工件应选用较小粒度的磨料。当工件带孔和有凹槽时，磨料尺寸应小于孔槽尺寸的 1/3~1/5，或大于孔槽尺寸，以免尺寸相近而卡住。为了便于筛分，磨料尺寸不应与工件尺寸相近似。

磨料与工件的配比磨料与工件的体积比例为 2:1~6:1，清理工序趋向选用前者，抛光工序趋向选用后者。

按添加剂的作用可分为防锈剂、光泽剂、清洗剂、润滑剂和浸蚀剂。根据工件的加工要求，可选用一种添加剂，或几种添加剂混合使用。几种添加剂混合使用时，相互不应有化学反应，而且应符合各种添加剂规定的浓度。添加剂的种类、性能和用途见表 5-26。

表 5-26 添加剂的种类、性能与用途

添加剂成分与浓度 ^①	性能与用途
防 锈 剂	
亚硝酸钠溶液——浓度 5%~10%	良好的防锈剂，呈微碱性，在工件表面形成防锈薄膜，能保证工件在几周内不锈，用于黑色金属
光 泽 剂	
磷酸钠溶液——浓度 0.8%~2%	良好的光泽剂，呈弱碱性，能使水中的钙、镁离子沉淀，用于黑色金属。与亚硝酸钠溶液混合使用，用于合金钢工件的抛光

续表

填加剂成分与浓度 ⁽¹⁾	性能与用途
磷酸钠蓖麻油溶液—— 浓度:磷酸钠 2%:蓖麻油 7%	用于铝合金工件的抛光
清 洗 剂	
碳酸钠(苏打)溶液—— 浓度 0.8%~2%	水解后生成少量氢氧化钠,呈弱碱性, 与有机物油污起皂化作用,形成皂化脂, 溶于水。常与亚硝酸钠溶液混合使用 ⁽²⁾ , 利于防锈薄膜生成,广泛用于黑色金属工 件的清理、抛光和防锈
肥皂或洗衣粉溶液—— 浓度 1%~5%	呈弱碱性,用于黑色金属工件的清理
煤 油	呈中性,常与润滑油混用,起降低粘度 的作用。用于黑色和有色金属工件的抛 光
润 滑 剂	
锭子油——常用 2 号锭 子油	在工件表面形成油膜,用于高光洁度的 抛光。混加煤油调整粘度
浸 蚀 剂 ⁽³⁾	
苛性钠溶液——浓度 1.5%~4%	强碱性、能软化金属表层,加速研磨。 多用于钢锻件

续表

填加剂成分与浓度 ^①	性能与用途
盐酸溶液——浓度 1%~2%	呈酸性,用于钢锻件的清理
草酸溶液——浓度 1.5%	呈弱酸性,能与碱性铁锈起化学反应。用于黑色金属除锈。使用时,将工件浸沾溶液后,放入容器即可

① 填加剂浓度用 pH 试纸检验:浸蚀剂的 pH 值应大于 4,小于 11。其他溶液的 pH 值应大于 5,小于 10。

② 用其他方法(如滚筒、抛丸、酸洗等)清理过的锻件,也可使用这些溶液浸沾防锈。

③ 使用浸蚀剂后,工件应及时清洗。

5. 酸洗

酸洗是可以用于各种类型锻件和坯料的高生产率方式之一,它的特点是可以将锻件难清理部位(如深孔、凹槽)的氧化铁皮清除干净,而且清理后的锻件局部表面缺陷(如发裂、折纹等)显露清晰,便于检验。因此,酸洗广泛用于结构形状复杂、易变形和重要的锻件。一般酸洗后锻件表面比较粗糙,呈灰黑色,基体金属会有微量腐蚀,工件尺寸的减小约在 1%~2% 以下。对于一些高合金钢锻件,在酸洗后还可进行喷砂清理,以提高锻件黑皮部分的表面质量。

碳素钢和低合金钢的锻件和坯料多采用硫酸酸洗,有的也采用盐酸酸洗。高合金钢和有色合金需要使用多种酸混合溶液的酸洗,有时还必须进行碱-酸复合酸洗。

(1) 碳素钢和低合金钢锻件或坯料的酸洗:

① 酸洗前的准备工作:配制和调整酸洗溶液:酸洗溶液的成分和加热温度可参考表 5-27,并结合实际生产条件具体确定。酸洗溶液的体积约为酸洗槽容积的 70%。

表 5-27 硫酸和盐酸的酸洗规范

酸洗溶液	初始浓度 (g/L)	最低浓度 (g/L)	附加剂用量 (g/L)	初始温度 (°C)	最高温度 (°C)	酸洗时间 (min)
硫酸溶液	200 - 230	30 - 60	"54"牌抗蚀剂:1.5 - 3	50 - 60	85 - 90	30 - 120
			食盐:25 - 50 液体磷化 件畜血:10 - 15	50 - 60	75	30 - 120
	280 - 300	250 - 260	"54"牌抗蚀剂:2.5 - 3	80 - 85	—	5 - 20
	60	30	"54"牌抗蚀剂:1.5 - 2	室温	—	2 - 5
盐酸溶液	160 - 220	50 - 100	液体磷化件畜血:15 - 20	30 - 40	50	5 - 15
			氯化锡:2	30 - 40	50	5 - 15
			硫酸阻抑剂:4 - 9	30 - 40	50	5 - 15

① 高浓度硫酸快速酸洗，用于设置有废酸回收处理设备的车间。

② 低浓度硫酸快速酸洗，以温度为 300 - 400°C 的热工件浸入酸洗槽。

为了保持硫酸酸洗速度，可根据浓度降低情况，分段提高酸洗溶液的温度。

配制和调整碱性中和溶液：中和溶液用苛性钠 40 - 50g/L 或再生石灰 45 - 55g/L 配制成。工作浓度为 2% - 5%；工作温度一般为室温，也可加热到 40 - 50°C。每班调整一次浓度；使用 5 - 9 个班后，排除废液。

② 酸洗工序：

零件准备：将待酸洗的锻件或坯料装入酸洗筐或专用夹具；板形件不得有序排列而应杂乱堆放；带盲孔的锻件应使盲孔呈水平状态放置。

除油：锻件上如果有油污，应先进行除油。表 5-28 所示的除油溶液可以任选一种。

表 5-28 除油溶液的组成及使用规范

序号	组成	浓度(g/L)	溶液温度(°C)	除油时间(min)
1	苛性钠	50~100	40~70	5~20
	水	余量		
2	苛性钠	27~75	60~80	3~15
	碳酸钠	30~100		
	磷酸钠	10~30		
	水玻璃	3~10		
	水	余量		

水洗：将工件放在冷流水中或在热水中浸洗 1~2min，以去除残留碱液。

酸洗：将酸洗筒浸入酸洗槽，并进行上下摆动。酸洗时间与氧化铁皮的厚度和结构特点，酸液的种类，成分及温度等因素有关；影响氧化铁皮结构特点的主要因素是酸洗前的热处理。硫酸酸洗时间可按工件酸洗前的热处理类型确定，如表 5-29。

表 5-29 硫酸酸洗时间

锻件酸洗前热处理	退火	正火	调质	未热处理
酸洗时间(min)	80~120	60~90	30~60	10~30

水洗：酸洗后工件表面附有酸和亚铁盐，硫酸亚铁很容易在空气中氧化成不易被水洗掉的硫酸铁，故应立即进行水洗。水洗可用冷水，也可在 60~90℃ 热水中洗涤 3~5min。

中和：水洗后浸入中和槽，浸洗 4~5min，清除工件表面的残破。

水洗：最后在 60~70℃ 热水中浸洗 3~5min，取出后用压缩空气吹干或自然晾干。

③ 硫酸酸洗的生产率和酸洗材料的消耗量列于表 5-30

表 5-30 硫酸酸洗生产率和酸洗材料消耗量

每 m ³ 酸洗槽的生产率(kg/h)	300~500
每 m ³ 酸洗溶液充分利用时能酸洗的工件质量(t)	13~15
每 1t 锻件的材料消耗	
硫酸(kg)	14~16
苛性钠或生石灰(kg)	2~3
“54”牌抗蚀剂(kg)	1~2
蒸汽(kg)	180~200
水(m ³)	4~5

(2) 高合金钢锻件或坯料的酸洗规范：高合金工具钢、耐热钢和不锈钢的氧化铁皮，在靠近基体金属处，含有较多的铬和镍的氧化物，用一般的硫酸或盐酸酸洗难以清除，需要采用一些特殊的酸洗方法；不锈钢酸洗后，还应进行白化（钝化）处理。常用的高合金钢的酸洗规范列于表 5-31。

表 5-31 高合金钢酸洗规范

酸洗方法	溶液成分(%)	溶液温度(℃)	浸洗时间(min)
加食盐和硝石的硫酸酸洗	H ₂ SO ₄ 12~20	75~80	20~50
	NaCl 2.5~5		
	NaNO ₂ 1~2		

续表

酸洗方法	溶液成分(%)	溶液温度(°C)	浸洗时间(min)
硝酸-盐酸复合酸洗	疏松氧化铁皮 HNO ₃ 7-8	40-50	20-40
	酸洗(溶液按体积比) HCl(密度1.19) 47.5 HNO ₃ (密度1.4) 5 H ₂ O 47.5	50-60	15-50
	疏松氧化铁皮 NaOH 80 NaNO ₂ 20	奥氏体钢 450-550 铁素体钢 400-450	10-30 10-20
碱-酸复合酸洗	冷流水浸洗, 清除部分氧化铁皮	—	—
	酸洗 H ₂ SO ₄ 10-18 NaCl 3-5 KCl(液体) 1-1.5	奥氏体钢 70-90 铁素体钢 60-70	10-20 3-5
	白化(钝化)处理 HNO ₃ 50-85(g/L)	40-50	5-10

(3) 有色合金锻件或坯料的酸洗: 铝合金、镁合金和钛合金的酸洗规范列于表 5-32。

表 5-32 有色合金的酸洗规范

工件材料	酸洗工序及溶(熔)液成分	溶(熔)液温度(°C)	浸洗时间(min)
铝合金	碱液腐蚀 NaOH 50-70g/L	60-70	2-5
	水洗	室温	3-5
	发亮酸洗 HNO ₃ (密度1.4)50% H ₂ O 50%	室温	5-15
	水洗	60-70	3-5

续表

工件材料	酸洗工序及溶(熔)液成份	溶(熔)液温度(℃)	浸洗时间(min)
镁合金	酸洗 铬酐 CrO_3 125~150g; H_2O 100g $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 或 NaNO_3 15~20g	15~40	2~10
	水洗	室温	3~5
	水洗	60~70	3~5
	氧化处理	—	—
	碱溶液浸蚀(两种配方选一)	(1) NaOH 98%~96%; NaNO_3 2%~4% (2) NaOH 80% NaNO_3 20%	360~380 450~460
钛合金	稀酸液中和 HNO_3 5%~15%	室温	2~5
	酸洗(两种配方选一)		
	(1) HNO_3 15%~20%; HF 1%~2% (2) HCl 300~350g/L; HNO_3 55~65g/L; NaF 40~50g/L	室温	3~15
	水洗	室温	3~5
	水洗	60~70	3~5
	钝化处理: HNO_3 8%	40~50	2~5

6. 热坯料的清理

热坯料的清理方法,大致有下述三种:

(1) 刮刷清理:刮刷清理是借助于刮板(轮)或钢丝刷(轮)等工具用手、工或机械的方法清除氧化铁皮。手工清除可采用钢丝刷(钢丝直径为0.2~0.3mm)、刮板或刮轮(带有三角形细牙)等工具。这种方法只用在质量小于15kg的坯料,而且劳动强度大,效率低,清理效果也较差。

刮刷清理前，如将热坯料先在冷水中浸沾 2~3s，则更易清除氧化铁皮。

(2) 高压水清理：高压水清理用于断面尺寸为 50~150mm 的热坯料，效率高，清理效果良好（端面氧化铁皮清理效果稍差），但设备费用和动力消耗较大。

(3) 水中放电清理：水中放电清理速度快，而且可以清除任意断面形状和有孔的热坯料，结构钢热坯料的氧化皮可以完全清除，对于高铬合金钢清理效果稍差。日前在生产中主要用丁清理断面尺寸小丁 50mm 的坯料。

7. 局部表面缺陷的清理

原毛坯、中间坯料和锻件上的局部表面缺陷（如裂纹、折纹和残余，毛刺等），应及时发现和清除，以避免这些缺陷在继续加工过程中扩大和造成无法挽救的废品。

为了避免已清理过的部位再继续加工时产生折纹和裂纹等缺陷，清理后工件表面的凹槽应是圆滑的，凹槽的宽高比 (L/h) 应大于 5，如图 5-33 所示。



图 5-33 清理后工件表面的凹槽

(a) 正确 (b) 不正确

(1) 风铲清理：风铲清理手工操作的劳动强度大，生产率低，每次铲削深度为 2~2.5mm，主要用于结构钢的大型锻件和坯料，清理深度较大的裂纹、折纹和尺寸较大的毛刺。

(2) 火焰清理与切割：火焰清理主要用于碳素钢和低合金钢的钢锭，大型钢坯及大锻件。清理局部表面缺陷使用手工操作的割炬（割

枪)。在大批大量生产中,清理大面积的表面缺陷或氧化铁皮,使用火焰清理机。火焰切割用于小批生产的大型模锻件的切边,还用于大型锻件和钢坯的大断面切割(切割断面的厚度可达1500mm以上)。

为了防止火焰清理与切割后在工件切口表面形成龟裂,对于含碳量高于0.5%的碳素钢和含碳量高于0.3%的合金钢,清理与切割前,工件应先均匀预热,预热温度为200~400℃,最高预热温度不宜超过450℃,最低预热温度不宜低于120℃;工件在切割与清理终了时的温度应不低于预热温度100~150℃以上。各种钢的预热温度规范列于表5-33。

表5-33 火焰清理与切割的预热温度规范

组别	工件材料及钢号举例	预热温度
I	低碳和中碳结构钢(20~50 15Mn~50Mn); 低碳合金结构钢(20CrMo、20MnV、18CrMnTi 等)	冷 态
II	高碳钢(55~65、T ₇ ~T ₈);中碳合金结构钢 (40Cr、40CrNi、35CrMo、35CrMnSi、50CrV等); 热锻模具钢(5CrNiMo、5CrMnMo等)	200~250℃
III	高碳工具钢(T ₉ ~T ₁₂);轴承钢(GCr ₉ ~ GCr ₁₅);高碳合金工具钢(9Cr、9CrSi、8Cr ₃ 等)	300~400℃

(3) 砂轮清理:砂轮清理可以用于各种材料和各种类型的坯料和锻件,清理质量好,粗糙度可达Ra3.2~0.8。表面缺陷深度浅和清理面积较大的工件、高合金钢工件以及清理要求较高的模锻件,适宜使用砂轮磨削处理。清理局部表面缺陷常使用砂轮机进行手工磨削。

砂轮机的型式按用途分为：落地式砂轮机，用于质量小于 20~30kg 的锻件和坯料；手提式和软轴式砂轮机，用于大型锻件和坯料；悬挂式砂轮机，用于钢锭和大钢坯的较大面积的清理；高转速（可达 6000~12000r/min）和转速可调的风动砂轮机及多功能软轴砂轮机，使用磨菇形或薄片式砂轮，用于清理工件的凹面和内孔及切割。

为了保证安全生产，砂轮的安装和紧固应符合标准；不允许使用超过安全线速度的砂轮；更换新的砂轮，应在最大转速下空转 5~10min，砂轮应无跳动；一台砂轮机上的两个砂轮的外径差不宜超过砂轮外径的 10%。长时间工作的落地式砂轮机应设置吸尘通风装置。

在大批大量生产中，可以用机械化操作方法来清理钢坯表面的缺陷，如使用专门的磨钢机；在要求清理锻件和坯料的全部表面时，也可以使用专用磨床，如清除高合金钢钢锭表面裂纹和脆性硬壳的专用剥皮磨床、清除圆断面轴杆类精密模锻件的脱碳层的无心磨床等。

四、锻件的冷却和热处理

1 锻件的冷却

锻工车间常用的冷却方法有如下几种：

- 喷雾冷却：利用鼓风机的风把从水管流出的水雾化后吹到锻件上进行冷却。

- 风冷锻件：用吹风冷却。

- 空冷锻件：均匀地摆在地面上在静止的空气中冷却。注意不要放在潮湿的地面或金属板上，也不要放在有穿堂风的地方，以防止锻件局部冷却过快引起缺陷。

- 堆冷锻件：堆在料筐里在空气中冷却。

- 坑（箱）冷锻件：放在地坑里或铁箱中冷却。

- 灰砂冷锻件：放在炉渣、灰或砂中冷却。用的灰及砂必须干燥。一般锻件入灰砂的温度不低于 500℃，周围蓄灰砂厚度不少于 80mm。

- 炉冷锻件：放入炉温为 500~700℃ 的加热炉中缓慢冷却，冷却速度可以按规定速度调节。锻件入炉温度一般不低于 600~650℃，

待锻件温度和炉温一致后，随炉冷却。炉内要避免冷空气进入。一般出炉温度不高于 100~150℃

● 控制冷却：终锻后控制锻件的冷却速度以达到一定目的。例如 T12、GCr15、9CrSi 等钢材锻件，终锻后用喷雾快速冷却到 600~650℃，然后再放入坑中缓慢冷却，避免生成粗大网状碳化物，又防止产生裂纹。又如有的中碳结构钢锻件终锻后立即入淬火介质，实现锻热淬火。渗碳钢锻件终锻后用风冷（冷风或热风），在 5min 左右冷却到等温温度后入等炉进行等温退火。

终锻后的锻件冷却方法，一般说，尺寸较小的锻件表里温差较小，冷却速度可以快些，大锻件的冷却速度应该慢些。碳钢和低合金结构钢的热传导性较好，表里温差较小，冷却速度可以快些，高合金结构钢的导热性能差，冷却速度要慢些。所以不同锻件的冷却规范应根据材料的化学成分和锻件的最大散热尺寸等因素选定。

表 5-34 列出中小型锻件终锻后的冷却规范供参考，最大散热尺寸可按表 5-35 计算。

I-I 组奥氏体不锈钢在冷却过程中没有相变，锻后可以采用空冷；II-5 组由 20CrMnTi、25MnTiBRE 和 II-4 组的 20CrMo 等亦可采用控制冷却，进行锻热等温退火；I-3 组的 45 钢和 II-3 组的 40Cr 等也可以采用控制冷却，进行锻热淬火。

