

《锻压技术手册》编委会 编

锻压技术手册

上册

国防工业出版社

内 容 简 介

本《手册》总结了我国建国以来在航空及机械工业中的锻压生产经验和科研成果，还收集了工业先进国家的锻压新技术内容。

全书共分十二篇，对锻造的基础理论和工艺方法作了全面阐述，内容包括：锻件原材料及其冶金质量；金属塑性变形的基础理论；锻压加热设备；锻压设备；锻压辅助设备；锻件设计、模具设计及模具制造；常规及特种锻压工艺；锻件质量控制；锻压工厂和车间的设计等。本书的编写特点体现在以图表及文字并重的形式提供了大量详尽的数据和说明。

本《手册》可供从事锻压专业的科技人员和高等院校师生使用，也可供从事机械产品设计、制造及检验工作的科技人员参考。

序 言 一

《锻压技术手册》总结了新中国三十多年来在锻压技术领域所积累的宝贵经验和科技成果，收集了不少国外先进技术，是一部兼容锻压设计、材料、工艺、设备、质量控制，同时包括大量可靠数据、图表及科学论述的著作。

在原航空工业部科学技术局的直接领导下，以北京航空材料研究所和西北工业大学为主的编委会，组织了全国50多个单位近160名锻压专业人员，经过五年的辛勤编著，几易其稿，现在该书终于和广大读者见面了，这是我国锻压专业科技人员献给亲爱的祖国四十周年的一份礼品，我作为曾经在锻压工程技术界长期工作的一位同行，对此表示热烈的祝贺。

锻压技术是机械工业技术进步的重要基础之一，是保证机械产品质量、降低制造成本的重要工艺手段。我相信，本书的出版，对于更好地发展我国锻压技术，推动航空航天工业和其他机械制造工业的技术进步，都将产生积极的影响。

林福
1988/6/13

序 言 二

《锻压技术手册》经广大从事锻压专业的科技人员(包括不少教授、专家和工程师等)辛勤编写,奋战了五年,现已和读者见面了。我们谨以此书献给亲爱的祖国四十周年。

本书由航空工业部科技局直接领导下成立的以“航空材料、热加工工艺及测试技术研究所”和“西北工业大学”等单位为主的编委会编写而成。在编委会的组织下,有50多个单位的近160名富有经验的锻压专业人员参加了撰稿或审稿工作。

本书总结了我国建国三十多年来在锻压技术领域所积累的宝贵经验和科技成果,同时收集了不少国外先进技术,包括大量可靠的数据和图表以及科学论述等。它既有理论,又有实践,是理论与实践相结合的产物,不仅对生产工作有重要的指导意义,而且对科研和教育工作也有较高的参考价值。本书另一个特点是通用性很强,既适用于航空工业、机械制造业,也适用于其他工业。

在本书的编写过程中,承各级领导予以重视和支持,尤其是中国航空学会在征稿和组织审稿方面大力支助,使编写工作顺利进行。另外,在审稿过程中,承许多教授和专家提出了宝贵意见,使内容更加充实和完善。在此,一并表示衷心感谢。

由于我们经验不足,水平有限,缺点和错误在所难免,恳请读者批评指正。

编委会

《锻压技术手册》编委会成员

主 编 李成功
副主编 刘建宇 苏祖武 李树江 徐圣清
编 委 杨振恒 高 翔 曾凡昌 贺开运
 顾明铎 刘润农 章海山 陈桂梅
 张志文 任鸿斌
 (编委会主要工作人员 江宏德)
责任编辑 王德康 杜豪年

目 录

第一篇 锻件和材料

第一章	锻件概论	3
第一节	绪言	3
第二节	锻件在产品上的分布情况	5
第三节	锻件的分类、数量和密度	11
第四节	锻件的技术要求	17
第二章	锻件金属材料	21
第一节	合金结构钢	21
第二节	不锈钢	24
第三节	高温合金	27
第四节	铝合金	30
第五节	镁合金	32
第六节	钛合金	33
第七节	铜合金	35
第三章	原材料冶金质量	68
第一节	黑色与有色合金的冶炼方法	68
第二节	黑色与有色合金铸锭质量及检验	69
第三节	锻坯的主要缺陷及其质量检验	73
第四节	轧材主要缺陷及其质量检验	76
第五节	挤压棒材和型材主要缺陷及其质量检验	79

