

Rejiya

Moju Sheji yu Zhizhao Jichu

热挤压模具设计与制造基础

樊 刚 主编

Rejiya

重庆大学出版社

热挤压模具设计与制造基础

樊 刚 主 编

重庆大学出版社

内 容 简 介

本书系统地阐述了热挤压模具设计与制造基础,尤其是对有色金属的热挤压模具与制造作了系统的论述。同时,对有色金属的热挤压特性、热挤压模具的使用与管理、热挤压工具的设计与制造基础也作了较为全面的介绍。

本书可作为金属材料工程、材料成形及控制工程本科专业的教学用书,也可作为中专及专科学校压力加工专业、模具专业的参考教材,还可为从事金属挤压工作的工程技术人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

热挤压模具设计与制造基础/樊刚主编. —重庆:重庆大学出版社,2001.5

ISBN 7-5624-2235-4

I. 热... II. 樊... III. ①热加工-挤压模-设计 ②热加工-挤压模-制造 IV. TG375

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 05357 号

热挤压模具设计与制造基础

樊 刚 主 编

责任编辑 曾显跃

*

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

重庆大学建大印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:13 字数:324 千

2001 年 5 月第 1 版 2001 年 5 月第 1 次印刷

印数:1—2000

ISBN 7-5624-2235-4/TG·36 定价:20.00 元

前言

在工业生产中,热挤压加工方法占有一定的比例,但在有色金属加工领域中,热挤压加工方法不仅是一种应用广泛的加工方法,而且也是目前有色金属加工的主要方法,具有十分重要的地位。热挤压模具的合理设计与正确制造是热挤压加工过程的关键,但长期以来,在有色金属热挤压加工的模具设计和模具制造方面,一直缺少系统的资料和书籍,还没有一本专门介绍有色金属热挤压模具设计与制造方面的教材供学生使用。鉴于这种情况,编者将有关这方面的资料编写成《热挤压模具设计与制造基础》一书。

本书在介绍了挤压技术、有色金属挤压特性、热挤压模具的分类及装配形成和主要热挤压工具设计基础的前提下,着重介绍了热挤压模具设计与热挤压模具制造的基础知识。在热挤压模具设计基础中,主要介绍了生产棒材、管材和型材的模具设计知识,并介绍了热挤压模具计算机辅助设计(CAD)与辅助制造(CAM)的情况,用热挤压模具设计的实例说明了设计的全过程;在热挤压模具制造基础中,从模坯准备到模具的加工完成,对全过程进行了论述,并介绍了热挤压模具加工制造的主要设备;最后,根据生产实际情况,介绍了热挤压模具的正确使用、合理修正及科学管理。本书对热挤压模具设计、模具制造及模具使用的基础知识作了较为系统的阐述,可作为金属材料工程、材料成形及控

制工程本科专业的教学用书,也可作为中专及专科学校压力加工专业、模具专业等的参考教材,同时也为从事金属挤压工作的工程技术人员提供参考。

本书是在唐光均老师的自编教材《铝材热挤压模具设计与制造基础》的基础上,由编者进行总结和补充,重编了该教材。在两届学生的教学实践中,再次进行了总结完善后,向原中国有色金属工业总公司申请正式出版,于1996年被原中国有色金属工业总公司列为“有色总公司‘九五’教材出版规划”的教材之一,由昆明理工大学主编,南方冶金学院参编,于1998年底完稿,本书由昆明理工大学材料与冶金工程学院樊刚(第1,2章)、唐光均(第4章)、张家涛(第2章的第8节)、南方冶金学院材料系柳瑞清(第3章)共同编写。樊刚担任主编,昆明理工大学史庆南教授任主审,胡大禄教授、顾崑教授对本书提出了许多宝贵的意见,在此一并深表谢意,同时对唐光均教授对编者的关心、帮助与支持表示衷心感谢。

由于编者水平有限,经验不足,书中难免存在错误与疏漏之处,诚愿希望广大读者批评指正。

编 者

1998年12月

目 录

第1章 概论	1
1.1 挤压技术简介	1
1.1.1 挤压方法的分类	1
1.1.2 挤压的基本方法	1
1.1.3 热挤压法	4
1.1.4 热挤压有色金属制品及其用途简介	7
1.1.5 热挤压模具技术的发展趋势	8
1.2 有色金属挤压特性	9
1.2.1 铝及铝合金	9
1.2.2 铜及铜合金	10
1.2.3 镁及镁合金	10
1.2.4 钛及钛合金	11
1.2.5 镍及镍合金	11
1.3 热挤压模具的分类及装配形式	13
1.3.1 热挤压模具在有色金属生产中的应用	13
1.3.2 挤压加工成形部位的结构	13
1.3.3 热挤压工艺对模具的要求	14
1.3.4 热挤压模具的分类	15
1.3.5 热挤压模具的组装方式	17
1.4 模具设计与制造的充要条件	19
1.4.1 模具设计与制造的概念	19
1.4.2 模具设计的充要条件	19
1.4.3 模具制造的充要条件	19
1.5 热挤压工具的设计基础	19
1.5.1 热挤压工具的种类及基本结构形式	19
1.5.2 挤压筒设计简介	24
1.5.3 挤压轴设计简介	31
1.5.4 穿孔针设计简介	36
1.5.5 挤压垫片设计简介	42
复习思考题	45
第2章 热挤压模具设计	46
2.1 热挤压模具设计基础	46
2.1.1 挤压制品与模具的关系	46
2.1.2 断面形状	47
2.1.3 变形程度	47