表 5-34 中小型锻件锻后冷却规范


类别	组别	钢 号	最大散热尺寸(mm)		
			≤100	101~200	201~300
I	1	1Cr18Ni9, 1Cr18Ni9Ti, 2Cr18Ni9, 4Mn18Cr4V	□	□	□
	2	10, 15, 20, 25, 30, 35	□	□	□
	3	40, 45, 50, 15Cr, 20Cr	□	□	□
	4	55, 60, 16Mn~60Mn, 09Mn2, 30Mn2, 30Cr	□	□	□
	5	20CrV, 20MnV, 20MnMo, 20MnMoV, 35Cr, 20CrMnTi, 25MnTiBRE	□	□	□
	6	T7, T12	●	○	○

续表

类别	组别	钢号	最大散热尺寸(mm)		
			≤100	101~200	201~300
II	1	45Mn2, 50Mn2, 55Si2, 60Si2, 35SiMn	—	○	○
	2	40Cr, 40CrSi, 40MnMo, 25CrMnTi, 30CrMnSi	·	○	○
	3	45Cr, 55Cr, 25Ni-50Ni	□	○	▲
	4	12CrMo, 20CrMo, 12CrMoV, 12Cr1MoV	□	○	▲
	5	15CrMnMoV, 18CrMnMo, 14CrMnMoVB	—	○	▲
III	1	12CrNi2, 12CrNi4, 18CrNiW, 20CrNi	—	○	▲
	2	20Cr2Ni4, 25CrNi4, 20Cr3MoWV	○	▲	▲
	3	38CrMnMo, 38CrMnAl	○	▲	▲
	4	40CrNiMo, 40CrMnMo, 45CrNiMoV	○	▲	▲
	5	40CrNi, 50CrNi, 35CrMo~60CrMo	○	▲	▲
	6	5CrNiMo, 5CrNiW, 5CrNiTi, 5CrMnMo	○	▲	▲
	7	34CrNiMo~34CrNi4Mo, 37CrNi3Al, Cr17Ni2	▲	▲	△
	8	15Cr1MoV, 1Cr13~4Cr13	▲	▲	△
	9	Cr17, Cr25, Cr9Si2, Cr10Si2	▲	▲	△
	10	GCr6~GCr15, GCr15SiMn, CrWMn, 3Cr2W8	●	▲	△
	11	7Cr3, 8Cr3, Cr12, Cr12Mo, Cr12MoV	●	▲	△
	12	W9Cr4V, W18Cr4V	●	▲	△
	13	9Cr, 9Cr2Mo, 9Cr2W, 9CrSi, Cr3Mo	●	▲	△

注：□空冷或堆冷；○坑冷；▲灰砂冷；△炉冷；●控制冷却。

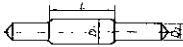
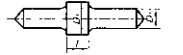
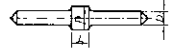
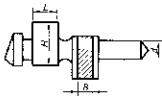

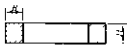
表 5-35 不同形状锻件的最大散热尺寸 (mm)

锻件名称	锻件简图	特征	最大散热尺寸	备注
圆筒		$d > 300$	1.5B	—
		$d < 300$	2B	

续表

锻件名称	锻件简图	特征	最大散热尺寸	备注
汽缸		$l_2 < B < l_1$	B	$B - \frac{D_1 - d}{2}$
		$D_2 < l_1 < B$	l_1	
		$l_2 < D_2 < B$	D_2	
模块		$A > B > H$	H	—
		$A > H > B$	B	
齿轮		$H > B$	B	当 $H > 200$, $d < 200$ 时按 $1.5B$ 或 $1.5H$ 选择
		$H < B$	H	
圆饼		$H < 0.5D$	$1.5H$	—
		$H > 0.5D$	H	

续表

锻件名称	锻件简图	特征	最大散热尺寸	备注
轴类		$l > D_1$	D_1	—
		$l > D_2 < D_1$	D_2	
		$D_2 < l < D_1$	l	
曲轴类		$B > d$	B	B 为拐的厚度 $H, l > B$
短圆筒		$2B > H$	H	当 $d < 250\text{mm}$ 时按 $1.5H$ 或 $1.5B$ 选择
		$2B < H$	B	
圆轮		$H > B$	B	—
		$H < B$	H	

2. 锻件的热处理

锻件热处理按其热处理的目的不同可分为两组。

第一组，锻件热处理的目的既为金属切削加工提供最佳切削性能，也为第二组热处理作好组织准备。属于这一组的锻件通常用渗碳钢、轴承钢、工具钢等制造。

第二组，锻件热处理的目的是为了提高成品的性能，即要求得到适当的组织，达到产品的技术要求，而且在保证零件技术要求的前提下，应有适当的硬度和小的硬度偏差，以便在金属切削机床上获得经济的加工性能，锻件机械加工不再进行整体热处理。该组锻件一般由中碳钢和中碳合金钢制成。

锻件热处理最常见的工艺是退火（包括完全退火、等温退火、球化退火等各种类型的退火）、正火（正火加高温回火）、调质（淬火加高温回火）等。

（1）锻件的热处理种类及其应用范围：

锻件的热处理种类及其应用范围见表 5-36。

（2）各类钢锻件热处理：

①优质碳素结构钢锻件热处理：根据该类钢含碳量的不同，把它分成三类：低碳钢（含碳量 $\leq 0.25\%$ ）、中碳钢（含碳量 $0.3\% \sim 0.6\%$ ）和高碳钢（含碳量 $0.6\% \sim 0.8\%$ ）。

低碳钢锻件切削加工性能一般都不好，热处理的主要目的是提高部分硬度，改善切削加工性能。通常都是采用正火来达到此目的。锻件经正火和切削加工后一般需经氮化或渗碳淬火后才使用。

中碳钢锻件一般都采用正火处理或调质处理：含碳量较低的锻件正火后可直接进行切削加工，含碳量较高的锻件正火后，硬度较高，不宜切削加工，尚需高温回火。如果调质可达到零件的技术要求，切削加工后可不再进行整体处理。

高碳钢作结构钢使用是很少的，其锻件热处理常是采用退火处理。

优质碳素结构钢锻件热处理规范见表 5-37。

优质碳素结构钢典型锻件热处理工艺曲线见图 5-34。

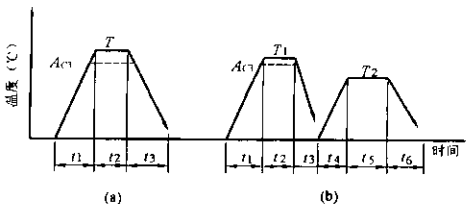


图 5-34 优质碳素钢锻件典型热处理工艺曲线²⁾

(a) 正火 (b) 调质

②合金结构钢锻件热处理:合金结构钢属于亚共析钢,可分为两类:

- 渗碳合金结构钢 (含碳量 $\leq 0.25\%$)。该类钢锻件加工后还要进行渗碳、淬火、回火处理。它的热处理目的是消除锻造应力,使组织均匀化和改善切削加工性能,一般采用正火或等温退火处理。

- 调质合金结构钢 (含碳量 $0.25\% \sim 0.6\%$) 锻件。凡锻后进行一次处理,即能达到零件技术要求的,一般采用调质处理。对另外一类锻件,切削加工后还必须再进行热处理才能达到零件的技术要求的,一般预先热处理采用正火或正火加高温回火或调质处理。

表 5-36 锻件的热处理种类及应用

名称	含义	处理目的	主要用途
不完全退火	将钢加热到 Ac_1 与 Ac_3 (或 Acm) 之间,短时间保温后缓慢冷却的热处理工艺	以得到球状珠光体及球状碳化物组织,降低硬度,改善切削加工性能	主要用于工具钢,轴承钢冷模钢

续表

名称	含义	处理目的	主要用途
完全退火 (通常叫退火)	将亚共析钢加热到 A_{c3} 以上 30 - 50℃, 保温使之完全奥氏体化, 且成分基本均匀后, 随炉冷、砂中或耐火土粉中缓慢冷至 600℃ 左右出炉空冷, 以得到平衡状态的组织	消除锻造应力, 降低硬度, 提高塑性, 改善切削性能; 消除粗大的晶粒, 改善组织, 为以后零件热处理作好组织准备	一般用于亚共析钢, 如 5CrMnMo 等
等温退火	将钢件加热到 A_{c3} 以上 20 - 30℃ (亚共析钢) 或 A_{r1} 与 A_{cm} 之间 (过共析钢) 的温度, 保温到完全奥氏体化并均匀后, 快速冷到低于 A_{r1} 以下的某一温度 (即奥氏体最不稳定的温度) 等温保持到奥氏体完全转变后, 然后出炉空冷或随炉冷、油冷、水冷	得到比完全退火更为均匀的组织, 有效地消除锻造应力。比完全退火可以缩短退火时间, 提高生产率	适用于亚共析钢、共析钢和过共析钢, 如 20CrMnTi、5CrMnMo、Cr12MoV、T8 等

续表

名称	含义	处理目的	主要用途
一般球化退火	将钢加热到 Ac_1 与 Ac_m (或 Ac_3) 之间, 充分保温后, 缓冷至 $500 \sim 650^\circ\text{C}$ 出炉冷却	使钢件获得弥散分布于铁素体基体上的细粒状(球状)碳化物组织。改善切削性能, 减少淬火时的变形开裂倾向性, 使钢得到相当均匀的最终性能	用于轴承零件、刀具、冷作模具等的预先热处理
等温球化退火	将共析钢或过共析钢件加热到 $Ac_1 + 20 \sim 30^\circ\text{C}$ (若原始组织中网状碳化物较严重, 需加热到略高于 Ac_m) 保温适当时间后冷却到略低于 A_{r_1} 的温度等温到奥氏体转变完毕, 再炉冷或空冷	同球化退火	常用于碳素钢及合金钢工具, 冷作模具及轴承零件。可获得较好的碳化物球化质量和节省工艺时间

续表

名称	含义	处理目的	主要用途
快速球化退火 (正火—球化退火)	将过共析钢加热到 $A_{cm} + 20 \sim 30^\circ\text{C}$ ，保温后空冷(正火)，得到细片状珠光体。然后再进行球化退火或等温球化退火	同球化退火	用于锻造组织中珠光体片较粗、网状碳化物较严重、球化较难的钢件，如 T12、轴承钢等
正火 (普通正火)	亚共析钢加热到 $A_{c3} + 30 \sim 50^\circ\text{C}$ ，共析钢和过共析钢加热到 $A_{cm} + 30 \sim 50^\circ\text{C}$ ，保温一定时间后空冷，得到珠光体型组织的热处理	细化组织，消除中碳钢的魏氏组织或过共析钢的网状碳化物，减小应力，改善切削加工性能	用于亚共析钢、共析钢和过共析钢的热处理
二段正火	按普通正火加热保温后，先把工件快冷到 A_{r1} 以下 550°C 左右，然后再放入炉内或灰中缓冷的热处理	减少变形和消除非正常组织	用于形状复杂或断面尺寸差别较大的工件或易产生非正常组织的钢材

续表

名称	含义	处理目的	主要用途
淬 火	<p>将钢加热到 $Ac_3 + 30 \sim 50^\circ\text{C}$ (亚共析钢) 或 Ac_1 和 Ac_m 之间 (过共析钢)、保温到获得相应的高温相, 然后以大于临界冷却速度急冷以获得马氏体组织</p>	<p>对于钢, 淬火为了获得不平衡组织, 以提高强度和硬度。对于奥氏体不锈钢, 淬火即为固溶处理, 淬火是为了提高钢的抗蚀性能和抗高温氧化性能</p>	<p>用于钢</p>
<p>锻热淬火 (属高温形变热处理)</p>	<p>锻件在热锻成形后 (终锻时工件温度一般在 900°C 左右) 立即入淬火介质急冷以获得淬火组织。是把热锻和热处理结合在一起的热处理工艺</p>	<p>为了提高锻件强度, 改善塑性和韧性, 而且可以简化工序, 节约能源和提高劳动生产率</p>	<p>主要用于亚共析钢, 例如 45 钢和 40Cr 等钢的热锻件</p>

续表

名称	含义	处理目的	主要用途
锻热等温退火	锻件热锻成形后, 采用控制冷却, 一般 5 分钟左右冷却至 A_{r_1} 以下某个温度等温, 使过冷奥氏体完全转变为铁素体、珠光体型组织, 并适当保温后随意冷却的热处理	为了获得均匀的平衡组织, 消除锻造应力, 改善切削加工性能; 对有些材料可以缩短转变时间; 节约能源	主要用于合金渗碳钢锻件预先热处理; 也可以用于工具钢, 如 CrWMn
利用部分余热正火	锻件热锻成形后, 空冷至 500℃ 左右, 奥氏体已完全转变, 接着加热至正火温度, 保温后空冷	除节约部分能源外, 其目的同正火	同正火
利用部分余热淬火	锻件热锻成形后, 空冷至 500℃ 左右, 奥氏体已完全转变, 接着加热至淬火温度, 保温后急冷	除节约部分能源外, 其目的同淬火	同淬火

续表

名称	含义	处理目的	主要用途
利用部分余热等温退火	锻件热锻成形后, 空冷至 500℃ 左右, 奥氏体已完全转变, 接着加热至等温退火温度, 其后保温急冷、等温、冷却按等温退火工艺进行	除节约部分能源外, 其目的同等温退火	同等温退火
回火	将淬火或正火后的工件加热到 A_c_1 以下某一温度, 保温一定时间, 然后以适当的速度冷至室温的热处理	使淬火所得的不稳定的组织转变成较稳定的组织; 适当降低硬度及强度、提高塑性和韧性、减小或消除残余应力	钢 件
高温回火	将钢件加热到 A_c_1 以下某一温度 (常在 500 ~ 700℃ 之间) 保温后空冷	降低硬度, 提高塑性, 减小或消除内应力	有些合金钢止火后硬度过高, 用高温回火降低硬度, 中碳结构钢淬火后常高温回火

续表

名称	含义	处理目的	主要用途
调质	中碳结构钢正常淬火加高温回火的热处理工艺	获得良好的综合力学性能	中碳结构钢
固溶处理	将时效强化合金或不锈钢、耐热钢加热到一定高温(不锈钢、耐热钢为1000~1150℃),使强化相全部或大部分溶入固溶体,并调整晶粒尺寸,然后以较快速度(水、空气等)冷却	改善锻态时的强化相不均匀分布,降低硬度、提高塑性、抗蚀性及导电性或为以后的时效处理进行准备	用于不锈钢、耐热钢和时效强化合金
时效处理	经固溶处理得到的过饱和固溶体,在室温停留或在某一较高温度加热一段时间,使基体里过饱和的溶入物均匀析出的处理	使组织趋于稳定,提高强度和硬度	用于时效强化合金及不锈钢、耐热钢固溶处理后的处理

表 5-37 优质碳素结构钢热处理规范

钢 号	临界点 (°C)	1 序	1 艺 规 范	硬 度 HB	
普 通 碳 素 钢	20	Ac ₁ 735	正 火	920-950°C, 空冷	≤156
		Ac ₃ 855	正 火	880-920°C, 空冷	≤149
	30	Ar ₃ 835			
		Ar ₁ 680			
		Ac ₁ 732	正 火	850-900°C, 空冷	≤179
		Ac ₃ 813	淬 火	850-880°C, 水冷	HRC48-53
	40	Ar ₃ 796	回 火	550-650°C, 空冷	152-212
		Ar ₁ 677			
		Ac ₁ 724	正 火	850-870°C, 空冷	170-217
		Ac ₃ 790	淬 火	820-850°C, 水冷	HRC53-58
	45	Ar ₃ 760	回 火	540-580°C, 空冷	228-369
		Ar ₁ 680			
Ac ₁ 724		正 火	850-870°C, 空冷	170-217	
Ac ₃ 780		淬 火	820-840°C, 水冷	HRC55-60	
50	Ar ₃ 751	回 火	520-560°C, 空冷	228-286	
	Ar ₁ 682				
	Ac ₁ 725	退 火	820-840°C, 炉冷	≤207	
	Ac ₃ 760	正 火	850-870°C, 空冷	217-241	
60	Ar ₃ 721	淬 火	820-830°C, 水冷	HRC58-63	
	Ar ₁ 690	回 火	500-560°C, 空冷	HRC30-35	
	Ac ₁ 727	退 火	770-820°C, 炉冷	≤229	
	Ac ₃ 766	正 火	800-840°C, 空冷	217-248	
60	Ar ₃ 743	高温回火	630-660°C, 空冷	≤229	
	Ar ₁ 690	淬 火	800-840°C, 水冷或油冷	—	
		回 火	520-560°C, 空冷	286-340	

续表

钢 号	临界点 (°C)	工 序	工 艺 规 范	硬 度 HB	
碳 素 钢	20Mn	Ac ₁ 735	正 火	900~930°C, 空冷	≤179
		Ac ₃ 854	高温回火	650~680°C, 空冷	—
		Ar ₁ 682			
	30Mn	Ac ₁ 734	退 火	850~880°C, 炉冷	—
		Ac ₃ 812	止 火	850~890°C, 空冷	≤187
		Ar ₃ 796	高温回火	650~680°C, 空冷	—
	Ar ₁ 675	淬 火	850~880°C, 水冷或油冷	HRC52~55	
		回 火	100~500°C, 空冷 或 600°C, 空冷	302~351 196	
	40Mn	Ac ₁ 726	退 火	820~860°C, 炉冷	≤207
		Ac ₃ 790	正 火	840~870°C, 空冷	—
		Ar ₃ 768	高温回火	650~680°C, 空冷	—
		Ar ₁ 689	淬 火	840~860°C, 水冷或油冷	HRC52~58
45Mn	Ac ₁ 726	退 火	820~850°C, 炉冷	≤217	
	Ac ₃ 790	正 火	830~860°C, 空冷	—	
	Ar ₃ 768	高温回火	650~680°C, 空冷	—	
	Ar ₁ 689	淬 火	810~840°C, 水或油冷	HRC54~60	
50Mn	Ac ₁ 720	退 火	820~840°C, 炉冷	≤217	
	Ac ₃ 760	正 火	830~860°C, 空冷	—	
	Ar ₃ —	高温回火	650~680°C, 空冷	—	
	Ar ₁ 660	淬 火	800~850°C, 水或油冷	HRC54~60	
回 火	根据需要, 空冷	—			

