

模具手册之五

锻模设计手册

(第2版)

吕炎 主编

模具手册之五

锻模设计手册

第2版

吕 炎 主编



机械工业出版社

这套“模具手册”分六册出版：《粉末冶金模具手册》、《塑料模设计手册》、《压铸模设计手册》、《冲模设计手册》、《锻模设计手册》、《模具制造手册》。

本手册较全面系统地介绍了下料剪切模、锤用锻模、锤用胎模、辊锻模、切边冲孔模、挤压模、孔型斜轧模、楔横轧模及校正、压印、精密压模，各种压力机用锻模，模具材料和热处理等内容。第2版特别补充了锻模的CAD/CAM和锻造成形过程的优化设计内容。

本手册主要供锻压、模具等专业的技术人员、大专院校相关专业师生等使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

锻模设计手册 / 吕炎主编. —2版. —北京: 机械工业出版社, 2005.10

(模具手册之5)

ISBN 7-111-02105-3

I. 锻… II. 吕… III. 锻模-设计-技术手册
IV. TG315.2-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第112034号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑: 刘彩英 加工编辑: 张亚秋

责任印制: 陶湛

2006年1月第2版第1次印刷

787mm×1092mm 1/16·62印张·3插页·1541千字

0001—4000册

定价: 110.00元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68326294
封面防伪标均为盗版

第 2 版前言

《锻模设计手册》第 1 版问世后，以其内容丰富和实用性强，受到广大读者的欢迎。如今，距第 1 版交稿时间已有 15 年之久，锻压技术的迅速发展要求我们对手册进行修订，增补新内容，适当删去技术陈旧的部分。

塑性成形技术发展的现代特征是与高新技术相结合。20 世纪八九十年代数字模拟技术的发展是塑性加工技术从经验走向科学化的重大转折。锻模 CAD 和锻造过程仿真技术已进入和开始进入实用化阶段，为此增加了锻模 CAD/CAE/CAM 和锻造成形过程优化设计的内容。

为适应大批量、近净成形（或净成形）和环保与节能等方面的需求，在新版内容中适当增加了高速镦锻成形和高效率的局部连续塑性成形等。

这次修订工作中，大部分章节均是由原作者执笔的，少部分章节的原作者因故未能参加，但手册中仍保留了初版的大部分内容，所以这些章节的原作者仍作为各有关章节的作者，仅对参与修订的人员作一些增补。

哈尔滨工业大学材料工程系锻压专业的一些博士生和硕士生在教师指导下，协助做了不少工作，在此表示感谢。

主编：吕炎

第 1 版前言

锻压工艺在机械、机器制造、交通运输、冶金、航空、航天、兵器等工业部门得到广泛的应用，在锻压件的生产中，锻模设计是整个锻压工艺中不可缺少的重要环节。我国锻压行业的广大科技人员和工人，在长期的生产和科研实践中，在锻模设计方面积累了丰富的经验，为总结这些经验和指导锻模设计工作，我们编写了这本手册。

本手册着重反映了我国有关工厂、科研单位和高等院校在锻模设计方面的实践和科研成果，同时也吸取了国外的有关资料。在内容上注意了实用性、先进性、科学性和实例的典型性，并尽可能减少过多的文字叙述，力求简明扼要、通俗易懂。

参加本手册编写的单位有：机械电子部北京机电研究所、哈尔滨工业大学、第二汽车制造厂锻造分厂、机械电子部郑州机械研究所、长春第一汽车制造厂锻造分厂、内蒙古工学院、上海吴淞锻造厂、上海交通大学、吉林工业大学、北京科技大学、洛阳拖拉机厂、洪都机械厂、武汉汽车标准件厂、华中理工大学等。

本手册由江国屏、吕炎、吴听松主编。

按各章次序排列的撰稿者为：第一章吕炎、江国屏，第二章夏巨谌、黄遵循，第三章张燮昌、郝盛纲，第四章王洞天、黄春、第五章李铁生、李万福，第六章王建民，霍跃闯，第七章吴听松、蔡喜明，第八章赵一平，第九章张广治、徐兆光、古奇，第十章付沛福，第十一章吴忠清、徐兆光，第十二章胡正襄、许协和，第十三章洪填章，第十四章刘立权、廖海泉，第十五章吴家贤、陆云祥。