2.1.4	直角部位的圆角半径	49
2.1.5	尺寸偏差	49
2.2	热挤压模具设计的基本要素	49
2.2.1	模角 α 的选取	49
2.2.2	工作带长度 h 的确定	49
2.2.3	模孔尺寸的确定	50
2.2.4	模孔配置	51
2.2.5	模具入口处圆角半径 r	51
2.2.6	模具出口部位结构及尺寸	51
2.2.7	模具的外形尺寸	52
2.3	棒材热挤压模具设计	54
2.3.1	模孔数目的确定	54
2.3.2	模孔位置的排列	55
2.3.3	模孔尺寸的确定	56
2.3.4	模孔工作带长度的确定	57
2.3.5	棒材模的外形尺寸	58
2.3.6	棒材模的强度校核	58
2.4	实心型材热挤压模具设计	59
2.4.1	模孔的合理配置	59
2.4.2	减少金属流动不均匀的措施	62
2.4.3	型材模孔尺寸的确定	67
2.5	管材与空心型材热挤压模具设计	73
2.5.1	无缝管材热挤压模具设计	73
2.5.2	穿孔针设计	76
2.5.3	异型断面管材模具设计	76
2.5.4	舌形模设计	77
2.5.5	平面分流模设计	83
2.5.6	平面叉架模设计简介	91
2.6	专用热挤压模具设计简述	92
2.6.1	宽展模设计	93
2.6.2	导流模设计	94
2.6.3	保护模设计	95
2.6.4	水冷模设计	96
2.6.5	Conform 无残料连续挤压模简介	97
2.7	变断面型材热挤压模具设计简介	99
2.7.1	阶段变断面型材模具设计	99
2.7.2	逐渐变断面型材模具设计	105
2.8	热挤压模具的计算机辅助设计与制造	108
2.8.1	模具 CAD/CAM 系统的总体考虑	108
2.8.2	铝合金热挤压模的计算机辅助设计	111
2.8.3	桥式挤压模的计算机辅助设计	115
2.8.4	实例: 铝合金挤压用平面模 CAD/CAM 系统总体方案分析	117

2.8.5 热挤压模具的计算机辅助制造	121
2.9 热挤压模具设计实例	123
2.9.1 实际模具设计示例之一	123
2.9.2 实际模具设计示例之二	125
复习思考题	128
第3章 热挤压模具制造基础	129
3.1 模坯的准备	129
3.1.1 模具材质的选取	129
3.1.2 模坯的加工	131
3.2 热挤压模具的加工制造	135
3.2.1 热挤压模具的机械加工	135
3.2.2 热挤压模具的电加工	138
3.2.3 热挤压模具的研磨抛光	148
3.2.4 热挤压模具加工后的热处理	151
3.2.5 热挤压模具加工的典型工艺流程	157
3.3 热挤压模具加工制造的主要设备简介	162
3.3.1 机械加工设备	162
3.3.2 电加工设备	163
3.3.3 热处理设备	169
复习思考题	173
第4章 热挤压模具的使用修正和管理	175
4.1 热挤压模具的正确使用	175
4.1.1 模具的使用寿命及有关问题	175
4.1.2 模具的正确使用	177
4.2 热挤压模具的合理修正	179
4.2.1 热挤压模具修正的有关事项	179
4.2.2 模具修正的基本方法	181
4.2.3 热挤压模具使用中的合理修整	184
4.3 热挤压模具的科学管理	192
4.3.1 模具的计划管理	192
4.3.2 模具的技术管理	194
4.3.3 模具的使用管理和维修管理	196
复习思考题	197
参考文献	198

第1章 概 论

1.1 挤压技术简介

挤压是将金属毛坯放入模具模腔内,在强大压力和一定速度的作用下,迫使金属从模腔中挤出,从而获得所需形状、尺寸以及具有一定力学性能的制品。因此,挤压加工是利用模具来控制金属流动,使金属体积大量转移来形成零件。挤压的成形速度范围很广,它既可在专用挤压机上进行,也可在一般的机械压力机、液压机、磨擦压力机以及高速空气锤上进行;挤压的成形温度范围也很广,它既可在常温、中温下进行,也可在高温中进行。根据制品形状的要求,有各种与之相配的模具。挤压模具是挤压生产中最重要的工具,它的结构形式、各部分尺寸、模具材料、模具的装配形式等,对挤压力、金属流动的均匀性、制品尺寸的稳定性、制品表面质量以及模具自身的使用寿命等都产生极大的影响。

