

轻合金挤压工具与模具(上)

冶金工业出版社

轻合金挤压工具与模具

(上 册)

刘静安 编著

TG378/1

冶金工业出版社

内容提要

《轻合金挤压工具与模具》分上、下两册。全书系统地阐述了轻合金挤压工具与模具的特点、分类、工作原理与工作条件；工模具材料及其选择原则；工模具的设计原理与方法；工模具的制造工艺及设备。根据我国的生产实践，书中分别对不同用途和不同结构的轻合金挤压用工模具的设计计算、强度校核、装卸与维修等方面做了详细的论述。此外，对工模具设计与制造的发展新方向以及提高工模具使用寿命的途径等书中也进行了深入的分析 and 讨论。全书以我国多年来的生产经验和科研成果为主体，同时综述了国外的有关资料。

全书共9章。上册包括绪论、工模具的工作条件、材料的合理选择、工具与模具的设计等内容；下册包括工模具的制造、CAD/CAM技术、使用与修正，提高使用寿命的途径及科学管理等内容。

本书可供从事金属材料及其加工行业的生产、科研、设计、应用等部门的工程技术人员使用，亦可供其他各工业部门的有关工程技术人员以及机械专业的师生参考。

轻合金挤压工具与模具

(上册)

刘静安 编著

责任编辑 张鹏

*

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街嵩祝院北巷33号)

新华书店总店科技发行所经销

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 15 1/4 字数 401 千字

1990年2月第一版 1990年2月第一次印刷

印数 00,001~2,500册

ISBN 7-5024-0512-7

TG·78 定价 11.65元

序

金属压力加工过程，实质是一对矛盾由对立、发展到统一的过程。矛盾的一方为变形金属本身，另一方为限制（或诱导）金属变形的工模具及其他加工设施，能量转换是促使矛盾运动和转化的媒介。影响这一矛盾的诸因素在金属变形过程中是相互制约的，并有其内在的规律性。从金属（或合金）到获得一定形态金属制品的过程，实质是人们力图掌握、运用矛盾运动的内在规律，以求产品符合最佳经济法则的过程。对挤压加工本质的认识，自然也适用于上述观点。

挤压加工对轻合金来说占有特殊重要的地位。实践证明，在现代化大生产中实施挤压加工技术，其工模具是其成败的关键；工模具的设计、制造质量是实现挤压产品高产、优质、低耗的必要条件；评估某一挤压方法，是否经济可行，往往取决于工模具的寿命；在工模具设计、制造中，若能选用恰当的工模具材料、制定合理工艺制度、优选工模具结构形式、精确处理设计数据、充分考虑最佳使用环境、尽量减少乃至消除失效隐患并辅以及时修复等，都将在挖掘材料潜力、节资节能、提高工模具寿命和产品质量方面发挥重要作用。对金属压力加工企业而言，其产品技术、经济指标的先进，无疑是增强产品竞争能力、提高经济效益、使企业全面搞活的可靠保证。但在以往的加工（尤其是挤压）中，有重工艺而轻相关条件的倾向，明显暴露缺乏综合效益观念。因此，在反映加工技术（特别是挤压技术）的著作中，很难寻觅系统论述工模具方面的内容，对涉及挤压工模具始末的专著更为少见。长期以来，从事轻合金加工技术的人们，早有系统总结我国挤压工模具设计、制造方面的经验并加以理论探讨的愿望。本书作者刘静安以几十年积累的经验、数据为基础，奋力搜集国内外有关技术资料之精华，编纂了这套《轻合金挤压工具与模具》（上、下册）。这是一套符合国情、很有实用价值的好书，

读者定能从中获取许多有益的东西。我认为该书的问世将对加工（特别是挤压）技术更快发展起促进作用，必将引起我国同行们的关注和反响。我作为多年从事过该技术领域的行友和先睹为快的读者，向全国广大的有志之士热忱推荐此书。