在编写过程中，得到有关兄弟单位的大力支持，提供了不少宝贵资料和意见，在此表示衷心的感谢。

由于我们水平有限，经验不足，手册中难免存在缺点和错误，恳切希望读者批评指正。

《锻模设计手册》编写组

目 录

第2版前言	
第1版前言	
第一章 概论	1
一、锻模的分类	1
二、常用金属的锻造温度范围	1
三、常用金属的线膨胀系数及收缩率	5
四、常用金属的变形抗力	5
五、锻模的设计程序和一般要求	13
六、模锻时影响金属充填模膛的因素和改善充填质量的措施	13
(一) 开式模锻	13
(二) 闭式模锻	19
(三) 精密塑性体积成形	21
七、模锻过程中的折叠	25
八、锻模设计与锻件尺寸精度的关系	30
九、锻模设计与模具寿命的关系	32
第二章 锻模材料及热处理	38
一、锻模材料应具有的特性	38
(一) 热锻模具材料	38
(二) 冷锻模具材料	38
二、锻模材料	38
(一) 锻模常用钢材	38
(二) 锻模常用硬质合金和钢结硬质合金	42
(三) 基体钢	48
(四) 陶瓷型精铸锻模材料	49
三、模具材料的热处理工艺规范	51
四、锻模材料的选用	56
五、根据锻模种类选择模具钢及其热处理硬度	58
六、根据模锻设备特性选用模具材料及其硬度	62
七、锻模的失效、堆焊及表面强化处理	65
(一) 锻模的失效分析	65
(二) 锻模的堆焊	65
(三) 锻模的表面强化处理	66
第三章 下料用剪切模	72
一、概述	72
(一) 剪切方法的选择	72
(二) 剪切条件及毛坯端头畸变	73
(三) 工艺参数及剪切缺陷	73
(四) 剪切质量的评定和毛坯长度的修正	77
(五) 剪切模结构参数与材料利用率的关系	78
二、剪床刀片设计	79
(一) 刀片类型	79
(二) 刀片设计	81
三、剪切模设计	85
(一) 剪切下料模特点	85
(二) 剪切模结构及主要件设计	86
四、精密剪切模	97
五、等重量剪切	102
第四章 锤用锻模	104
一、概述	104
(一) 锤上模锻的特点	104
(二) 锤上模锻件的分类	104
(三) 锻件图的制定	106
(四) 模锻工步的选择	119
(五) 几种模锻方法的采用	127
(六) 锻锤吨位的确定	129
(七) 坯料尺寸的确定	131
二、模膛设计	132
(一) 终锻模膛	132
(二) 预锻模膛	134

(三) 拔长模膛.....	138	(三) 常用胎模材料.....	217
(四) 滚压模膛.....	141	四、胎模反印法制模.....	217
(五) 卡压模膛.....	145	(一) 反印芯子的设计与制造	217
(六) 弯曲模膛.....	145	(二) 反印法制模工艺过程	218
(七) 成形模膛.....	147	五、自由锻锤用固定模设计	219
(八) 镦粗台与压扁台	148	(一) 自由锻锤上型砧锻造	219
(九) 切断模膛.....	149	(二) 自由锻锤上固定模模锻	221
三、锻模结构设计.....	150	六、胎模设计实例	225
(一) 模膛布排.....	150	(一) 采用双模膛结构提高有效部 位的利用率.....	225
(二) 钳口设计.....	156	(二) 镶块结构在胎模锻工艺中的 应用	226
(三) 锁扣设计.....	158	(三) 凸肩法兰的冲挤成形	228
(四) 模膛壁厚的确定	161	(四) 带腹板及凸缘的传动齿轮锻 件的胎模锻造.....	230
(五) 模块尺寸的确定	162	(五) 深不通孔锻件的胎模锻造.....	232
(六) 锻模标准.....	165	(六) 管坯胎模成形方法	233
四、锻模设计实例.....	171	第六章 螺旋压力机用锻模	235
(一) 第二速齿轮锻模	171	一、概述.....	235
(二) 突缘叉锻模.....	171	(一) 螺旋压力机的模锻特点	235
(三) 转向节锻模.....	172	(二) 螺旋压力机上模锻件分类.....	235
(四) 连杆及连杆盖锻模	175	(三) 锻件图的制定.....	236
(五) 后刹车器摇臂锻模	179	(四) 模锻工步的选择.....	238
(六) 变速叉锻模.....	181	(五) 设备吨位的确定及其有关参 数	239
(七) 转向主动杠杆锻模	181	二、模膛和模块设计.....	242
(八) 前减振器支架锻模	182	(一) 设计原则及技术要求	242
(九) 离合器拨叉锻模	188	(二) 开式锻模	243
(十) 曲轴锻模.....	188	(三) 闭式锻模	248
第五章 锤用胎模	193	(四) 精锻模	249
一、概述.....	193	(五) 模块尺寸系列.....	253
二、胎模设计	193	三、模架设计	256
(一) 摔模	193	(一) 模架种类	256
(二) 扣模	196	(二) 模架结构系列.....	257
(三) 垫模	198	(三) 模具主要尺寸公差与表面粗 糙度	281
(四) 套模	200	四、锻模设计实例	283
(五) 合模	202	(一) 齿轮锻模	283
(六) 漏模	206	(二) 连杆锻模	283
(七) 锤用下料模.....	210		
(八) 胎模附件.....	211		
三、胎模材料及选用.....	216		
(一) 对胎模材料的基本要求.....	216		
(二) 选用胎模材料的基本原则.....	217		

