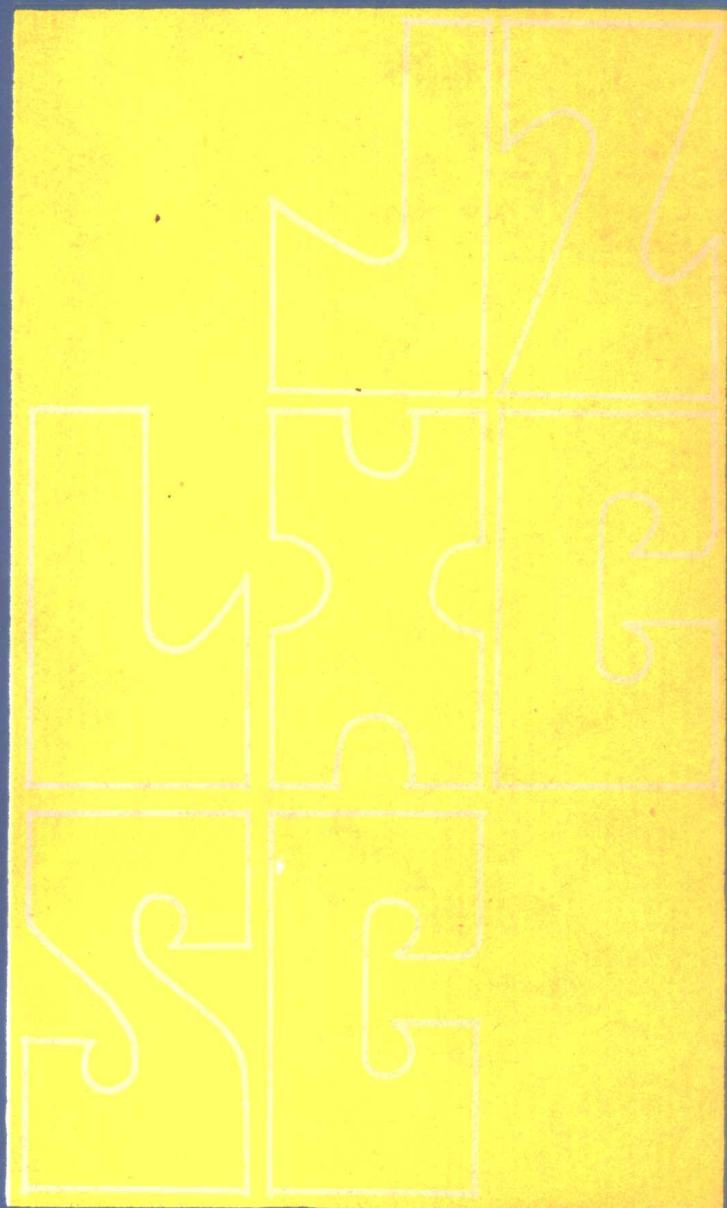


主编：许其亮  
主审：马怀宪  
编写：史文华  
马宏声  
陈自军 等



下 册

# 建筑铝型材 生产

3  
40  
器

西安冶金建筑学院

# 建筑铝型材生产

下 册

主编 许其亮 主审 马怀宪

## 前 言

近年来，建筑铝型材的应用日益广泛，其产量已占铝加工材的相当大比例。大批专业性的铝型材加工企业，正不断地涌现。优质、高产、低消耗和对新设备、新技术、新工艺的消化吸收、开发等，已成为本专业人员当务之急。但国内在这一技术领域的专著十分匮乏，尤其以建筑铝型材生产系统编写的著作更难觅先例。为此，我们组织编写了本书。书中有针对性地对建筑铝型材生产的全过程进行了阐述和探讨，除写入有一定应用价值的基础理论知识之外，还尽量选列各主要生产工序的实用技术数据，并对国内外的先进技术作重点的介绍，以期对从事这一专业生产的各层次人员有较大的裨益。本书也可作为大、专院校有关专业师生和研究设计部门工程技术人员参考。

全书分上、下册。上册由第一、二、三篇组成。第一篇建筑用铝合金及其热处理由西安冶金建筑学院史文华副教授编写；第二篇熔炼与铸锭由东北工学院马宏声副教授和孝云祯老师编写；第三篇由西安冶金建筑学院马怀宪副教授编写。下册由第四、五篇组成。第四篇挤压模具由西安冶金建筑学院陈自军老师编写；第五篇铝合金氧化与着色由西安冶金建筑学院许其亮副教授编写。全书由许其亮担任主编，马怀宪担任主审工作。

