

轻合金挤压工具与模具(下)

冶金工业出版社

轻合金挤压工具与模具

(下 册)

刘静安 编著

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用工具与模具的特点、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

(下 册)

刘静安 编著

责任编辑 张 鹏

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街嵩蓟院北巷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 13 $\frac{1}{4}$ 字数347千字

1990年7月第一版 1990年7月第一次印刷

印数00,001~2,300册

ISBN 7-5024-0637-9

TG·102 定价10.65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渴望。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，

71062/04

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。这也是我热衷为该书作序的本意。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 (下 册)

第六章 挤压工模具制造	1
第一节 挤压工模具的加工特点及其对制模技术的要求	1
第二节 常用工模具材料及坯料准备	3
一、常用挤压工模具材料	3
二、坯料的熔炼与铸造	3
三、坯料的锻造技术要求和工艺要素	6
四、锻坯的进厂检验	20
第三节 挤压工模具制造方法及主要设备	23
一、挤压工模具的制造方法	23
二、制模工艺流程	24
三、主要制模设备	41
第四节 机械加工制模技术	47
一、车床加工	47
二、铣床加工	49
三、磨床加工	49
四、钳工加工	52
第五节 电加工制模技术	52
一、电加工制模概述	52
二、电火花成型加工	59
三、电火花线切割加工	95
四、霍布森 (Hobson) 加工法	119
五、电加工后的研磨加工与去应力处理	119
第六节 工模具的热处理	124

一、挤压工模具热处理的特点	124
二、主要热处理工序及典型的热处理设备	126
三、常用工模具钢的性能及热处理工艺特点	142
四、工模具的特殊热处理工艺	164
五、工模具热处理质量控制	199
六、典型热处理工艺曲线实例	204
第七章 挤压工模具的电子计算机辅助设计 (CAD)	
和辅助制造 (CAM)	210
第一节 概述	210
一、CAD/CAM 的基本概念	210
二、CAD/CAM 的基本内容和基本方法	213
三、CAD/CAM 的特点及发展趋势	219
四、CAD/CAM 在轻合金挤压加工中的应用	220
第二节 挤压工模具的CAD/CAM 技术	226
一、发展历史与现状	226
二、应用情况	227
三、硬件与软件	229
四、挤压工模具CAD/CAM 技术的优点及发展前景	233
第三节 挤压工模具CAD/CAM 系统的应用举例	236
一、美国伯特尔哥伦布实验室研究的技术	236
二、日本JAP T数控系统	240
三、英国BNF 挤压 模辅助设计系统	247
四、美国沃伯格 (Oberg) 精密模具数控加工系统	252
五、国内通用交互式微机CAD系统 及其应用	254
六、苏联用电子计算机设计扁挤压型材模例	258
七、苏联用电子计算机设计舌型模举例	263
八、挤压模具最佳轮廓曲线的计算机模拟实验研究	268
九、预应力多层挤压筒和组合模具的优化设计	278
第八章 挤压工模具的使用与修正	287
第一节 挤压工模具的合理使用	287

一、挤压筒的使用规范·····	287
二、挤压轴的使用规范·····	293
三、穿孔系统的使用规范·····	294
四、挤压模具的使用规范·····	295
第二节 挤压工模具的失效形式与损坏原因·····	296
一、大型基本工具的失效与损坏·····	296
二、穿孔系统的失效与损坏·····	298
三、模具的失效与损坏·····	300
第三节 模具的修正·····	302
一、修模原理·····	302
二、修模方法·····	305
三、修模工具·····	311
四、实心型材模的修正·····	322
五、空心型材模的修正·····	334
六、阶段变断面型材模的修正·····	340
七、试模、修模与氮化·····	347
第四节 大型基本工具的修理·····	347
一、挤压筒的维修·····	347
二、挤压轴的维修·····	348
三、穿孔系统的维修·····	349
第五节 挤压工具的翻新·····	349
第六节 挤压工模具的报废·····	350
一、模具的报废·····	350
二、大型工具的报废·····	350
第九章 挤压工模具的科学管理与提高使用寿命的途径·····	352
第一节 挤压工模具的科学管理·····	352
一、建立科学的管理制度·····	353
二、加强全面质量管理, 不断提高工模具质量·····	353
三、建立工模具质量管理(控制)点, 严密监视全过程的质 量·····	354