合金结构钢锻件热处理规范见表 5-38。

常用合金结构钢锻件典型热处理工艺曲线见图 5-35。

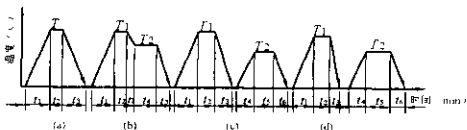


图 5-35 合金结构钢锻件热处理工艺曲线
(a) 正火 (b) 等温退火 (c) 正火加高温回火 (d) 调质

主要工艺参数:

温度: a 的 T_1 、c 和 d 的 T_1 、 T_2 皆见表 5-38

时间: 加热时间 a、b、c 和 d 的 t_1 及 c 和 d 的 t_4 与炉子与装炉量有关; 保温时间, a、b、c 和 d 的 t_2 , c 和 d 中的 t_5 取决于锻件的有效厚度; 急冷时间, b 中的 t_3 一般为 5min 左右; 等温时间, b 中的 t_4 除保证奥氏体向珠光体转变完毕外, 还要有足够的时间消除应力, 一般不少于 1.5~2h; 冷却时间, a 中的 t_3 , b 中的 t_5 和 c 中的 t_3 、 t_6 没有严格规定, d 中的 t_3 是淬火时间, t_6 对有回火脆性的钢材锻件应采用水冷, 其他钢材锻件可空冷。

表 5-38 合金结构钢锻件热处理规范

钢号	临界点 (°C)	工 序	工 艺 规 范	硬 度 HB
锰 钢	A_{c1} 725	正 火	870~890°C, 空冷	≤187
	A_{c3} 840			
	A_{r3} 740			
	A_{r1} 610			

续表

钢 号	临界点 (°C)	T. 序	工 艺 规 范	硬 度 HB
30Mn2	A_{c1} 718	正 火	840~880°C, 空冷	≤207
	A_{c3} 804	淬 火	820~840°C, 水冷	—
	A_{r3} 727		或 830~850°C, 油冷	—
	A_{r1} 627		400~650°C, 水冷或油冷	200~350
35Mn2	A_{c1} 713	退 火	830~850°C, 炉冷	≤207
	A_{c4} 793	正 火	840~860°C, 空冷	≤241
	A_{r3} 710	高温回火	650~680°C, 空冷	—
	A_{r1} 630	淬 火	820~850°C, 油冷或水冷	HRC52~57
		回 火	500~550°C, 热水冷	269~321
45Mn2	A_{c1} 715	退 火	810~840°C, 炉冷	—
	A_{c3} 770	正 火	820~860°C, 空冷	187~241
	A_{r3} 720	高温回火	650~680°C, 空冷	—
		A_{r1} 640	淬 火	810~840°C, 油冷
			回 火	640~670°C, 油或水冷
50Mn2	A_{c1} 710	退 火	790~820°C, 炉冷	≤229
	A_{c3} 760	正 火	830~850°C, 空冷	≤241
	A_{r3} 680	高温回火	650~680°C, 空冷	—
		A_{r1} 596	淬 火	790~820°C, 油冷
			回 火	500~600°C, 油或水冷

续表

钢号	临界点(°C)	工 序	工 艺 规 范	硬 度 HB	
铬	20Cr	正 火	900~960°C, 空冷	144~198	
					Ac ₁ 766
					Ac ₃ 838
					Ar ₃ 799
	30Cr	正 火	860~890°C, 空冷	≤300	
					Ar ₁ 702
		淬 火	850~870°C, 油或水冷	HRC45~48	
		回 火	500~550°C, 空冷	HRC28~33	
	35Cr	止 火	850~870°C, 空冷	—	
		淬 火	850~870°C, 油或水冷	HRC51~56	
		回 火	520~550°C, 空冷	HRC28~33	
	40Cr	退 火	825~845°C, 炉冷	≤207	
止 火		850~870°C, 空冷	187~220		
淬 火		840~870°C, 油冷或水冷	HRC54~59		
回 火		560~580°C, 空冷	HRC28~32		
45Cr	退 火	840~860°C, 炉冷	≤217		
	正 火	840~860°C, 空冷	≤228		
	淬 火	830~850°C, 油冷	HRC56~61		
	回 火	560~580°C, 油冷或水冷	HRC28~33		
50Cr	退 火	800~820°C, 炉冷	≤229		
	正 火	830~850°C, 空冷	≤260		
	淬 火	820~840°C, 油冷	HRC59~65		
	回 火	600~650°C, 油冷或水冷	≤340		

续表

钢 号		临界点 (°C)	工 序	工 艺 规 范	硬 度 HB
铬 锰 钢	20CrMn	A_{c1} 765	正 火	880 - 920°C, 空冷	—
		A_{c3} 838			
		A_{r3} 798			
		A_{r1} 700			
	30CrMn	A_{c1} 765	正 火	870 - 890°C, 空冷	—
		A_{c3} 838	淬 火	850 - 880°C, 油冷或水冷	HRC \approx 46
		A_{r3} 798	回 火	560 - 580°C, 空冷	223 - 269
		A_{r1} 700			
	40CrMn	—	退 火	680 - 720°C, 炉冷	197 - 217
			正 火	840 - 880°C, 空冷	—
			高温回火	670 - 690°C, 空冷	—
			淬 火	850 - 860°C, 油冷	HRC55 - 58
		回 火	600 - 650°C, 油冷或水冷	220 - 260	
铬 钼	15CrMo	A_{c1} 745	正 火	900 - 930°C, 空冷	—
		A_{c3} 845			
	20CrMo	A_{c1} 740	正 火	880 - 920°C, 空冷	156 - 207
		A_{c3} 820	等温退火	加热温度 880 - 920°C, 急冷至等温温度 650 - 670°C 等温	167 - 207
A_{r1} 700					
25CrMo		止 火	850 - 870°C, 空冷	—	
钢	30CrMo	A_{c1} 757	退 火	890 - 910°C, 炉冷	169 - 207
		A_{c3} 807	正 火	860 - 890°C, 空冷	—
		A_{r1} 693	淬 火	850 - 870°C, 油冷	HRC50 - 55
			回 火	600 - 640°C, 空冷	207 - 241

续表

钢 号	临界点 (°C)	工 序	工 艺 规 范	硬 度 HB
铬 钼 钢	35CrMo Ac ₁ 755 Ac ₃ 800 Ar ₃ 750 Ar ₁ 695	正 火	860~880°C, 空冷	—
		淬 火	820~850°C, 水或油冷	HRC52~56
		回 火	570~590°C, 空冷	235~277
铬 钢	42CrMo Ac ₁ 730 Ac ₃ 780 Ar ₁ 690	退 火	850°C, 炉冷	—
		正 火	850~880°C, 空冷	≤302
		高温回火	680°C, 空冷 (二次)	—
		淬 火	850~860°C, 油冷	HRC41~52
		回 火	580~620°C, 空冷或水冷	241~285
铬 锰 钼 钢	20CrMnMo Ac ₁ 710 Ac ₃ 830 Ar ₃ 740 Ar ₁ 620	正 火	870~940°C, 空冷	171~229
		正 火	850~870°C, 空冷	187~228
	25CrMnMo —	正 火	940~950°C, 空冷	170~187
		等温退火	加热温度 950~ 970°C, 急冷至 等温温度等温, 等 温温度 650~ 680°C	207~250
铬 钢	40CrMnMo Ac ₁ 735 Ac ₃ 780 Ar ₁ 680	退 火	840~850°C, 炉冷	≤241
		正 火	850~880°C, 空冷	≤321
		高温回火	660~700°C, 空冷	179~241
		淬 火	840~860°C, 油冷	—
		高温回火	670~690°C, 水冷	241~286

续表

钢号	临界点(°C)	1. 序	工 艺 规 范	硬 度 HB	
铬 钒 钢	15CrV	—	等温退火 加热温度 900~920°C, 急冷至等温温度等温, 等温温度 620~660°C	143~187	
	20CrV	Ac ₁ 768	退 火	870~900°C, 炉冷	≤197
		Ac ₃ 840	正 火	880~900°C, 空冷	207~241
		Ar ₃ 782	高温回火	650~680°C, 空冷	—
		Ar ₁ 704			
	40CrV	Ac ₁ 755	止 火	850~880°C, 空冷	—
		Ac ₃ 790	高温回火	650~680°C, 空冷	≤255
		Ar ₃ 745	淬 火	850~880°C, 油冷	—
		Ar ₁ 700	回 火	600~680°C, 油冷或水冷	≤350
	45CrV	Ac ₁ 743	退 火	810~830°C, 炉冷	≤255
		Ac ₃ 785	正 火	850~880°C, 空冷	—
			高温回火	650~680°C, 空冷	≤255
		淬 火	850~870°C, 油冷	HRC56~60	
		回 火	600~680°C, 油冷或水冷	≤350	
12Cr1MoV	Ac ₁ 820	正 火	960~1000°C, 空冷	—	
	Ac ₃ 945				
铬 钼 钒 钢	24CrMoV	Ac ₁ 790	正 火	900~950°C, 空冷	—
		Ac ₃ 840	高温回火	650~700°C, 空冷	≤255
		Ar ₃ 790			
		Ar ₁ 680			

续表

钢号	临界点 (°C)	工 序	工 艺 规 范	硬 度 HB
铬 钼 钒 钢	25Cr2MoV Ac ₁ 760 Ac ₃ 840 Ar ₃ 760 - 780 Ar ₁ 680 - 690	正 火	930~950°C, 空冷	—
		高温回火	650~680°C, 空冷	≤229
		淬 火	930~950°C, 油冷	—
		回 火	690~710°C, 空冷	212~262
铬 钼 钢	35CrMoV Ac ₁ 755 Ac ₃ 835 Ar ₁ 600	正 火	880~920°C, 空冷	—
		高温回火	650~670°C, 空冷	179~207
		淬 火	900~920°C, 油冷	—
		回 火	650~680°C, 空冷	241~285
铬 钼 钢 (铝、钨、钒)	38CrMoAl Ac ₁ 800 Ac ₃ 940 Ar ₁ 730	退 火	840~870°C, 炉冷	≤229
		正 火	930~970°C, 空冷	—
		高温回火	700~720°C, 空冷	≤229
		淬 火	930~950°C, 油冷	—
回 火	650~670°C, 水冷或油冷	241~277		
钢	18Cr3MoWV	正 火	920~940°C, 空冷	—
		高温回火	650~730°C, 空冷	—
		正 火	1040~1060°C, 空冷	—
钢	20Cr3MoWV Ac ₁ 800 - 830 Ac ₃ 900 - 950 Ar ₁ 680 - 700	正 火	1040~1060°C, 空冷	—
		高温回火	670~700°C, 空冷	—
		正 火	1040~1060°C, 空冷	—

续表

钢号	临界点(°C)	工序	工艺规范	硬度HB	
硅 锰 钢	27SiMn	Ac ₃ 880	正火 900~940°C, 空冷	≤229	
		Ar ₃ 750	高温回火 670~690°C, 空冷	—	
			淬火 900~920°C, 油冷 回火 250~680°C, 空冷	— 217~407	
	35SiMn	Ac ₁ 750	正火 860~890°C, 空冷	≤229	
		Ac ₃ 830	高温回火 650~680°C, 空冷	—	
		Ar ₁ 645	淬火 860~890°C, 油冷 回火 500~540°C, 风冷或油冷	HRC52~57 HRC28~32	
	42SiMn	Ac ₁ 765	退火 850~870°C, 炉冷	≤229	
		Ac ₃ 800~820	正火 860~890°C, 空冷 高温回火 650~680°C, 空冷	≤244 —	
			淬火 840~860°C, 油冷 回火 550~670°C, 空冷	— ≈252	
			正火 880~900°C, 空冷		
	锰 钒 (铝) 钢	15MnV	Ac ₁ 742		
			Ac ₃ 855		
Ar ₃ 756					
Ar ₁ 671					
25Mn2V		Ac ₃ 840	正火 870~910°C, 空冷	≤217	
42Mn2V		Ac ₁ 725	退火 680~720°C, 炉冷	≤217	
		Ac ₃ 770	正火 860~890°C, 空冷 高温回火 640~680°C, 空冷	≤217	
			淬火 850~870°C, 油冷 回火 530~670°C, 油冷或水冷	HRC54~58 230~330	
42MnMoV		Ac ₁ 718	退火 820~850°C, 炉冷	—	
		Ac ₃ 800	正火 840~860°C, 油冷 回火 580~600°C	HRC54~59 298~321	

续表

钢号	临界点(°C)	工字	工艺规范	硬度HB
硅	12SiMn2WVA	--	高温回火 660-680°C, 空冷	—
	16SiMn2WV	Ac ₁ 696	正火 920-940°C, 空冷	—
		Ac ₃ 846	高温回火 660-680°C, 空冷	240-255
		Ar ₃ 486		
Ar ₁ 454				
锰	15SiMn3MoWVA	Ac ₁ 720	正火 940-960°C, 空冷	—
		Ac ₃ 860	高温回火 660-680°C, 空冷	—
		Ar ₃ 485		
		Ar ₁ 360		
(钨)	32Si2Mn2MoV	Ac ₁ 745	退火 680-700°C, 保温 8-10h, 炉冷至 600°C 出炉	—
		Ac ₃ 880		
		Ar ₃ 768		
		Ar ₁ 625	正火 900-920°C, 空冷	—
钢	37SiMn2MoWV	Ac ₁ 722	正火 910-930°C, 空冷	—
		Ac ₃ 836	高温回火 640-700°C, 空冷	—
		Ar ₃ 510	淬火 890-910°C, 油冷	—
		Ar ₁ 350	回火 630-670°C,	—
			水冷或油冷	—
铬(锰、镍)钢	38CrSi	Ac ₁ 763	退火 880-900°C, 炉冷	≤229
		Ac ₃ 810	正火 900-920°C, 空冷	255-282
			高温回火 650-680°C, 空冷	—
		Ar ₃ 755	淬火 900-920°C, 油冷	HRC50-55
		Ar ₁ 680	回火 610-660°C, 油冷 或水冷	286-321

续表

钢号	临界点(°C)	工 序	工 艺 规 范	硬 度 HB
低 硅 （ 锰 ） 钢	40CrSi Ac ₁ 755 Ac ₃ 850	退 火	860~880℃, 炉冷	≤255
		正 火	900~920℃, 空冷	—
		高温回火	650~680℃, 空冷或油冷	—
		淬 火 回 火	900~920℃, 油冷 600~650℃, 水冷或油冷	— 286~340
	20CrMnSi Ac ₁ 755 Ac ₃ 840 Ar ₁ 690	正 火	870~900℃, 空冷	—
		25CrMnSi Ac ₁ 750 Ar ₃ 835 Ar ₁ 680	正 火	860~880℃, 空冷
	高温回火		500~600℃, 空冷	≤229
	30CrMnSi Ac ₁ 760 Ac ₃ 830 Ar ₃ 705 Ar ₁ 670		退 火	880~900℃, 炉冷
		等温退火	加热温度 900℃, 急冷至等温温度 650℃等温, 空冷	—
		正 火	900℃, 空冷	—
淬 火 回 火		860~900℃, 油冷 590~610℃, 油冷或水冷	— 269~302	
35CrMnSi —	退 火	840~860℃, 炉冷	≤229	
	正 火	860~880℃, 空冷	—	
	淬 火 回 火	850~870℃, 油冷 630~670℃, 油冷或水冷	— 241~286	

续表

钢 号	临界点(℃)	工 序	工 艺 规 范	硬 度 HB
铬钨(钨、镍)钢	30CrMnSiNi2 Ac ₁ 750~760 Ac ₃ 805~830	等温退火	加热温度 900℃, 急冷至等温温度 650℃等温	—
		退 火	700℃, 保温后炉冷至 600℃出炉	—
铬	20CrMnTi Ar ₁ 740 Ar ₃ 825 Ar ₃ 730 Ar ₁ 680	正 火	960~980℃, 空冷	156~207
		等温退火	加热温度 920~980℃, 急冷至等温温度 660~680℃, 等温空冷	156~207
		正 火	960~980℃, 空冷	170~228
		等温退火	加热温度 920~980℃, 急冷等温温度 660~680℃, 空冷	170~228
锰 钛 钢	30CrMnTi Ac ₁ 765 Ac ₃ 790 Ar ₃ 740 Ar ₁ 660	正 火	860~880℃, 空冷	—
		高温回火	580℃, 空冷	≤241
		淬 火	850~870℃, 油冷	HRC56~59
		回 火	500~550℃, 空冷	HRC35~41
铬钨钨(钨、镍、钼)钢	15CrMn2SiMo Ac ₁ 732 Ac ₃ 805 Ar ₃ 478 Ar ₁ 389	正 火	900~940℃, 空冷	—
		高温回火	630~650℃, 空冷	—
		正 火	920~940℃, 空冷	—
		高温回火	700℃, 保温 4h, 空冷	—

续表

钢 号		临界点 (°C)	1. 序	工 艺 规 范	硬 度 HB
铬 锰 硅 (钼、 镍、 钒) 钢	30CrMnSiNi2A	Ac ₁ 750 - 760 Ac ₃ 805 - 830	等温退火	加热温度 900°C， 急冷至等温温度 650°C 等温	—
			正 火	900°C，空冷	—
			不完全 退火	780°C，炉冷至 650°C 出炉空冷	—
	35Si2Mn2MoVA	—	低温退火	680 - 700°C，保温 8 - 10h	..
	15MnVB	—	止 火	920 - 970°C，空冷	149 - 179
	15CrMnNiB	—	正 火 高温回火	900 - 950°C，空冷 600 - 650°C	— —
硼	15CrMnNiTiBA	—	等温退火	加热温度 950 - 970°C，急冷至等 温温度 650 - 680°C 等温	207 - 250
	20Mn2B	Ac ₁ 720	正 火	880 - 900°C， 空冷 (*)	183
		Ac ₃ 853			
		Ar ₃ 736			
		Ar ₁ 613			
	20MnTiB	Ac ₁ 720	正 火	900 - 920°C， 空冷 (*)	156 - 207
		Ac ₃ 843			
		Ar ₃ 795			
		Ar ₁ 625			
钢	20Mn2TiB	Ac ₁ 715	正 火	950 - 970°C， 空冷 (*)	
		Ac ₃ 843			
		Ar ₃ 795			
		Ar ₁ 625			