本书在编写和出版过程中，承西安冶金建筑学院郎锡君、吴琼老师，东北轻合金加工厂王祝堂同志，西南铝加工厂于静兰同志，西北铝加工厂孙兴信、张宏辉同志等的协助和支持，在此一并致谢！

限于水平、时间和出版条件，本书疏漏谬错之处在所难免，选材也未尽适宜，欢迎读者提出宝贵的批评意见。

编 者

一九八九年七月于西安

# 目 录

## 第四篇 挤压模具

第一章 模具设计原理及设计实例	1
第一节 挤压模的结构及尺寸确定	3
第二节 棒材模具设计	8
第三节 实心型材模具设计	11
第四节 空心型材模具设计	36
第五节 专用模具	64
第二章 铝型材挤压模具的计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)	78
第一节 概述	78
第二节 铝型材挤压模CAD/CAM系统的应用	81
第三章 铝合金挤压模具用钢及其热处理	97
第一节 3Cr2W8V钢	98
第二节 含有5%铬的一组热模具钢	100
第三节 制作铝合金挤压模具钢种的比较与应用前景	106
第四节 新模具钢简介	110
第四章 铝合金挤压模具的表面强化处理	120
第一节 铝型材挤压模具的离子氮化处理	120
第二节 铝型材挤压模具的气体软氧化处理	123
第三节 铝型材挤压模具的离子复合处理	128
第四节 铝型材挤压模具低温碳化处理法	133
第五章 铝合金挤压模具的修正	139
第一节 挤压模具修正的基本知识	139
第二节 实心型材挤压模具的修正	145
第三节 空心型材挤压模具的修正	151
参考文献	156

## 第五篇 铝合金氧化与着色

第一章 概述	158
第一节 铝材氧化与着色的发展概况	158
第二节 氧化与着色的发展方向	159
第三节 我国建筑铝型材氧化着色生产现状	160
第二章 金属腐蚀的基本理论	162
第一节 金属腐蚀的基本理论	162
第二节 铝合金的腐蚀	166

第三节	铝合金表面处理与保护	170
第三章	铝材氧化处理前的表面预处理	173
第一节	铝材表面油脂的去除	173
第二节	铝材表面的蚀洗处理	177
第三节	中和处理	180
第四节	铝材表面的抛光	180
第四章	铝合金的化学氧化处理	187
第一节	化学氧化处理的机理	187
第二节	化学氧化方法及工艺条件	189
第五章	铝合金阳极氧化处理的基础理论	192
第一节	阳极氧化过程的实质与常用方法	192
第二节	阳极氧化膜成长过程的机理	194
第三节	影响阳极氧化膜生长和性能因素	198
第四节	阳极氧化膜在电解液内的溶解及其影响因素	201
第五节	槽液中电流参数的变化	205
第六节	槽液和电极温度的变化	207
第七节	冶金因素对阳极氧化表面的影响	209
第六章	铝合金的硫酸阳极氧化	211
第一节	硫酸阳极氧化的工艺条件	211
第二节	硫酸的浓度	211
第三节	铝离子浓度	214
第四节	电流密度与电流分布	215
第五节	电解槽电压	217
第六节	电解温度和电解时间	217
第七节	其它技术要点	218
第七章	特殊阳极氧化及新方法	220
第一节	铝的高速阳极氧化法	221
第二节	草酸阳极氧化法	223
第三节	铬酸阳极氧化法	224
第四节	厚膜阳极氧化法	226
第五节	瓷质阳极氧化法	229
第六节	交流电硫酸阳极氧化法	231
第七节	脉冲阳极氧化法	231
第八章	阳极氧化过程常见事故和产品缺陷	235
第一节	阳极氧化过程中常见事故及处理	235
第二节	硫酸阳极氧化常见缺陷及其消除方法	236
第三节	其它阳极氧化常见缺陷及其消除方法	238
第九章	铝合金的化学着色法	240

第一节	一般概念	240
第二节	化学着色法的工艺流程及工艺参数	241
第三节	化学着色法的生产要点	245
第十章	铝合金的电解着色法	247
第一节	一般概念	247
第二节	电解着色法的基本原理	248
第三节	电解着色法的生产工艺及工艺参数	249
第四节	电解着色法的生产要点	255
第十一章	铝合金的自然发色法	257
第一节	一般概念	257
第二节	自然发色法基本原理	257
第三节	自然发色法的生产工艺及工艺参数	258
第四节	影响自然发色的因素	262
第五节	自然发色法的生产要点	264
第十二章	着色新工艺及其它着色法	266
第一节	喷射染色	266
第二节	电解——吸附联合着色法	268
第三节	三步电解着色法	270
第四节	光干涉电解着色法	272
第五节	印染着色法	274
第六节	木纹着色法	277
第七节	感光着色法	279
第八节	缎面着色法	281
第九节	彩色条纹着色法	283
第十三章	阳极氧化膜的封孔及涂漆处理	284
第一节	高温水合封孔	284
第二节	低温封孔	288
第三节	电泳涂漆	289
第四节	三氯乙烯浸渍涂漆法	296
参考文献		298