1.1.1 挤压方法的分类

(1)按锭坯的温度不同分类

- 1)冷挤压 在室温中对锭坯进行挤压。
 - 2)温挤压 将锭坯加热到金属再结晶温度以下的某个适当的温度范围内进行挤压。
 - 3)热挤压 将锭坯加热到金属再结晶温度以上的某个适当的温度范围内进行挤压。
- 一般而言,冷挤压和温挤压都属于冷加工范畴。

(2)按毛坯材料种类不同分类

- 1)有色金属挤压 被挤压毛坯材料为有色金属及其合金。
- 2)黑色金属挤压 被挤压毛坯材料为黑色金属及其合金。

1.1.2 挤压的基本方法

根据挤压时金属流动方向与挤压轴运动方向之间的关系,常见的挤压方法有:

(1)正向挤压法

正向挤压是挤压生产中应用最广泛的一种方法,主要特点是挤压时金属的流动方向与挤压轴的运动方向一致。在挤压过程中挤压筒固定不动,锭坯在挤压轴压力的作用下沿着挤压筒内壁向前移动,使得锭坯表面与挤压筒内壁发生激烈的摩擦并引起锭坯的温度升高。正向挤压又分为实心件正向挤压(图 1-1)和空心件正向挤压(图 1-2,图 1-3),空心件正向挤压又分为固定针空心挤压和随动针空心挤压(图 1-3)。

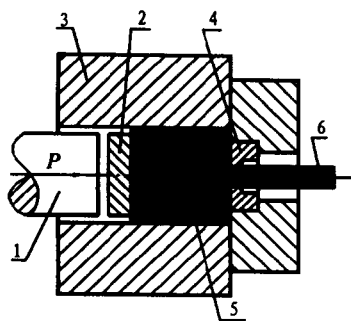


图 1-1 棒材、实心型材正向挤压

1—挤压轴;2—挤压垫;3—挤压筒;
4—挤压模;5—锭坯;6—挤压制品

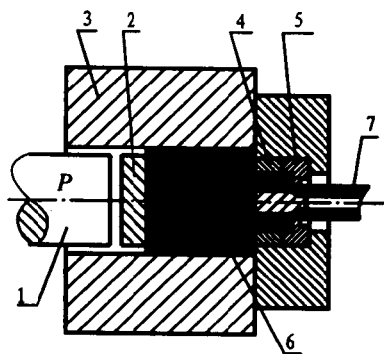


图 1-2 焊接管材、空心型材正向挤压

1—挤压轴;2—挤压垫;3—挤压筒;
4—上模;5—下模;6—锭坯;7—挤压制品

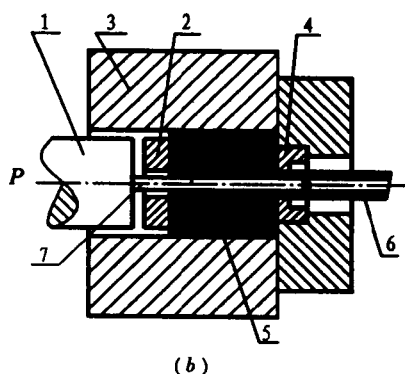
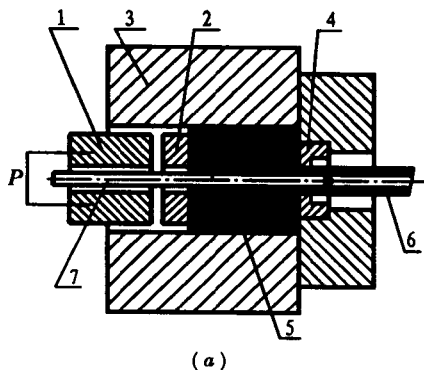


图 1-3 无缝管材正向挤压

(a) 固定针挤压; (b) 随动针挤压

1—挤压轴;2—挤压垫;3—挤压筒;4—挤压模;5—锭坯;6—挤压制品;7—穿孔针

正向挤压生产的特点是:制品的尺寸范围广,灵活性大,自动化简单,投资费用少,易分离残料;但由于挤压过程中锭坯表面与挤压筒内壁的激烈摩擦,从而使挤压力损失 30% ~ 40%,同时,摩擦产生的温度使锭坯的温度不均匀,导致金属流动不均匀。为避免由于流动不均造成制品产生裂纹等缺陷必须降低挤压速度,从而导致生产效率降低,挤压残料较厚。

(2) 反向挤压法

反向挤压法是针对正向挤压法在挤压过程中锭坯表面与挤压筒内壁发生激烈摩擦的情况出现的另一种挤压方法。主要特点是:挤压时金属的流动方向与挤压轴的运动方向相反,使挤压过程中的锭坯表面与挤压筒内壁之间无相对运动,改变了金属在挤压筒内流动的力学条件,减小了所需的挤压力,降低了变形的不均匀性。常见的反向挤压法有带堵头反向挤压和双挤压轴反向挤压两种,如图 1-4 和图 1-5 所示。