续表

钢号	临界点(°C)	工 序	工 艺 规 范	硬 度 HB
20MnVB	Ac ₁ 720	正 火	880~900°C, 空冷(*)	149~179
	Ac ₃ 840	正 火	950~970°C, 空冷(*)	—
	Ar ₃ 770			
	Ar ₁ 635			
20Mn2VB	—	正 火	900~950°C, 空冷(*)	≤229
20SiMnVB	Ac ₁ 726	正 火	910~930°C, 空冷	≤235
	Ac ₃ 866	高温回火	650~680°C, 空冷	≤207
	Ar ₃ 779			
	Ar ₁ 699			
20CrMnB	—	正 火	950~970°C, 空冷	150~207
20CrNiB	—	正 火	950~970°C, 空冷	—
	—	高温回火	600~650°C	150~207
25MnTiB	Ac ₁ 708	正 火	880~920°C, 空冷(*)	156~207
	Ac ₃ 817			
	Ar ₃ 710			
	Ar ₁ 610			
25MnTiBRE	Ac ₁ 708	正 火	920~950°C, 堆冷	156~207
	Ac ₃ 870			
	Ar ₃ 705			
	Ar ₁ 605			
40CrB	—	淬 火	820~840°C, 油冷	—
	—	回 火	580~620°C	235~260

续表

钢号	临界点(°C)	工序	工艺规范	硬度HB	
碳	40CrNiB	退火	840~850°C, 炉冷	207	
		淬火	820~840°C, 油冷	—	
		回火	550~600°C	255~286	
	40B	Ac ₁ 730	正火	850~900°C, 空冷	—
		Ac ₃ 790	淬火	820~860°C 热水或油冷	—
		Ar ₃ 727	回火	450~550°C, 空冷	269~289
		Ar ₁ 690			
	45B	Ac ₁ 725	退火	780~800°C, 炉冷	≤217
		Ac ₃ 770	正火	840~890°C, 空冷	—
		Ar ₃ 720	高温回火	650~680°C, 空冷	—
		Ar ₁ 690	淬火	800~840°C 热水或油冷	HRC54~60
			回火	500~600°C, 空冷	HRC30~36
50B	Ac ₁ 725	退火	780~800°C, 炉冷	≤217	
	Ac ₃ 760	正火	840~890°C, 空冷	—	
	Ar ₃ 720	高温回火	650~680°C, 空冷	—	
	Ar ₁ 690	淬火	820~860°C, 油冷	—	
		回火	360~400°C, 空冷	HRC39~48	
钢	40MnB	退火	820~860°C, 炉冷	≤207	
		正火	860~880°C, 空冷	187~241	
	Ar ₃ 700	淬火	820~860°C, 油冷或热水冷	HRC54~59	
		Ar ₁ 650	回火	610~640°C, 水冷或油冷	241~285

续表

钢 号	临界点 (°C)	i 序	工 艺 规 范	硬 度 HB	
硼	45MnB	Ac ₁ 727	退 火	820 - 860°C, 炉冷	—
		Ac ₃ 780	正 火	840 - 870°C, 空冷	—
			高温回火	650 - 680°C, 空冷	—
		45Mn2B	Ac ₁ 723	淬 火	830 - 860°C, 油冷或热水冷
	回 火			500 - 550°C, 空冷	HRC28 - 33
	Ac ₃ 751		正 火	870 - 890°C, 空冷	—
			高温回火	670 - 690°C, 空冷	≤255
	30Mn2MoTiB	Ac ₁ 733	高温回火	670 - 690°C, 空冷	—
Ac ₃ 814		淬 火	860 - 880°C, 油冷	HRC46 - 47	
Ar ₃ 698		回 火	200°C, 空冷		
Ar ₁ 640					
40MnVB	Ac ₁ 730	正 火	860 - 900°C, 空冷	≤229	
	Ac ₃ 774	淬 火	840 - 870°C, 油冷	HRC54 - 59	
	Ar ₃ 681	回 火	500 - 560°C, 空冷	HRC28 - 32	
	Ar ₁ 639				
钢	40MnWB	Ac ₁ 736	正 火	860 - 900°C, 空冷	≤229
		Ac ₃ 771	淬 火	860 - 880°C, 油冷	—
		回 火	500°C, 水冷或油冷	—	

续表

钢号	临界点(℃)	工 序	工 艺 规 范	硬 度 HB	
铬	12CrNi2	Ac ₁ 732	正 火	900-930℃, 空冷	≈229
		Ac ₃ 794	高温回火	600-650℃, 空冷	-
		Ar ₃ 763			
		Ar ₁ 671			
	12CrNi3	Ac ₁ 715	正 火	900-940℃, 空冷	—
		Ac ₃ 830	高温回火	600-650℃, 空冷	180-230
		Ar ₁ 670			
	12Cr2Ni4A	Ac ₁ 720	正 火	890-920℃, 空冷	
		Ac ₃ 780	高温回火	650-680℃, 空冷	207-260
Ar ₃ 660					
Ar ₁ 660					
镍	20CrNiA	Ac ₁ 733	止 火	880-930℃, 空冷	-
		Ac ₃ 804	高温回火	690-710℃, 空冷	--
		Ar ₃ 790	等温退火	加热温度 950-970℃, 6-8min 内冷至 650-680℃, 保温到完全珠光体转变	150-207
		Ar ₁ 666			
钢	20CrNi3	Ac ₁ 710	正 火	890-920℃, 空冷	207-269
		Ac ₃ 790	高温回火	650-670℃, 空冷	—
		Ar ₁ 660			
	20Cr2Ni4A	Ac ₁ 720	正 火	900-940℃, 空冷	—
		Ac ₃ 780	高温回火	650-680℃, 空冷	207-260
		Ar ₃ 660	等温退火	加热温度	
		Ar ₁ 575		950-970℃, 急冷	
				等温温度	156-229
		630-660℃			

续表

钢号	临界点(°C)	1	序	工艺规范	硬度HB	
铬	30CrNi3A	Ac ₁	710	正火	860-880°C, 空冷	—
		Ac ₃	780	高温回火	650-680°C, 空冷	170-229
		Ar ₁	650	淬火 回火	810-840°C, 油冷 550-650°C, 水或油冷	HRC50-54 HRC23-28
镍	37CrNi3	Ac ₁	710	正火	860-880°C, 空冷	—
		Ac ₃	770	高温回火	550-650°C, 空冷	—
		Ar ₁	640	淬火	850-860°C, 油冷	HRC51-57
				回火	650-670°C, 水冷	HRC30-35
钢	40CrNi	Ac ₁	731	退火	840-860°C, 炉冷	160-207
		Ac ₃	769	正火	860-880°C, 空冷	—
		Ar ₃	702	高温回火	650-660°C, 空冷	179-241
		Ar ₁	660	—	—	—
	45CrNi	Ac ₁	725	退火	800-830°C, 炉冷	—
		Ac ₃	775	正火	850-880°C, 空冷	—
		Ar ₁	680	高温回火	600-700°C, 油冷	≤250
	50CrNi	Ac ₁	725	正火	900-920°C, 空冷	—
Ac ₃		770	高温回火	680-700°C, 油冷	187-207	
Ar ₁		680	—	—	—	
铬镍(钨、钼、钨)钢	25CrNiMo	—	—	正火	940-950°C, 空冷	197-207
		—	—	等温退火	加热温度 930-940°C, 急冷至等温温度 640-720°C 等温	170-180
34CrNi3Mo	Ar ₁	721	退火	850°C, 炉冷	—	
	Ac ₃	790	正火	850°C, 空冷	—	
	Ar ₁	400	高温回火	650°C, 水冷	—	

续表

钢号	临界点 (°C)	工 序	工 艺 规 范	硬 度 HRC
铬	40CrNiMoA	退 火	840-880°C, 炉冷	207-255
		正 火	860-880°C, 空冷	-
		高温回火	650-680°C, 空冷	-
		淬 火	840-860°C, 油冷	-
	回 火	680-700°C, 空冷	228-255	
镍	18Cr2Ni4WA	正 火	920-980°C, 空冷	340-375
		高温回火	640-670°C, 空冷	269
		Ar ₁	350	
钨	25Cr2Ni4W	正 火	900-950°C, 空冷	-
		高温回火	640-660°C, 空冷	269
		Ar ₁	300	
钼	30CrNi2MoV	正 火	860-880°C, 空冷	-
		高温回火	650-680°C, 空冷	-
		淬 火	900-910°C, 油冷	-
		回 火	640-650°C, 空冷	302-341
钢	40CrNiMoV	退 火	840-860°C, 炉冷	-
		正 火	870-890°C, 空冷	-
		高温回火	670-690°C, 空冷	229
		淬 火	860-880°C, 油冷	-
		回 火	620-650°C, 空冷	285-341

注: (*) 不得吹风冷却, 应缓慢冷却。

③弹簧钢锻件热处理: 弹簧钢除用作各种弹簧外, 还可以用于制造弹性零件, 如弹性轴、某些机械零件和耐冲击的工模具等

要求高弹性极限和疲劳极限的大型螺旋弹簧一般在热状态下加工成形, 而后进行淬火和回火以得到所需要的机械性能, 板簧片的淬火大多数情况下都在弯曲成形后立即淬火——高温形变热处理。

弹簧钢锻件热处理规范见表 5-39。

表 5-39 弹簧钢锻件热处理规范

钢号	临界点 (°C)	工序	工艺规范	硬度 HRC
65	A_{c1} 727	退火	790~810°C, 炉冷	—
	A_{c3} 752	淬火	790~830°C, 水冷或油冷	—
	A_{r3} 730	回火	400~500°C, 空冷	37~45
	A_{r1} 696			
70	A_{c1} 730	退火	780~800°C, 炉冷	HB≤229
	A_{c3} 743	淬火	780~820°C, 水冷或油冷	—
	A_{r1} 693	回火	480°C, 空冷	—
75	A_{c1} 730	退火	780~800°C, 炉冷	HB≤229
	A_{c3} 750	淬火	780~820°C, 水冷或油冷	—
	A_{r1} 690	回火	380°C, 空冷	39~46
85	A_{c1} 723	退火	780~800°C, 炉冷	HB≤229
	A_{c3} 737	淬火	780~820°C, 水冷或油冷	60~63
	A_{r1} 695	回火	375~400°C, 空冷	40~48
60Mn	A_{c1} 727	退火	800~850°C, 炉冷至	—
	A_{c3} 765		550°C 后出炉空冷	

续表

钢号	临界点 (°C)	工序	工艺规范	硬度 HRC
	A_{r3} 741	淬火	820~840°C, 油冷或水冷	—
	A_{r1} 689	回火	380~420°C, 水冷	40~45
65Mn	A_{c1} 726	退火	780~800°C, 炉冷	HB 179~229
	A_{c3} 765	淬火	780~840°C, 油冷或水冷	—
	A_{r3} 741	回火	380~400°C, 水冷	45~50
	A_{r1} 689			
55Si2Mn	—	退火	760~790°C, 炉冷	HB 192~229
		淬火	870°C, 油冷	>58
		回火	370~440°C, 水冷	45~50
60Si2Mn	A_{c1} 755	退火	830~850°C, 炉冷	HB 179~229
	A_{r3} 810	淬火	860~880°C, 油冷	>60
	A_{r3} 770	回火	410~460°C, 水冷	45~50
	A_{r1} 700			
55Si2MnB	—	淬火	870°C, 油冷	—
		回火	480°C, 水冷	—

续表

钢号	临界点 (°C)	工序	工艺规范	硬度 HRC
55SiMnVB	A_{c1} 750	退火	800~840°C, 炉冷	— 40~47
	A_{c3} 775	淬火	840~880°C, 油冷	
	A_{c3} 700	回火	400~500°C, 水冷或空冷	
	A_{r1} 670			
55SiMnMOV	A_{c1} 745	退火	800~840°C, 炉冷	—
	A_{c3} 805	淬火	860~890°C, 油冷	—
	A_{c3} 700	回火	520~580°C, 水冷	40~45
	A_{r1} 620			
55SiMnMoVNb	A_{c1} 730	退火	800~840°C, 炉冷	—
	A_{c3} 770	淬火	860~900°C, 油冷	—
	A_{c3} 685	回火	450~550°C, 水冷或空冷	—
	A_{r1} 590			
65Si2MnMoA	—	淬火	850°C, 油冷	—
	—	回火	430~480°C, 水冷	48~52
70Si3MnA	A_{c1} 765	退火	760~790°C, 炉冷	—

续表

钢号	临界点 (°C)	工序	工艺规范	硬度 HRC
	A_{c3} 780	淬火	860°C, 油冷	—
	A_{r1} 700	回火	420~480°C, 水冷	48~52
60Si2CrVA	—	淬火	850°C, 油冷	—
	—	回火	410°C, 水冷	HBS302
50CrVA	A_{c1} 752	退火	810~870°C, 炉冷	HBS 207~255
	A_{c3} 788	正火	850~880°C, 空冷	HBS 288
	A_{c3} 746	高温回火	640~680°C, 空冷	—
	A_{r1} 688	淬火	850~890°C, 油冷	—
		回火	400~500°C, 空冷	42~47
50CrMn	A_{c1} 750	退火	800~820°C, 炉冷	HB≈272
	A_{c3} 775	淬火	830~860°C, 油冷	—
		回火	400~510°C, 水冷	40~45
55CrMnVA	A_{c1} 750	退火	800~820°C, 炉冷	HBS≤255
	A_{c3} 787	淬火	840~860°C, 油冷	—

续表

钢号	临界点 (°C)	工序	工艺规范	硬度 HRC
	A_{r3} 745	回火	400~500°C, 水冷或油冷	HB 370~450
	A_{r1} 686			

①轴承钢锻件热处理：轴承钢按正常的工艺锻造后，锻件的金相组织是细片状珠光体，硬度很高，难于切削加工，需进行球化退火，降低硬度，改善切削加工性能，同时还要求获得均匀的细粒状珠光体，为最终热处理作好组织准备。所以轴承钢锻件应采用一般球化退火，其工艺曲线见图 5-36a，或采用等温球化退火，其工艺曲线见图

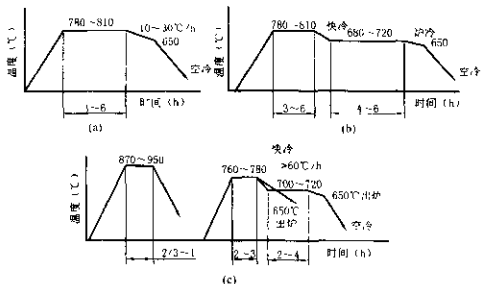


图 5-36 轴承钢锻件球化退火工艺曲线

(a) 一般球化退火 (b) 等温球化退火 (c) 快速球化退火

5-36b。两者相比，等温球化退火使奥氏体在等温温度下转变，所得到的金相组织，碳化物颗粒大小比较一致，分布均匀性好，而且等温球化退火周期短，可节能和提高劳动生产率。

当锻造温度过高，锻后冷却太慢，形成了粗大网状碳化物，退火无法消除，应采用快速球化退火，见图5-36c。就是对轴承钢锻件先正火处理，消除较细的网状碳化物或减少粗大网状碳化物和改善锻造组织，然后再进行球化退火。所以快速球化退火实质上是正火以后再实行一般球化退火或等温球化退火。

轴承钢锻件热处理规范见表5-40。

表 5-40 轴承钢锻件热处理规范

钢 号	工 序	工艺规范	硬度 HB
GCr6	一般球化退火	780~800℃，炉冷	170~207
GCr9	一般球化退火	780~810℃，炉冷	187~228
GCr15	一般球化退火	790±10℃保温2~4h后，以20℃/h冷速冷至650℃出炉	187~228
GCr9SiMn	一般球化退火	760~790℃，炉冷	≤217
GCr15SiMn	一般球化退火	780~810℃，炉冷	170~207
GSiMnV	一般球化退火	760~790℃，炉冷	≤217
GSiMnVXt	一般球化退火	770~790℃，炉冷	≤217
GSiMnMoV	一般球化退火	760~790℃，炉冷	≤217
GMnMoV	一般球化退火	760~790℃，炉冷	≤217
GMnMoVXt	一般球化退火	760~790℃，炉冷	≤217
Gr4Mo4V	退 火	830~880℃，炉冷	≤255

⑤工具钢锻件热处理：工具钢锻后一般具有片状珠光体组织，为改善锻件的切削加工性能和最终热处理的工艺性，需要进行球化退火。可以是一般球化退火，也可以是等温球化退火，由于等温球化退火可以大大缩短退火时间，在较短的等温时间内形成均匀的组织，其切削加工性能是令人满意的，因此等温球化退火更理想。

如果锻造组织为过热的粗大组织或有网状碳化物，为细化组织和消除网状碳化物，要先进行正火处理。然后再进行球化退火，如温度较高，操作需注意防止表面严重脱碳。

1. 工具钢锻件球化退火规范见表 5-41，工具钢锻件正火规范见表 5-42。

工具钢锻件一般球化退火的保温时间根据钢材的合金元素含量，锻件有效厚度和装炉量决定，通常为 1~4h。钢材合金元素含量多，锻件有效厚度大，装炉量多的保温时间应取上限，反之取下限，冷却速度按钢材合金元素含量而定，一般为 22~28℃/h，含合金元素多者取下限，碳工具钢取上限。控制冷却的终止温度为 500~600℃，而后可出炉空冷。

1. 工具钢锻件等温球化退火加热温度下保温时间和锻件有效厚度、装炉量及炉子类型有关，一般为 2~4h。自退火加热温度至等温温度的冷却速度约为 40~50℃/h 或更慢些。等温温度下的保温时间一般为 4~6h。等温保温即炉冷到 500~600℃ 出炉空冷。

⑥高速钢锻件热处理：高速钢锻后均应退火处理以降低硬度，改善组织，常采用完全退火或等温退火，等温退火的质量稳定，工艺周期较短。

表 5-41 工具钢球化退火规范

钢号	1. 序	工艺规范	硬度 HB
T7	球化退火	730~750℃，炉冷	≤187
	等温退火	加热温度 740~750℃ 等温温度 650~680℃	≤187