# 第四篇 挤压模具

陈自军

## 第一章 模具设计原理及设计实例

根据挤压机结构和用途的不同，挤压工具的结构形式和所包括的对象也不同。一般来说，主要的挤压工具是指模子、穿孔针、挤压筒、挤压轴和垫片。此外，尚有一些次要的工具配件，如模垫、模环、支承垫、导路、模组托架（座）等。对棒、型材挤压来说，挤压模具包括模子、模垫、模环、支承垫、副支承垫等，按顺序装在模组托架（座）中，模具组装简称模组。典型的模组有两种形式，托座式（亦称纵向移动式）和滑座式（亦称横向移动式）。图4-1-1为托座式实心模模组装配图，图4-1-2为滑座式实心模模组装配图。

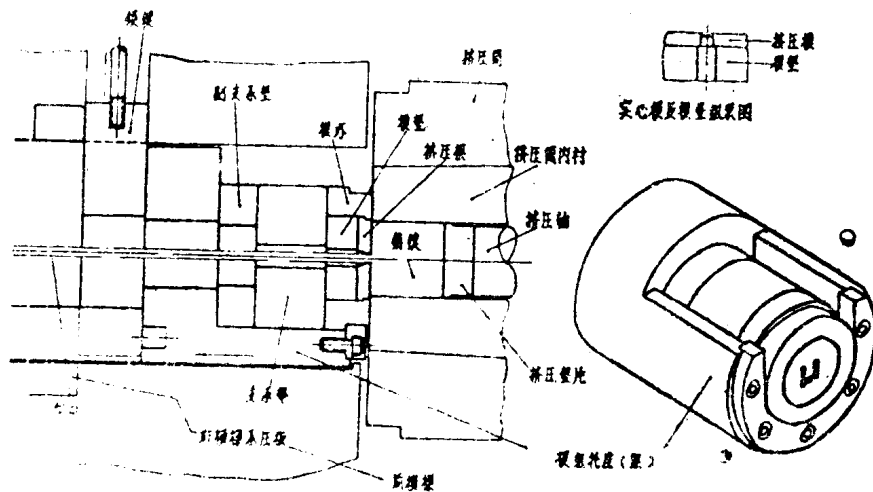


图4-1-1 托座式实心模模组装配图

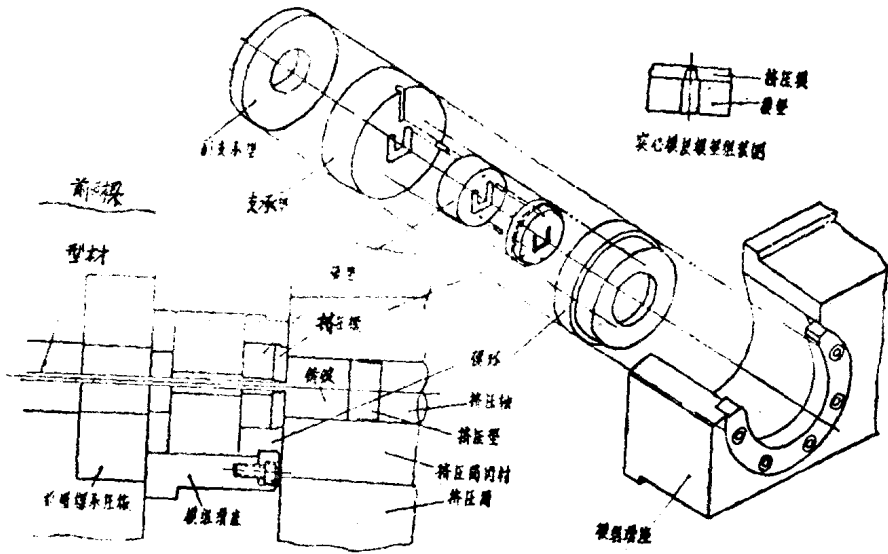


图 4-1-2 滑座式实心模模组装配图

挤压工具，特别是与热金属直接接触的工具，其工作条件是极为恶劣的。这些工具在工作中承受着高温、高压和强烈的摩擦，因此，使用寿命一般都不很长。而制造这些工具又必须用优质的耐热合金钢材，这就使生产成本增高。因此，正确地设计模具、合理地选用模具材料、加工及制订最佳热处理制度等是挤压生产的关键问题之一。