第二篇 金属塑性变形

第一章	塑性力学的基础理论	87
第一节	应力、应变、应变速率	87
第二节	应力和应变状态	90
第三节	屈服条件	94
第四节	应力应变关系	98
第五节	研究塑性变形体内应力应变的方法	104
第二章	金属的塑性和超塑性	110
第一节	金属的塑性	110
第二节	工艺塑性测试方法	120
第三节	航空金属材料的工艺塑性	124
第四节	超塑性	147
第三章	金属塑性变形抗力	152
第一节	塑性变形抗力指标	152
第二节	金属和合金的本性对变形抗力的影响	153
第三节	变形温度和应变速率对变形抗力的影响	155

第四节	应力状态对变形抗力的影响	158
第五节	常用航空金属材料的应力-应变曲线	158
第四章	金属和合金的再结晶	170
第一节	冷变形金属加热时的回复与再结晶	170
第二节	热压力加工过程中的回复与再结晶	174
第三节	影响再结晶的主要因素	182
第四节	金属材料的再结晶特性和再结晶图	192
第五节	再结晶规律的应用——锻件晶粒度控制	211
第五章	锻造工艺参数对锻件组织和机械性能的影响	214
第一节	锻造工艺参数对合金结构钢锻件组织和机械性能的影响	214
第二节	锻造工艺参数对不锈钢锻件组织和机械性能的影响	219
第三节	锻造工艺参数对高温合金锻件组织和机械性能的影响	223
第四节	锻造工艺参数对铝合金锻件组织和机械性能的影响	233
第五节	锻造工艺参数对镁合金锻件组织和机械性能的影响	238
第六节	锻造工艺参数对钛合金锻件组织和机械性能的影响	244
第七节	锻造工艺参数对铜合金锻件组织和机械性能的影响	254

第三篇 锻压加热设备

第一章	传热和金属加热	262
第一节	传热	262
第二节	金属加热	273
第三节	热平衡计算	281
第二章	燃料加热炉	289
第一节	炉型选择及常用炉型	289
第二节	加热炉常用燃料性质	295
第三节	燃料燃烧计算	302
第四节	燃烧装置	309
第五节	炉前管道	337
第六节	筑炉材料及炉体砌砖	339
第七节	烘炉	353
第三章	电加热设备	356
第一节	电阻炉	356
第二节	感应加热装置	376
第三节	接触加热	387
第四章	少氧化加热炉	389
第一节	少氧化加热原理	389
第二节	热工计算	390
第三节	炉型与结构特点	398
第四节	其他少氧化加热设备	404
第五节	少氧化加热的技术经济效益	409
第五章	炉子的热工测量与控制	413

第一节	炉温测量	413
第二节	压力测量	419
第三节	流量测量	421
第四节	气体成分测量	428
第五节	控制系统	430
第六章	节能与环境保护	440
第一节	节能	440
第二节	环境保护	460

第四篇 锻压设备

第一章	锻锤	469
第一节	概述	469
第二节	空气锤	471
第三节	蒸汽-空气锤	473
第二章	机械压力机	487
第一节	通用机械压力机	487
第二节	曲柄压力机	491
第三节	精压机	500
第四节	平锻机	505
第三章	螺旋压力机	511
第一节	概述	511
第二节	摩擦压力机	514
第三节	液压螺旋压力机	520
第四节	电动螺旋压力机	530
第四章	液压机	534
第一节	概述	534
第二节	自由锻液压机	536
第三节	模锻液压机	544
第四节	切边液压机	555
第五章	特种锻压设备	560
第一节	径向精锻机	560
第二节	辗环机	563
第三节	辊锻机	569
第四节	高速锤	572
第五节	电热锻机	579
第六章	锻压设备的测试及力能关系的换算	581
第一节	位移和速度的测量	581
第二节	锻压力和功的测量	586
第三节	锻压机器的力能关系及其换算	594

第五篇 锻压辅助设备

第一章	下料设备	601
第一节	锯床	601
第二节	剪床	603
第三节	车床	605
第四节	砂轮切割机	606
第五节	其他下料设备	607
第二章	起重运输设备和操作机械	610
第一节	起重运输设备	610
第二节	操作机械	620
第三章	清理设备	632
第一节	抛丸机	632
第二节	吹砂机	634
第三节	光饰机	642
第四节	打磨和抛光设备	647
第五节	化学清理及清洗设备	649
第四章	检测仪器和设备	656
第一节	投影仪	656
第二节	多点检测仪	663
第三节	三坐标测量机	668
第四节	模具检测仪(3D电火花模具复制仪)	669
第五节	金属材料分选仪	672
第六节	标印设备	674