四、工模具设计的定型化、规范化和最优化·····	354
五、不断提高工模具的专业化、标准化水平·····	354
六、网络计划管理技术·····	356
七、工模具生产过程的科学管理·····	358
八、生产周期、使用寿命、价格分析与生产成本管理·····	358
九、制模车间生产体制管理·····	361
十、挤压工模具的行业管理·····	363
第二节 工模具使用寿命的基本概念·····	365
一、挤压工模具的使用寿命·····	365
二、工模具失效分析与鉴定·····	366
第三节 影响挤压工模具使用寿命的主要因素·····	368
第四节 提高工模具使用寿命的主要途径·····	371
一、合理设计工模具·····	371
二、合理选择工模具材料·····	371
三、提高热处理和表面处理质量·····	372
四、提高工模具的加工质量, 延长工模具的使用寿命·····	372
五、改进设备结构和挤压工艺条件, 改善工作环境·····	372
六、合理使用与维护工模具·····	373
七、加强全面质量管理, 建立健全工模具的科学管理制度·····	373
附录一 各国最常用的变形铝合金牌号对照表·····	374
附录二 最常用的变形镁合金化学成分表·····	376
附录三 各国最常用的钛合金化学成分表·····	380
附录四 常用工模具钢材各国近似牌号对照表·····	383
附录五 黑色金属硬度换算表 (国标GB 1172—74)·····	385
附录六 常用工模具钢的热处理制度与硬度参照表·····	388
附录七 常用工模具钢的硬度与回火温度的对照表·····	390
附录八 合金元素对工模具火花特征的影响·····	391
附录九 国外挤压工模具CAD/CAM系统举例·····	392
附录十 本书中常用单位换算表·····	394
附录十一 国外H系列热作模具钢的热处理工艺·····	396

附录十二	国外H系列热作模具钢的使用硬度	398
附录十三	国外H系列热作模具钢的常 温 及600℃的 力学性能	399
附录十四	某些型材模的设计举例	400
附录十五	各国常见挤压机系列及挤压筒规格、比压 范围	407
参考文献		408

第六章 挤压工模具制造

第一节 挤压工模具的加工特点及其 对制模技术的要求

与工模具的设计一样,挤压工模具的制造也是决定其质量和使用寿命的关键因素之一。由于轻合金挤压工模具具有一系列特点,因此对制模技术提出了一些特殊要求:^[11.32.77]

(1) 由于轻合金挤压工模具的工作条件十分恶劣,在挤压过程中需要经受高温高压高摩擦的作用,因此,要求使用高强耐热合金钢,而这些钢材的熔炼、铸造、锻造、热处理、机械加工和表面处理等工艺过程都非常复杂,这给模具加工带来了一系列的困难。

(2) 为了提高工模具的使用寿命和保证产品的表面质量,要求模腔工作带的粗糙度达到 $\sqrt{0.8} \sim \sqrt{0.05}$,模子平面的粗糙度达到 $\sqrt{1.6}$ 以上,因此,在制模时需要采取特殊的抛光工艺和抛光设备。

(3) 由于挤压产品向高、精、尖方向发展,有的型材和管材的壁厚要求降到0.5mm左右,其挤压公差要求达到 ± 0.05 mm左右。为了挤压这种超高精度的产品,要求模具的制造精度达到 ± 0.01 mm。这用传统的工艺是根本无法制造出来的,因此,要求更新工艺和采用新型专用设备。

