

铝型材

刘静安 编著

挤压模具

设计、制造、 使用及维修

冶金工业出版社

铝型材挤压模具 设计、制造、使用及维修

刘静安 编著

北 京
冶金工业出版社
1999

内 容 提 要

本书系统地阐述了铝合金型材模具的特点、分类、工作原理与工作条件；模具材料及其选择；模具的设计原理与方法；制模工艺及设备；模具的合理使用与修正维护等。并列出了大量的图表和实例。此外，对铝合金型材模具技术的最新研究成果及发展方向，以及提高模具使用寿命的途径等也进行了深入的分析和讨论。

全书共分6章，包括绪论、挤压工模具的工作条件与材料合理选择、型材挤压模具设计技术、型材挤压模具制造技术、型材模具的合理使用与修正及科学管理、型材挤压模具技术最新研究成果及分析等。内容全面、系统，实用性强。

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和管理人员阅读。亦可供其他各工业部门有关工程技术人员以及大专院校有关专业的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

铝型材挤压模具设计、制造、使用及维修/刘静安编著.

北京: 冶金工业出版社, 1999. 2

ISBN 7-5024-2293-5

I. 铝… II. 刘… III. 金属型材-铝-挤压模-基本知识
IV. TG375

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 34848 号

出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 张登科 美术编辑 王耀忠 责任校对 符燕蓉 责任印制 牛晓波

北京新兴胶印厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

1999 年 2 月第 1 版, 1999 年 2 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 23 印张; 557 千字; 355 页; 1-2000 册

43.00 元

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

104/15/26
15

笔者编写的由冶金工业出版社出版的《轻合金挤压工具与模具》(上、下册)一书从出版至今已将近10年了。该书自出版以来,倍受读者欢迎,曾重印两次,许多相关企业将该书作为培训教材,可以说该书对我国挤压技术和模具技术的发展起了一定的促进作用。全俄科学院院士、著名金属挤压专家耶尔曼诺克(M. 3. Ермонок)教授读了该书后感叹地说:“该书是目前世界上最全面、最系统地论述金属挤压模具技术与理论的专著之一”;德国VAW公司著名挤压专家阿赫本哈(D. Achenbach)教授称赞这是一本难得的好书。

然而,该书出版后的这10年,正是我国铝合金挤压工业蓬勃发展的10年。与1988年相比,我国的挤压企业已由180多家增至近1000家;挤压机已由300多台增至2000余台;生产能力已由40万t/a增至170万t/a;年耗模量已由2万套增至30万套。而且随着科学技术的进步和国民经济的发展,铝型材正在向大型化、扁宽化、薄壁化、高精化、复杂化、多用途、多功能、多品种、长寿命方向发展,对模具的结构、质量和使用寿命提出了越来越高的要求。因此,本书集中论述铝及铝合金型材挤压模具的设计技术、制造工艺与设备、型材模具的合理使用与修正以及科学管理等,同时也论及了型材的挤压方法与特点、模具的工作条件与模具材料的合理选择以及提高模具使用寿命等方面的内容。该书的特点是:有理论分析,重生产实际应用;内容全面系统而又重点突出;技术先进,实例典型而针对性强;图表丰富,数据翔实。是一本理论与实践紧密结合,实用性较强的读物。

本书的主要内容是作者从事铝合金挤压技术和模具技术30多年来的经验总结。有些部分是科研成果的总结,但大部分是生产实践经验的提升,有的内容已在国内外有关刊物上公开发表过,但也有不少内容是第一次发表的。在此一并收集整理后呈献给读者,以求起到抛砖引玉的作用。书中引用了国内外某些企业的有关生产实例、图表和数据,也参考了一些教授和学者著作中的有关资料,并在写作过程中,曾得到了不少专家和工人师傅们的指导、帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于影响铝型材挤压模具质量和使用寿命的因素很多,加之作者的水平所限,书中不妥之处,恳请广大读者批评指正。