挤压模（简称模子）是型材挤压生产中最重要工具。它的结构形式、各部尺寸以及所用材料，对挤压力、金属流动的均匀性、制品尺寸形状、表面质量以及自身的使用寿命都有很大的影响。挤压模可以按不同的特征进行分类。如普通挤压模根据沿轴向断面形状可分为七种，如图 4-1-3 所示。

其中常用的是平模和锥模。一般来说，平模用于挤压棒材和型材，而锥模用于挤压管材。挤压模按其结构形式又可分为如下五种：

- (1) 整体模 图 4-1-3 所示均为整体模。整体模用于挤压铝合金实心型材、棒材和管材；
- (2) 可拆卸模 是由数块拼装而成一整体的模子，主要用于挤压变断面型材；
- (3) 嵌镶模 由硬质合金（或其它材料）的模芯与模体热装而成的模子，主要用于挤压难变形合金，冷挤压也有用此种形式模子的；



(4) 组合模 是挤压空心型材的模子总称。根据组合模的结构又分为桥式组合模(简称桥式模)、孔道式组合模(俗称分流模)和叉架式组合模(简称叉架模)三种;

(5) 专用模 除上述几种模子外,为生产某些特殊型材或某些特殊用途而专门设计的模子。如导流模、宽展模、子母模及壁板挤压模等。

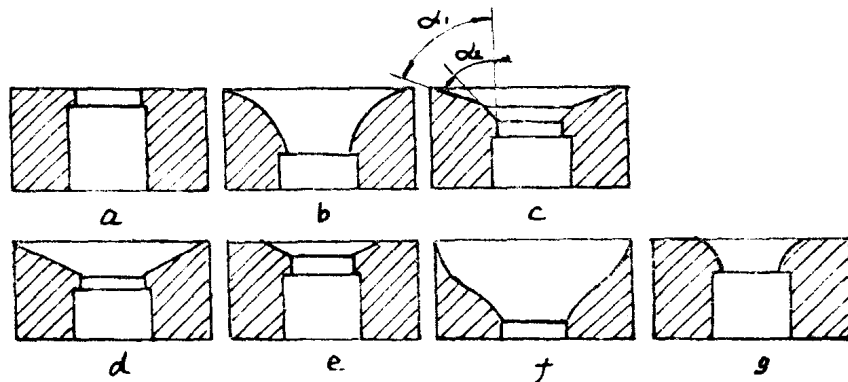


图 4-1-3 不同断面的模子类型

*a*—平模; *b*—流线模; *c*—双锥模; *d*—锥模;  
*e*—平锥模; *f*—碗形模; *g*—平流线模。

## 第一节 挤压模的结构及尺寸确定

### 一、模角

模角 $\alpha$ 是挤压模的最基本参数之一,它是指模子的轴线与其工作端面间所构成的夹角。

平模的 $\alpha$ 角等于 $90^\circ$ 。采用平模挤压时,由于形成较大的死区,故可以获得优

良的制品表面。但用平模挤压时，若死区发生断裂，将会在制品表面上出现起皮、分层等质量缺陷。此外，平模的挤压力也比较大。当挤压温度高、变形抗力大的合金时，模孔往往会因压塌变形而变小。

锥模 $\alpha$ 角一般取 $60\sim 65^\circ$ ，这可使挤压力较小，金属流动比较均匀，同时也可获得较为优良的制品表面。

平锥模和双锥模兼有平模和锥模的优点，用来挤压铝合金管材可以提高其挤压速度。碗形模

主要用于铝合金润滑挤压和无残料铰接铰连续挤压。在挤压钢和钛合金型材时多采用平锥模或平流线模。

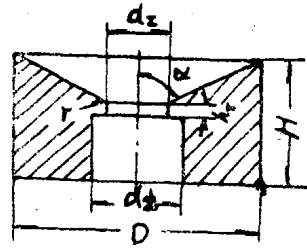


图 4-1-4 模子的断面结构尺寸

## 二、工作带长度

工作带主要作用是稳定制品尺寸和保证制品表面质量。工作带的长短要合适。工作带过短，模子易磨损，使制品尺寸超差，同时易出现压痕等表面质量问题；工作带过长时也不利，容易在工作带上粘结金属，使制品表面出现麻点、划伤等缺陷。当型材模工作带设计不合理或加工质量不高时，挤压制品会出现波浪、扭拧和弯曲等缺陷。