反向挤压生产的特点是:可减小总挤压力的 30% ~ 40%,适用于硬合金挤压生产,金属的流动性较好,从而使挤压制品的组织性能均匀,但由于受到挤压轴、挤压模的限制,使挤压制品的表面质量欠佳,而且对锭坯表面质量要求严格,分离残料困难。由于受到设备条件及分离残料困难等因素的限制,因而使其在工业生产中的运用受到很大限制,但近年来随着生产技术

的发展和设备结构的改进,在实际生产中反向挤压又有新的发展。

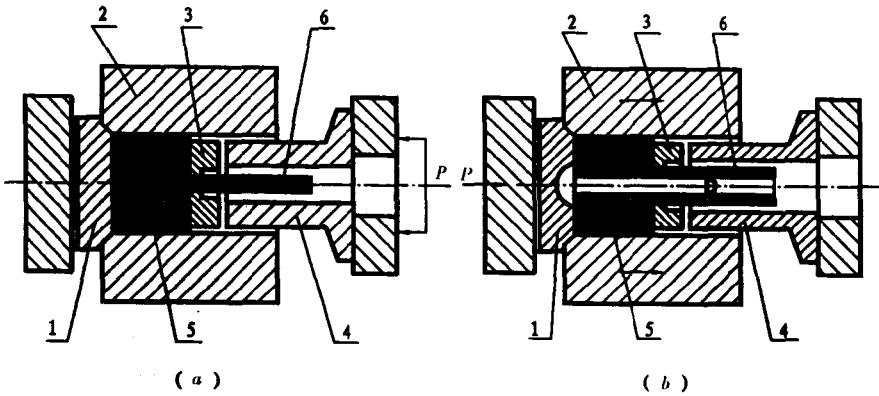


图 1-4 带堵头的反向挤压法

(a) 挤压轴与挤压模运动,堵头与挤压筒固定;(b) 堵头与挤压筒同步运动,挤压轴与挤压模固定

1—堵头;2—挤压筒;3—挤压模;4—挤压轴;5—锭坯;6—挤压制品

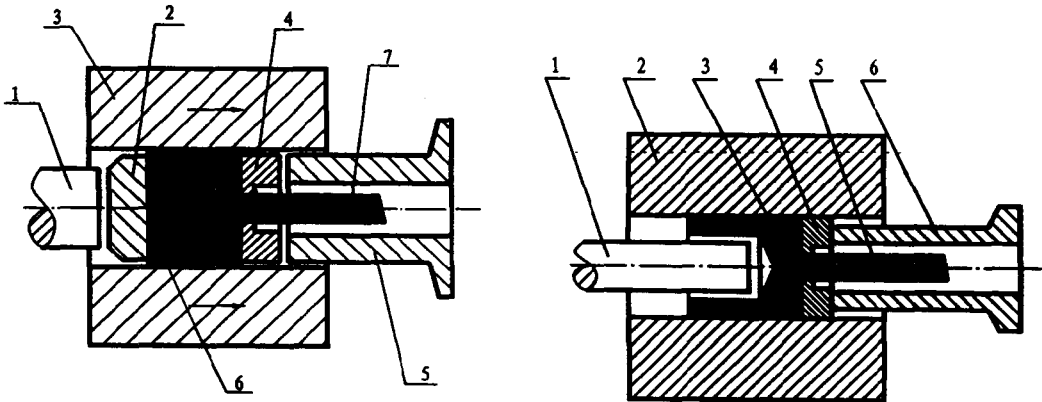


图 1-5 用双挤压轴的反向挤压法

1—挤压轴;2—挤压垫;3—挤压筒;

4—挤压模;5—空心挤压轴;6—锭坯;7—挤压制品

(3) 复合挤压法

复合挤压法将正向挤压法和反向挤压法的特点结合起来,生产断面形状为圆形、方形、六角形、齿形、花瓣形的双杯类、杯杆类和杆杆类挤压件,也可以制造等断面的不对称挤压件。复合挤压法是在挤压时使锭坯的一部分金属的流动方向与挤压轴的运动方向相同,而另一部分金属的流动方向与挤压轴的运动方向相反,如图 1-6 所示。

(4) 其他挤压法

1) 减径挤压法

它主要是使锭坯断面作轻度缩减,如图 1-7 所示。它适用于制造在径差不大的阶梯轴类挤压件以及作为深孔薄壁杯形件的修整工序。

2) 径向挤压法

图 1-6 复合挤压法

1—实心挤压轴;2—挤压筒;3—锭坯;

4—挤压模;5—挤压制品;6—空心挤压轴

挤压时,金属的流动方向与挤压轴的运动方向相垂直。用该挤压法可以制造十字轴类挤压件,也可以制造花键轴的齿形部分以及直齿和小模数螺旋齿轮的齿形部分等,如图 1-8 所示。

