

材料成形技术手册



JINSHU TIJI CHENGXING
GONGYI JI MUJU

金属体积成形工艺及模具

许洪斌 谭险峰 编



化学工业出版社

材料成形技术手册

金属体积成形工艺及模具

许洪斌 谭险峰 编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书主要介绍了普通锻造、精密锻造、挤压、回转塑性成形、径向锻造和粉末冶金锻造等金属体积成形工艺及模具的设计原理、设计相关资料等方面的知识,每章均给出了设计例题,设计步骤具体且表述简明,模具图例丰富,实用性强。

本书适合于从事模具设计与制造领域的工程技术人员参考,也可供材料成形及控制工程专业的高等院校学生使用。

图书在版编目(CIP)数据

金属体积成形工艺及模具/许洪斌,谭险峰编. —北京:化学工业出版社,2007.3
(材料成形技术手册)
ISBN 978-7-122-00026-2

I. 金… II. ①许…②谭… III. ①金属材料-成形
②金属模-设计 IV. TG39 TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 027017 号

责任编辑:王苏平

文字编辑:张燕文

责任校对:徐贞珍

装帧设计:张 辉

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市前程装订厂

850mm×1168mm 1/32 印张13¼ 字数368千字

2007年5月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:28.00 元

版权所有 违者必究

前 言

材料、能源、信息和生物技术是 21 世纪中国国民经济的支柱产业，其中，后三个方面的发展，在一定程度上依赖于材料科学的进步。目前，材料成形（加工）领域成为了全世界工业领域发展的热门领域，各种新的材料成形技术不断涌现，经过技术革新和改造，各种传统的材料成形技术焕发了新的活力。《材料成形技术手册》正是在这种背景下与读者见面了。本套手册由许洪斌教授担任主编，邓明教授担任副主编，分《冲压成形工艺及模具》、《塑料注射成型工艺及模具》、《金属体积成形工艺及模具》、《压铸成形工艺及模具》和《模具制造技术》5 部，以各种材料成形工艺设计、模具设计、设备应用及制件质量控制等为主线，分别介绍了各种材料的成形工艺及模具技术。在总结以往各种成形模具手册的基础上，本套手册增加了作者及同行多年来的研究成果和生产实践经验，在每一种工艺中均增加了该工艺生产中常见问题、产品质量控制及解决措施等内容，并且增加了一些有特色的、新的模具结构图。突出了“实用、简明、方便”和“新工艺、新技术、工程化”的特色。为汽车、摩托车、轻工产品、电器、家电、兵器制造等行业的工程技术人员和专业学生提供了一套好的技术参考资料。但愿这套手册能为我国的材料加工的现代化和发展起到积极的推动作用。

编著者

2006 年 10 月

目 录

第 1 章 普通锻造	1
1.1 原材料准备	1
1.1.1 原材料检验	1
1.1.2 原材料计算	2
1.1.3 下料方法及其特点	7
1.2 自由锻造工艺	8
1.2.1 自由锻工序分类	8
1.2.2 基本工序中产生的缺陷及对策	9
1.2.3 锻件分类	10
1.2.4 自由锻基本工序分析	13
1.2.5 锻造工艺规程的编制	22
1.2.6 大型自由锻件的锻造工艺	39
1.3 胎模锻造工艺及模具设计	43
1.3.1 胎模锻件设计	43
1.3.2 胎模锻工艺	47
1.3.3 胎模锻模具设计	49
1.3.4 胎模锻造应用实例	50
1.4 模锻工艺及模具设计	53
1.4.1 模锻件图设计	53
1.4.2 模锻基本工序	73
1.4.3 模锻工艺	77
1.4.4 锻模设计	94
第 2 章 精密锻造	143
2.1 精锻方法	143
2.1.1 封闭式锻造	143
2.1.2 等温模锻	146