第六篇 锻件设计

第一章	锻件设计的一般原则	685
第一节	锻件设计的要求及主要任务	685
第二节	锻件分类	685
第三节	锻件设计方案的选择	689
第二章	自由锻件设计	692
第一节	自由锻件的特点和航空锻件设计的任务	692
第二节	自由锻件结构要素的设计	693
第三节	自由锻件的加工余量和公差	702
第四节	自由锻件其他技术要素的确定	721
第五节	胎模锻件设计	726
第六节	自由锻件设计示例	735
第三章	模锻件设计	740
第一节	锻件流线	740
第二节	分模与分模线的设计	749
第三节	模锻斜度	761

第四节	模锻件圆角的设计	774
第五节	肋和凸台的设计	786
第六节	腹板的设计	793
第七节	凹腔、凹槽和孔	800
第八节	模锻件其他技术要素的确定	802
第九节	模锻件的公差和余量	811
第十节	平锻件的设计	827
第十一节	模锻件设计示例	838
第四章	叶片锻件设计	844
第一节	叶片锻件设计概述	844
第二节	叶片锻件设计的基本计算	848
第三节	叶片锻件的加工余量和公差	855
第四节	叶片锻件其他结构要素的确定	863
第五章	锻件图样的绘制	869
第一节	概述	869
第二节	锻件图样的绘制规则	870
第三节	锻件图样示例	878

第七篇 锻压工艺

第一章	备料	881
第一节	原材料的品种与规格	881
第二节	下料	892
第三节	毛坯的质量要求	910
第四节	锻件材料消耗的计算方法	912
第二章	加热	915
第一节	加热目的和加热方法	915
第二节	钢的锻造温度和加热规范	918
第三节	高温合金加热规范	923
第四节	铝合金加热规范	924
第五节	镁合金加热规范	925
第六节	钛合金加热规范	926
第七节	铜合金加热规范	927
第八节	少、无氧化加热	930
第三章	自由锻与胎模锻	934
第一节	自由锻基本工序	936
第二节	自由锻的工具	946
第三节	自由锻工艺的制订	953
第四节	胎模锻	965
第四章	模锻工艺	979
第一节	模锻工艺的分类和成形特点	979
第二节	锤上模锻	980
第三节	螺旋压力机模锻	1008

第四节	曲柄压力机模锻	1016
第五节	平砷机上模锻	1025
第六节	水压机上模锻	1050
第五章	挤压	1054
第一节	挤压的优缺点及分类	1054
第二节	挤压件的精度和表面粗糙度	1056
第三节	挤压工艺特点	1058
第四节	挤压变形程度	1060
第五节	挤压温度和挤压速度的选择	1064
第六节	挤压力的计算和挤压设备的选择	1066
第七节	挤压毛坯的软化处理	1078
第八节	挤压毛坯的表面处理和润滑	1081
第九节	挤压件尺寸设计和挤压工序的拟定原则	1084
第十节	典型挤压件的工艺分析	1085
第六章	切边和冲孔	1092
第一节	切边和冲孔的方法	1092
第二节	热冲切和冷冲切	1092
第三节	单刃和双刃冲切及其凹、凸模的间隙	1093
第四节	连续冲切和复合冲切	1096
第五节	形状特殊锻件的冲孔、切边方法	1096
第六节	锯切	1099
第七节	氧-乙炔焰切边与等离子弧切边	1100
第七章	精压与精密模锻	1103
第一节	精压	1103
第二节	精密模锻	1115
第三节	精压与精密模锻对辅助工序的要求	1130
第四节	叶片的精密模锻	1135
第八章	变形力、能的计算与设备吨位或压力的确定	1149
第一节	变形力的确定	1149
第二节	锻压设备吨位或压力的确定	1161
第九章	防护与润滑	1177
第一节	金属锻压时的摩擦与润滑	1177
第二节	金属热成形防护润滑剂应具备的基本条件及其分类	1180
第三节	防护润滑剂的应用	1182
第四节	FR系列防护润滑剂的特性、配制工艺和使用工艺说明	1190
第十章	锻件冷却、清理、校正	1194
第一节	锻件的冷却	1194
第二节	锻件和毛坯的清理	1197
第三节	锻件的校正	1220
第十一章	锻件热处理	1224
第一节	锻件热处理的目的和种类	1224
第二节	锻件的热处理制度	1229

第三节	锻件热处理的一般工艺要求	1245
第十二章	锻压工艺过程设计	1247
第一节	锻压工艺过程设计要点	1247
第二节	锻压工艺规程的编制规则	1251
第三节	锻件典型工艺过程举例	1255