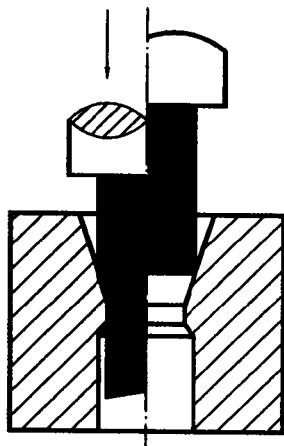


图 1-7 减径挤压

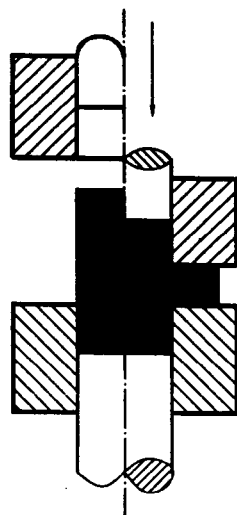


图 1-8 径向挤压

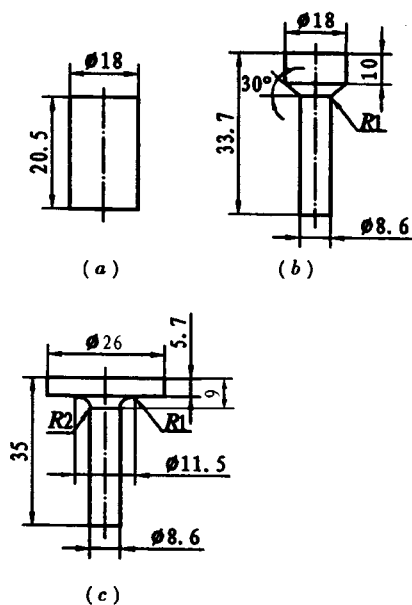


图 1-9 支承杆镦压

3) 镦挤复合挤压法

它是将局部镦粗和挤压结合在一起的加工方法,主要用于制造凸缘或粗腰形的杆类挤压件,如图 1-9 所示。

1.1.3 热挤压法

热挤压工艺试验研究是在 1925 年法国的于仁恩电炉钢公司进行的,但直到 1941 年,一种适用于热挤压的玻璃润滑剂发明以后,热挤压工艺才逐步走向工业化。从此,世界各国相继采用热挤压法来挤压制造普通等截面的长形件、棒、管、型材等。这些挤压件可直接作为结构件或者切断后予以精加工作为机器零件使用。

热挤压加工是在挤压前将毛坯加热到金属再结晶温度以上的某个适当温度范围内进行挤压。表 1-1 为常见有色金属与部分碳钢的再结晶温度及熔点。

表 1-1 金属的再结晶温度及熔点

金 属	Pb	Sn	Zn	Mg	Al	Cu	Ni	Fe	C 0.1% 钢	C 0.2% 钢	C 0.45% 钢
再结晶温度/℃	室温	室温	200	150	150	200	600	450	580 ~ 600	600 ~ 630	630 ~ 650
熔点/℃	237.4	232	419.4	650	660	1 083	1 455	1 539			

热挤压方法是从挤压有色金属开始的。近半个多世纪以来,随着机械工业与航空工业的迅速发展,要求钢材品种日益增多,断面形状也日益复杂,在轧制技术难以满足这些高技术要求的情况下,黑色金属的挤压技术也受到重视。钢的热挤压技术转入工业化生产已有 30 多年的历史,一些国家先后兴建了专门生产挤压型钢和钢管的工厂,装备了现代化的大功率挤压设备,掌握了难于或不可能用其他热加工方法生产各种高级钢种和复杂断面的生产工艺。但目前,热挤压生产在黑色金属方面的运用日趋减少,其主要原因有几个方面:一是生产效率低,黑色金属的热挤压生产属于间断生产,不能进行连续挤压生产;二是成品率低,由于是间断生产,故其产生的压余及需要切除的前端占原材料的比重较大,而且受挤压筒大小与冷床长度的限制,单根料坯的长度不能太长,同时,由于加热时有氧化脱碳等现象存在,材料的利用率相对较低;三是工模具消耗大,由于黑色金属的热挤压温度一般都在 1 100 ℃ 以上进行,这样对模具材料要求严格,挤压过程中工模具的磨损严重,寿命较短,工模具费用在成本中占的比例较大;四是设备投资费用高,如钢管的热挤压生产,必须配备专用穿孔机,而且挤压机吨位较大。因此,对于黑色金属的管、棒、型材等产品的生产多采用热轧等方式进行,虽然轧制的精度偏低,但由于成本较低,故应用较为广泛,仅仅对一些不能轧制的低塑性合金或少数特殊用途、技术要求高的钢种用热挤压方法进行生产。而对于有色金属的加工,热挤压方法表现出了较多的优点,因而占据十分重要地位。这是由于许多有色金属(如铝及其合金)由于塑性好,变形抗力小,特别适合于热挤压加工,而对许多塑性很差的有色金属(如镁及镁合金),也只能采用热挤压成形。同时,在生产效率、产品的成品率、工模具损耗在成本中的比例、设备的投入等方面都呈现出较好的竞争势态。因此,在本教材中主要介绍有色金属的热挤压模具设计与制造基础。