诚然，这部著作尚有一些不足之处，或者说书中难免存在有待不断改正的某些缺陷、甚至错误，但本书的可贵之处，至少是为我们共同追求的事业奉献了系统的知识财富，毕竟为加速我国挤压技术发展迈出了可喜的一步。我们确信该书的出版，即使是一块“砖”，也势必由此引出更多更美的“玉”来。这也是我热忱为该书作序的本意。谢谢作者和出版社对我的厚望，并寄寥寥序语表达我急切盼望我国金属压力加工行业快马加鞭、早日全面发达兴旺的愿望。

蒋民宽

1985.8.28

前 言

工具与模具在轻合金挤压加工工业中占有十分重要的地位。工模具质量的好坏,使用寿命的长短,往往是决定某一挤压工艺是否经济可行,某一新产品开发成败的关键要素。目前,我国已建成180多个轻合金挤压加工企业,拥有300多台挤压机,年生产能力近40万吨,每年需要消耗20000多套模具,价值5000万元以上。可见,提高工模具的质量,延长其使用寿命,对于促进挤压工业的发展起着决定性的作用。本书就是以介绍轻合金挤压用工具和模具的基本知识为宗旨,以工模具的设计与制造为主要内容,以提高工模具的质量和使用寿命为最终目的,根据国内轻合金挤压加工厂的生产实践和我国多年来的重大科研成果,综合国外的有关文献资料而编写的。本书是一套理论与实践紧密结合的综合性技术参考书,具有技术内容较新和实用性较强的特点。

全书共9章。主要内容包括绪论;挤压工模具的工作条件;工模具材料的合理选择;挤压工具设计;挤压模具设计;挤压工模具制造;挤压工模具的电子计算机辅助设计(CAD)和辅助制造(CAM);挤压工模具的使用与修正;提高挤压工模具使用寿命的途径;挤压工模具的科学管理。全书由刘静安编著,林木审阅了上册的前三章,并提出了修改意见。邵莲芬为下册的第六章提供了现场资料。邵莲芬、周红焰等同志参与了本书中插图的描绘工作。书中搜集或引用了国内兄弟单位的有关生产实例,图表和数据,参考并引用了一些教授、学者和专家著作中的资料,在编写过程中曾得到不少教授,专家的帮助、指导,在此表示感谢。

由于影响挤压工模具质量和使用寿命的因素很多、很复杂,涉及的面又很广,加之,编著者的水平有限,书中难免有欠妥或不足之处,诚恳地希望广大读者批评指正。

编著者

1988年11月

目 录 (上 册)

第一章 绪 论	1
第一节 挤压技术及其现状	1
一、轻合金加工概况	1
二、挤压在轻合金加工中的地位	5
三、挤压技术现状	9
第二节 工模具在挤压生产中的重要作用	13
第三节 挤压工模具的设计与制造概况	15
一、挤压工模具的发展情况	15
二、挤压工模具的设计与制造水平	16
第四节 挤压工模具存在问题及发展趋势	19
一、挤压工模具尚待解决的问题	19
二、挤压工模具技术的发展趋势	21
第二章 挤压工模具的工作条件	23
第一节 挤压方法及工具装配特点	23
一、挤压的基本方法	23
二、挤压方法按工艺特点及其装备分类	25
三、挤压方法按产品类型分类	36
第二节 轻合金挤压时的金属流动特性	46
一、挤压时金属流动的基本阶段	46
二、主要因素对金属流动特征的影响	47
第三节 挤压时的力学状态及挤压力计算	60
一、挤压力的传递过程	60
二、变形区内的应力状态	60
三、挤压力的确定	62
第四节 挤压时的温度—速度条件	86
第五节 挤压设备及其操作和控制系统水平对工模具装配	