2.1.3	超塑性模锻	148
2.1.4	小飞边和无飞边模锻	148
2.2	精密成形工艺设计	150
2.2.1	齿轮类锻件精锻工艺	151
2.2.2	叶片类锻件精锻工艺	154
2.2.3	环形件精锻工艺	155
2.2.4	等轴类扁薄锻件精锻工艺	155
2.2.5	带枝芽类锻件精锻工艺	156
2.2.6	复杂形状锻件精锻工艺	156
2.3	精锻模具设计	156
2.3.1	精锻模具结构	156
2.3.2	精锻件图设计	158
2.3.3	精锻型槽设计	162
2.3.4	模具导向	163
2.3.5	精锻模具强度	165
2.3.6	精锻模具刚度	169
2.3.7	多余金属的容纳	169
2.3.8	模具材料选用	171
2.4	精密锻造应用实例	173
2.4.1	直齿圆锥齿轮精密模锻	173
2.4.2	镁合金上机匣等温精密成形	177
第3章	挤压工艺及模具设计	181
3.1	挤压工艺概述	181
3.1.1	挤压基本方法	181
3.1.2	挤压变形程度	183
3.1.3	挤压变形力计算	187
3.1.4	挤压模具材料选择	197
3.2	冷挤压工艺及模具设计	199
3.2.1	冷挤压技术	199
3.2.2	冷挤压毛坯的制备	200
3.2.3	冷挤压模具设计	208
3.2.4	冷挤压工艺应用实例	233

3.3 温挤压工艺及模具技术	237
3.3.1 温挤压技术	237
3.3.2 温挤压工艺制定	238
3.3.3 温挤压模具设计	242
3.3.4 温挤压工艺应用实例	247
3.4 热挤压工艺及模具设计	254
3.4.1 热挤压技术	254
3.4.2 热挤压工艺	255
3.4.3 热挤压工艺应用实例	260
第4章 回转塑性成形工艺	267
4.1 辗环工艺	267
4.1.1 辗环工艺分类及特点	267
4.1.2 辗环变形特征	268
4.1.3 辗压力和辗环机	273
4.1.4 辗压工艺与模具	275
4.2 径向锻造	288
4.2.1 径向锻造方式	288
4.2.2 径向锻造装置与工艺	289
4.2.3 旋转锻造装置与工艺	291
4.3 辊锻工艺	293
4.3.1 辊锻变形原理	293
4.3.2 辊锻力计算与辊锻机选择	296
4.3.3 制坯辊锻	302
4.3.4 成形辊锻	314
4.4 摆动辗压	328
4.4.1 摆动辗压工作原理	328
4.4.2 摆动辗压机主要技术参数	329
4.4.3 摆动辗压工艺及模具	331
4.4.4 摆动辗压应用实例	338
4.5 楔横轧制	341
4.5.1 楔横轧制原理	342
4.5.2 楔横轧制工艺	349

4.5.3 楔形模具设计	354
第5章 粉末冶金锻造	363
5.1 粉末冶金锻造概述	363
5.1.1 粉末冶金锻造工艺过程	363
5.1.2 粉末冶金锻造应用与发展	363
5.2 粉末冶金工艺	364
5.2.1 粉末制取及选用	364
5.2.2 粉末成型	377
5.2.3 烧结	382
5.3 粉末烧结体的塑性变形	387
5.3.1 粉末热锻成形方法	387
5.3.2 烧结体致密化	388
5.4 粉末锻件与预制坯设计	390
5.4.1 粉末锻件分类与锻件图设计	390
5.4.2 预制坯设计	392
5.5 粉末锻造工艺及模具设计	400
5.5.1 锻前加热及加热设备	400
5.5.2 模锻设备	400
5.5.3 粉末锻造模具设计要点	401
5.5.4 模具结构实例与分析	403
5.5.5 粉末锻造产生的问题及其原因	407
5.5.6 粉末冶金锻造后的辅助工序	407
参考文献	409

第 1 章 普通锻造

1.1 原材料准备

1.1.1 原材料检验

1.1.1.1 原材料应满足的要求

① 化学成分与生产工艺（熔炼、铸造、轧制或锻造、清理）以及所要求的组织状态要符合规定，即不允许有异常组织（如组织不均匀、过热组织、打磨时产生的淬火组织、在剪切下料时引起的裂纹等）。