续表

钢号	工 序	工 艺 规 范	硬度 HB
T8	球化退火	740 - 760℃, 炉冷	≤187
	等温退火	加热温度 740 - 750℃ 等温温度 650 - 680℃	≤187
T9	球化退火	750 - 780℃, 炉冷	≤201
	等温退火	加热温度 740 - 750℃ 等温温度 650 - 680℃	≤192
T10	球化退火	760 - 780℃, 炉冷	≤197
	等温退火	加热温度 750 - 760℃ 等温温度 680 - 700℃	≤197
T11	球化退火	760 - 790℃, 炉冷	≤202
	等温退火	加热温度 750 - 760℃ 等温温度 680 - 700℃	≤207
T12	球化退火	760 - 780℃, 炉冷	≤207
	等温退火	加热温度 760 - 770℃ 等温温度 680 - 700℃	≤207
T13	球化退火	680 - 710℃, 炉冷	210
	等温退火	加热温度 760 - 770℃ 等温温度 680 - 700℃	≤217

续表

钢号	工序	工艺规范	硬度 HB
Cr	球化退火	775~800℃, 炉冷	129~229
	等温退火	加热温度 770~790℃ 等温温度 670~700℃	179~229
Cr06	球化退火	780~800℃, 炉冷	187~241
	等温退火	加热温度 770~790℃ 等温温度 670~700℃	217~255
Cr2	球化退火	770~800℃, 炉冷	179~207
	等温退火	加热温度 770~790℃ 等温温度 680~700℃	179~229
9Cr2	球化退火	800~820℃, 炉冷	179~217
	等温退火	加热温度 800℃, 保温 2h 等温温度 700℃, 保温 4h	179~217
SiCr	球化退火	770~800℃, 炉冷	230
	等温退火	加热温度 780~800℃ 等温温度 700~720℃	≤241
9CrSi	球化退火	790~810℃, 炉冷	197~241
	等温退火	加热温度 790~810℃ 等温温度 700~720℃	197~241

续表

钢号	工序	工艺规范	硬度 HB
CrV	球化退火	790~815℃, 炉冷	174~201
9CrV	球化退火	760~790℃, 炉冷	≤255
CrW	球化退火	790~810℃, 炉冷	≤230
CrW5	等温退火	加热温度 800~820℃ 等温温度 680~700℃	229~285
W	球化退火	760~800℃, 炉冷	183~207
	等温退火	加热温度 780~800℃ 等温温度 650~680℃	—
W2	球化退火	750~800℃, 炉冷	<217
	等温退火	加热温度 750~770℃ 等温温度 650~680℃	≤255
WCrV	球化退火	750~800℃, 炉冷	≤217
W3CrV	球化退火	800~850℃, 炉冷	≤229
CrMn	球化退火	770~810℃, 炉冷	197~241
	等温退火	加热温度 780~800℃ 等温温度 700~720℃	197~241
CrWMn	球化退火	770~790℃, 炉冷	207~255
	等温退火	加热温度 770~790℃ 等温温度 680~700℃	207~255

续表

钢号	工 序	工 艺 规 范	硬度 HB
9CrWMn	球化退火	780-800℃, 炉冷	197-241
	等温退火	加热温度 780-800℃ 等温温度 670-720℃	197-241
V	球化退火	750-770℃, 炉冷	179-217
MnCrWV	球化退火	760-790℃, 炉冷	≤229

注: 表中球化退火为一般球化退火
表中等温退火为等温球化退火。

表 5-42 碳素工具钢和常用合金工具钢锻件正火规范

钢 号	加热温度 (℃)	保温时间(s/mm)	冷却方法	硬度 HB
T7	800-820	盐浴炉 20-25	视尺寸大小 小可采用空 冷或风冷, 硝 盐 (400℃左 右)冷却或 油冷	241-302
T8	760-780			241-302
T9	780-800			241-302
T10	830-850			255-329
T11	840-860	空气炉 50-80		255-329
T12	850-870			269-341
T13	860-880			269-341

续表

钢号	加热温度(°C)	保温时间(s/min)	冷却方法	硬度 HB
Cr	930-950	盐浴炉 25~30	空冷	302~388
9SiCr	900~920			321~415
CrMn	900~920	空气炉		321~415
CrWMn	970~990	70~90		388~514

高速钢锻件热处理规范见表 5-43。各种类型的高速钢，退火加热温度大约都在 830~910°C 范围内，退火加热时间不易过长，以免形成稳定的碳化物。在退火加热温度下保温 1~2h 后，以不超过 22°C/h 的速度缓冷至 560°C 再空冷。高速钢锻件亦可采用等温退火，在退火加热温度下保温后，较快地冷至 720~760°C 范围内，停留足够长的时间（4~6h），再以 40~50°C/h 速度冷至 600~650°C，然后出炉空冷。

高速钢锻件退火应在严格密封的容器内装箱退火，或者用通入可控气氛的炉子或者用真空炉处理，使脱碳减少到最低限度。装箱的填料可用于干燥的砂子或石灰，其中加入少量活性碳，也可以用铸铁屑作填料。

④模具钢锻件热处理：为消除模具钢锻件的锻造应力，改善组织、降低硬度，便于切削加工，锻件应进行退火、正火或高温回火。冷作模具钢、尺寸较大的热作模具钢锻件一般采用退火处理；热作模具钢中小锻件可采用正火或正火加高温回火；单纯为了消除锻造应力或降低部分硬度，以利于切削加工，一般不要明显改变内部组织（不发生相变）者，可单纯采用高温回火。模具钢锻件热处理规范见表 5-44。

形状复杂的大型模具锻件等温退火时，在珠光体温度区域内应停留足够长时间，否则不能排除锻造冷却时形成的定向分布的粗针状贝氏体

组织,这种组织将引起随后淬火时晶粒大小不等,并导致模具失效。
大型模具锻件装炉温度不应超过 600℃。

表 5-43 高速钢锻件热处理规范

钢号	工序	工艺规范	硬度 HB
W18Cr4V	退火	850~870℃, 保温 3~4h, 以 10~20℃/h 冷速冷到 500℃ 以下出炉	217~255
	等温退火	加热温度 860~880℃ 等温温度 740~760℃, 等温 4~6h 后炉冷到 600℃ 以下出炉	207~255
W9Cr4V2	退火	840~860℃, 炉冷	228~255
	等温退火	加热温度 840~860℃ 等温温度 720~750℃	≤255
W9Cr4V	退火	850~870℃, 炉冷	—
	等温退火	加热温度 850~870℃ 等温温度 720~750℃	≤255
W6Mo5Cr4V2	退火	840~860℃, 保温 3~4h, 以 10~20℃/h 速度冷到 500℃ 以下出炉	≤255
	等温退火	加热温度 840~860℃, 保温 3~4h 等温温度 740~760℃, 保温 4~6h 后, 炉冷到 600℃ 以下出炉	≤255

续表

钢号	工 序	工艺规范	硬度 HB
W6MO5Cr4V3	退 火	850~870℃, 炉冷	—
	等温退火	加热温度 850~870℃ 等温温度 720~740℃	207~255
W6MO5Cr4V2Al	退 火	840~860℃, 保温 3~4h, 以 10~20℃/h 冷速冷至 500℃ 以下出炉	207~255
	等温退火	加热温度 850~870℃ 等温温度 740~760℃, 等温 4~6h 后, 炉冷到 600℃ 以下出炉	≤269
W6MO5Cr4V2CO5	退 火	850~880℃, 炉冷	≤277
W2MO10Cr4VCO8	退 火	870~900℃, 炉冷	207~255
W10MO4Cr4V3CO10	退 火	800~880℃, 炉冷	≤285
W12Cr4V5CO5	退 火	870~900℃, 炉冷	≤285
W12Cr4V4MO	退 火	840~860℃, 保温 3~4h, 以 10~20℃/h 冷速冷至 500℃ 以下出炉	≤269
	等温退火	加热温度 840~860℃, 保温 3~4h 等温温度 740~760℃, 等温 4~6h 后, 炉冷到 600℃ 以下出炉	207~269

续表

钢号	1. 序	工艺规范	硬度 HB
W18Cr4VCO5	退火	840~900℃, 炉冷	<262
W18Cr4VCO10	退火	850~910℃, 炉冷	<285
W18Cr4VCO15	退火	850~910℃, 炉冷	<311
W2Mo8Cr4V	退火	820~870℃, 炉冷	207~235
W6Mo5Cr4V4	退火	870~900℃, 炉冷	223~255
W2Mo9Cr4V2	退火	820~870℃, 炉冷	217~255
W6Mo4Cr4V5Co5	退火	870~900℃, 炉冷	241~277
W2Mo10Cr4VCo5	退火	870~900℃, 炉冷	235~269
3Cr2W8	退火	860~890℃, 保温1~4h, 以28℃/h的冷速冷至595℃后再空冷	207~235
	等温退火	加热温度850~870℃, 保温2~4h 等温温度710~730℃等温4~6h	—
	高温回火	720~750℃, 保温2~3h	—

续表

钢号	工序	工艺规范	硬度 HB
5CrNiMo	退火	760 ~ 790℃, 保温 1 ~ 4h, 炉冷 ($\leq 22^\circ\text{C}/\text{h}$) 至 540℃, 再空冷	183 ~ 255
	退火	780 ~ 800℃, 保温 4 ~ 6h, 炉冷 ($\leq 50^\circ\text{C}/\text{h}$) 至约 500℃ 后空冷	179 ~ 241
	等温退火	加热温度 860 ~ 880℃, 保温 3 ~ 4h 等温温度 720 ~ 740℃, 保温 4 ~ 5h	—
	等温退火	加热温度 760 ~ 790℃ 等温温度 650 ~ 660℃	179 ~ 229
	高温回火	680 ~ 700℃ 保温后空冷	207 ~ 241
5CrMnMo	退火	830 ~ 850℃, 保温 4 ~ 6h, 炉冷至 500℃ 出炉空冷	≤ 230
	等温退火	加热温度 800 ~ 820℃, 保温 4 ~ 6h, 炉冷至等温温度 等温温度 680℃, 等温 4 ~ 6h, 炉冷至约 500℃ 出炉空冷	197 ~ 241
	正火	850 ~ 870℃, 保温 3 ~ 3.5h, 空冷	—
	高温回火	650 ~ 670℃, 保温 4h	197 ~ 228
	高温回火	650 ~ 690℃ 保温后空冷	205 ~ 255

续表

钢号	工序	工艺规范	硬度 HB
5CrNiW	退火	760~790℃, 炉冷	207~241
	等温退火	加热温度 760~790℃ 等温温度 650~660℃	207~229
	高温回火	700~720℃, 保温后空冷	207~241
5CrNiTi	退火	760~790℃, 炉冷	197~235
5W2CrSiV	退火	770~800℃, 炉冷	183~229
3W4Cr2V	退火	830~860℃, 炉冷	≤241
3W4CrSiV	退火	750~780℃, 炉冷	210~250
	高温回火	650~700℃, 空冷	<235
4CrVMoW	退火	740~780℃, 炉冷	200~238
4Cr5W2SiV	退火	840~880℃, 炉冷	≤241
4Cr5MoV1Si	退火	860~890℃, 炉冷	≤229
	退火	845~900℃, 保温 1~4h, 炉冷 (≤28℃/h) 至 540℃ 出炉空冷	192~235
3Cr5WMoVSi	退火	845~900℃, 保温 1~4h, 炉冷 (≤30℃/h) 至 540℃ 出炉空冷	192~235
35Cr3Mo3VCu3	退火	845~900℃, 炉冷	192~229

续表

钢号	工序	工艺规范	硬度 HB
35Cr3Mo3W2V	退火	830~850℃, 保温3~4h, 炉冷至500℃出炉空冷	—
	等温退火	加热温度850~870℃, 保温2~4h 等温温度710~730℃, 等温4~6h, 炉冷至500℃出炉空冷	—
4Cr3W4Mo2VTiNb	退火	870~900℃, 炉冷	—
6SiMnV	退火	750~790℃, 炉冷	—
5SiMnMoV	退火	850~870℃, 保温2~4h, 炉冷($\leq 50^\circ\text{C}/\text{h}$)至500℃出炉空冷	197~241
5CrSiMnMoV	等温退火	加热温度850~870℃ 等温温度720~740℃	≤ 241
5Cr2MoNiV	高温回火	720~740℃	≤ 255
4Cr2W2MoVSi	退火	830~850℃, 炉冷	229~241
	等温退火	加热温度830~850℃ 等温温度670~690℃	229~241
	高温回火	700~710℃	229~241

续表

钢号	工序	工艺规范	硬度 HB
2Cr6W8Mo2Co8VNb	退火	880~910℃, 炉冷	241~269
	等温退火	加热温度 880~900℃ 保温后快冷至等温温度, 等温温度 640~705℃	241~269
5Cr3W3MoVSiNb	退火	840~880℃, 炉冷	229~255
	等温退火	加热温度 840~880℃ 等温温度 690~700℃	229~255
	高温回火	750~780℃	269
2Cr9W6V	退火	880~910℃, 炉冷	229~241
	等温退火	加热温度 840~860℃ 等温温度 680~700℃	197~229
	高温回火	680~720℃	241
Cr12MoV	退火	870~900℃, 保温 $1\frac{1}{4}$ h, 炉冷 ($\leq 22^\circ\text{C/h}$) 至 540℃ 出炉	217~255
	等温退火	加热温度 850~870℃, 保温 2~4h 等温温度 720~750℃, 等温 6~8h	207~255

续表

钢号	工序	工艺规范	硬度 HB
Cr12	退火	870~900℃, 保温 $1\frac{1}{4}$ ~6h, 炉冷 ($\leq 22^\circ\text{C}/\text{h}$) 至 540℃ 出炉	207~255
	等温退火	加热温度 850~870℃, 保温 2~4h 等温温度 720~750℃, 等温 6~8h	207~255
Cr12Mo	退火	850~870℃, 保温 $1\frac{1}{4}$ ~6h, 炉冷 ($\leq 22^\circ\text{C}/\text{h}$) 至 540℃ 出炉	217~255
	等温退火	加热温度 850~870℃ 等温温度 700~720℃	207~255
Cr12W	退火	870~900℃, 保温 $1\frac{1}{4}$ ~6h, 炉冷 ($\leq 22^\circ\text{C}/\text{h}$) 至 540℃ 出炉	217~255
9Mn2	退火	740~770℃, 保温 1~ 4h, 炉冷 ($\leq 22^\circ\text{C}/\text{h}$) 至 540℃ 出炉	187~220

续表

钢号	工序	工艺规范	硬度 HB
9Mn2V	退火	740~775℃, 保温 1~4h, 炉冷 ($\leq 22^\circ\text{C}/\text{h}$) 至 540℃ 出炉	≤ 212
	等温退火	加热温度 760~780℃ 等温温度 680~700℃	≤ 229
8V	退火	730~780℃, 炉冷	< 207
8CrV	退火	770~790℃, 炉冷	170~207
5CrW	退火	750~800℃, 炉冷	≤ 201
4CrSi	退火	820~840℃, 炉冷	170~217
6CrSi	退火	820~840℃, 炉冷	187~229
Cr5MoV	退火	845~870℃, 充分保温后, 炉冷 ($\leq 22^\circ\text{C}/\text{h}$) 至 540℃ 出炉	201~229
	等温退火	加热温度 845~870℃, 保温后炉冷至等温温度 等温温度 760℃, 等温 4~6h 后空冷	—

续表

钢号	工 序	工艺规范	硬度 HB
Cr6WV	退 火	830~850℃, 炉冷	207~241
	等温退火	加热温度 830~850℃, 保温 2~4h 等温温度 730~750℃, 等温 6~8h	207~241
7MnSi2	退 火	760~790℃, 保温 1~ 4h, 炉冷 ($\leq 22^\circ\text{C}/\text{h}$) 至 510℃ 出炉	192~229
5MnSi	退 火	720~760℃, 炉冷	220
4CrW2Si	退 火	800~820℃, 炉冷	179~229
5CrW2Si	退 火	790~830℃, 保温 1~ 4h, 炉冷 ($\leq 22^\circ\text{C}/\text{h}$) 至 510℃ 出炉	183~235
6CrW2Si	退 火	780~800℃, 炉冷	229~285
Cr4W2MoV	退 火	805~870℃, 炉冷	240~255
6Cr4Mo3Ni2WV	退 火	800~820℃, 炉冷	≤ 255
65Cr4W3Mo2VNb	退 火	850~870℃, 炉冷	≤ 217
	等温退火	加热温度 $860 \pm 10^\circ\text{C}$, 保温 2~3h 等温温度 $740 \pm 10^\circ\text{C}$, 等温 5~6h	≤ 217

续表

钢号	工序	工艺规范	硬度 HB
8W2CrV	退火	750~800℃, 炉冷	≤212
55SiMoV	退火	760~790℃, 炉冷	192~217
SiMn	退火	770~790℃, 炉冷	<217
8Cr3	退火	800~820℃, 炉冷	207~255
6Cr6W3MoVSi	退火	860~880℃, 炉冷	255
	等温退火	加热温度 860~880℃ 等温温度 760~780℃	241~255
	高温回火	760~780℃	269

⑧ 不锈钢锻件热处理：铁素体不锈钢一般都采用退火处理，马氏体不锈钢热处理基本与碳钢和低合金钢相同，锻件一般采用退火、高温回火或淬火加回火，奥氏体不锈钢进行固溶处理或退火。不锈钢锻件热处理规范，见表 5-45。

表 5-45 不锈钢锻件热处理规范

钢号	工序	工艺规范	硬度 HB
铁素体型钢			
0Cr13	退火	870~890℃, 炉冷至 600℃ 后空冷	≤160
	淬火	1000~1050℃, 油冷或水冷	—
	回火	700~790℃, 油冷、水冷或空冷	—

续表

钢号	工序	工艺规范	硬度 HB
1Cr14S	淬 火	1010 ~ 1015℃, 油冷	—
	回 火	680 ~ 780℃, 油冷或水冷	—
1Cr17	退 火	750 ~ 800℃, 空冷	150 ~ 170
1Cr28	退 火	700 ~ 800℃, 空冷	—
0Cr17Ti, 1Cr17Ti, 1Cr25Ti	退 火	700 ~ 800℃, 空冷	—
1Cr17Mo2Ti	退 火	750 ~ 800℃, 空冷	—