热挤压工艺与冷挤压工艺相比,它具有几个特点:由于在再结晶温度以上的某个温度范围内挤压,提高了金属塑性,减小了变形抗力,因此,可以挤压强度较高、挤压断面形状复杂、尺寸较大的制品,生产方法也比较灵活,可以连续生产,但对模具材料有一定的耐热性要求,而且在热态下加工出的制品表面粗糙度不高,降低了制品的尺寸精度,材料的利用率也不如冷挤压加工。

热挤压工艺过程包括以下几个方面:锭坯的制备→锭坯的加热→表面润滑处理→挤压工模具的预热→挤压→切压余和卸模→(精加工)。

(1) 锭坯的制备

用于热挤压生产的锭坯,一般都是铸造而成的圆锭,圆锭是用于圆挤压筒,对于扁挤压筒则要求与之相适应的扁锭,然后根据计算切割成所需的长度。对于棒材、实心型材、排材的热挤压生产均用实心铸锭,在带有穿孔系统的挤压机上生产管材也用实心铸锭,若无穿孔系统则采用空心锭坯,需要先在实心锭坯上钻孔或直接铸造出空心锭坯。若锭坯表面质量较差,缺陷较多,将严重影响挤压制品的质量,则需对锭坯表面进行处理,如冷车削与冷削皮等。对于某些压力加工性能很差的合金,如镁合金,则需对锭坯进行退火处理,以提高其可挤压性。

(2) 锭坯的加热

将准备好的锭坯放入电阻炉或工频感应加热炉中加热,加热时必须严格控制加热温度,当加热温度超过规定值时,必须冷却后才能挤压。有色金属锭坯的最高加热温度、最大单位挤压力及最大挤压比见表 1-2。加热过程中需注意加热速度及保温时间,有的合金还需注意加热气氛,如镍及镍合金的加热要在含硫较低的气氛中加热。

表 1-2 有色金属的热挤压锭坯加热温度、允许的最大单位挤压力及挤压比

有色金属种类		最高锭坯加热温度/℃	最大单位挤压力/MPa	最大挤压比	有色金属种类		最高锭坯加热温度/℃	最大单位挤压力/MPa	最大挤压比
铜及铜合金	纯 Cu	900	800	280	镁及镁合金	纯 Mg	300	800	200
	Hs58	700	700	700		Mg-Mn	420	800	100
	Hs68	800	800	450		Mg-Al ₃	400	800	80
	Hs87	900	800	100		Mg-Al ₉	360	1 000	60
	QAl ₉	920	1 000	100	锌及锌合金	纯 Zn	200	800	200
	QSn ₈	750	1 000	30		Zn-Al ₄	300	1 000	60
	QPb ₄	650	1 000	30		Zn-Cu ₄	350	1 000	60
	CuNi70/30	900	1 000	30		ZnAlCu	350	1 000	50
铝及铝合金	纯 Al	500	800	1 000	钛及钛合金	纯 Ti	900	750	20
	Al-Mn	500	800	500		TB ₁₋₁	1 050	700	35
	AlMgSi	480	800	250		TC ₄	950	800	10
	AlMgMn	450	800	100		TB ₃₋₁	900	1 000	
	AlMg ₃	450	1 000	80		TB ₅₋₁	950	1 000	
	AlMg ₅	420	1 000	70					
	AlZnMgCu	400	1 000	80					

(3) 表面润滑处理

在挤压前对锭坯进行表面润滑处理主要是针对变形抗力比较高的合金,如钛合金、镍合金等,以减小单位挤压力,提高产品质量。润滑的方式一般有两种:一种方式是使用润滑剂,常用的润滑剂有硬脂和石墨混合物、玻璃等;另一种方式是使用较软的金属(如铜)作为挤压锭坯的衬套。表面润滑处理还包括对工模具的工艺润滑处理,良好而恰当的工艺润滑是保证产品质量,提高生产效率,延长工模具寿命的重要工艺措施。对采用不带润滑的正向挤压法生产时,挤压筒和挤压垫不润滑,穿孔针要润滑,模具则视具体情况有选择地进行润滑。

挤压工模具的预热:挤压工模具的预热主要指对模具、挤压筒、挤压轴、挤压垫及穿孔针的预热。这些工模具的预热必须在挤压开始前完成。在整个挤压过程中,上述工模具均应保持一定的温度,其目的在于减小挤压过程中的热应力及热疲劳,延长工模具寿命,同时经预热的工模具使挤压锭坯冷却缓慢,从而减小了变形抗力以及工模具的负荷。在实际生产中,预热的方法有许多种,如用煤气喷灯或用炽热的锭坯放入挤压筒中等进行加热,虽然这些方法简单,

成本低,但不能保证工模具热透,而且其表面有过热的危险。因此,现在应用最广泛的是各种不同结构的感应加热器。

(4) 挤压

将加热好的锭坯放入挤压筒中进行挤压,生产出制品。

(5) 切压余和卸模

完成一个锭坯的挤压之后,在模具前端留有一定数量的锭坯(压余),则将此部分锭坯切除,然后再将另一个加热好的锭坯放入挤压筒中进行挤压。在完成一个规格的制品生产后,将模具从挤压机上卸下,清理后送回模具保管处。