(三) 突缘叉锻模	283	(四) 锻件图的制定	403
(四) 前桥半轴突缘锻模	283	(五) 棒料尺寸的选定	409
(五) 齿轮精锻模	283	(六) 设备吨位确定及其 技术参数	410
第七章 锻压机用锻模	293	二、模膛、凸模及凹模设计	418
一、概述	293	(一) 终锻模膛	418
(一) 锻压机的模锻特点	293	(二) 预锻模膛	424
(二) 锻压机上模锻件分类	294	(三) 聚集模膛	427
(三) 锻件图的制定	295	(四) 夹紧模膛	433
(四) 模锻工步的选择	295	(五) 卡细模膛	435
(五) 坯料计算	297	(六) 扩径模膛	436
(六) 设备公称压力的确定	299	(七) 穿孔模膛	437
(七) 锻压机模具设计的 基本参数	300	(八) 切边模膛	439
二、模膛设计	301	(九) 切断模膛	442
(一) 终锻模膛	301	(十) 管料镦粗(聚集)模膛	444
(二) 预锻模膛	307	三、平锻模总体设计	447
(三) 制坯模膛	313	(一) 模具总体结构	447
三、模架设计	317	(二) 凸模夹持器	450
(一) 模架设计的主要内容	317	(三) 凹模体	455
(二) 模架的结构形式	318	(四) 平锻机模具的常用材料和热 处理硬度	458
(三) 模块	329	(五) 模具主要尺寸公差和表面粗 糙度	459
(四) 顶料装置	342	四、挤压模设计	465
(五) 导向装置	349	(一) 水平分模平锻机挤压工艺分 析	465
四、锻模设计实例	357	(二) 挤压模结构及工作部分主要 尺寸	466
(一) 转向节锻模	357	(三) 热挤压设计举例	468
(二) 套管叉锻模	363	五、平锻模具设计实例	472
(三) 万向节叉锻模	367	(一) 变速箱操纵杆锻模	472
(四) 十字轴锻模	369	(二) 手制动凸轮锻模	478
(五) 分离叉锻模	373	(三) 抽油杆锻模	481
(六) 倒档齿轮锻模	379	(四) 小链轮轮毂锻模	485
(七) 磁极锻模	382	(五) 转向摇臂轴锻模	491
(八) 连杆锻模	384	(六) 倒车齿轮锻模	494
(九) 前轴锻模	390	(七) 半轴锻模	502
(十) 变速杆下段锻模	397	(八) 轮毂轴管锻模	507
第八章 平锻机和高速镦锻机用锻模	400	(九) 轴套管锻模	510
一、概述	400		
(一) 平锻机的模锻特点	400		
(二) 平锻件分类	400		
(三) 模锻工步的选择	402		