马氏体型钢

1Cr13	高温回火	700 ~ 800℃, 保温 2 ~ 6h, 空冷	170 ~ 200
	退 火	840 ~ 900℃, 保温 2 ~ 4h, 炉冷 ($\leq 25^\circ/\text{h}$) 至 600℃ 后空冷	≤ 170
	淬 火	1000 ~ 1050℃, 油冷或水冷	—
	回 火	700 ~ 790℃, 油冷水冷或空冷	≤ 212

续表

钢号	工序	工艺规范	硬度 HB
2Cr13	高温回火	700 - 800℃, 保温 2~6h, 空冷	200 - 300
	退火	840 - 900℃, 保温 2~4h, 炉冷 ($\leq 25^\circ\text{C}/\text{h}$) 至 600℃ 后空冷	≤ 170
	等温退火	830 - 885℃, 保温后缓冷到 705℃, 等温 2h 后空冷	HRB95
	淬火 回火	1000 - 1050℃, 油冷或水冷 660 - 770℃, 油冷水冷或空冷	— —
3Cr13, 4Cr13	高温回火	700 - 800℃, 保温 2~6h 后空冷	200 - 230
	退火	860℃, 保温 2~4h 后炉冷 ($\leq 25^\circ\text{C}/\text{h}$) 至 600℃ 后空冷	≤ 217
1Cr17Ni2	高温回火	650℃, 保温后空冷	—
	退火	850 - 880℃, 保温后炉冷至 750℃ 再空冷	260 - 270

续表

钢号	工序	工艺规范	硬度 HB
9Cr18	退火	850 ~ 870℃, 保温 3 ~ 6h 后, 以不大于 25℃/h 冷速冷至 600℃, 再空冷	197 ~ 255
奥氏体型钢			
0Cr18Ni9	固溶处理	1050 ~ 1100℃, 水冷或空冷	140 ~ 175
1Cr18Ni9	时效	800 ~ 850℃, 空冷	≈170
2Cr18Ni9	固溶处理	1100 ~ 1150℃, 水冷或空冷	160 ~ 200
	时效	800 ~ 850℃, 空冷	≈170
1Cr18Ni9Ti	固溶处理	1050 ~ 1150℃, 水冷或空冷	—
	时效	800 ~ 850℃, 空冷	130 ~ 190
2Cr13Ni14Mn9	固溶处理	1000 ~ 1150℃, 水冷	—
Cr14Mn14Ni	固溶处理	1000 ~ 1150℃, 水冷	—
03Cr17Ni14Mo3	固溶处理	1000℃, 水冷	—
00Cr17Ni14Mo2	固溶处理	1050 ~ 1100℃, 水冷	—

续表

钢号	工序	工艺规范	硬度 HB
Cr18Mn8Ni5	固溶处理	1100 ~ 1150℃, 水冷 或空冷	≈89
Cr18Mn10Ni5Mo3	固溶处理	1100 ~ 1150℃, 水冷	—
Cr18Ni11Nb	固溶处理	1050 ~ 1100℃, 水冷 或油冷	—
Cr18Ni12Mo2Ti	固溶处理	1100 ~ 1150℃, 水冷 或空冷	150 ~ 200
Cr18Ni9Cu3Ti	固溶处理	1050 ~ 1100℃, 水冷	—
Cr18Ni18Mo2Cu2Ti	固溶处理	960 ~ 1100℃, 水冷	—
Cr18Ni20Mo2Cu2Nb	固溶处理	1050 ~ 1100℃, 水冷	—
Cr18Ni12Mo3Ti	固溶处理	1100 ~ 1150℃, 水冷	—
00Cr18Ni14Mo2Cu2	固溶处理	1050 ~ 1100℃, 水冷	—
0Cr23Ni28Mo3Cu3Ti	固溶处理	1100 ~ 1150℃, 水冷 或空冷	—

④耐热钢锻件热处理：珠光体型耐热钢，一般为正火与调质处理；马氏体型耐热钢一般为退火及调质处理；奥氏体型耐热钢一般为固溶处理加时效处理。耐热钢锻件热处理规范见表 5-46

表 5-46 耐热钢锻件热处理规范

钢号	工序	工艺规范	硬度(HRC)
珠光体型钢			
25Cr2Mo1V	正火	1030-1050℃, 空冷	-
	回火	650℃, 保温 6h, 空冷	-
20Cr2Mo1VNb11B	淬火	1050℃, 油冷	-
20Cr1Mo1VN1B	回火	700℃, 保温 4-6h	-
12Cr2MoWVB	正火	1020-1050℃, 空冷	-
	回火	760-790℃, 空冷	-
12Cr3Mo3VN1B	正火	1040-1090℃, 空冷	-
	回火	770℃ 回火 3h	-
27Cr2Mo1V	正火	970-990℃, 空冷	-
	二次正火	930-950℃, 空冷	-
	回火	680-700℃, 空冷	-
34CrNi3Mo	淬火	840-870℃, 油冷	-
	回火	560-650℃, 空冷	-
33Cr3Mo3V	淬火	950℃, 油冷	-
	回火	640℃, 空冷	-
20Cr3Mo3V	正火	1050-1100℃, 保温 2h, 空冷	-
	回火	750℃, 保温 4-5h	-
马氏体型钢			
1Cr11MoV	淬火	1050-1100℃, 油冷	-
	回火	720-740℃, 空冷	-
1Cr12WMoV	淬火	1000℃, 油冷	-
	回火	680-700℃, 空冷	-
2Cr12WMoNbVB	淬火	1030℃, 油冷	-
	回火	650-700℃, 空冷	-

续表

钢号	工序	工艺规范	硬度 HRC
1Cr17Ni2W2MoVA	正火	1000℃, 空冷	-
	回火	680℃, 空冷	302~364
	淬	1000~1020℃, 油冷	-
	回火	640~700℃, 空冷	269~332
1Cr14Ni3W2VBA	淬	1040~1060℃, 油或空冷	-
	回火	550~600℃, 空冷	332~387
		或 600~680℃, 空冷	286~340
15Cr12Ni2WMoVNb	淬	1140~1160℃, 空冷	-
	回火	670~710℃, 空冷	269~332
4Cr9Si2	退火	850~900℃, 炉冷	193~230
	淬 回火	1040~1060℃, 油冷 690~710℃, 空冷	HRC58~63 HRC25~35
4Cr10Si2Mn	退火	850~900℃, 炉冷	193~230
	等温退火	1000~1040℃, 保温 1h, 炉冷至 750℃ 等温 3~4h, 空冷	169~269
	淬 回火	1020~1050℃, 油冷或空冷 720~780℃, 油冷或水冷	HRC58~63 HRC30~37
Cr9Si2	淬	1020~1040℃, 保温 20min, 油冷	-
	回火	750~800℃, 保温 55min, 水冷	269~311
Cr13Ni7Si2	淬	1050~1080℃, 保温 8min, 油冷	-
	退火	860~880℃, 保温 5h, 炉冷	-
	回火	660~680℃, 保温 3h, 空冷	-
	二次淬	780~800℃, 油冷	341~401
奥氏体型钢			
1Cr18Ni9Mo	固溶处理	1050~1100℃, 空冷	-
1Cr14Ni16Nb	固溶处理	1140~1160℃, 水冷	-

续表

钢号	工序	工艺规范	硬度 HRC
1Cr14Ni19W2Nb	固溶处理	1140~1160℃, 水冷	-
4Cr12Ni8Mn8MoVNb	固溶处理	1130~1150℃, 保温 1.5~2.5h, 流水冷	-
	一次时效	660~680℃, 保温 12~14h, 空冷	-
	二次时效	770~800℃, 保温 10~12h, 空冷	277~311
1Cr16Ni25Mo6Nb	固溶处理	1050~1080℃, 保温 10min, 空冷	-
4Cr14Ni14W2Mo	退火	820~850℃, 保温 2h, 空冷	179~269
	固溶处理	1170~1200℃, 水冷	149~212
	时效	750℃, 保温 5h 空冷	-
1Cr15Ni36W3Ti	固溶处理	1150℃, 水冷	-
	一次时效	780~790℃, 保温 10h	-
	二次时效	730~740℃, 保温 25h	-
0Cr15Ni25Ti2Mo3V3	固溶处理	980~1000℃, 保温 2h, 油冷	-
	时效	700~720℃, 保温 16h	302
0Cr15Ni35W2Mo2 12Al3H	固溶处理	1140℃, 保温 4h, 空冷	-
	一次时效	820~840℃, 保温 16h, 空冷	-
	二次时效	640~660℃, 保温 16h, 空冷	286
0Cr14Ni40W4Mo2 Ti3Al2H2r	一次固溶处理	1170~1190℃, 保温 2h, 空冷	-
	二次固溶处理	1140~1160℃, 保温 4h, 空冷	-
	时效	790~810℃, 保温 16h, 空冷	293~332

五、锻件质量检验与控制

1. 锻件缺陷分类

为了保证质量，对于金属锻件，必须进行质量检验。对检验出有缺陷的锻件，根据使用要求（检验标准）和缺陷的程度，确定其合格、或报废、或经过修补后使用。

锻件缺陷分类的方法很多，下面介绍比较实用的两种分类方法：

(1) 按缺陷表现形式分类：锻件的缺陷如按其表现形式来区分，可分为：外部的、内部的和性能的三种，外部缺陷如几何尺寸和形状不符合要求、表面裂纹、折叠、缺肉、错差、模锻不足、表面麻坑、表面气泡和桔皮状表面等。这类缺陷显露在锻件的外表面上，比较容易发现或观察到。内部缺陷又可细分为低倍缺陷和显微缺陷两类。前者如内裂、缩孔、疏松、白点、锻造流线紊乱、偏析、粗晶、石状断口、异金属夹杂等；后者如脱碳、增碳、带状组织、铸造组织残留和碳化物偏析级别不符合要求等。内部缺陷存在于锻件的内部，原因复杂，不易辨认，常常给生产造成较大的困难。

反映在性能方面的缺陷，如室温强度、塑性、韧性或疲劳性能等不合格；或者高温强度、持久强度；持久塑性、蠕变强度不符合要求等。性能方面的缺陷，只有在进行了性能试验之后，才能确切知道。值得注意的是，外部、内部和性能方面的缺陷这三者之间，常常有不可分割的联系。例如，过热和过烧表现于外部常为裂纹的形式；表现于内部则为晶粒粗大或脱碳，表现在性能方面则为塑性和韧性的降低。因此，为了准确确定锻件缺陷的原因，除了必须阐明它们的形态和特征之外，还应注意找出它们之间的内在联系。

(2) 按产生缺陷的工序或过程分类：锻件缺陷按其产生于哪个过程来区分，可分为：原材料生产过程产生的缺陷、锻造过程产生的缺陷和热处理过程产生的缺陷。按照锻造过程中各工序的顺序，还可将锻造过程中产生的缺陷，细分为以下几类：由下料产生的缺陷；由加热产生的缺陷；由锻造产生的缺陷；由冷却产生的缺陷和由清理产生的缺陷等。不同工序可以产生不同形式的缺陷，但是，同一种形式的

缺陷也可以来自不同的工序。由于产生锻件缺陷的原因往往与原材料生产过程和锻后热处理过程有关，因此在分析锻件缺陷产生的原因时，不要孤立地来进行。

2. 锻件缺陷的主要特征及其产生原因

为了系统地进行分析和便于查找，将常见各种缺陷的主要特征及其产生的主要原因列于表 5-47。锻造过程中各工序可能产生的缺陷，是按照锻造工序的顺序列出的。

3. 锻件质量检验内容及方法

(1) 锻件质量检验内容：锻件质量检验的目的，在于保证锻件质量符合锻件的技术标准。锻件质量检验的内容包括：锻件几何形状与尺寸的检验；表面质量的检验；内部质量的检验；力学性能检验及化学成分检验等方面。

锻件的重要性等级不同，所需进行的具体检验项目和要求也不同。锻件的等级是按照零件的受力情况、工作条件、重要程度、材料种类和冶金工艺的不同来划分的。各工业部门对锻件等级的分类不尽相同，有些部门将锻件分为三类，有的分为四类或五类。表 5-48 为其中的一例，将锻件分为三类并指出了每一类的检验项目。表 5-49 为锻件各检验项目的试验方法标准。对于某些有特殊要求的锻件，尚须按专用技术条件文件规定进行检验。

(2) 锻件质量检验方法：

① 锻件几何形状与尺寸的检验：

- 锻件长度尺寸检验：锻件长度尺寸的检验，可用直尺、卡钳、卡尺或游标卡尺等通用量具进行测量，为了提高检测工效和测量精度，可用刻有极限槽的杆形样板检验。

- 锻件高度（或横向尺寸）与直径检验：一般情况下用卡钳或游标卡尺测量，如批量大，可用专用极限卡板测量。

- 锻件厚度检验：通常用卡钳或游标卡尺测量，若生产批量大，可用带有扇形刻度的外卡钳来测量。

5-47 锻件缺陷的主要特征及其产生的主要原因

缺陷名称	主要特征	产生原因及后果
①由原材料产生的缺陷		
毛细裂纹 (发裂)	位于钢材表面，深约0.5~1.5mm的毛细裂纹	轧制钢材时，钢锭的皮下气泡被辗长而破裂形成的。锻前若不去掉，可能引起锻件裂纹
结疤	在钢材表面局部地方存在的一层易剥落的薄膜，其厚度可达1.5mm左右。锻造时不能焊合，以结疤形态出现在锻件表面上	浇注时，由于钢液飞溅而凝结在钢锭表面，轧制时被压成薄膜而黏附在轧材表面即为结疤。锻后经酸洗清理，结疤剥落，锻件表面上出现凹坑
折缝 (折叠)	在轧材端面上的直径两端出现方向相反的折缝。折缝同圆弧切线成一角度，折缝内有氧化夹杂，四周有脱碳	轧辊上型槽定径不正确，或型槽磨损面产生的毛刺在轧制时被卷成折叠 锻前若不去掉，将残留锻件表面
非金属夹杂物	在轧材的纵断面上出现被拉长了的，或被破碎但沿纵向断续分布的非金属夹杂。前者如硫化物，后者如氧化物、脆性硅酸盐	主要是由于在熔炼时，金属与炉气、容器之间发生化学反应形成的；另外，在熔炼浇注时由于耐火材料、砂子等落入钢液而引起

缺陷名称	主要特征	产生原因及后果
层状断口	<p>往往出现在钢材的轴心部分。在钢材的断口或断面上, 出现一些与折断了的石板、树皮相似的形貌。这种缺陷在合金钢, 特别是铬镍钢、铬镍钨钢中出现较多, 在碳钢中也有发现</p>	<p>钢中存在非金属夹杂物, 枝晶偏析, 气孔、疏松等缺陷, 在锻轧过程中沿纵向被拉长, 使钢材断口呈片层状</p> <p>层状断口严重降低钢材横向力学性能, 锻造时极易沿分层破裂</p>
成分偏析带	<p>在某些合金结构钢, 如40CrNiMoA, 38CrMoAlA等锻件的纵向低倍上, 沿流线方向出现不同于流线的条状或条带状缺陷。缺陷区的显微硬度与正常区的明显不同</p>	<p>成分偏析带主要是由于原材料生产过程中合金元素发生偏析造成的</p> <p>轻微的成分偏析带对力学性能影响不大, 严重的偏析带明显降低锻件的塑性和韧性</p>
亮条或亮带	<p>在锻件表面或锻件加工过的表面上, 出现长度不等的亮条。亮条大多沿锻件纵向分布, 这种缺陷主要出现在钛合金和高温合金锻件中</p>	<p>由于合金元素偏析造成。钛合金锻件中的亮条, 多属低铝低钒偏析区; 高温合金锻件上的亮条区, 多属镍铬钴等元素偏高</p> <p>亮条的存在使材料的塑性和韧性下降</p>

续表

缺陷名称	主要特征	产生原因及后果
碳化物偏析级别不合格	<p>经常在高速钢、高铬冷变形模具钢等碳含量高的合金钢中出现，其特点是在局部区域有较多的碳化物集聚，使碳化物偏析超过了许可的标准</p>	<p>由于钢中莱氏体共晶碳化物在开坯和轧制时未充分破碎、均匀分开所造成 严重的碳化物偏析容易引起锻件过热、过烧或开裂</p>
白点	<p>在钢坯的纵向断口上呈圆形或椭圆形的银白色斑点，在横向断口上呈细小的裂纹。白点的大小不一，长度为1~20mm或更长 白点在合金结构钢中常见，在普通碳钢中也有发现</p>	<p>由于钢中含氢较多和相变时组织应力大引起。大型钢坯锻轧后冷却较快时容易产生白点 白点是隐藏在内部的裂纹，降低钢的塑性和强度，白点是应力集中点，在交变载荷作用下易引起疲劳裂纹</p>
缩孔残余	<p>在锻件低倍检查时，出现不规则的皱折状缝隙，形似裂纹，呈深褐色或灰白色；高倍检查缩孔残余附近有大量非金属夹杂物，质脆易剥落</p>	<p>由于钢锭冒口部分产生的集中缩孔未切除干净，开坯和轧制时残留在钢坯内部而产生的</p>

续表

缺陷名称	主要特征	产生原因及后果
铝合金挤压棒材上的粗晶环	经热处理后供应的铝合金挤压棒材,在其横断面上外层环形内出现粗大晶粒,称粗晶环。粗晶环的厚度,从棒材的开始挤出端至末端是逐渐增加的	主要是由于铝合金中含有Mn、Cr等元素以及挤压时金属与挤压筒壁之间的摩擦,使棒材表面层变形剧烈所致。具有粗晶环的坏料,锻造时容易开裂,如留在锻件上将降低零件性能
铝合金氧化膜	在锻件低倍上氧化膜沿金属流线分布,呈黑色短线状,在垂直于氧化膜纵向的断口上,氧化膜类似撕裂分层;在平行于氧化膜纵向的断口上,氧化膜呈片状或细小密集的点状。模锻件内的氧化膜,容易在腹板上或分模面附近见到	熔炼时铝液中没有去除的氧化物夹杂,在浇注过程中由表面卷入金属液内,在挤压、锻造等变形过程中被拉长,变薄而成为氧化膜。氧化膜对锻件纵向力学性能影响小,对横向,特别是短横向力学性能的影响较大。按照锻件类别和氧化膜标准进行比较,不合格的才报废
②由下料产生的缺陷		