在挤压型材时，可通过改变工作带长度来调整金属的流动速度，从而使制品断面各部分的金属流动速度趋于一致。

确定工作带长度的一般原则如下：

(1) 工作带的最小长度，应能保证稳定挤压制品断面尺寸，并具有足够的耐磨性。一般工作带最小长度为 $1.5\sim 3$ 毫米。

(2) 工作带的最大长度，是根据挤压时金属与工作带间最大有效接触长度来确定的。对铝合金而言，工作带最大长度取 $8\sim 10$ 毫米。

(3) 对于某些简单断面的铝合金型材，如角形、T字形和工字形等型材，其模孔各部位的工作带都是相同的。但对于建筑铝型材，由于挤压比较大，挤压速度很快，挤压制品的长度也比较长，即使是等壁厚的型材，在工作带的设计上也要有所不同。

(4) 断面形状复杂、壁厚不等的型材，需根据壁厚变化的不同而设计不相等的工作带长度。

## 三、模孔尺寸的确定

在确定模孔尺寸时，主要考虑挤压制品的合金种类、断面形状和尺寸偏差，同时还要考虑挤压制品各部位的几何形状特点、冷却和张力矫直时的断面收缩量等因

素的影响。

(一) 棒材模孔尺寸的确定

棒材模孔尺寸A由下式求得：

$$A = A_0 + K_0 A_0 \quad (4-1-1)$$

式中  $A_0$ ——棒材名义尺寸(圆棒为直径, 方棒为边长, 六角棒为内切圆直径);  
 $K_0$ ——裕量系数。

(二) 型材模孔尺寸的确定

1. 型材的外形尺寸

型材的外形尺寸A由下式求得：

$$A = A_0 (1 + K_0) + \Delta \quad (4-1-2)$$

式中  $A_0$ ——型材的名义尺寸;  
 $K_0$ ——裕量系数, 见表4-1-1;  
 $\Delta$ ——型材尺寸的正偏差。

2. 型材的壁厚尺寸

型材的壁厚尺寸B由下式求得：

$$B = B_0 + K_1 + \Delta \quad (4-1-3)$$

式中  $B_0$ ——型材壁厚的名义尺寸;  
 $K_1$ ——裕量系数, 对铝合金  $K_1 = 0.05 \sim 0.15$ , 薄壁取下限, 厚壁取上限;  
 $\Delta$ ——型材壁厚的正偏差。

表 4-1-1 模孔裕量系数  $K_0$

合 金	$K_0$
$L_1 \sim L_7$ 、 $LF_2$ 、 $LF_3$ 、 $LF_{21}$ 、 $LD_{31}$ 等	0.01~0.012
$LY_{11}$ 、 $LY_{12}$ 、 $LF_5$ 、 $LC_4$ 、 $LD_5$ 等	0.007~0.01

四、入口园角

模孔的入口园角  $\gamma$  的作用是防止低塑性合金在挤压时产生表面裂纹和减小金属在流入工作带时的非接触变形, 同时也是为了避免在高温下挤压时模孔棱角被压瘪而很快改变模孔尺寸等。

入口园角  $\gamma$  值的选取与挤压合金的种类、挤压温度和制品断面尺寸等因素有关。对挤压铝合金而言, 一般不需有入口园角而保持锐利的角度。但也有人认为可以取  $\gamma = 0.4 \sim 0.75$  毫米。铝合金型材模具在设计时往往不给入口园角, 在生产中如果需要, 可随时增加一个小的入口园角。

## 五、模孔空刀

模孔空刀是指模孔出口端大于模孔工作带尺寸的部分。模孔空刀既要保持模具强度，又要便于模具加工，同时使制品能顺利流出模孔而不刮伤其表面。

对棒材模来说，模孔空刀为3~5毫米。

对型材模来说，应根据型材的不同部位，规定出不同形式的空刀，如图4-1-5所示。一般情况下空刀可采用1.5毫米。型材壁厚小于1毫米及比较窄的槽形部位，空刀采用0.5~1毫米。为了防止模子出口部位划伤制品表面，也可设计成锥形出口，锥度为3°~5°。螺钉孔及小燕尾槽部位，除了空刀严格要求之外，可以把该处的模子厚度局部减薄，这样即便于加工，又不至于减弱模子的强度。