作 者
1998年10月于重庆

目 录

1 绪论	1
1.1 铝合金型材的分类及其工艺特点	1
1.1.1 铝合金型材的分类	1
1.1.2 铝合金型材断面设计原则	3
1.2 铝合金型材常用合金及其特性	7
1.2.1 铝合金型材常用合金	7
1.2.2 几种典型挤压铝合金及其特性	12
1.2.3 变形铝合金的可挤压性	18
1.2.4 铝合金型材的生产工艺流程	20
1.3 工模具在铝型材挤压中的特殊地位	22
1.3.1 铝型材挤压技术的发展现状	22
1.3.2 工模具在铝型材挤压中的重要作用	25
1.4 铝型材挤压模具设计与制造技术发展概况	26
1.4.1 铝型材挤压模具技术发展概况	26
1.4.2 挤压工模具的设计与制造水平分析	26
1.4.3 模具技术的发展趋向	28
2 挤压工模具的工作条件与材料合理选择	30
2.1 挤压工模具的工作条件	30
2.1.1 型材挤压方法的特点及工具装配的形式	30
2.1.2 铝合金型材挤压时的金属流动特性	37
2.1.3 型材挤压的力学条件及计算方法	42
2.1.4 挤压时的温度-速度条件	48
2.1.5 铝型材挤压工模具的工作条件	51
2.2 挤压工模具材料的合理选择	53
2.2.1 型材挤压时对工模具材料的要求	53
2.2.2 常用工模具钢材的性能和特点	54
2.2.3 热挤压工模具材料的合理选择	63
3 型材挤压模具设计技术	73
3.1 型材挤压模具的分类及组装方式	73
3.1.1 型材挤压模具的分类	73
3.1.2 型材挤压模具的组装方式	74

3.2	型材模具的典型结构要素及外形标准化	77
3.2.1	挤压模结构要素的设计	77
3.2.2	模具的外形尺寸及其标准化	80
3.3	型材模具的设计原则及步骤	82
3.3.1	挤压模具设计时应考虑的因素	82
3.3.2	模具设计的原则与步骤	82
3.3.3	模具设计的技术条件及基本要求	84
3.4	普通型材模具的设计	84
3.4.1	模孔在模子平面上的合理配置	84
3.4.2	型材模孔形状与加工尺寸的设计	88
3.4.3	控制型材各部分流速均匀性的方法	92
3.4.4	型材模具的强度校核	100
3.5	舌型模的设计	104
3.5.1	舌型模的工作特点	104
3.5.2	舌型模的结构类型	105
3.5.3	舌型模模孔的合理配置	106
3.5.4	舌型模结构要素的设计特点	107
3.5.5	舌型模的强度校核	110
3.5.6	舌型模设计举例	114
3.6	平面分流组合模的设计	118
3.6.1	工作原理与特点	118
3.6.2	结构设计	118
3.6.3	强度校核	126
3.6.4	平面分流模设计举例	128
3.7	阶段变断面型材模的设计	138
3.7.1	阶段变断面型材的生产特点	138
3.7.2	阶段变断面型材模具的结构要素与设计特点	139
3.7.3	阶段变断面型材模具设计举例	142
3.8	逐渐变断面型材模具的设计	143
3.8.1	逐渐变断面型材模具的种类及其工作特点	143
3.8.2	逐渐变断面型材模具的设计	144
3.9	扁宽带筋壁板型材模的设计	148
3.9.1	带筋壁板型材的挤压特点及模具的工作条件	148
3.9.2	带筋壁板型材模具结构及其设计特点	149
3.9.3	模具设计及举例	151
3.10	宽展挤压模的设计	159
3.10.1	宽展挤压原理及变形特征	159
3.10.2	宽展模的设计及举例	161
3.11	导流模的设计	163