第八篇 特种锻压工艺和新技术

第一章	辊锻	1281
第一节	辊锻工艺分类及其基本原理	1281
第二节	辊锻工艺与模具设计	1290
第二章	环形件 辗 轧	1303
第一节	环形件辗轧工艺特征	1303
第二节	辗压力的计算	1306
第三节	环形锻件图及其工艺的设计	1308
第四节	辗轧工具设计	1311
第三章	摆动辗压	1317
第一节	摆动辗压原理及主要参数	1317
第二节	摆动辗压工艺分类和模具设计要点	1322
第四章	旋转锻造	1325
第一节	旋转锻造工艺基础	1325
第二节	变形力计算	1329
第三节	旋转锻造的工艺设计	1330
第四节	工具设计	1335
第五章	高速锤锻造	1341
第一节	高速锤锻造的特点及用途	1341
第二节	高速锤锻造的能量计算	1343
第三节	高速锤锻造工艺及模具设计	1347
第六章	多向模锻	1353
第一节	多向模锻工艺及其设备的特点	1353
第二节	力能参数的确定	1354
第三节	锻件设计	1355
第四节	模具设计	1358
第五节	成形工艺	1362
第六节	典型锻件的外形及经济效果	1364
第七章	电热锻粗	1366
第一节	电热锻粗工艺的特点及其主要形式	1366
第二节	电锻工艺参数	1368
第三节	对电锻棒料的要求	1373
第四节	电锻夹具	1374
第五节	电锻件常见的缺陷	1375
第八章	等温模锻	1377
第一节	等温模锻的基本特点和发展动向	1377

第二节	等温模锻的工艺装备	1379
第三节	等温模锻对润滑防护剂的特殊要求	1386
第四节	典型件的等温模锻工艺	1387
第九章	超塑性锻造	1391
第一节	超塑性锻造原理及工艺特点	1391
第二节	超塑性材料	1392
第三节	微细晶超塑性模锻	1394
第四节	相变超塑性模锻	1401
第五节	超塑性锻造对锻件机械性能的影响	1402
第十章	粉末锻造	1404
第一节	粉末锻造的工艺特点	1404
第二节	粉末锻造的工艺流程	1405
第三节	粉末锻造的应用	1410
第十一章	热等静压	1413
第一节	热等静压的工艺特点	1413
第二节	热等静压的工艺流程	1417
第十二章	静液挤压	1423
第一节	静液挤压的特点和应用	1423
第二节	静液挤压的基本工艺参数	1426
第三节	静液挤压设备和工装	1433
第四节	典型零件的工艺	1440
第十三章	液态模锻	1444
第一节	液态模锻现况及其机理	1444
第二节	基本参数	1451
第三节	液态模锻用的模具	1454
第四节	液态模锻设备	1456
第五节	工艺示例	1457
第十四章	形变热处理	1462
第一节	形变热处理的各种方法	1462
第二节	钢的低温形变淬火	1463
第三节	钢的高温形变淬火	1467
第四节	铝镁合金的形变热处理	1471
第五节	钛合金的形变热处理	1472
第六节	奥氏体高温合金的形变热处理	1473
第七节	形变热处理在锻压生产中的应用	1474
第十五章	模锻件计算机辅助设计的基本方法	1476
第一节	锻件截面几何参数的计算	1476
第二节	锻件复杂程度标准和统计方法的设计计算公式	1479
第三节	主应力法的计算模型	1484
第四节	主应力法辅助设计的实例	1491
第五节	上限单元法分析	1499

第九篇 模具设计

第一章	模具设计的一般原则	1507
第一节	模具设计的依据	1507
第二节	收缩量的加放与热锻件图	1508
第三节	型槽中心的确定	1509
第四节	模具的标准化	1511
第二章	锤锻模设计	1512
第一节	锤锻模的分类	1512
第二节	锤锻模各类型槽的设计	1514
第三节	锤锻模上辅助结构部位的设计	1537
第四节	锤锻模各类型槽的布排	1544
第五节	模锻锤的安装空间与紧固件	1551
第六节	锤用镶块锻模	1554
第七节	锤用锻模设计实例	1557
第三章	压力机锻模设计	1568
第一节	曲柄压力机锻模设计	1568
第二节	螺旋压力机锻模设计	1588
第三节	水压机锻模设计	1611
第四节	发动机叶片锻模设计	1616
第四章	平锻机模具设计	1638
第一节	垂直分模平锻机模具和模座	1638
第二节	水平分模平锻机模具和模座	1667
第五章	挤压用模具设计	1676
第一节	挤压模具的结构	1676
第二节	反挤压模具设计	1680
第三节	正挤压模具设计	1690
第四节	径向挤压模具设计	1698
第五节	复合挤压模具设计	1701
第六章	切边模与冲孔模的设计	1706
第一节	锻件切边与冲孔方法的选择	1706
第二节	切边凹模的设计	1706
第三节	切边凸模的设计	1711
第四节	冲孔模的设计	1715
第五节	冲切模的各种卸料装置	1717
第六节	连续模与复合模的设计	1720
第七章	精压与精密模锻模具设计	1723
第一节	精压模具设计	1723
第二节	精密模锻模具设计	1731
第八章	锻模制造技术要求	1740
第一节	锻模模块技术要求	1740
第二节	锻模型槽加工技术要求	1742