和使用的影 响	90
一、挤压机结构特点的影响	90
二、挤压方法和操作工艺的影响	94
三、操作系统的影响	96
四、辅助系统的影响	96
五、挤压机主要部件结构的影响	100
第六节 挤压工模具的工作条件	106
一、承受长时高温作用	106
二、承受长时高压作用	106
三、承受激冷激热作用	107
四、承受反复循环应力作用	108
五、承受偏心载荷和冲击载荷作用	108
六、承受高温高压下的高摩擦作用	108
七、承受局部应力集中的作用	108
第三章 工模具材料的合理选择	110
第一节 挤压对工模具材料的要求	110
第二节 工模具材料的分类及发展概况	111
一、工模具材料的分类	111
二、热挤压模具钢的发展概况	111
三、其它热挤压工模具材料的发展和应用	120
第三节 常用工模具钢材的性能和特点	124
第四节 合理选择工模具材料的原则	137
一、被挤压金属或合金的性能	137
二、产品品种、形状和规格	137
三、挤压方法、工艺条件与设备结构	139
四、挤压工模具的结构形状与尺寸	140
五、材料的价格及其它因素	141
第四章 挤压工具设计	151
第一节 挤压工具的种类	151
一、大型基本挤压工具	151
二、模具	151
三、辅助工具	152

第二节 挤压工具的装配结构形式	152
一、卧式型棒挤压机正向挤压工具的装配结构	153
二、卧式型棒挤压机反向挤压工具的装配结构	155
三、卧式管型挤压机正向挤压工具的装配结构	156
四、卧式挤压机反挤压管材和空心型材的工具装配结构	156
五、T.A.C专用反挤压机反挤工具装配结构	158
六、立式挤压机挤压管材的工具装配结构	158
七、冷挤压工具装配结构	160
八、用组合模挤压空心制品的工具装配结构	161
九、阶段变断面型材挤压工具的装配结构	163
十、逐渐变断面型材和管材挤压工具装配结构	164
第三节 挤压筒的设计	165
一、挤压筒的工作条件与受力分析	165
二、挤压筒的结构形式	165
三、挤压筒尺寸的确定	176
四、挤压筒的强度校核	185
第四节 挤压轴的设计	216
一、挤压轴的结构形式	216
二、挤压轴尺寸的确定	218
三、挤压轴的强度校核	220
第五节 穿孔系统的设计	226
一、穿孔针的结构形式	226
二、穿孔针尺寸的确定	229
三、穿孔针的强度校核	231
第六节 挤压垫片的设计	236
一、挤压垫片的结构形式	236
二、挤压垫片的尺寸确定	236
三、挤压垫片的强度校核	244
第七节 模支承、垫环、压型嘴和模架的设计	244
一、模支承	244
二、垫环	248
三、压型嘴和模架	248

第八节 导向装置的设计	249
第九节 其它挤压工具的设计	252
第五章 挤压模具设计	254
第一节 挤压模具的类型及组装方式	254
一、挤压模具的分类	254
二、挤压模具的组装方式	256
第二节 模具的典型结构要素及外形标准化	258
一、挤压模结构要素的设计	259
二、模具的外形尺寸及其标准化	262
第三节 模具的设计原则及步骤	265
一、挤压模具设计时应考虑的因素	265
二、模具设计的原则与步骤	266
三、模具设计的技术条件及基本要求	269
第四节 棒材模的设计	270
一、模孔数目的选择	270
二、模孔的配置	271
三、模孔尺寸的确定	272
四、工作带长度的确定	274
五、棒模的强度校核	275
第五节 无缝圆管挤压模具的设计	276
一、管材模的尺寸设计	276
二、挤压针的尺寸设计	277
三、管材模具的强度校核	280
第六节 普通型材模具的设计	285
一、模孔在模子平面上的合理配置	285
二、型材模孔形状与加工尺寸的设计	292
三、控制型材各部分流速均匀性的方法	299
四、型材模具的强度校核	310
第七节 舌型模的设计	314
一、舌型模的工作特点	314
二、舌型模的结构类型	316
三、舌型模模孔的合理配置	318