(4) 轻合金型材十分复杂,特别是超高精度的薄壁空心型材和多孔空心壁板型材,要求采用特殊的模具结构,往往在一块模子上同时开设多个异形孔腔,各截面的厚度变化急剧,相关尺寸繁杂,圆弧拐角很多,这给模具的加工和热处理带来了很大麻烦。

(5) 挤压产品的品种繁多, 批量小, 换模次数频繁, 要求模具的适应性强, 因此, 要求提高制模的生产效率, 尽量缩短制模周期, 能很快变更制模程序, 能准确无误地按图纸加工出合格的模子, 把修模的工作量减小到最低程度。

(6) 由于轻合金挤压产品应用范围日趋广泛, 规格范围十分宽广, 因此, 有轻至1kg以下的外形尺寸为 $\phi 100 \times 25\text{mm}$ 的小模子, 也有重达1000 kg以上的外形尺寸为 $\phi 1200 \times 300\text{mm}$ 的大模子。有轻至几千克的 $\phi 65 \times 800\text{mm}$ 的小型挤压轴, 也有重达100t以上外形尺寸为 $\phi 2300 \times 2500\text{mm}$ 的大型挤压筒。工模具的规格和重量上的巨大差异, 要求采用完全不同的制造方法和程序, 采用完全不同的加工设备。

(7) 挤压工模具的种类繁多, 结构复杂, 装配精度要求很高, 除了要求采取特殊的加工方法和采用特殊的设备以外, 尚需采用特殊的工装卡具和刀具以及特殊的处理方法。

(8) 为了提高工模具的质量和使用寿命, 除了选择合理的材料和进行优化设计以外, 尚需采用最佳的热处理工艺和表面处理工艺, 以获得适中的模具硬度和高的表面质量, 这对于形状特别复杂的难挤压制品和特殊结构的模具来说显得特别重要。

由此可见, 挤压工模具的加工工艺不同于一般的机械制造工艺, 而是一门难度很大涉及面很广的特殊技术。为了制造出高质量和高寿命的模具, 除了要具备丰富的材料学知识, 选择和制备优质的模具材料外, 尚需要制定合理的冷加工工艺、电加工工艺、热处理工艺和表面处理工艺。

随着科学技术的进步, 特别是机械工业和电子工业的飞速发展, 近年来挤压工模具制造技术也获得了重大的发展。例如, 在模孔加工工艺上, 已由50年代的对样板加工, 发展到了目前的电加工模孔; 在操作方法上已由手工为主的操作, 发展成为半机械化, 机械化乃至自动化加工; 主要加工设备已用数控机床、电火花机床、电火花线切割机床代替了过去的普通机床等。由于新工艺、新技术和新设备的出现和大量采用, 从而把工模具的加工技

术推向了一个新的水平。

第二节 常用工模具材料及坯料准备

一、常用挤压工模具材料^[41~45]

在第三章中对挤压用工模具材料的历史、现状和发展趋势已作了较全面的分析,列举了国内外主要模具材料的牌号、化学成分、内部组织特征和力学性能。在本节中仅列出我国目前能大量生产并纳入国标,在挤压生产中广泛应用的挤压工模具材料的化学成分和力学性能,见表6-1。

表 6 1 我国常用的挤压工模具钢的化学成分和力学性能

钢 号	化 学 成 分, 重量%				
	C	Si	Mn	Cr	Mo
3Cr2W8V	0.3~0.4	0.40	0.40	2.2~2.7	—
5CrNiMo	0.5~0.6	0.5~0.6	1.2~1.6	0.6~0.9	0.15~0.30
5CrMnMo	0.5~0.6	0.40	0.5~0.8	0.5~0.8	0.15~0.30
4Cr5MoSiV	0.32~0.48	0.8~1.2	0.40	4.5~5.5	1.0~1.5
4Cr5MoSiM	0.32~0.48	0.8~1.2	≤0.40	4.5~5.5	1.0~1.5
4Cr5W2SiM	0.32~0.42	0.8~1.2	0.40	4.5~5.5	—