六、高速热锻压机用锻模设计	516	(四) 辊锻机的技术参数	595
(一) 概况	516	(五) 辊锻力及力矩	597
(二) 模具结构及设计	519	(六) 辊锻变形的单位压力	599
(三) 设计实例	522	二、基本参数计算	603
第九章 水压机用锻模	527	(一) 辊锻变形区及其几何参数	603
一、概述	527	(二) 咬入条件	604
(一) 水压机上模锻的特点	527	(三) 延伸系数计算	606
(二) 水压机上模锻件分类	529	(四) 前滑的计算	608
(三) 模锻工步的选择	529	(五) 宽展的计算	609
(四) 锻件图的制定	530	三、辊锻模具结构与固定方式	614
(五) 设备吨位的确定	551	(一) 辊锻模具结构与固定方式	614
二、模膛设计	552	(二) 型槽类型	616
(一) 终锻模膛	552	(三) 型槽的中性线	617
(二) 预锻模膛	555	(四) 轧制压力的概念及型槽在锻 辊上的配置原则	617
(三) 制坯模膛	558	四、制坯辊锻模具设计	618
三、模具结构设计	558	(一) 辊锻毛坯图设计	618
(一) 导柱和锁扣	558	(二) 辊锻型槽系选择	620
(二) 钳口	561	(三) 辊锻道次的确定	622
(三) 模膛的布置	561	(四) 辊锻毛坯各道截面 尺寸计算	622
(四) 模膛壁厚的确定	562	(五) 型槽几何尺寸、相应矩形和 型槽尺寸的变换方法	631
(五) 模块尺寸的确定	562	(六) 型槽设计的图解方法	636
(六) 顶出器	563	(七) 型槽的纵向尺寸设计	645
(七) 模具的固定	564	五、成形辊锻模具设计	646
(八) 模块标准	567	(一) 成形辊锻件的分类	646
四、锻模设计实例	569	(二) 成形辊锻工艺方案选取	648
(一) 飞机翼肋锻模	569	(三) 长轴类锻件成形辊锻 模具设计	649
(二) 三角支架锻模	572	(四) 板片类锻件成形辊锻 模具设计	655
(三) 叶轮锻模	573	六、辊锻模应用实例	662
五、多向模锻模具设计	577	(一) 转向直拉杆臂的制坯辊锻	662
(一) 多向模锻的特点	577	(二) 取力箱操纵杆的制坯辊锻	662
(二) 多向模锻模具结构和原理	579	(三) 汽车推力杆的制坯辊锻	663
(三) 模具设计要点	580	(四) 汽车变截面板簧叶片 成形辊锻	665
(四) 实例	582	(五) 医用镊冷辊锻	666
第十章 辊锻模	591		
一、概述	591		
(一) 辊锻变形特点	591		
(二) 辊锻工艺的分类和应用	591		
(三) 辊锻机的类型、用途和结构 特点	592		

(六) 汽车前梁辊锻模设计	668	(三) 带预轧楔模具设计	739
第十一章 切边冲孔模	669	第十三章 孔型斜轧	744
一、概述	669	一、概述	744
(一) 用途和分类	669	(一) 工艺特点与应用范围	744
(二) 切边及冲孔力的计算	669	(二) 模具特点与成形原理	745
二、切边模的设计	670	(三) 轧制力与力矩	746
(一) 切边模的结构形式	670	(四) 斜轧机的基本类型	751
(二) 简单切边模的设计	670	二、斜轧模具设计	754
三、冲孔模的设计	693	(一) 模具设计一般原则	754
(一) 冲孔模的结构	693	(二) 孔型参数的确定	756
(二) 冲孔冲头的设计	694	(三) 孔型设计方法	761
(三) 冲孔凹模的设计	696	三、模具设计实例	767
(四) 底座的设计	698	(一) 钢球设计实例	767
(五) 脱料装置	699	(二) 复杂件模具设计实例	770
四、连续模	700	第十四章 挤压模	777
五、复合模	700	一、挤压加工概述	777
(一) 复合模工作过程	700	(一) 挤压方法分类	777
(二) 工艺参数的确定	701	(二) 挤压加工的优点	778
(三) 复合模高度计算要点及主要 零件高度计算	702	(三) 挤压件分类	779
(四) 上下模座	703	(四) 挤压的变形程度及挤压力的 计算	783
(五) 用于冲孔直径较小 的复合模	703	二、冷挤压模设计	801
第十二章 楔横轧模具	710	(一) 模具设计前需考虑的有关问 题	801
一、概述	710	(二) 凸、凹模设计	803
(一) 工艺特点与应用范围	710	(三) 模架	810
(二) 模具特点与成形原理	711	(四) 模具零件加工	821
(三) 轧制力与轧制力矩	712	(五) 冷挤压模具材料及热加工规 范	823
(四) 楔横轧设备	715	三、热挤压模设计	823
二、楔横轧模具设计	719	(一) 概述	823
(一) 模具设计的一般原则	719	(二) 凸凹模的设计	826
(二) 工艺参数的确定	720	(三) 顶杆及顶出机构	832
(三) 对称轴类件的模具设计	722	(四) 模架	834
(四) 非对称轴类件的模具设计	724	四、温挤压模设计	836
(五) 带内直角阶梯轴的 模具设计	727	五、挤压模具设计实例	838
三、楔横轧模具设计实例	731	(一) 气门顶杆冷(反)挤压模	838
(一) 对称轴模具设计	731	(二) 极铁冷(反)挤压模	839
(二) 非对称轴模具设计	736	(三) 梭心套冷(反)挤压模	840