四、舌型模结构要素的设计特点	320
五、舌型模的强度校核	324
六、舌型模设计举例	332
第八节 平面分流组合模的设计	338
一、工作原理与特点	338
二、结构设计	340
三、强度校核	350
四、设计举例	352
第九节 阶段变断面型材模的设计	360
一、阶段变断面型材的生产特点	360
二、阶段变断面型材模具的结构要素与设计特点	361
三、模子分模面的确定	365
四、过渡区的设计	365
五、模孔尺寸的确定	367
六、专用支承垫和专用导路	367
第十节 逐渐变断面型材模的设计	370
一、逐渐变断面型材模的种类及其工作特点	370
二、逐渐变断面型材模具的设计	371
第十一节 带筋壁板型材模的设计	381
一、带筋壁板型材的挤压特点及模具的工作条件	381
二、带筋壁板型材模具结构及其设计特点	383
三、模具设计及举例	387
第十二节 宽展模的设计	399
一、宽展挤压原理及变形特征	399
二、宽展模的设计及举例	404
第十三节 民用建筑型材模的设计	407
一、铝合金民用建筑型材的特点	407
二、民用建筑型材模具的设计	408
三、民用建筑型材模设计举例	422
第十四节 异形空心型材穿孔挤压用模具设计	
的特点	423
一、异形空心型材的挤压方法	423

二、工具装配图及模具设计特点	425
第十五节 冷挤压模具的设计	429
一、冷挤压模的结构特点	429
二、冷挤压模的工作内压力	429
三、冷挤压冲头的设计	432
四、凹模的设计	433
五、压配预应力组合圆筒的应力和变形	436
六、组合凹模的优化设计	438
七、压配预应力组合模的实际结构	446
八、冷挤压模具的材料和加工工艺	447
第十六节 其它特殊模具的设计	448
一、导流模	448
二、保护模	450
三、锥体出口薄模	453
四、水冷模和液氮冷却模	454
五、螺旋管挤压模	457
六、Conform无残料连续挤压模	458
参考文献	461

第一章 绪 论

第一节 挤压技术及其现状

一、轻合金加工概况

轻合金是指以轻金属为基配制而成的合金。轻金属通常是指比重小于4.5的金属，如铝（2.7）、镁（1.73）、钛（4.5）、铍（1.85）、锂（0.534）等；常用轻合金多系铝、镁、钛基合金，其中铝及其合金用量最大、用处最广，仅次于钢铁，号称第二金属。我国在有色金属行业中，已确立“优先发展铝”的方针，这也为轻合金的发展开拓了广阔的前景；钛及其合金虽开发较晚，本世纪40年代末才形成工业规模生产，加工工艺复杂、成本高等等因素，限制了它的应用范围和发展速度，但因比强度高、耐腐蚀性好而大大提高了它的“身价”和地位，荣获“第三金属”或“未来金属”的美名^[1]。铍用做高级航空仪表材料，锂用于超轻、储能技术等亦是人们正在大力开发的领域。在航空、航天用金属材料中，轻合金早居主导，民用轻金属材料日趋重要。轻合金已在许多部门，特别是国防、尖端技术领域成为不可缺少的重要金属材料。因而，近几十年来，全世界的轻金属生产量成10倍地增长^[2]，其速度远远超过了钢铁（详见表1-1）。

表 1-1 1937~1982年国外铝镁钛增长概况 （万吨）

轻金属 名 称	部分年度产量指标						
	1937	1943	1953	1960	1970	1980	1982
铝	44	200	113	446	1004	1600	1800
镁	2	25	3.2	9.26	20	23.6	31.1
钛	—	—	0.25	0.90	0.42	9.24	12
合计	46	225	116.45	456.16	1024.42	1632.84	1843.1

由表1-1清楚看出，近40多年来，铝、镁、钛的年产量增长

了40倍,并随现代科学技术的进步和经济全面发展已经形成持续增长的趋势。预计今后对轻金属及其合金产品的需求将会出现稳步递增的局面。

轻金属及其合金发展的另一特征是,世界各国为全面提高轻金属性能和开发新的应用领域,大都致力研制合金新品种,同时加速改善专用轻合金性能。据不完全统计,目前已广泛使用的变形铝合金有160多种,变形镁合金60多种,钛合金达100种以上〔3、4〕。

轻合金得以迅速发展的重要原因,一是延展性好;二是比强度高;三是耐蚀性和高、低温适应性强等。因此轻合金制品可采用各种加工方法,特别是压力加工方法制得。目前,世界上绝大部分用途不同、形状各异的轻合金半成品,基本上是利用压延、挤压、冷拔、锻压、冲压等方法加工而成。就产品形状而言,主要有板、带、条、箔、管、棒、型、线和锻、冲件,专用异形件等。其产销量最大的是铝加工材,其次是镁、钛加工材。国外近几年来,几个工业较为发达的资本主义国家的铝材年产总量平均在1000万吨左右,详见表1-2,消费比参见表1-3。