第三节	锻模制造技术要求·····	1749
第四节	切边模制造技术要求·····	1763

第十篇 模具材料、制造和使用

第一章	模具材料·····	1773
第一节	锻造生产对模具材料的要求·····	1773
第二节	模具材料的分类及其化学成分·····	1775
第三节	模具材料的性能·····	1787
第二章	模具制造工艺·····	1808
第一节	模具样板的设计和制造·····	1808
第二节	模具切削加工工艺·····	1813
第三节	温热挤压成形锻模和精铸锻模·····	1829
第四节	模具的数控加工、电子计算机辅助设计和辅助制造及精密模具的制造·····	1830
第三章	模具热处理·····	1832
第一节	模块的预备热处理·····	1832
第二节	锻模的热处理·····	1834
第三节	模具的热处理变形和预防·····	1840
第四章	模具的检验和验收·····	1845
第一节	模块的检验·····	1845
第二节	锻模检验·····	1849
第三节	模具热处理检验·····	1855
第四节	模具的验收·····	1855
第五章	模具的使用、维护及延寿途径·····	1857
第一节	模具的合理使用·····	1857
第二节	模具的维护和修理·····	1861
第三节	锻件结构要素和制造工艺对模具使用寿命的影响·····	1863
第四节	模具延寿的途径·····	1865

第十一篇 锻件质量控制

第一章	锻件质量控制的主要方法和内容·····	1871
第一节	锻件质量控制的基本概念·····	1871
第二节	全面质量控制常用的几种方法·····	1872
第三节	锻件质量控制的主要内容·····	1882
第二章	锻件的检验和试验方法·····	1894
第一节	锻件的检验项目和数量与锻件类别的关系·····	1894
第二节	锻件的尺寸和几何形状检验·····	1896
第三节	锻件的表面质量及其检验·····	1902
第四节	锻件的机械性能试验·····	1904
第五节	锻件的低倍组织检查·····	1910
第六节	锻件的高倍组织检验·····	1913
第七节	无损探伤·····	1916
第三章	锻件的主要缺陷及其影响·····	1933

第一节	原材料带来的主要冶金缺陷·····	1933
第二节	加热缺陷·····	1959
第三节	锻造主要缺陷·····	1973
第四节	锻后冷却、酸洗和热处理中的主要缺陷·····	1989

第十二篇 锻压工厂和车间的设计

第一章	工厂设计概论·····	1999
第一节	影响工厂设计的基本因素·····	1999
第二节	设计的依据·····	1999
第三节	总体设计的组成·····	2001
第四节	设计的程序和基本内容·····	2002
第五节	可行性研究简介·····	2003
第二章	锻压工厂概貌·····	2006
第一节	锻件生产厂的特点·····	2006
第二节	工厂的分类·····	2007
第三节	工厂的生产和辅助生产车间、仓库和动力站的组成·····	2009
第四节	面积与人员·····	2010
第五节	工厂技术经济指标·····	2010
第三章	锻压车间的设计·····	2012
第一节	生产纲领的具体化·····	2012
第二节	工作制度和年时基数·····	2016
第三节	各类设备的选择与计算·····	2018
第四节	车间的区划和布置·····	2050
第五节	各类人员的编制·····	2063
第六节	专业设计要求的提供·····	2069

附录 主要航空锻造基地简介

一.	航空材料研究所·····	2081
二.	西北工业大学锻压教研室·····	2082
三.	南昌航空工业学院锻压教研室及模具研究室·····	2083
四.	第二重型机器厂模锻分厂·····	2084
五.	红原锻铸厂·····	2086
六.	安大锻造厂·····	2039
七.	新艺机械厂·····	2090
八.	西安航空发动机公司锻造厂·····	2091
九.	宝鸡有色金属加工厂·····	2093

第一篇 锻件和材料

编者：李成功 曾凡昌 周士乾