(四) 双水内冷发电机水冷接头冷 挤复合模.....	841	二、自动冷镦机模具.....	887
(五) 带内棘齿轮冷(复合正反) 挤压模.....	842	(一) 冷镦模具的分类.....	887
(六) 内齿套筒冷(复合正反)挤 压模.....	843	(二) 自动冷镦机模具结构.....	889
(七) 轴承套圈温翻边挤压 复合模.....	844	(三) 自动冷镦机模膛尺寸.....	893
(八) 凿岩机轴套温(正) 挤压模.....	845	三、冷镦杆状零件模具设计.....	894
(九) 凿岩机钎套带有冷却系统的 温(反)挤压模.....	846	(一) 冲头设计.....	894
(十) 微型汽车气门热(正)挤压 模.....	847	(二) 凹模设计.....	898
(十一) 锥形衬套热(正、反)挤 压模.....	849	(三) 切边模具设计.....	906
(十二) 转向节轴套热挤压模.....	850	四、冷镦螺母类零件模具设计.....	908
(十三) 后桥轴套颈热挤压模.....	851	(一) 镦球模具设计.....	908
(十四) 尾座热(复合正反)挤压 模.....	852	(二) 镦六角模具设计.....	909
(十五) 滑动叉热挤压模.....	853	(三) 冲孔模具设计.....	912
(十六) 十字轴径向热挤压模.....	854	五、通用模具设计.....	915
(十七) 直齿圆柱齿轮径向热挤压 模.....	855	(一) 切料模具设计.....	915
第十五章 校正、压印、精压模具.....	856	(二) 滚压工具设计.....	917
一、校正模具.....	856	六、硬质合金冷镦模具.....	920
(一) 概述.....	856	(一) 硬质合金模具毛坯形式 及尺寸.....	920
(二) 校正模膛设计.....	856	(二) 硬质合金钢球冷镦模结构.....	922
(三) 校正模的设计举例.....	859	(三) 硬质合金模具毛坯 技术条件.....	923
二、压印模具.....	861	七、冷镦模具技术条件.....	924
(一) 概述.....	861	第十七章 锻模 CAD/CAE/CAM 和锻 造成形过程的优化设计.....	926
(二) 压印模设计.....	862	一、锻模 CAD/CAM.....	926
三、精压模具.....	866	(一) 锻模 CAD/CAM 系统的实施 方案和方法.....	927
(一) 概述.....	866	(二) 通用 CAD/CAM 系统.....	928
(二) 精压模具的设计.....	874	(三) 锻模 CAD/CAM 系统.....	931
第十六章 冷镦模.....	881	(四) 锻模 CAD/CAM 的发展.....	934
一、概述.....	881	二、锻造过程的数值模拟.....	934
(一) 冷镦工艺过程和力的计算.....	881	(一) 锻造过程数值模拟中的刚塑 性有限元法.....	935
(二) 典型零件冷镦工艺.....	885	(二) 有限元模拟系统构成及锻造 过程数值模拟商业软件.....	945
		(三) 典型锻造工艺模具数值模拟 应用实例.....	952
		三、锻造成形过程的优化设计方法.....	957
		(一) 锻造过程优化设计基本理论	

与方法	959	(四) 锻造工艺及模具优化	
(二) 预锻模形状优化设计方法	965	设计实例	972
(三) 微观组织优化设计方法	968	参考文献	977

第一章 概 论

锻模是金属在热态和冷态下进行体积成形时所用模具的统称。一个完善的锻模设计过程，首先应当考虑的是：能够获得满足尺寸精度要求和组织性能良好的锻件，同时要满足生产率的要求，其次还应考虑锻模具有足够的强度和较高的寿命，并且制造简单，安装、调整、维修方便等要求。因此，设计锻模时，应当综合分析各类锻件塑性成形的规律和工艺特点，研究被加工材料和模具材料的力学和物理、化学特性，以及了解各类锻压设备的工作特点，结构特点和工艺特点等等。