表 1-2 国外主要资本主义国家铝加工材年产量(万吨)

国 别	年度产量指标						
	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
美 国	434.7	467.2	507.8	504.2	419.0	463.5	410.4
日 本	130.8	122.2	141.5	155.4	142.9	133.5	107.9
西 德	90.0	88.0	94.0	104.3	101.8	98.4	100.8
法 国	42.6	44.7	47.4	54.2	54	53.2	60.4
英 国	40.3	39.0	38.1	41.8	38.6	32.8	28.6
比 利 时	24.5	24.5	24.9	26.0	23.4	23.4	25.0
意 大 利	34.0	35.1	38.6	42.2	46.9	42.9	43.9
其他国家	62.6	167.6	135.8	147.2	198.0	170.9	153.8
合 计	825.5	988.3	1028.1	1075.3	1024.6	985.4	930.8

表1-3展示了下述特点,即工业较发达国家的铝材消费面,主要是建筑业、包装业、运输业等,而发展中国家的铝材消费量

表 1-3 1978年度国外几个铝材消费国家的消费比

国别	铝材总产量 万吨	铝材在下列各部门中消费百分比, %						
		运输业	建筑业	包装业	电气业	民用市场	机械设备	其他
美国	507.8	20.9	23.7	23.1	10.6	8.2	6.7	6.8
日本	141.5	23.7	35.2	6.8	11.1	6.3	6.3	10.6
西德	94.0	31.1	21.6	11.1	7.4	9.5	10.5	8.8
英国	38.1	26.7	15.5	12.9	12.1	11.2	10.3	11.3
巴西	24.0	17.3	23.8	8.0	24.8	14.4	4.1	7.6
印度	20.1	10.0	5.0	4.0	55.0	20.0	6.0	—

电气业却占主导地位, 其次是民用市场消费品或建筑运输等, 这说明预测铝材的需求市场必须要考虑耗铝行业的发展趋向。

目前常用的镁加工材主要有板、管、棒、型材和锻、冲压件等。由于镁合金构件轻而抗冲击性能好, 对碱、油等的化学稳定性又较高, 故广泛用于航空、航天工业部门, 其次才是交通、管道容器和核工业部门。从发展观点看, 由于镁-锆系列新合金的开发, 其应用领域和范围显然有迅速扩大的可能。尤其在航天、航空工业方面, 镁合金用做轻型结构材料, 有可能成为铝加工材的重要竞争对手。

钛加工材由于加工难度较大、成本高, 应用范围和发展速度受到一定程度的制约, 目前常用的钛材有板、管、棒、型、线材和锻件。其应用领域主要是航天、航空、航海(多属军工产品), 其次是化工、医疗器械等。看来钛加工材的发展, 今后在很大程度上依赖于开拓钛材民品市场和打开国际钛材市场销路。国外主要产钛国的钛材产量及消费比参见表1-4。

轻合金系统从加工角度看尽管获得了飞快发展, 但就生产规模、工艺、装备水平而言, 还远不如钢铁工业, 尤其在产品的质量 and 数量方面满足不了时代进步的客观需要, 这也说明轻合金系统是急待大力发展和全面改造的工业部门。世界各国正围绕着革新工艺、简化流程、减少设备、扩大品种、改善质量、提高生产效率、节资节能、降低成本及消除公害等方面开展科研、改进研

表 1-4 国外主要产钛国的钛材产量及消费比

国 别	1980		1982	
	钛材产量, 万吨	军用材比例, %	钛材产量, 万吨	军用材比例, %
美 国	2.7	>28	2.2	<20
日 本	0.55	<15	0.3	<15
苏 联	3.3	>50	2.5	<50