② 应无诸如划伤、鳞片、折叠、裂纹等表面缺陷。

③ 冶炼工艺和随后的轧制工艺中，尽可能做到无夹渣、杂质及内部缺陷，如空穴、气孔和白点等。

为满足不同的要求，应采用不同的冶炼方法。

1.1.1.2 原材料的检验内容

原材料一般都经过了生产厂家的检验和化学分析。因此，锻造厂家一般不需再进行化学成分の入厂检查，有的只需进行抽样检查，如检查含碳量。为了确定材料的其他缺陷，可进行如下检验。

① 肉眼（必要时经过酸洗去掉轧制氧化皮）观察，检查材料表面的外观缺陷。

② 用放大镜试验来显露微小的表面缺陷，同时检查材料的锻粗性能。

③ 用断裂试验检查材料内部缩孔和白点；通过热态（700～900℃）断裂试验检查材料的热脆性。

④ 宏观和微观的夹杂物检验。

⑤ 用硫印试验宏观地检查钢中硫和磷的偏析并确定其偏析区。

⑥ 晶粒度检验。

⑦ 确定材料表面有无脱碳。

⑧ 力学与工艺性能检验（如拉伸试验、硬度试验、缺口冲击和弯曲试验等）。

⑨ 尺寸与形状公差检验。

以上检验均较简单，中、小企业都可以进行，且费用较低。此外，还可采用费用较高的入厂检验方法，如金相组织检查和无损检测（超声波探伤、磁力探伤等）。从改善材料力学性能来看，进行淬透性试验相当重要。

1.1.2 原材料计算

1.1.2.1 锻件和坯料的计算

锻件所需坯料的计算可根据锻造变形前的坯料体积和锻造变形后的锻件体积相等的原则来进行。但是，在锻造过程中金属内部的气孔、疏松等由于压实，会使体积有所缩小（有的可忽略不计）；在加热时金属由于氧化会使坯料体积减少；变形过程中将产生切头、冲孔连皮、模锻飞边等工艺余料，因此，坯料的体积应大于锻件体积，可按式(1-1) 计算。

$$V_b = V_f + V_R + V_t \quad (1-1)$$

式中 V_b ——坯料体积， m^3 ；

V_f ——锻件体积， m^3 ；

V_R ——烧损火耗体积， m^3 ；

V_t ——工艺损耗体积， m^3 。

坯料的质量可由式(1-2) 算出。

$$m_b = \rho V_b \quad (1-2)$$

式中 m_b ——坯料质量，kg；

ρ ——坯料密度， kg/m^3 ；

V_b ——坯料体积， m^3 。

1.1.2.2 原材料规格的选择和尺寸计算

坯料质量确定后，根据原材料的品种和式(1-3) 可选择原材料的规格和尺寸。

$$m_b = AL\rho \quad (1-3)$$

式中 A ——原材料横截面面积， m^2 ；

L ——原材料长度，m。

中、小型自由锻件一般用方形或圆形截面的轧制钢坯生产，模锻件除了常用的方形或圆形截面的压制钢坯外，也有用压制型材生产的。选择不同的品种和规格，即可求出所需尺寸。表 1-1 列出轧制圆钢、方钢的允许偏差（摘自 GB/T 702—86）。表 1-2 列出了锻制圆钢、方钢的允许偏差（摘自 GB/T 908—87）。表 1-3 列出了钢锭的形状及质量。表 1-4 列出了普通锻造用钢锭的规格。

表 1-1 轧制圆钢、方钢的允许偏差（摘自 GB/T 702—86）

单位：mm

直径 d 或边长 a	精度组别允许偏差		
	1	2	3
5.5~7	± 0.20	± 0.30	± 0.40
>7~20	± 0.25	± 0.35	± 0.40
>20~30	± 0.30	± 0.40	± 0.50
>30~50	± 0.40	± 0.50	± 0.60
>50~80	± 0.60	± 0.70	± 0.80
>80~110	± 0.90	± 1.00	± 1.10
>110~150	± 1.20	± 1.30	± 1.40
>150~190	—	—	± 2.00
>190~250	—	—	± 2.50