钢 号	化学成分, 重量%			力学性能 (热处理后)			
	Ni	V	W	σ_b , MPa	$\sigma_{0.2}$, MPa	δ , %	ψ , %
3Cr2W8V	—	0.2~0.5	7.5~9.0	1900	1750	7.0	25
5CrNiMo	—	—	—	1460	1380	9.5	42
5CrMnMo	1.4~1.8	—	—	1180	970	9.3	37
4Cr5MoSiV	—	0.3~0.5	—	1580	1380	15.0	52
4Cr5MoSiV1	—	0.8~1.0	—	1500	1340	12.5	48
4Cr5W2SiV1	—	0.8~1.10	1.6~2.4	1870	1660	9.5	42.5

二、坯料的熔炼与铸造^[44,45]

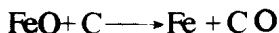
工具钢坯在熔炼和铸造过程中,由于物理和化学变化,常会产生一些铸造缺陷,对于挤压工模具用的高合金钢来说,最常见的缺陷有偏析、疏松、非金属夹杂物、气泡、缩孔等。由于这些缺陷的出现,会大大降低钢坯的质量,对随后的加工过程带来不

良后果,而且可能影响工模具的综合性能,降低工模具的使用寿命,因此,为了提高模具钢材的质量,首先应采用先进的熔炼与铸造方法,以获得优良的合金质量,即保证钢材的化学成分在规定的范围内,力求减少钢锭的宏观偏析和显微偏析,保证钢材的组织致密度、良好的高低倍组织和细而均匀的晶粒度,尽量减少钢中的有害气体(氢、氮等)及非金属夹渣,减少钢中有害杂质元素硫、磷、砷、铜等,以提高钢材纯净度和均匀性。

(一) 现代炼钢工艺

在炼钢炉中,通过控制生铁与废铁或废钢混合物的氧化,把钢中过量的碳降低到要求的水平。炼钢工艺所使用的炉子主要有碱性氧化转炉,碱性平炉和电弧炉。在脱碳过程中或脱碳以后,通过加入锰、铬、镍、钒等元素或中间合金制成合金钢。下面分别讨论:

(1) 碱性氧气转炉炼钢法。这是目前采用较广的方法。用这种方法时,把液态生铁和30%废钢装入内衬耐火材料的桶形转炉中,氧枪从转炉顶部插入。氧枪喷出的纯氧在液体熔池和铁反应生成氧化铁,钢中的碳和氧化铁反应生成一氧化碳



在氧化反应开始后,马上加入一定量的造渣熔剂进行造渣。

用该法炼钢,由于不需要外部燃料,可以避免来自外部燃料的杂质硫;由于用纯氧精炼,氮含量通常在0.004%左右;由于残余氧的含量低,只需要较小量的脱氧剂。因此,用碱性氧气转炉炼钢法在化学成分均匀性和钢液纯净性方面要优于碱性平炉炼钢法,同时,因杂质含量较低,容易和真空脱氧与浇注配合使用。

(2) 碱性平炉炼钢法。在这种方法中,熔池被一层碱性渣所覆盖,以便在加入铁矿石或使用氧气去碳的同时去除杂质磷和硫。其主要缺点是炼一炉钢需要6~10h,经济效益低,所以有逐渐被淘汰的趋势。

(3) 电弧炉炼钢法。在这种方法中,可调电极被降到刚好

在冷废钢装料线以上，在电极和废钢之间触发电弧导致钢的熔化。电弧炉投资费用低，而且可以重熔废钢。这种方法还用于生产易氧化合金元素（如铬、钨、钼等）含量较高的特殊合金钢以及用来生产硫、磷含量要求很低的某些合金钢。