(6) 精加工

这道工序是根据制品的质量状况进行的,若制品的质量能满足要求,则无需进一步加工,精加工的内容很多,如进行矫正,表面处理,内部组织的调整等等。

1.1.4 热挤压有色金属制品及其用途简介

采用热挤压生产的有色金属品种归结为管、棒、型、排这四大类,各类中又包括有不同形状和规格的许多品种,可谓是品种繁多,而它们又出自相应的热挤压模具,这就使得模具的品种随之多样化。

热挤压管材按壁厚分为薄壁管(壁厚 $t \leq 5 \text{ mm}$)和厚壁管(壁厚 $t > 5 \text{ mm}$)的各种规格制品。若以断面形状又分为圆管、方管与异型断面管等多种规格,管材是具有一定壁厚围成中空而耐用的环状制品,挤压时常用带穿孔针的平模或无穿孔系统的舌形模和平面分流模进行生产。

热挤压棒材就其断面形状而言有圆、方、六角、扁棒、异型断面棒等各式制品,排材一般指 $25 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} \sim 120 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 的矩形截面制品。棒材和排材在挤压中多用平模生产,在一定程度上,它们都属于简单断面的实心型材,模具的设计与制造相对要简单一些。

型材的断面形状千姿百态,除了简单断面外,很多型材无轴对称性,甚至无中心对称性,更多的为复杂断面制品。型材大体上可分为空心型材、实心型材、变断面型材等各种规格,其中实心型材占 80% 以上。型材不仅形状复杂,而对纵向与横向尺寸要求严格,给挤压工艺、模具设计与制造带来相应的难度,挤压时常用平模和分流模来生产。

表 1-3 热挤压用材料和制件用途

材 料	用 途	材 料	用 途
铝及其合金	煤气管、水管用型材,电缆包皮、焊条、建筑、车辆、船舶调度通讯设备,飞机零件毛坯用型材(最小壁厚 1 mm),电缆包皮、运动器具用管材	镍及其合金	耐蚀耐热管(最小壁厚 5 mm),透平叶片
		钢	不锈钢管、不锈钢包层钢管、热交换用管材,轴承圈毛坯钢管、零件毛坯用型材,土木建筑用型材(最小壁厚 2.5 mm)
镁及其合金	飞机、火箭、车辆、船舶用型材(最小壁厚 1.5 mm)	钛及其合金	喷气发动机零件、化工容器、热交换器、燃气透平零件(最小壁厚 5 mm)
锌及其合金	低压冷水管、建筑用扶手、电器零件(最小壁厚 1.5 mm)		
铜及其合金	热交换器、乐器、通讯器材、建筑用型材(最小壁厚 1.25 mm)	其他特殊金属	铀、钍、铍、铯等原子反应堆零件,钨制火箭喷管

此外,热挤压制品还有阶段变断面、逐渐变断面与宽展壁材等特殊制品,这类制品生产工艺和所需要用的模具都有多种独特之处。例如,变断面制品挤压时可用分块可拆卸组合模或上下可滑动的变孔模,而宽展壁材则可采用管坯模、V形模或宽展模等有特殊功能的模具进行生产。

用热挤压生产的挤压件可直接作为结构件或者切断后予以精加工作为机械零件使用,也可作为输送管道等民用方面使用,见表 1-3。

1.1.5 热挤压模具技术的发展趋势

热挤压模具技术作为挤压技术的一个重要方面得到了各国的普遍重视,许多科学家和工程技术人员对模具技术的各个领域进行了全面系统地分析与研究,获得了重大进展,主要表现在以下几个方面:

1) 模具技术作为一门独立的学科正在建立,以形成一个完整的挤压模具技术系统。模具技术是介于压力加工和机械加工之间涉及多学科的综合性技术,这门技术主要研究挤压设备的结构、挤压工艺过程与工艺参数、金属在模腔中的流动、模具材料、模具结构、模具加工与热处理方法和工艺、模具的使用与维修等对模具质量、使用寿命和成本的影响等等。目前,许多国家已经成立或筹建工模具研究所、挤压模具中心、制模专业工厂等,形成了一支挤压模具设计与制造的专业技术队伍。

2) 研究新的模具材料并与改善其熔炼、铸造、锻造、加工和热处理工艺结合起来仍然是改进模具材料的发展方向。例如,多元复合共渗处理,离子氮化处理,激光表面硬化,强韧化处理,双重热处理工艺,以及特种盐浴热处理等技术的出现,使一些普通的模具材料获得了新的发展。

3) 新结构工模具的设计与研制是世界各国最为活跃的研究课题之一。为提高产品的尺寸精度与外形精度,开发新型的形状异常复杂的产品,进一步延长模具寿命是该课题的主要目的。如研制新型的组合模、复合模、预应力模和减小应力集中的分瓣扁挤压筒,设计自动装卸、自动调心的穿孔系统等。