表 1-2 锻制圆钢、方钢的允许偏差（摘自 GB/T 908—87）

单位：mm

直径 d 或边长 a	精度分组允许偏差		直径 d 或边长 a	精度分组允许偏差	
	1	2		1	2
50~60	+1.5	+2.0	>160~180	+4.0	+5.0
	-1.0	-1.0		-2.0	-2.0
>60~80	+2.0	+2.5	>180~200	+5.0	+6.0
	-1.0	-1.0		-2.0	-2.0
>80~100	+2.5	+3.0	>200~220	+6.0	+6.0
	-1.0	-1.0		-2.0	-3.0
>100~120	+2.5	+3.0	>220~240	+6.0	+7.0
	-1.5	-1.5		-3.0	-3.0
>120~140	+3.0	+3.5	>240~250	+7.0	+8.0
	-1.5	-1.5		-3.0	-3.0
>140~160	+3.0	+4.0			
	-2.0	-2.0			

注：弯曲每米不大于 5mm，总弯不大于总长 0.5%。

表 1-3 钢锭的形状及质量

钢锭名称	钢锭简图					
	冒口尺寸 A/mm	大头尺寸 B/mm	小头尺寸 C/mm	锭身长度 H/mm	冒口高度 h/mm	钢锭总质量 /kg
300kg 圆锭	φ180	φ280	φ190	770	215	290
500kg 圆锭	φ200	φ320	φ220	870	260	500
750kg 圆锭	φ260	φ370	φ280	950	275	750
1000kg 圆锭	φ304	φ388	φ348	895	355	1035
600kg 方锭	220	305	245	1000	270	642
1000kg 方锭	260	370	280	1060	310	950
1600kg 方锭	290	470	380	1150	360	1600
2000kg 方锭	380	500	400	1300	400	2300

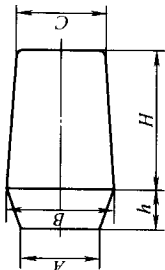
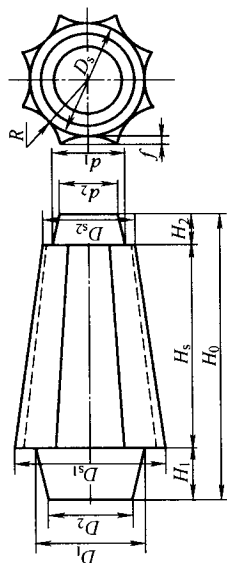


表 1-4 普通锻造用钢锭的规格



质量/t				尺寸/mm										锥度		
钢锭 总质 量	可用 锭身 部分	冒口 部分	底部	可用锭身部分			冒口部分			底部			H ₀	f	R	$\frac{D_{s1}-D_{s2}}{H_s}$ ×100(%)
				D _{s1}	D _{s2}	D _s	H _s	D ₁	D ₂	H ₁	d ₁	d ₂				
1.6	1.27	0.275	0.055	435	355	395	1280	360	270	395	355	200	125	1800	18	6.28
2.0	1.61	0.319	0.071	470	395	433	1380	390	340	380	395	250	125	1885	18	5.44
2.5	2.063	0.35	0.087	520	435	477.5	1485	430	367	420	435	250	125	2030	20	5.72
3.0	2.503	0.41	0.087	545	450	497.5	1640	465	400	450	450	250	125	2245	18	5.8
4.1	3.4	0.6	0.1	620	500	560	1730	540	470	460	500	250	125	2315	16	7.0
4.5	3.531	0.864	0.105	670	600	635	1395	600	508	480	600	250	125	2000	20	5.02
5.0	3.852	0.978	0.17	694	618	656	1430	616	470	480	590	300	200	2110	22	5.32
6.0	4.662	1.168	0.17	740	662	701	1560	680	495	540	590	300	200	2300	22	5.0
7.5	5.8	1.443	0.257	880	775	827.5	1375	820	625	500	670	315	230	2106	24	7.6
8.0	6.282	1.461	0.257	820	736	778	1645	760	565	600	670	355	230	2475	24	5.1
9.0	7.02	1.545	0.435	890	820	855	1565	830	630	520	790	355	295	2380	26	4.92
10.0	7.78	1.785	0.435	890	820	855	1725	830	620	600	790	355	295	2620	26	4.92
11.2	8.672	2.098	0.435	890	820	855	1900	830	620	710	790	355	295	2905	26	4.92
13.3	10.373	2.492	0.435	940	864	902	2020	880	687	790	790	355	295	3105	26	5.2