续表

缺陷名称	主要特征	产生原因及后果
切斜	坯料端面与坯料轴线倾斜, 超过了许可的规定值	剪切时棒料未压紧造成的切斜的坯料锻造时容易弯曲、模锻时不好定位, 易形成折叠
坯料端部弯曲并带毛刺	切料时部分金属被带入剪刀间隙之间, 形成尖锐的毛刺, 坯料端部有弯曲变形	由于剪刀片之间间隙太大, 或刃口不锐利造成有毛刺的坯料, 锻造时容易产生折叠
坯料端部凹陷或凸起	坯料端面中心部分金属是拉断的, 因而端面上出现凸起或凹陷	刀片之间的间隙太小, 坯料中心部分金属不是被剪断的而是拉断的, 使部分金属被拉掉。这样的坯料锻造时容易产生折叠和裂纹
端部裂纹	主要是在剪切大截面坯料时出现, 在冷态下剪切合金钢或高碳钢时, 也有这种裂纹	由于材料硬度过高、剪切时刀片上的单位压力太大而引起锻造将使端部裂纹进一步扩大
凸芯开裂	车床下料时, 在坯料端面上往往留有凸芯, 若未去掉, 则在锻造时可能导致在凸芯周围形成开裂	由于凸芯截面小、冷却快; 端面面积大、冷却慢, 因而导致在凸芯周围形成裂纹

续表

缺陷名称	主要特征	产生原因及后果
气割裂纹	一般位于坯料端面或端部, 裂口是粗糙的	气割前没有充分预热, 导致形成较大热应力而引起
砂轮切割裂纹	高温合金在冷态下用砂轮切割时, 往往导致在端面产生裂纹, 这种裂纹有时要在加热之后才能用肉眼看到	高温合金导热性差, 砂轮切割产生的大量热量不能迅速传导出, 在切割断面上形成很大热应力, 甚至产生微小裂纹, 加热时再次产生较大热应力, 使微小裂纹扩大成肉眼可见裂纹

③由于加热产生的缺陷

过热	由于加热温度过高造成晶粒粗大的现象。碳钢过热的特征是出现魏氏组织; 工模具钢以一次碳化物为特征, 某些合金结构钢如 18Gr2Ni4WA, 20Gr2Ni4A, 过热后除晶粒粗大外, 还有 MnS 沿晶界析出, 对后者用通常的热处理方法不易消除	加热温度过高或时间过长, 或由于没有考虑到变形热效应的影响而引起 过热将使钢锻件的力学性能, 特别是塑性和冲击韧性降低 在一般情况下, 通过退火或正火可使钢锻件的过热消除
----	--	---

续表

缺陷名称	主要特征	产生原因及后果
“蛤蟆皮”表面	铝合金、铜合金的坯料，在锻粗时表面形成“蛤蟆皮”，或者出现类似桔皮的粗糙表面，严重时还要开裂	由于坯料过热，晶粒粗大而引起。 有粗晶环的铝合金毛坯，在锻粗时也会出现这种现象
魏氏 α 相或 β 脆性	$(\alpha + \beta)$ 钛合金坯料过热后，其显微组织的特征是： α 相沿粗大的原始 β 晶粒晶界和晶内呈粗条状析出，晶内析出的粗条状 α 相，各按一定的方向排列，即形成所谓的魏氏 α 相	由于加热温度超过了 $(\alpha + \beta)$ 钛合金的 β 转变温度而引起有魏氏 α 相的钛合金锻件，其拉伸塑性指标 δ 及 ψ 明显降低，这就是所谓的 β 脆性 热处理不能消除 β 脆性
钢锻件的过烧	过烧部位的晶粒特别粗大，氧化特别严重，裂口间的表面呈浅灰蓝色。 碳钢和合金结构钢过烧后，晶界出现氧化和熔化。 工模具钢过烧后，晶界因熔化而出现鱼骨状莱氏体	由于炉温过高或坯料在高温区停留时间过长而引起。炉中的氧沿晶界渗透到晶粒之间，发生氧化或形成易熔的氧化物共晶，使晶粒间的联系遭到破坏

续表

缺陷名称	主要特征	产生原因及后果
铝锻件的过烧	<p>表面呈黑色或暗黑色,有时表面还有鸡皮状气泡。铝合金坯料过烧后,其显微组织中将出现晶界熔化、三角晶界或复熔球。只要有其中的一种现象存在即为过烧</p>	<p>铝合金坯料加热温度过高时,强化相熔化,冷却下来后,在显微组织中即可看到晶界加粗,三角晶界或复熔球之类的特殊形态</p>
加热裂纹	<p>一般是沿坯料的横断面开裂,而且裂纹是由中心向四周扩展的。这种裂纹多产生于高温合金和高合金钢钢锭和钢坯加热</p>	<p>由于坯料尺寸大,导热性差而加热速度又过快,在坯料中心和表层之间温差大,由此产生的热应力超过了坯料的强度所致</p>
铜脆	<p>钢锻件表面上出现龟裂。高倍检查,有铜沿晶界分布。在加热过铜料的炉子中加热钢料时易产生这种缺陷</p>	<p>炉内残存的氧化铜屑,加热时被铁还原为自由铜。熔融的铜原子在高温下沿奥氏体晶界扩散,削弱了晶粒间的联系所致</p>

续表

缺陷名称	主要特征	产生原因及后果
茶状断口	在钢锻件的断口上出现一些象茶晶体一样的闪闪发亮的小平面。这种缺陷在合金结构钢和高速钢中容易见到	由于加热温度过高或终锻温度高，变形量又不够大而引起。茶状断口的实质是过热，因而将降低钢锻件的塑性和韧性
石状断口	是合金结构钢严重过热后出现的一种缺陷。石状断口是在调质状态下观察到的，其特征是在纤维状断口基体上出现一些无金属光泽的、象水泥一样的灰白色小平面。用热处理方法不能消除它，因而是一种不许可的缺陷	加热温度过高，使 MnS 大量溶解，溶于钢中的 MnS 在冷却时，以极细质点沉淀在粗大的奥氏体晶界上，削弱了晶界的结合力，调质处理使钢基体的韧性加强以后，钢在折断时便沿奥氏体晶界断裂，从而在断口上形成一些无光泽的灰白色的过热小平面 具有石状断口的锻件应报废
低倍粗晶	低倍粗晶是合金结构钢锻件过热后的另一种反映，其特征是，在锻件的酸浸低倍试片上，呈现肉眼可见的多边形晶粒，严重时这种多边形晶粒看起来呈雪片状	过热的奥氏体晶粒晶界比较稳定，通常的热处理难以将其消除，而再结晶仅在粗大的奥氏体晶内进行。在一个奥氏体晶粒内生成了若干新的小晶粒。由于小晶粒晶界较薄或位向差别不大，因而在低倍上看到的仍是原始的奥氏体粗大晶粒即低倍粗晶

续表

缺陷名称	主要特征	产生原因及后果
脱碳	锻件表层的含碳量比内部的明显降低。硬度值比要求的低，在高倍组织上表层的渗碳体数量减少 在氧化性气氛中加热高碳钢，含硅量多的钢时最易脱碳	钢在高温下表层的碳被氧化。脱碳层深度由 0.01 ~ 0.6mm，视钢的成分、炉气成分、温度和加热时间的长短而定 脱碳使零件的强度和疲劳性能下降、磨损抗力减弱
增碳	经油炉加热的锻件，其表面或部分表面而碳含量明显提高，硬度增大。增碳层的含碳量可达 1% 左右，局部点甚至超过 2%，出现莱氏体组织。增碳层厚度有的达到 1.5 ~ 1.6mm	坯料在油炉里加热时，两个喷嘴的喷射交叉区得不到充分燃烧，或喷嘴雾化不良喷出油滴，使锻件表面产生增碳 增碳的锻件，切削时易打刀
未热透引起的心部开裂	常在坯料头部出现心部开裂，其开裂深度与加热和锻造有关，有时裂纹沿纵向贯穿整个坯料	由于保温时间不够未热透，心部塑性低而引起 高温合金导热性差，若坯料截面尺寸大，应注意给予足够的保温时间

④由锻造产生的缺陷

鼓肚表面纵裂	自由锻粗时，在毛坯的鼓肚表面上由于拉应力作用，产生不规则的纵向裂纹	由于毛坯与砧块接触面间存在摩擦力，引起不均匀变形而出现鼓肚，若一次锻粗量过大，就会产生纵裂
--------	-----------------------------------	---

续表

缺陷名称	主要特征	产生原因及后果
十字裂纹(纵向内裂)	这种裂纹常在低塑性的高速钢、高铬钢的拔长工序中产生, 十字裂纹沿锻件横断面对角线分布, 其纵向扩展深度不一, 严重的可以贯穿整个毛坯长度	在反复翻转 90° 的拔长过程中, 若送进量过大, 则在毛坯横截面的对角线上将产生最大的交变剪切, 当切应力超过材料许可值时, 便沿对角线方向产生裂纹
纵向条状裂纹	主要出现在对圆棒料进行拔长由圆形压成方形时, 或在拔长后将坯料倒棱、滚圆时。在横截面上, 裂纹出现在中间部分呈条状, 裂纹沿纵向的扩展深度不一, 与锻造操作有关	在用平砧对毛坯进行倒棱或滚圆时, 毛坯的水平方向有拉应力出现, 此拉应力沿毛坯表面向中心增大在中心处达最大值, 当其超过材料强度后便形成纵向内裂
角裂	在拔长后坯料的四根棱上零散出现的拉裂裂口, 角裂多出现在高速钢、高铬钢坯料的拔长工序中	坯料拔长成方后, 棱角部分温度下降, 棱角与本体部分的机械性能差异增大, 棱角部分因金属流动困难产生拉应力而开裂
内部横向裂纹	在坯料纵向断面上沿高度方向出现的条状裂纹, 高速钢、高铬钢坯料拔长时, 若送进比小于 0.5, 则易产生这种裂纹	当拔长时的送料比小于 0.5 时, 在坯料轴向将产生拉应力, 当其超过坯料中某薄弱处的材料抗拉强度时, 便会在该处引起横向裂纹

纹表

缺陷名称	主要特征	产生原因及后果
冲孔裂纹	在冲孔边缘沿径向出现的裂纹, 在铬钢冲孔时出现较多	由于冲孔芯子没有预热、预热不足或一次冲孔变形量太大而引起
双相锻造裂纹	模锻奥氏体—铁素体或半马氏体不锈钢坯料时, 沿 α 相和 γ 相的界面或强度较低的 α 相出现的开裂	由于过剩 α 相太多(在奥氏体—铁素体不锈钢中 α 相超过12%、在半马氏体钢中 α 相超过10%)和加热温度偏高所引起
分模面裂纹	模锻件沿分模面出现开裂, 常常要切边后才显露出来	原材料非金属夹杂物多, 有缩孔残余或疏松, 模锻时挤入分模面所致
穿筋	在具有L形、U形和H形截面的模锻件筋条或凸台的根部, 出现的与分模面平行的裂缝	由于坯料过多, 筋条充满后, 腹板上多余金属较多, 在继续模锻时, 腹板上多余金属向飞边槽剧烈流动, 在筋条根部产生较大剪应力, 当其超过金属抗剪强度后, 便形成穿筋

续表

缺陷名称	主要特征	产生原因及后果
剪切带	<p>锻件横向低倍上出现波浪状的细晶区。多出现在钛合金和低温锻造的高温合金锻件中</p>	<p>由于钛合金和高温合金对激冷敏感性大，模锻过程中，接触面附近难变形区逐步扩大，在难变形区边界发生强烈剪切变形所致。结果形成了强烈方向性，使锻件性能下降</p>
带状组织	<p>铁素体或其他基体相在锻件中呈带状分布的一种组织。多出现在亚共析钢、奥氏体-铁素体不锈钢和半马氏体钢中。</p>	<p>由于在两组共存情况下锻造变形产生的。它降低材料的横向塑性指标，容易沿铁素体带或两相的变界处开裂</p>
锻件流线分布不当	<p>在锻件低倍上出现流线断开、回流、涡流、对流等流线紊乱现象</p>	<p>由于模具设计不当，坯料尺寸、形状不合理以及锻造方法选择得不好所引起</p>
折 叠	<p>在外观上折叠与裂纹相似，在低倍试片上折叠处流线发生弯曲，如果是裂纹、则流线被切断。在高倍试片上，与裂纹底部尖细不同，折叠底端圆钝，两侧氧化较严重</p>	<p>折叠是锻造过程中已氧化过的表层金属汇合在一起而形成的。自由锻件上的折叠，主要是由于拔长时送进量太小，压下量太大或砧块圆角半径太小而引起；模锻件上的折叠，则主要是模锻时金属发生对流或回流造成的</p>

缺陷名称	主要特征	产生原因及后果
晶粒不均匀	<p>锻件中某些部位的晶粒特别粗大，另外一些部位的却较小，形成晶粒不均匀</p> <p>耐热钢及高温合金对晶粒不均匀特别敏感</p>	<p>始锻温度过高，变形量不足，使局部区域的变形程度落入临界变形；或者终锻温度偏低，使高温合金坯料局部有加工硬化，淬火加热时该部分晶粒严重长大</p> <p>晶粒不均匀会引起持久性能、疲劳性能下降</p>
铸造组织残留	<p>如果残留有铸造组织，锻件的伸长率和疲劳强度往往不合格。在低倍试件上，残留铸造组织部分的流线不明显，甚至可以见到树枝状晶。主要出现在用铸锻作坯料的锻件中</p>	<p>由于锻比不够大或锻造方法不当引起。这种缺陷使锻件的性能下降，尤其是冲击韧度和疲劳性能下降更多</p>
局部充填不足	<p>锻件上凸起部分的顶端或棱角充填不足的现象，主要发生在模锻件的筋条、凸肩转角等处，使锻件轮廓不清晰</p>	<p>毛坯加热不足、金属流动性不好、预锻模膛和制坯模膛设计不合理、设备吨位偏小等都可能引起出现这种缺陷</p>

续表

缺陷名称	主要特征	产生原因及后果
模锻不足	锻件在与分模面垂直方向上的所有尺寸都增大,即超过了图纸上规定的尺寸。这种缺陷最容易出现在锤上模锻件上。	飞边桥部阻力过大,设备吨位不足,毛坯体积或尺寸偏大,锻造温度偏低,模膛磨损过大等均可引起欠压。
错 差	模锻件上半部相对于下半部沿分模面产生了错位。	锻模安装不正或锤头与导轨之间间隙过大;或者锻模上没有平衡错位的锁口或导柱。
表面鱼鳞状伤痕	模锻件局部表面很粗糙,出现鱼鳞状伤痕。在模锻奥氏体和马氏体不锈钢时,最容易产生这种表面缺陷。	由于润滑剂选择不当、润滑剂质量欠佳,或者由于润滑剂涂抹不均匀,造成了局部粘模所致。
⑤由于切边产生的缺陷		
切边裂纹	切边时,在分模面处产生的裂纹。	由于材料塑性低,在切边时引起开裂。镁合金模锻件切边温度过低;铜合金模锻件切边温度过高都会产生这种裂纹。
残留毛刺	切边后沿模锻件分模面四周留下大于0.5mm的毛刺。如果切边后尚需校正,则残留毛刺将被压入锻件体内而形成折叠。	切边模间隙过大,刃口磨损过度,或者切边模的安装与调整不精确,均可以引起残留毛刺。

续表

缺陷名称	主要特征	产生原因及后果
表面压伤	模锻件与凸模的局部接触面上, 出现压痕或压伤	由于凸模与模锻件接触面部分的形状不吻合, 或堆压面太小
弯曲或扭曲变形	模锻件在切边时出现的弯曲或扭曲变形。在细长、扁薄、形状复杂的模锻件上容易发生	由于切边凸模与模锻件的接触面太小, 或出现了不均匀接触而引起

⑤ 锻后冷却不当产生的缺陷

冷却裂纹	裂纹光滑细长, 有时呈网状龟裂。高倍观察: 裂纹附近出现马氏体组织, 无塑性变形痕迹。多在马氏体钢锻件上发生	由于锻后冷却过快, 产生了较大的热应力和组织应力所致。在 200℃ 左右砂坑或炉渣中缓冷可以防止此种裂纹
冷却变形	大型、薄壁、细筋框架式构件, 在锻后冷却过程中发生的翘曲变形	由于锻造中产生的残余应力和冷却不均匀引起的应力相互作用而引起 锻后立即退火可以防止此种缺陷

续表

缺陷名称	主要特征	产生原因及后果
475℃ 脆性裂纹	铁素体不锈钢锻后冷却过慢, 在通过 400~520℃ 温度区间的停留时间过长而出现的表面裂纹	由于在 400~520℃ 停留时间过长, 促使某种特殊物质析出而导致脆性 在 400~520℃ 快冷可以防止裂纹
网状碳化物	碳化物沿晶界呈网状析出, 使锻件塑性和韧性下降。这种缺陷在碳含量高的钢锻件中经常可以见到	由于锻后冷却缓慢, 使碳化物得以沿晶界析出, 它使锻件在淬火时容易裂纹, 恶化零件的使用性能

⑦锻后热处理产生的缺陷

硬度过高	锻件在热处理后检查硬度时, 测得的硬度比技术条件要求的高	由于正火后冷却过快, 或钢的化学成分不合格等所引起
硬度偏低	锻件硬度比技术条件要求的低	由于淬火温度偏低、回火温度偏高、或者多次加热引起表层严重脱碳而造成
硬度不均 (有软点)	在同一锻件上不同部位的硬度相差很大, 局部地方的硬度偏低	由于一次装炉量太多, 保温时间太短或局部有严重脱碳而引起
变形	在热处理过程、特别是在淬火中, 锻件发生变形	由于热处理工艺不合理、冷却方式不当引起

续表

缺陷名称	主要特征	产生原因及后果
淬裂	在锻件的尖角等应力集中处开裂。与锻造裂纹不同，淬火裂纹的内侧壁表面上没有氧化与脱碳现象	由于没有进行预备热处理、淬火温度太高、冷却速度过快以及锻件内部有夹杂物等缺陷所引起
黑色断口	断口呈暗灰色或近似黑色。在显微组织中，有棉絮状的石墨分布在不均匀的球状珠光体上。多在高碳工具钢锻件中出现	由于锻后退火时间过长，或经过多次退火处理，从而促进了钢的石墨化过程和石墨碳的析出所造成的