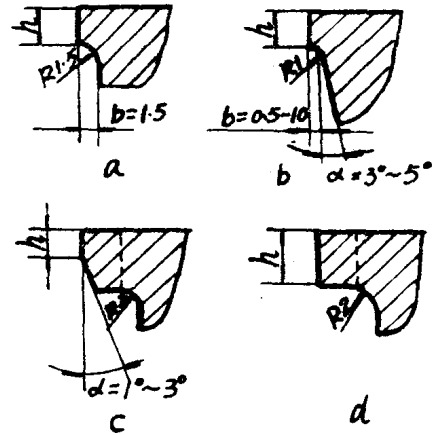


图4-1-5 模孔空刀结构

## 六、模子的外形尺寸

模子的外园直径与厚度的确定应考虑其强度，同时还应考虑系列化便于管理和使用。一般来说，模子外园最大直径等于挤压筒直径的0.8倍。当然，在某些情况下，如果型材模孔的边缘过于靠近模子外缘，为了增加模子强度，也可以大于挤压筒直径。也有人推荐采用如下数值：

对棒材和简单的型材， $D = (1.25 \sim 1.45) D_w$ ；

对复杂的或难挤压型材， $D = (1.45 \sim 1.6) D_w$ 。

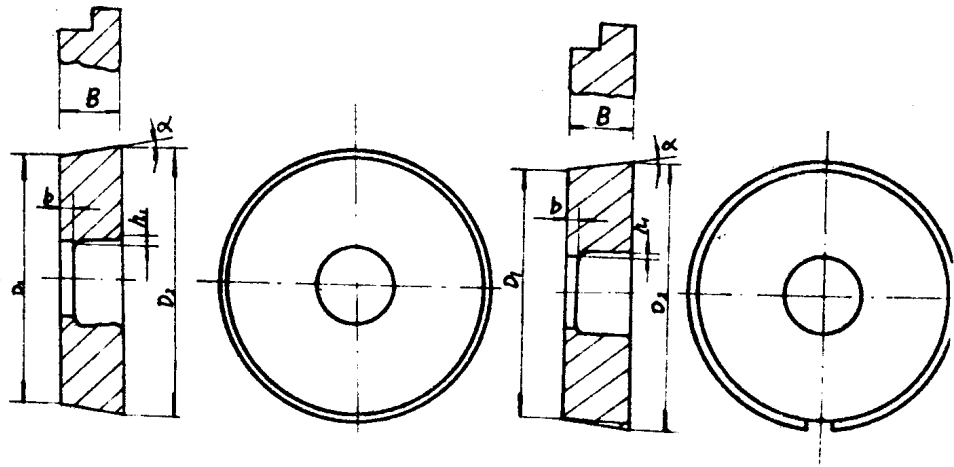
式中  $D$  —— 模子外径；

$D_w$  —— 型材外接园直径。

通常每台挤压机都根据所配备的挤压筒而确定几种外园直径和几种不同厚度的模子。模子的厚度近年来普遍趋于减薄，以提高模子的加工精度、改革模子的加工方法，而模子的强度主要是靠模垫和其它支承环来保证。但也有的文献指出，增大模子厚度可提高其刚度并减小弹性变形。

模子的外园根据其安装方式可以有不同的结构形式。常用的有两种形式，即：带正锥的和带倒锥的。带正锥的模子锥度为1°30'~4°，安装时顺着挤压方向放入模支承中。带倒锥的模子锥度为3°~10°，逆着挤压方向装入模支承中。

我国某厂使用的型棒材模具外形图如图4-1-6所示，模具外形尺寸见表4-1-2。



1200,2000吨挤压机用

5000吨挤压机用

图 4-1-6 型棒材模具外形图

表 4-1-2

型棒材模具外形尺寸

挤压机吨位 (吨)	模子尺寸 (毫米)					
	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	B	b	h <sub>1</sub>	r
1200	148	150.6	32	2~3	1.5	3
	148	152.5	50	2~3	1.5	3
	148	154.6	70	2~3	1.5	3
2000	200	203.4	40	3~4	1.5	3
	200	205.5	60	3~4	1.5	3
	200	207.6	80	3~4	1.5	3
5000	265	275.9	60	4~8	2.5	6
	360	370.9	60	4~8	2.5	6
	300	324.8	70	4~8	2.5	10
	360	384.8	70	4~8	2.5	10

表 4-1-3 为各种挤压机常用的模具规格。

表 4-1-3 模 具 规 格

挤压机	挤压筒直径 (毫米)	平模规格 外径×厚度 (毫米)	分流模规格 外径×厚度 (毫米)	注
1250T	φ150	φ190×30	φ190×75	
1250T	φ157	φ200×30	φ200×80	
1500T	φ150	φ190×30	φ190×70	
1800T	φ177	φ220×35	φ220×75	
1200T	φ130	φ148×32	φ175×60	纵向移动
2000T	φ200	φ200×40	φ260×80	纵向移动