续表

质量/t				尺寸/mm										性能			
钢锭 总质 量	可用 锭身 部分	冒口 部分	底部	可用锭身部分			冒口部分				底部			H_0	f	R	$\frac{D_{s1}-D_{s2}}{H_s}$ $\times 100(\%)$
				D_{s1}	D_{s2}	D_s	H_s	D_1	D_2	H_1	d_1	d_2	H_2				
15.6	12.474	2.691	0.435	1005	925	965	2140	945	720	830	900	450	3260	26	26	5.12	
19.2	15.083	3.525	0.590	1070	980	1025	2340	1010	805	910	900	450	290	3540	28	28	5.48
21.0	16.38	3.915	0.705	1150	1060	1105	2170	1080	860	745	1020	520	300	3330	28	28	8.3
23.0	18.066	4.23	0.705	1150	1060	1105	2380	1080	805	860	1020	520	300	3425	28	28	5.3
25.5	20.017	4.778	0.705	1200	1116	1158	2400	1130	855	860	1020	520	300	3560	30	30	4.4
27.6	21.674	5.221	0.705	1200	1116	1158	2585	1130	825	950	1020	520	300	3835	30	30	4.4
30.0	23.4	5.6	1.0	1265	1165	1215	2570	1195	895	1000	1020	520	300	3870	32	30	5.0
32.0	25.05	5.95	1.0	1265	1165	1215	2715	1195	895	1000	1020	520	300	4015	32	32	5.0
34.0	26.86	6.14	1.0	1330	1225	1277.5	2610	1260	972	900	1140	550	320	3830	32	32	4.9
36.0	28.47	6.53	1.0	1330	1225	1277.5	2760	1260	960	940	1140	550	320	4020	32	32	4.9
39.0	30.615	6.925	1.46	1400	1290	1345	2732	1330	1049	880	1270	650	380	3992	34	34	4.88
41.5	32.88	7.16	1.46	1400	1290	1345	2935	1330	1030	935	1270	650	380	4250	34	34	4.88
45.0	35.28	8.26	1.46	1500	1400	1450	2670	1430	1140	930	1270	650	380	3980	36	34	4.32
47.0	36.8	8.74	1.46	1500	1400	1450	2780	1430	1115	980	1270	650	380	4140	36	34	4.32
51.3	40.56	9.28	1.46	1500	1400	1450	3060	1430	1090	1065	1270	650	380	4505	36	34	4.32
57.0	44.5	10.6	1.9	1600	1478	1539	3020	1530	1185	1085	1450	720	405	4510	38	36	4.84
63.0	49.37	11.73	1.9	1600	1478	1539	3360	1530	1169	1130	1450	720	405	4895	38	36	4.84
68.0	53.5	12.6	1.9	1705	1580	1642.5	3155	1635	1315	1010	1450	720	405	4570	40	38	4.76
74.8	60.3	12.6	1.9	1705	1580	1642.5	3520	1635	1315	1010	1450	720	405	4935	40	38	4.76
82.0	63.6	15.6	2.8	1800	1670	1735	3470	1730	1370	1120	1640	820	450	5040	40	38	4.4
87.0	68.13	16.07	2.8	1800	1670	1735	3670	1730	1360	1160	1640	820	450	5280	40	38	4.4
104.0	81.43	19.77	2.8	1900	1760	1830	3900	1830	1410	1310	1640	820	450	5660	44	38	4.7
120.0	94.33	21.77	3.9	1990	1860	1925	4150	1920	1495	1330	1820	840	550	6030	46	38	4.0
132.0	103.0	25.1	3.9	2100	1970	2036	4020	2030	1560	1380	1820	840	550	5950	50	38	3.82
170.0	134.806	31.295	3.9	2226	2078	2152	4700	2156	1670	1510	1820	840	550	6760	54	38	4.06