④锻件在清理过程中产生的缺陷

过腐蚀	在锻件表面上出现麻坑或麻点，甚至呈疏松多孔状	由于酸洗溶液变质，酸洗时间过长，或者有酸液残留在锻件上所致
腐蚀裂纹	多出现在马氏体不锈钢锻件上，其特征是在锻件表面上有细小网状裂纹；在显微组织中裂纹沿晶界扩展	由于锻后锻件上的残余应力未及时消除，在酸洗过程中产生了应力腐蚀而导致形成裂纹
局部过热裂纹	在表面用砂轮清理时出现的裂纹。在铁素体不锈钢锻件上容易发生	用砂轮打磨引起局部过热所致。可改用风铲来清理其表面缺陷

表 5—48 锻件等级及检验项目

每批检查数量 查项目	类别			备 注	
	I	II	III		
材料牌号	100%	100%	100%		
表面质量	100%	100%	100%		
几何尺寸	100%	100%	100%	垂直尺寸和 销位量为 100%检查。其 他尺寸按情况 抽查	
硬度	钢锻件	10%	10%	10%	
	有色金属锻件	100%	100%	100%	铜合金、LF21 不检查
力学性能	每熔批抽 1 件 专用余料为 100%	每熔批抽 1-2 件	铝、钛件每熔 处理炉带试棒	铜、铝、镁不 做冲击韧性	
低倍组织	每熔批抽 1 件	每熔批抽 1 件			
高倍组织	有色金属锻件 余料为 100%	有色金属锻件 抽 1 件		不经淬火处理 的有色金属锻 件不检查	
断 口	钢锻件余料 为 100% 有色金属锻件 抽 1 件	无专门规定时从 低倍试片上取断口			

表 5—49 试验方法标准

检验项目	试验方法标准	检验项目	试验方法标准
化学成分	GB222—84	断 口 晶 粒 度	GB1814—79 GB36394—86
	GB223—88		
	GB36987—86		
力学性能 (拉力、冲击)	GB229—84	脱 碳 层 非 金 属 夹 杂	GB224—87 YB25—77
	GB228—87		
高温蠕变	GB2039—80	高倍组织	YB28—59 YB31—64 YB45—77
疲劳性能	GB4337—84		
布氏硬度	GB231—84		
洛氏硬度	GB230—83	晶间腐蚀	GB1223—75
低倍组织	GB1979—80	弯曲试验	GB232—88
	GB3247—82		

● 锻件圆柱形与圆角半径检验：可用半径样板或外半径、内半径极限样板测量。

● 锻件上角度的检验：锻件上的倾斜角度，可用测角器来测量。

● 锻件孔径检验：如果孔径没有斜度，游标卡尺的内侧量爪能够自由进入被测量的孔内，则用游标卡尺测量，也可用卡钳来测量。

如果孔有斜度，生产批量又大，则可用极限塞规测量。

如果孔径很大，则可用大刻度的游标卡尺，或用样板检验。

● 锻件错位检验：如果锻件上端面高出分模面且有 $7^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 的出模斜度，或者分模面的位置在锻件本体中间，即可在切边前观察到锻件是否有错位 Δc 。

如错位不易观察到，则可将锻件下半部固定，对上半部进行划线检验，或者用专用样板检验。

横截面为圆形的锻件，如杆类、轴类件，有横向错位时，可用游标卡尺测量分模线的直径误差，标出错位量大小，并确定它是否超过了允许的错位值。

- 锻件挠度检验：对于等截面的长轴类锻件，或在有限长度内为等截面的长轴类锻件，可将锻件放置在平板上，慢慢地反复旋转锻件，观察轴线的翘曲程度，再通过测量工具，即可测出轴线的最大挠度。

将锻件两端支放在专门设计的 V 形块或滚棒上，旋转锻件，观察锻件旋转时表面的摆动，通过仪表如百分表等即可读出锻件两支点间的最大挠度值。

- 锻件平面垂直度检验：如果要检验锻件上某个端面（如突缘）与锻件中心线的垂直度，则可将锻件放置在两个 V 型块上，通过测量仪表如百分表，测量该端面的跳动值，即可在所用测量仪表的刻度盘上，读出端面与中心线的不垂直度。

- 锻件平面平行度检验：如需测量平行面间的平行度，可选定锻件某一端面作为基准，借助测量仪表即可测出平行面间平行度的误差。

由以上所述可以看出，锻件的几何形状和尺寸，可用卡尺、卡钳、游标卡尺等通用量具进行测量。大批量生产时，为了提高检测工效，可用专用量具如卡规、塞规、样板等进行检验。对于外形复杂、要求检测部位或项目较多的锻件，可以采用特制的专用仪器或样板来检验。

②锻件表面质量检验：

- 目视检查：目视检查是检验锻件表面质量最普遍、最常用的方法。检验人员凭肉眼细心观察锻件表面有无裂纹、折叠、压伤、斑点、表面过烧等缺陷。目视检查可用于锻造生产的全过程，一般每个锻件须经过两次视检：即切除飞边后和热处理后。为了便于观察缺陷，通常是在酸洗、喷砂或滚筒清除表面氧化皮后进行视检。

- 磁粉检验：磁粉检验通常称磁粉探伤或磁力探伤。它可以发现肉眼不能检查出的细小裂纹、隐蔽在表皮下的裂纹等表面缺陷，但

只能用于碳钢、工具钢、合金结构钢等有磁性的材料，而且锻件表面要平整光滑，粗糙的表面有可能导致不正确的检验结果。

检验方法可分为干粉法和湿粉法两种。

干粉法检验太脏，喷射时磁粉飞扬，对检验人员健康有害，而且由于磁粉飞扬消耗太大，因此，多采用湿粉法检验。

湿粉法是将磁粉末悬浮在煤油（一斤煤油中加入10—30g磁粉）或水溶液中，然后将悬浮的磁粉油液喷射或浇注在磁化的零件表面上，油液中的磁粉，遇到因缺陷产生的局部漏磁磁极后；被吸附聚集成缺陷大小和形状的磁粉堆，这种方法干净又节省磁粉，对小型件的检验特别合适。

经过磁粉检验的工作，在其内部或多或少留下磁性，这将影响到下一步的切削加工，因此，加工前应进行退磁处理。如果检验在热处理前、热处理后工件中的磁性将完全消失。否则，须将强度逐渐减弱的电流，反复改变方向通过锻件或工件10min左右，以达到退磁的目的。

磁粉探伤法可以迅速可靠地发现工件表面或近表面的微细裂纹、发裂等缺陷。磁粉探伤灵敏度高、速度快、设备简单、操作简便而且成本比较低。但是，这种方法只能检验磁性材料的表面或近表面处的缺陷。

● 荧光检验：对于非铁磁性材料，如有色合金、高温合金、不锈钢等锻件的表面缺陷，可采用荧光检验，也叫荧光探伤。

● 着色渗透探伤：此法与荧光法相似，不受材料是磁性还是非磁性的限制，不过是用带有彩色的高渗透性油液，使之渗入锻件表面缺陷中，然后用吸附剂将它吸出，在普通光线下用肉眼即可看到“彩象”，从而发现表面缺陷。

① 锻件内部质量检验

● 超声波探伤：这种探伤方法主要用于重要的大型锻件和军用大型锻件，如汽轮机轴、柴油机曲轴、发电机转子、航空发动机后轴颈、涡轮盘、压气机叶轮盘等。

● 低倍检验：锻件的低倍检验，实际上是用肉眼或借助10—30

倍的放大镜，检查锻件断面上的缺陷，生产中常用的检查方法有：酸蚀、断口、硫印等。

● 高倍检验：锻件的高倍检验，就是在各种显微镜下检验锻件内部（或断口上）组织状态与微观缺陷。高倍检验应用的显微镜有三种：普通金相显微镜、透射式电子显微镜、扫描电子显微镜。

需要指出的是，高倍光学金相试样应具有充分的代表性，特别是在研究缺陷产生的原因时，需选择和采取与研究目的有直接联系的试样。如检验锻件内部不同组织与夹杂物的状态和分布情况，应切取纵向试样；如检验锻件脱碳、折叠、粗晶、渗碳层、淬硬层及其他表面缺陷，则应切取横向试样。对于晶粒度的检验，可按 GB6394-86 中的规定或双方协议指定的取样部位取样。

① 锻件力学性能检验：通常，锻件都是机器上承受负荷较大的铸件。所以，有些锻件在热处理后需做力学性能试验。在实际生产中，一般锻件只进行硬度、拉力或冲击试验就足够了，但是，对于在特殊条件下工作的锻制零件，如涡轮盘、涡轮叶片等，还应进行补充试验，如疲劳、高温蠕变与持久试验等。

硬度试验是生产中判断锻件力学性能最简单最常用的方法，常用布氏硬度计与洛氏硬度计来进行试验。检验硬度的目的是：锻件是否具有适当的切削加工性能；表层是否脱碳以及粗略了解锻件内部的组织。

拉力试验可测出材料在静拉力作用下的 σ_b 、 σ_s 、 δ 及 ψ 等。

冲击试验可测量材料的冲击韧度 α_k 。

必须指出：力学性能试验的试样，应在同一熔炉、同一热处理炉批中抽取的锻件或毛坯上切取。否则，应对每一熔炉与热处理炉批分别进行试验。

4. 锻件的质量控制

锻件设计完成以后，为了保证将来交付的锻件具有锻件图所规定的尺寸精度和力学性能要求，必须对锻件的质量进行控制，即必须对从原材料的选择起直到锻后热处理的整个生产过程进行控制，以保证生产质量的稳定和产品的一致。

锻件质量控制的责任由锻件订货单位和供应单位分担。锻件订货单位负责设计、选材和提出生产制造中的控制要求；锻件供应单位负责实施适当的工艺控制和检验。另外，锻件订货单位还应负责批准锻件供应单位的生产设备和生产流程；而锻件供应单位仅仅限于负责退换不符合图纸或技术条件要求的锻件。

锻件订货单位在选材时还有一部分责任是准备技术条件和图纸。图纸上要指明锻件上的取样部位，并且规定出试验的种类和次数。选用熟知的材料时，可选用标准的技术条件，选用新材料时，设计单位则应负责提供暂行技术条件，以保证锻件达到所要求的设计性能。

(1) 锻件质量控制的工作内容：对于锻件供应单位来说，锻件质量控制包括以下三项内容：

① 锻件质量担保：锻件质量担保包括试验、监督和最终检验，其主要目的是向订货单位保证；设计图纸和技术条件所规定的尺寸精度、力学性能和其他特殊要求所有的产品中均已达到。

技术条件通常是由有关的技术协（学）会、政府的主管部门制订的；有的工厂也制定有自己的技术条件。供应单位和订货单位在选择或商定技术条件时，一方面应考虑保证满足锻件最佳性能要求；另一方面又要避免对工艺的过分限制和对中间工序的过严控制，以便使锻件生产有较大的灵活余地来降低锻造成本，提高经济效益。一旦双方对技术条件选妥，对各种试验和报告协商一致以后，应列举在一张总清单中，并以此作为保证锻件质量的依据。

② 锻件质量控制：锻件质量控制是对生产中的可变参数和锻件的几何尺寸、表面质量和力学性能进行定期的测定和检验，并将测得的结果与标准和技术条件要求进行比较，以便决定是否有必要去改变锻件生产过程中的某些因素，实现对锻件质量的控制，保证锻件最终质量的波动不超出订货单位技术条件的要求。

③ 对锻件提供标记：对重要锻件质量的控制，专有一套标记方法，以便在生产过程和使用过程中进行查找。对原材料的标记，从一开始便应十分注意。标记的内容包括：材料牌号、炉批号、收发货日期和供应厂的代号等。这样做有助于区别材质的变异是由于制造过程

本身的因素引起，还是由于非制造过程的因素引起。原材料有了标记，也能为评价供应厂的产品质量提供可靠的依据。

重要锻件的标记包括零件号、炉批号、锻造日期和承制厂记号等，应将其在生产中逐件检查记录下来，以便在使用过程中一旦发现问题，可以用来帮助查找原因和确定责任者。标记在锻件上打印的部位，应是锻件容易发现的地方。如果锻件上的印记在机械加工时会被切削掉，那么在车间的生产过程中，在这个零件装配完毕或用打印模等其他方法重新作出标记前，应挂上金属标签，以免混乱。

(2) 锻坯和原材料的控制：

①锻坯的控制：一般地说，锻坯在锻造前应具有下面列出的资料和试验结果。但是对于不同钢号的锻坯，由于其熔炼、开坯和技术条件的具体要求不同，其必须具备的资料和试验结果可以有所不同，即可多于或少于下面列出的项目：

- | | | |
|----------------|-----|--------------|
| ● 熔炼过程的标记； | 度； | |
| ● 原始的非真空熔炼炉号； | | ● 锻坯的低倍腐蚀检验； |
| ● 真空熔炼炉号； | | ● 锻坯的磁粉检验或荧光 |
| ● 非真空熔炼的质量(吨)； | 检验： | |
| ● 真空熔炼的质量(吨)； | | ● 锻坯的超声波检验； |
| ● 钢的化学成分； | | ● 锻坯的机械性能试验； |
| ● 钢锭尺寸； | | ● 锻坯的晶粒度检验； |
| ● 钢坯尺寸； | | ● 锻坯的淬透性试验； |
| ● 钢锭开坯用的设备及温 | | ● 锻坯的总结报告。 |

上述资料和试验结果由供应锻坯单位提供。但是，锻件生产单位为了验证试验结果的可靠程度和锻造生产工艺的需要，往往也进行一些补充的试验。

(2)原材料的控制：与锻坯在锻造前必须具有的资料和试验结果相比，原材料（轧制棒材、挤压棒材等）在入厂时必须附有的资料和试验结果可以少些，但是，也应该具有诸如熔炼方法、成分、炉次、轧制温度、低倍检验及机械性能等方面的资料和试验结果。

入厂原材料的检验项目，主要取决于原材料的合金种类。一般地说，合金成分愈复杂，材料愈贵重，则要求进行入厂检验的项目就愈多。例如，某些镍基高温合金，为了保证锻件获得所要求的性能指标，常需进行某些特定的入厂检验项目，如晶粒度检验等。这些检验结果有时会导致对原来的加热和锻造工艺进行某些修改，以便在最终热处理时可以得到要求的晶粒度。因为这类合金的工艺规程，可因材料化学成分波动和炉批号的不同而有所变化。

(3) 锻造过程的控制：对锻造过程的控制，通常从以下两方面来进行：

①对首件进行全面的检查和彻底的评价：对新锻模试制出来的第一个原型锻件即首件，进行划线检验几何尺寸和按技术条件进行破坏性试验。在检查和试验结果与设计要求相符合，并认定该工艺过程生产的锻件合格之后，才能正式生产锻件。对于首件生产应积累的数据和通过的试验有以下几项：

- 原始坯料尺寸；
- 毛坯锻造温度与模具预热温度；
- 锤的打击次数或压力机行程次数；
- 每次变形后的流线方向图；
- 锻件和模具在终锻时的温度；
- 飞边沿锻件四周分布的均匀程度；
- 通过低倍检验和拉力试验，检查纤维分布、冶金质量和机械性能是否符合设计图纸的要求；
- 对清理后的锻件进行目视检验，以确定其表面质量是否满足要求；
- 对锻件的几何尺寸进行划线检验。

②批生产锻件质量的控制与监督：首件锻件检验合格后，即可开始批生产。在批生产中，重要锻件质量的控制，是从锻件按规定的最多件数进行“组批”开始，通常，一批锻件系指由同一炉号熔炼，同一炉批热处理和在同一时间内提交给订货单位进行检收的相同锻件。记录下来的数据和试验结果就是针对整批锻件而言的，它包括以下几

项内容：

- 生产的最大批量；
- 锻件的顺序号及其示踪标记；
- 根据协议进行的机械性能试验；
- 按协议进行的磁粉、渗透或超声检验；
- 最终的目测和尺寸检验；
- 对每一装运批应附有测试、监督和检验批准书，其中包括熔炼炉次、锻坯质量、锻件力学性能、磁粉、渗透或超声探伤、热处理工艺、尺寸及目视检查等。

(4) 锻件热处理的控制：大多数锻件锻后都要进行机加工，所以钢锻件在锻造车间内进行热处理的主要目的是改善锻件的切削性能；锻件加工后的最终热处理则在热处理车间进行。对于有色金属锻件的热处理，大部分是由锻造车间来完成的。

保证热处理质量的一个重要环节是锻件加热温度的均匀性。对于大多数低合金钢的淬火来说，奥氏体化的温度精度控制在 $\pm 15^{\circ}\text{C}$ 范围内就可以了。但是，镍基合金特别是它在时效处理时的加热温度精度，则应达到 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。对于高强度铝合金锻件的热处理，也需要这样高的温度控制精度。为了保证达到这样高的精度，常采用所谓的“试块热电偶”法，即用和锻件相同的材料制成试块，试块尺寸一般为 $40\text{mm}\times 25\text{mm}\times 25\text{mm}$ ，在其中插入热电偶，然后将试块置于锻件中间以记录炉子的温度。

为了对锻件热处理的质量进行控制，车间应采用一套配套的措施，其中包括打热处理炉批号，抽查硬度、定期检查炉温校验仪表等等。作为参考，下面列举了若干基本项目：

- 加热炉的结构要合理。炉膛尺寸、炉温及炉膛内温度的均匀性能满足热处理的需要；
- 淬火槽尺寸要足够大，保证实现快速、均匀的冷却。为了控制淬火液的温度，还应配有热交换器；
- 电位计要定期校核。加热炉应配备控制温度和记录温度的电位计，由专人检查记录；

- 检查和抽查硬度。硬度检查是热处理的不可分割的一部分。许多钢号在回火过程中，往往中途抽取一个锻件进行硬度检查，以确定是否需要调整温度；

- 温度均匀性的检查。炉温均匀性的检查应在正常工作条件下进行，每半年一次；

- 根据化学成分调整热处理制度。某些高温合金或合金钢，成分的微小变化都要求对时效或回火的最佳温度作相应改变；

- 做好记录。必须使热处理炉的记录与锻件的热处理炉批号相对应，热处理炉批号最好是打在锻件上熔炼炉号的旁边。