## 第二节 棒材模具设计

棒材(圆棒、方棒、六角棒等)模具是挤压模具中最简单的一种,挤压铝合金棒材采用平面模。

棒材模分单孔模和多孔模两种。单孔模的模孔布置很简单,令棒材中心与模子中心相重合即可。下面叙述多孔模的设计原则。

### 一、模孔数目的选择

在挤压小尺寸棒材或形状简单的小断面型材时,为了提高挤压机的生产率,防止因挤压比过大而使挤压力太高,或者由于料台长度有限挤出制品不能过长(在不用卷取装置的情况下)等原因,可以采用多孔模挤压。

虽然有文献介绍,多孔模的模孔数目最长达30以上,但一般不超过10~12个,最常用的多为2~6个。模孔过多时,挤出制品易扭绞在一起并擦伤制品表面。此外,确定模孔数时还应考虑模子的强度。

模孔数可按下式确定:

$$n = \frac{A_0}{\lambda \cdot A_1} \quad (4-1-4)$$

式中  $n$ ——计算模孔数;

$A_0$  —— 挤压筒断面积, 毫米<sup>2</sup>;

$A_1$  —— 单个制品的断面积, 毫米<sup>2</sup>;

$\bar{\lambda}$  —— 平均挤压比。

挤压比 $\bar{\lambda}$ 可根据挤压机吨位大小、挤压筒大小、制品机械性能要求和合金变形抗力大小来确定, 一般 $\bar{\lambda} \leq 40 \sim 50$ 。表4-1-4中所列数据系我国挤压铝合金时的经验值。其中软合金取上限, 硬合金取下限。

表4-1-4 铝合金平均挤压比

挤压筒直径 (毫米)	500	420	360	300	200	170	130	115	95
$\bar{\lambda}$	3~7	7~11	8~13	10~20	13~18	16~25	20~40	35~45	35~45

## 二、模孔排列的原则

采用多孔模挤压时, 金属流动要比单孔模均匀, 故不易形成缩尾。但如果模孔排列不当, 也将产生金属流动不均匀现象, 使挤出制品长短不齐, 增加了几何废料量。为使各个模孔中的金属流动速度相等, 应将模孔布置在以模子中心为园心的一个同心园上, 同时孔距应当相等, 否则, 各模孔中的金属供应体积不相等。供应体积大的模孔中挤出的制品相对较长, 而供应体积小模孔挤出的制品则较短, 如图4-1-7所示。

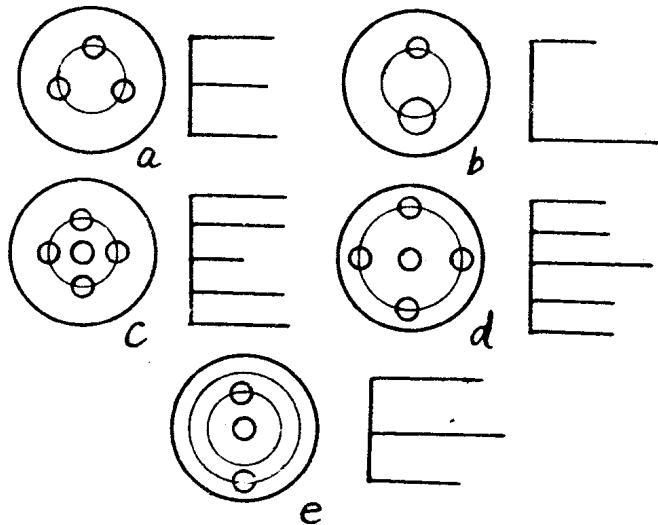


图4-1-7 模孔大小和排列位置对制品长度的影响

在实际生产中, 除上述原因外, 还有其它一些因素, 如铸锭断面温度不均匀以

及工作带长度上的制造误差和光洁度的不同等，皆可促成制品长短不齐。故在确定定尺棒材的铸锭长度时，应将此部分几何损失考虑进去。

在多孔模设计时，还要注意不要把模孔安置得过分靠近模子边缘。因为这不但降低模子的强度，还会导致死区被挤出，恶化制品表面质量，出现起皮、分层等缺陷。在挤压硬铝合金时，模孔过于靠近模子外缘，除上述缺陷外，由于内侧金属供给量多而流动速度快，会造成制品外侧出现裂纹。当模孔太靠近中心时，则情况正好相反，在制品内侧出现裂纹，如图 4-1-8 所示。同心圆直径  $D_t$  可按下式确定：