注: 25.5~87.0t, 钢锭可采用大气浇注, 也可采用真空浇注; 104.0t 以上钢锭只采用真空浇注。

1.1.3 下料方法及其特点

坯料在加热和锻造之前,应根据需要切成一定的长度,该工序即为下料。大铸锭下料属于自由锻的任务,其他材料的下料工作,一般都在锻造车间的下料工段进行。生产中常用的下料方法有剪切、冷折、锯断、车断、砂轮切割、剁断及特殊精密下料等。各种下料方法,由于使用设备不同,有不同的特点,现列入表 1-5 中。

表 1-5 下料方法及其特点

工 艺	设 备	特 点
剪 切 下 料	棒料剪断机	无切口损耗,生产率高,可实现机械化操作,适用于大批大量生产。剪切端面欠平整,是开式模锻的主要下料方法。坯料长度 l 应大于 $0.6d$ (直径),铝和铜棒料直径达 $\phi 60\text{mm}$, $l < 0.8d$
	鳄鱼式剪断机	可剪切圆钢、方钢、扁钢、钢板等。有弯曲度的材料,送进不受影响。适用于扁钢剪切,如弹簧钢板
	联合冲剪机	板材和棒料合用,可剪切角钢、槽钢、工字钢及冲孔、冲切等,万能性大。适用于以型钢为主的中、小型锻工车间,或锻冲焊联合厂房使用
	曲柄压力机	无切口损失,生产率高,多用于 $\phi 60\text{mm}$ 以下的棒料,适用于成批和大量生产。需设计一套剪切模具及定位装置,下料精度比剪断机高
切 削 下 料	带锯	切口损耗少($0.8 \sim 2.2\text{mm}$),生产率较高,切口端面平整,精度较高,投资不大,适用于各类锻工车间,可作为主要的下料设备
	圆锯床	切口损耗大($4 \sim 14\text{mm}$),生产率较低,切口端面平整,精度较高,适用于各类锻工车间,可作为主要的或补充剪断机的不足的下料设备,切断坯料直径可达 $\phi 600\text{mm}$
	往复锯床	切口损失较大($2.5 \sim 4\text{mm}$),生产率低,切口端面平整,投资少,适用于单件小批生产
	砂轮切割机	切口损耗较小($1 \sim 2.5\text{mm}$),生产率较高,端面质量精度高,但是砂轮片寿命低,噪声和粉尘较大。适用于其他下料方法困难的金属和合金下料,如高温合金等
	车削切断	切口损失较大($2 \sim 10\text{mm}$),端面质量高,尺寸精度高,生产率低,没有特殊要求一般不采用
熔 割 下 料	摩擦锯	切口损耗较大($4 \sim 8\text{mm}$),生产率高,设备简单,投资少。切口周边有熔渣,噪声大,不推荐使用
	火焰切割器 (乙炔、氧气、汽油和煤油)	切口损耗大($3 \sim 12\text{mm}$),端面质量差,并有氧化脱碳现象。操作技术要求高,劳动条件差,多用于大截面坯料的切割,特别是大锻件坯料。高碳钢、高合金钢和有色金属不宜使用
冷 折 热 剁	曲柄压力机 或液压机	冷折前需事先制出缺口,生产率高,端面质量较好,中碳以下的钢不宜采用,适用于成批生产,冷折脆性较高的高碳钢,如轴承钢
	锤或水压机	下料范围广,工具简单,凭操作经验,劳动条件差,切口不垂直,端面质量差,多用于自由锻的坯料切割

1.2 自由锻造工艺

自由锻造（简称自由锻）工艺是一种利用锻造设备上、下砧块和一些简单通用工具，使坯料在压力作用下产生塑性变形的加工方法。变形时金属只有部分表面受到工具限制，其余表面则为自由状态。