一、锻模的分类

根据不同的情况，锻模的分类目前有多种方法。可以按模锻设备进行分类，也可以按工艺用途进行分类，其他还可以按锻模结构和分模面的数量等进行分类。

按模锻设备不同，锻模可分为锤用锻模、螺旋压力机用锻模、热模锻压力机用锻模、平锻机用锻模、水压机用锻模、高速锤用锻模、辊锻机用锻模、孔型斜轧机和楔横轧机上用模具等。这种分类方法主要考虑了各种锻压设备的工作特点、结构特点和工艺特点，因此决定了锻模的结构和使用条件也有所不同。

按工艺用途（所完成的变形工序种类）不同，锻模可分为锻造模具、挤压模具、冷锻模具、辊锻模具、校正模具、压印模具、精整模具、精锻模具、切边、冲孔模具等。这种分类方法主要考虑不同变形工序的变形规律，因此，各类锻模的模膛设计和锻模结构也有所不同。

其他分类方法还有，如按锻模的结构不同可分为整体锻模和组合镶块锻模，按终锻模膛结构不同可分为开式锻模和闭式锻模，按分模面的数量不同可分为单个分模面锻模和多向模锻锻模等。

二、常用金属的锻造温度范围

金属的锻造温度范围是指其始锻温度和终锻温度间的一段温度区间。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）和合适的金相组织。锻造温度范围是通过各种试验和分析金相状态图确定的。

锻模设计时，根据材料的锻造温度范围可确定变形抗力和计算设备吨位。

钢料的锻造温度范围见表 1-1，有色金属的锻造温度范围见表 1-2。

表 1-1 钢的锻造温度范围

钢 类	钢 号	锻造温度/℃	
		始 锻	终 锻
普 通 碳 素 钢	Q195、Q215	1300	700
	Q235、Q255、Q275	1250	700
优 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

(续)

钢 类	钢 号	锻造温度/℃	
		始 锻	终 锻
合 金 结 构 钢	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
	20SiMnVB	1180	800
	30Mn2MoTiB	1100	850
	40B、45B、40MnB、45MnB、40MnVB、40MnWB、38CrSi、40CrSi	1150	850
	15CrMn、20CrMn、40CrMn	1150	800
	20CrMnSi、25CrMnSi	1200	800
	30CrMnSi、35CrMnSi	1150	850
	15CrMn2SiMo	1200	900
	20CrV、16Mo	1250	800
	40CrV、45CrV、18CrMnTi、20CrMnTi、30CrMnTi、35CrMnTi、40CrMnTi	1200	800
	12CrMo、15CrMo、20CrMo	1200	800
	30CrMo	1180	800
	35CrMo、42CrMo	1150	850
	15CrMnMo、20CrMnMo	1200	900
	40CrMnMo	1180	850
	12CrMoV、24CrMoV、25Cr2MoV、25Cr2MoI	1100	850
	12Cr1MoV、35CrMoV	1150	850
	38CrMoAl	1180	850
	18Cr3MoWV、20Cr3MoMV	1150	850
	15Cr、20Cr、30Cr、35Cr、40Cr、45Cr、50Cr	1200	800
	20CrNi	1200	800
	40CrNi、45CrNi	1150	850
	12CrNi2、12CrNi3	1200	800
	20CrNi3、37CrNi3、12Cr2Ni4、20Cr2Ni4	1180	850
	40CrNiMo	1150	850
	18Cr2Ni4W	1180	850
	20NiMo	1200	830
	40NiMo	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

(续)