$$D_t = \frac{D_0}{a - 0.1(n-2)} \quad (4-1-5)$$

式中  $a$  ——经验系数，为 2.5~2.8。

当  $n$  值大时取下限，挤

压筒直径大时取上限，

一般取 2.6；

$n$  ——模孔数 ( $n \geq 2$ )；

$D_0$  ——挤压筒直径。

同心圆直径求出后，还需考虑工具规格的系列化及互换性，如模垫、导路的通用性，最后再对  $D_t$  进行必要的修正。

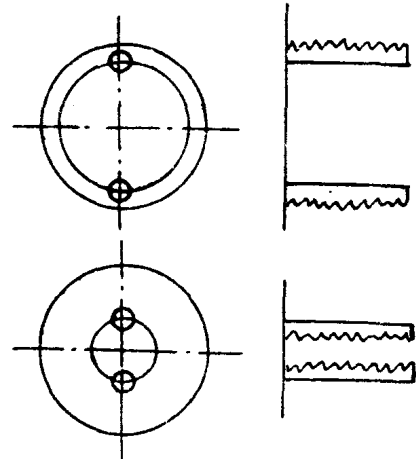


图 4-1-8 模孔位置不当产生挤压裂纹的示意图

### 三、模孔尺寸的确定

如前所述，模孔尺寸主要指模孔的直径（圆棒时）和工作带的长度。模孔直径按下式确定：

$$A = A_0 + K_0 A_0$$

工作带长度的选取与挤出棒材直径有关。挤压铝合金棒材时，生产现场常采用如下数值：

棒材直径（毫米）	工作带长度（毫米）
< 40	2~3
40~70	4
70~120	5
130~280	6~8



### 第三节 实心型材模具设计

型材模具设计的主要内容有：模孔制造尺寸的确定、模子强度和选择保证型材断面各个部位流动速度均匀的方法。另外，虽然从理论上来说，挤压法可以生产出任何一种形式的型材制品，但由于受型材自身形状、挤压设备和工艺等诸多因素的影响，在实际生产中，用挤压法生产铝型材也不可能是万能的，在型材断面设计时要考虑到挤压的可能性，这就要求模具设计工作者还要掌握型材断面设计的有关知识。

#### 一、克服金属流动不均匀性的措施

在挤压型材、特别是断面复杂的型材时，金属流动不均匀现象十分严重。这是因为：①型材断面没有对称性，型材与铸锭间的形状也缺乏相似性；②型材各个部位的壁厚不同，壁薄处的比表面（单位体积所具有的表面积）大于壁厚处的比表面，故金属冷却得快，变形抗力大，摩擦力也大，加之壁薄处金属变形程度大于壁厚处的变形程度，所以壁薄处的金属流动慢而壁厚处的金属流动快。如果模子设计时不采取相应措施，会由于金属流动不均匀，而使制品中产生很大的附加应力。当出现附加拉应力时，会因金属的塑性低而产生裂纹。附加压应力则会使制品壁薄部分出现波浪。附加应力还会使制品出模孔后发生翘曲、扭拧或充不满模孔等现象。在挤压空心型材时，附加应力会使模芯位置偏移，造成制品壁厚尺寸超差。

减少挤压型材金属流动不均性的措施很多，在模具设计时可根据具体情况采用一种或几种相应的措施。

##### （一）正确布置模孔

当型材断面有两个或两个以上对称轴时，型材的重心应布置在模子的中心上（图4-1-9，a）。

当型材断面只有一个或没有对称轴以及壁厚差很大时，必须将型材的重心（即模孔的重心）对模子的中心做一定的偏移，使难流动的部分（壁薄部分）更靠近模子中心（图4-1-9，b）。

对于对称面少，壁厚相差不大的复杂断面型材，可使型材外接园中心与模子中心相重合（图4-1-9，c）。

在有些情况下，可采用平衡模孔的方法，即：再配置一个用于调整金属流速的辅助模孔（图4-1-9，d）。

布置模孔时还应注意以下几个问题：①模孔的布置应保证制品出模孔后充分地支撑在出料台上，以减少制品的扭拧和弯曲，同时也减轻了模子的扭拧变形；②型材的装饰面最好不与出料台接触，以防止划伤装饰面；③对于槽形型材，为避免因金属流速不等而使舌部（模具悬臂部位）产生偏斜，并造成壁厚不均，排列模孔时尽量布置使其金属流速相同，参看图4-1-12，f；④模孔布置应便于修