自由锻造有手工锻造和机器锻造之分，现在生产中主要采用机器锻造。根据锻造设备的不同，机器锻造可分为锻锤自由锻造和水压机自由锻造两种。前者用以锻造中、小锻件，后者主要锻造大型锻件。

自由锻造工艺过程的实质是逐步改变材料的形状和尺寸，从而获得所需形状和性能的锻件，工具只与坯料部分接触，其所需设备功率比模锻的要小得多。

1.2.1 自由锻工序分类

根据锻件的变形性质和变形程度的不同，自由锻工序分为基本工序、辅助工序和修整工序三类。

较大地改变坯料形状和尺寸，以获得锻件的工序称为基本工序。自由锻的基本工序主要有如下几个。

- ① 镦粗 使坯料高度减小，横截面积增大的锻造工序。
- ② 拔长 使坯料横截面积减小，长度增加的锻造工序。
- ③ 冲孔 在坯料上冲出通孔或不通孔的锻造工序。
- ④ 芯轴扩孔 减小空心坯料的壁厚，增大其外径的锻造工序。
- ⑤ 芯轴拔长 减小空心坯料的壁厚，增加其长度的锻造工序。
- ⑥ 弯曲 将坯料弯成规定外形的锻造工序。
- ⑦ 切割 把坯料切断（剁）或部分分割（劈）的锻造工序。
- ⑧ 错移 把坯料的一部分相对另一部分错开，但仍保持轴心平行的锻造工序。
- ⑨ 扭转 把坯料的一部分相对另一部分绕同一轴心线旋转的

锻造工序。

⑩ 锻接 把两件坯料加热到高温后，锻焊为一体的锻造工序。

为完成基本工序而预先使坯料产生某一变形的工序称为辅助工序。自由锻的辅助工序包括钢锭倒棱、压钳口、分段压痕等。

用来精整锻件尺寸和形状，消除锻件表面不平、歪扭等，使锻件完全达到锻件图要求的工序称为修整工序。常用的修整工序有弯曲校直、断面平整和鼓形滚圆等。修整工序的变形量通常都很小。

1.2.2 基本工序中产生的缺陷及对策

几种主要基本工序中产生的缺陷及对策见表 1-6。

表 1-6 几种主要基本工序中产生的缺陷及对策

基本工序	锻件缺陷	对 策
锻粗	弯曲和歪斜、表面裂纹和折叠	坯料锻粗部分的长度与直径之比应小于 2.5~3；坯料端面平整，并垂直坯料轴线；坯料锻粗前应均匀加热至允许最高温度；坯料表面光滑，不允许有明显锤印；方坯应倒棱成圆坯再锻粗；锻粗过程中及时校直弯曲，坯料应不断地均匀转动
	歪斜	将菱形截面的长对角线方向垂直砧面打击，使之与短对角线大小接近，而后放平继续拔长
拔长	翘曲	加热均匀，并在拔长中不断地翻转
	金属纤维组织被切断	型锤类工具拔长时压缩深度不宜太大
	夹层	及时清铲后再拔长
	端部凹心和裂纹	锻透，使变形均匀
	冷作硬化	不断地翻转和猛烈地打击，严格控制终锻温度
冲孔	孔口卷边、梯形孔壁、偏心、孔形歪斜、孔壁裂纹	冲头放置必须垂直于坯料端面，且对正坯料的中心；单面冲孔选择的漏盘或花砧上的孔径要合适，不允许太大，以避免造成卷边或走样；冲孔过程中要不断地转动坯料，防止孔形位置偏斜；双面冲孔时翻转坯料后，冲头必须对正孔的中心，防止产生梯形孔；冲头不能受热过度，要及时冷却，为拔出冲头方便，应在预冲的凹坑内放适量焦炭粉或木屑，尤其冲盲孔时更应如此
弯曲	弯曲部分金属破裂	加热要充分
	弯曲部分变薄	减少弯曲变形程度
	形状不符合要求	坯料形状尽量对称，位置放置要正确