钢 类	钢 号	锻造温度/℃	
		始 锻	终 锻
合 金 工 具 钢	CrMn、5CrMnMo	1100	800
	Cr6WV、CrW5	1050	850
	CrW、Cr12W	1150	850
	3Cr2W8V	1120	850
	CrWMn	1100	800
	9CrWMn、5CrW2Si、6CrW2Si、4CrW2Si	1100	850
	Cr12MoV	1100	840
	3CrAl、CrV	1050	850
	8CrV	1120	800
	5CrNiMo、W1、W2	1100	800
	5W2CrSiV、4W2CrSiV、3W2CrSiV	1050	850
	WCrV、W3CrV		
	3W4CrSiV、3W4Cr2V、V、CrMn2SiWMoV、Cr4W2MoV	1100	850
	8V	1100	800
	4Cr5W2SiV	1150	950
高 速 工 具 钢	SiMnMo	1000	850
	5CrMnSiMoV	1200	700
	W18Cr4V、W9Cr4V2	1150	900
	W6Mo5Cr4V2、高碳 W18Cr4V	1130	900
不 锈 耐 酸 钢	W6Mo5Cr4V3	1100	900
	0Cr13	1150	750
	1Cr13、2Cr13、4Cr13、4Cr13、Cr17Ti	1150	750
	Cr17	1100	750
	Cr28	1120	700
	Cr9Mn18	1180	850
	3Cr17Mo	1150	800
	Cr17Ni2	1130	850
	0Cr18Ni9、1Cr18Ni9、2Cr18Ni9	1130	850
	Cr18Mn8Ni5	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 钢	4Cr9Si2	1130	850
	Cr13Si3、Cr18Si2、Cr20Si3	1100	800
	Cr25Si2	1050	800
	4Cr3Si4、Cr5Mo	1150	850
	Cr6SiMo	1170	850
	4Cr10Si2Mo、Cr11MoV	1150	850
	Cr13SiAl、Cr17Al4Si	1100	800
	Cr8Al5、Cr7Al7、Cr20Al5Co2、Cr13Al4	1050	800

(续)

类别	牌 号	始锻温度 /℃	终锻温度 /℃	类别	牌 号	始锻温度 /℃	终锻温度 /℃
钛 合 金	TA2、TA3	900	700	钛 合 金	TC10	930	850
	TC1	900	700		TA4	980	800
	TC3	920	800		TA5	980	800
	TC4	950	800		TA6	980	800
	TC5	950	800		TA7	1000	850
	TC6	950	800		TA8	960	850
	TC8	970	850		TB1	1150	850
	TC9	970	850				

三、常用金属的线膨胀系数及收缩率

线膨胀系数表示摄氏温度升高一度时单位长度材料的尺寸变化。表 1-3 是一些金属的线膨胀系数。

收缩率是指由终锻温度至室温这段温度区间内单位长度金属材料的尺寸变化，它与材料的线膨胀系数和终段温度两者有关。

模膛设计时，需要考虑锻件的收缩率，精密模锻时还需要考虑模具的热胀冷缩问题。

热锻时钢料的收缩率一般取 1.2%~1.5%，而对细长的杆类件，扁薄的锻件，冷却快或打击次数多终锻温度低的锻件收缩率取 0.8%~1.2%；带大头的长杆锻件，头部和杆部的冷缩率应取不同值；不锈钢的收缩率大，一般取 1.5%~1.8%。铝合金为 0.8%~1.0%，镁合金为 0.8%，钛合金为 0.5%~0.7%，铜合金为 1.0%~1.3%。

温锻时，由于终锻温度较低，收缩率应适当取小些。

表 1-3 金属的线膨胀系数

金 属 种 类	Fe	Al	Mg	Cu	Ni	Ti
膨胀系数×10 ⁻⁶ / (1/℃)	11.7	23.9	26	16.5	13.6	8.5

四、常用金属的变形抗力

金属的变形抗力 σ_s 也称真实应力或流动应力。对于理想塑性材料，变形抗力等于材料的屈服极限；对于塑性硬化材料，变形抗力等于考虑了变形硬化后的屈服极限。在热锻温度下，变形抗力还可以用强度极限 σ_b 表示。通常金属的变形抗力与材料的化学成分、组织、变形温度、应变速率及变形程度等有关，可表达如下

$$\sigma_s = \sigma(T, \varepsilon, \dot{\varepsilon}, \chi)$$

式中 T ——变形温度；
 ε ——变形程度；
 $\dot{\varepsilon}$ ——应变速率；
 χ ——材料的物理化学性质。

通常变形抗力随温度的升高而降低，应变速率增大时，变形抗力增大，温度越高，这种现象越明显。变形程度对变形抗力的影响有两种情况，某些材料随变形程度增加，变形抗力不断增大；而有些材料，在某一温度下，在某一变形程度前，变形抗力随变形程度的增加而