（二）钢锭的铸造工艺

在钢液达到要求的化学成分以后，从炼钢炉中放出并注入一个大的容器或钢水包中，有时在钢水包中加入一些合金元素或脱氧剂（如铝或硅）到熔融钢水中以进一步调整钢的化学成分或去除氧气。然后，把钢液浇铸到高的矩形固定钢锭模中或放入中间包以备连续铸造。随着钢铁工业的发展和技术水平的提高，连续铸造钢坯可以用较低的成本生产出更高质量的钢材。为了保证模具坯料的质量，除了严格控制化学成分，调整合金元素，采用先进的脱氧、除气、去渣等精炼技术以外，尚需要严格控制熔炼温度、熔炼时间、浇铸温度、浇铸速度、水冷强度、结晶器的高度等工艺参数。特别是对于像3Cr2W8V之类的高合金钢来说，由于其熔铸工艺复杂，组织性能和表面质量很难控制，所以要严格选择熔炼（精炼）和铸造的方法以及合理确定各种熔铸工艺参数。

（三）挤压工模具钢的特殊冶炼方法

为了提高模具钢的纯净度和均匀性，国内外的冶金学家和材料学家进行了广泛的研究，并取得了很大的进展。目前，电渣重熔、真空自耗熔炼、炉外精炼、AOD熔炼/精炼和钢包吹氧等特殊冶炼方法在高强耐热合金钢生产中获得了日益广泛的应用。电渣重熔可以除去氧化物杂质，减少成分偏析和避免缩孔和疏松，提高钢锭的致密度。对于莱氏体工模具钢，采用电渣重熔后，能使碳化物均匀地分布，这对提高模具使用寿命十分有效，而且可减少热处理变形。真空熔炼的主要效果是可以去除钢中的气体（如氧）与氧化物夹杂。钢包吹氩和AOD精炼法能大大提高钢锭的纯净度。就目前来说，电渣重熔法的效果比较明显，能获得较高且均匀的组织性能，设备也不大复杂，有较大的生产价值。

三、坯料的锻造技术要求和工艺要素^[71]

用作挤压工模具的钢坯，都应重新加热到一定的温度并保证足够长的时间，以便钢锭能够均匀地热透，然后将其热轧或锻造成要求的形状。锻造或热轧是挤压工模具制坯的一道很重要的工序，其目的是：得到一定几何形状和尽可能接近所加工的工模具的尺寸，以节约原材料和加工工时；通过锻造（或热轧），使材料的组织细密、碳化物分布和流线分布合理，从而改善热处理性能，提高钢材的综合性能和模具的使用寿命。

（一）坯料的锻造（热轧）技术要求

1. 锻件的几何形状与加工余量

由于挤压工模具的生产批量较小，绝大多数零件为圆饼形、圆筒形或细长的圆柱形，只有少数为矩形、T形或阶梯形。所以通常采用热轧法（热轧圆棒或方棒）和自由锻造法来制坯。坯料的机械加工余量既要考虑坯料在锻造或热轧过程中表面会产生锻造夹层、裂纹、氧化皮、脱碳层和锻造不平等因素的影响而不能太小，又要考虑到机械加工的工作量而不应太大。各类锻件（包括热轧圆棒和圆形锻件）的最小机械加工余量及锻造公差推荐按表6-2、6-3选用。

2. 坯料的改锻

对于热处理质量、综合性能和使用寿命要求较高的工模具零件，其坯料应采用改锻工艺。改锻也就是根据工模具零件的形状、尺寸和对组织性能的要求，将热轧的棒材或锻坯锯切成适当的尺寸，然后在锻造设备上经多次镦粗拔长或其它工序进行变形的过程。其目的在于：

（1）改进锻件（或轧件）的致密度，使组织均匀、晶粒细密，以求改善其使用性能；

（2）改变锻件（或轧件）的流线方向或使流线弯曲，以求改善力学性能和使用性能；

（3）改善锻件和热轧件的碳化物分布状况，并提高其等级，以求改善其热处理性能及使用性能。