4) 大力开发研究挤压模具的 CAD/CAM 技术。由于电子计算机技术的快速发展,电子计算机已开始应用到模具设计、制造、检测、使用、维修和管理等方面。目前,工业发达国家有 70% 以上的模具由计算机自动绘图和由数控(CNC)机床自动加工制造。到 21 世纪初,作为设计与制造之间联系纽带的图纸将失去其主要作用,电子计算机软件技术在模具设计与制造中将占有主导地位。现在,二维模具的 CAD 系统已有一定的设计软件和单元图形软件,但还需要进一步完善;三维模具 CAD 系统由于设计软件难度比较大,单元图形较为复杂,尚不能满足实际设计技术的要求,是今后的主攻方向;二维模具的 CAM 系统已有较完善的编程系统可以利用,而对二维自由曲面的编程还需进一步完善。CAM 是将数控机床(CNC 和 NC)的机加工、数控电火花线切割的电加工、数控真空热处理和表面氮化处理等工序连续自动进行作业,是目前最先进的、最有发展前途的制模技术。

5) 挤压机和挤压产品的大型化。各国对模具大型化所出现的技术难题也正在开展广泛的研究,大型工模具不仅需要寻求在熔铸和锻造大型坯料时保留有高机械性能、高工艺性能和经济耐用的耐热金属钢,而且还需要研究大型工模具的加工工艺和热处理工艺。

6) 简化工模具的装配结构,实现自动化更换与装卸,缩短辅助时间是实现挤压过程全机全线自动化连续生产的主要方向。同时,改善工模具的使用条件,加强模具的维护与提高模具

的修理技术,也是目前提高模具技术的发展趋势之一。

7)应用光塑性、光纹分析法、视塑性法等实验方法和有限元分析、模拟试验方法以及其他最新理论方法来分析工模具在挤压加工过程中的温度场、应力—应变场、残余应力场、模拟金属流动现象,以寻求新的模具结构和新的模具强度校核方法是模具技术的重要发展方向之一。

1.2 有色金属挤压特性

有色金属是工业中使用非常广泛的一类金属材料。对于塑性好、变形抗力低有色金属(如铝及铝合金)特别适合挤压加工;而对于一些塑性较差有色金属(如镁及镁合金),也只能采用挤压成形,所以挤压是有色金属生产的一种重要方法。为了减小挤压成形时的变形抗力,提高挤压速度,提高生产效率,一般都将有金属锭坯加热到某一温度范围进行热挤压成形。因此,在有色金属的挤压成形生产中,热挤压成形是主要内容。下面简介几种常用的有色金属热挤压特性。

1.2.1 铝及铝合金

铝是一种具有面心立方晶格的金属,具有 12 个滑移系,塑性很高,抗变形能力很小,可以冷挤压成形。铁铝共存物是铝中常见的杂质。根据 Al-Fe-Si 三元相图,铝角部分除 FeAl_3 和 Si 外,还形成 $\alpha(\text{Al}_{12}\text{Fe}_3\text{Si})$ 和 $\beta(\text{Al}_5\text{FeSi})$ 两个三元相图。铁溶解在铝中的量很少,室温中仅能溶入 0.002%,其余的铝形成金属化合物 FeAl_3 ,它是硬脆的针状化合物;硅溶解在铝中的量比铁要多一些,室温中可溶入 0.05%,多余的硅则可单独存在于铝中,称为“自由硅”,所形成的 α 、 β 相为脆性化合物。这些化合物使纯铝的塑性下降,变形抗力增大,因此,工业用纯铝中的铁、硅等杂质都应受到严格控制。

许多铝合金包括铸造铝合金、变形铝合金均可作为挤压材料,但是,生产上使用较多的还是一些易挤压的铝合金,如纯铝、铝镁硅系合金。与其他金属相同,衡量可挤压性的指标仍是极限变形程度。但对铝合金来说,可用铝合金挤压时的极限温度范围来说明铝合金的可挤压性,这一极限温度范围是由上限温度(铝合金出现挤压撕裂的温度)和下限温度(铝合金可以进行塑性变形的温度)来决定的。影响铝合金可挤压性的主要因素有:挤压温度、挤压速度、合金性能与合金组织等。在国外,为了比较铝合金的可挤压性,提出了一个相对可挤压性的概念,即将铝合金 $\text{AlMgSi}_{0.5}$ 的挤压性指标定为 100,而其他铝合金以此合金为参照测量其挤压特性指标,见表 1-4。

表 1-4 铝合金的相对可挤压性

材 料	相对可挤压性	材 料	相对可挤压性
Al99.5	150	AlMnCu	100
Al99.6	150	AlMg2.5Cr	80
Al99Cu	150	AlMg4.5MnCr	20
AlCuBiPb	15	AlMgSi0.5	100
AlCuSiMnMg	20	AlMgSiCuCr	60
AlCuMg2Mn	15	AlMgSiMn	60

[注] 表中材料是德国 DIN 标准的材料牌号。纯铝编号是 Al + 纯度(纯度用百分数表示),铝合金编号是 Al + 合金元素 + 合金含量,如 Al99.5 表示纯度为 99.5% 的工业纯铝,AlMg2.5Cr 表示 Mg 含量为 2.5%,Cr 含量为 1% ~ 1.5% 铝合金。