术和更新工艺装备等工作。在熔炼方面, 国外采用的新技术有电解铝液配料、喷射冲击对流加热熔铝; 熔盐电解法、“热解法”、电渣熔炼法、感应电渣熔炼法等熔炼钛; 半连续硅热法、溶渣导电法炼镁。融体精炼新技术有FILD法、469法、SNIF法、Mint法、泡沫陶瓷过滤法及动态真空处理法炼铝; 真空电渣法炼钛; 保护气氛精炼镁等。在铸造方面的新技术有电磁铸造法、热顶铸造法、连续铸轧法等。轻合金轧制不断向大型优质、高速、连续和自动化方面发展。轧机上采用了厚度和板型自动控制、液压压下弯辊、张力控制及电子计算机程序控制等新技术。在挤压方面采用了等温挤压、反向挤压、静液挤压、连续挤压和快速挤压、冷挤压、螺旋挤压、包套挤压、氮气保护挤压、有效摩擦挤压等新技术。拉拔方面的新技术有游动芯头、盘管拉伸、直线式无滑动拉伸。在轧管方面有多管轧制、高速轧制等。在锻造方面有多向模锻、精密模锻、液体模锻、包套模锻等新技术。在精整热处理方面有带材连续气垫热处理、连续拉伸矫直和精整、连续氧化上色和涂漆、直接淬火挤压、牵引—淬火—拉矫—锯切挤压新工艺。氧化上色方面出现了自然着色法、化学染色法、电解着色法等多种新技术。在合金化方面, 世界各国正向高强、高韧、超高温、超低温、高耐磨、高耐蚀、抗疲劳及超轻等方向发展, 并已研制出具有良好综合性能或具有某种特殊用途的新合金。此外, 在节能和三废处理方面也有许多行之有效的新技术出现。完全可以预料, 不久的将来, 轻合金及其加工产品的质量和数量、工艺技术和装备水平、生产规模和应用领域等各个方面, 均有条件与其它原材料产品竞争, 从目前的发展情况看, 轻合金产品部分或

全部取代钢铁产品已在很多应用部门基本实现〔4~10〕。

轻合金在我国应有更大规模的发展不仅必要，也完全可能。这是因为在我国“四化”建设中，轻合金产品长期处于短线；大力发展我国自己的铝、镁、钛工业已成为全国人民的共同心愿；丰富的铝、镁、钛资源；取之不尽的水电能源和可供千年开采的煤炭资源等都是我国大力发展轻合金的物质基础；30多年来已初步建成完整的轻合金工业体系，尤其是中央确立“优先发展铝”方针，把我国轻合金的高速发展已经推向新的阶段，整个轻合金系统将随之出现日新月异的崭新局面。

二、挤压在轻合金加工中的地位

挤压加工在轻合金工业体系中占有特殊的地位。这是因为近些年来，随着科学技术的不断进步和国民经济的飞速发展，使用部门都对轻合金产品的精度、形状、表面光洁度等各种质量指标提出了新的要求，而向用户保证供应符合各种质量要求的轻合金产品，采用挤压加工技术生产比用其它压力加工方法（如轧制、锻造等）有更大的优越性和可靠性。归纳起来，挤压加工有下列特点〔11~13〕：

（1）在挤压过程中，被挤压金属在变形区能获得比轧制、锻造更为强烈和均匀的三向压缩应力状态，这就可充分发挥被加工金属本身的塑性。因此，用挤压法可加工那些用轧制法或锻造法加工有困难甚至无法加工的低塑性难变形金属或合金。对于某些必须用轧制或锻造法进行加工的材料，如粉末钛材、LF6、LC4、MB15等合金的锻件等，也常用挤压法先对铸锭进行开坯，以改善其组织，提高其塑性。目前，挤压仍然是可以用铸锭直接生产产品的最优越的方法。

（2）挤压法不但可以生产断面形状较简单的管、棒、型、线产品，而且可生产断面变化、形状极复杂的型材和管材，如阶段变断面型材，逐渐变断面型材、带异形加强筋的整体壁板型材、形状极其复杂的空心型材和变断面管材、多孔管材等。这类产品用轧制法或其它压力加工方法生产是很困难的，甚至是不可