3.12	民用建筑型材模具的设计	168
3.12.1	铝合金民用建筑型材的特点	168
3.12.2	民用建筑型材模具的设计特点	168
3.12.3	民用建筑型材模具设计举例	178
3.13	异形空心型材穿孔挤压用模具的设计	179
3.13.1	异形空心型材的挤压方法	179
3.13.2	工具装配图及模具设计特点	179
4	型材挤压模具制造技术	183
4.1	型材挤压模具的加工特点及其对制模技术的要求	183
4.2	型材挤压模具的制造方法及主要设备	184
4.2.1	挤压工模具的制造方法	184
4.2.2	制模工艺流程	185
4.2.3	主要制模设备	193
4.3	机械加工制模技术	197
4.3.1	车床加工	197
4.3.2	铣床加工	198
4.3.3	磨床加工	198
4.3.4	钳工加工	198
4.4	电加工制模技术	199
4.4.1	挤压模具电加工的主要方法和设备	199
4.4.2	电加工的现状与发展趋势	200
4.4.3	电火花成型加工技术	201
4.4.4	电火花线切割加工技术	217
4.4.5	霍布森 (Hobson) 加工法	234
4.4.6	电加工后的研磨加工与去应力处理	235
4.5	型材模具的热处理技术	237
4.5.1	挤压工模具热处理的特点	237
4.5.2	主要热处理工序及典型的热处理设备	238
4.5.3	常用挤压型材模具钢的性能及热处理工艺特点	244
4.5.4	工模具的特殊热处理工艺	253
4.5.5	工模具热处理质量控制	264
4.5.6	典型热处理工艺曲线实例	268
5	型材模具的合理使用与修正及科学管理	270
5.1	型材模具的失效形式与损坏原因分析	270
5.1.1	磨损	270
5.1.2	塑性变形	270
5.1.3	疲劳破坏	270

5.1.4	裂纹	271
5.2	型材模具的修正	271
5.2.1	修模原理	271
5.2.2	修模方法	273
5.2.3	修模工具	276
5.2.4	实心型材模的修正	280
5.2.5	空心型材模的修正	287
5.2.6	阶段变断面型材模的修正	290
5.2.7	试模、修模与氮化	294
5.3	型材模具的合理使用与报废	295
5.3.1	穿孔系统的使用规范	295
5.3.2	挤压模具的使用规范	295
5.3.3	挤压工模具的翻新	296
5.3.4	挤压工模具的报废	296
5.4	挤压工模具的科学管理	297
5.5	提高挤压模具使用寿命的主要途径	297
5.5.1	挤压型材模具的使用寿命	297
5.5.2	影响挤压模具使用寿命的主要因素	298
5.5.3	提高工模具使用寿命的主要途径	299
6	型材挤压模具技术最新研究成果及分析	302
6.1	挤压模具技术的设计理论与失效分析	302
6.1.1	模具设计理论的发展现状及评价	302
6.1.2	挤压过程与挤压模具的有限元分析	304
6.1.3	铝合金热挤压的高温密栅云纹法模拟研究及工艺控制	305
6.1.4	流线模挤压的热力学耦合分析	307
6.1.5	挤压模内温度场的有限元分析	307
6.1.6	铝型材挤压平面模应力变形的光弹及有限元分析	308
6.1.7	金属压力加工中的摩擦与润滑	308
6.1.8	铝型材挤压导流模设计技术的开发研究和数值分析	309
6.1.9	挤压模具的优化设计理论与技术开发	310
6.1.10	模具的失效原理及分析	311
6.2	几种新型模具的开发研究	314
6.2.1	变宽度宽展导流模	314
6.2.2	半空心型材模的设计	316
6.2.3	大型散热器型材模的设计结构	317
6.2.4	子母模的设计	319
6.2.5	两型孔分流模新结构的设计	320
6.2.6	多孔分流模新结构的设计	321

6.2.7	改进分流模结构设计的几种新思路	323
6.2.8	Conform 连续挤压模结构设计	326
6.2.9	水冷模和液氮冷却模结构设计	328
6.3	型材挤压模具的 CAD/CAM 技术的开发	333
6.3.1	国外的发展现状与主要成果水平分析	333
6.3.2	国内的研究成果分析	336
6.4	新型挤压模具材料的开发研制	338
6.4.1	3Cr2W8V 和 4Cr5MoSiV1 钢的对比研究	338
6.4.2	热挤压模具材料特种性能的研究与评估	339
6.4.3	新型模具材料的开发研究	340
6.5	新型热处理工艺的开发	342
6.5.1	预处理工艺研究	342
6.5.2	热处理工艺研究	342
6.5.3	强韧化处理工艺研究	343
6.6	表面强化处理新工艺研究	343
6.6.1	离子硫、碳、氮三元共渗工艺研究	343
6.6.2	离子复合处理工艺研究	344
6.6.3	离子氮化工艺研究	344
6.6.4	气体软氮化工艺研究	344
6.6.5	脉冲等离子渗氮工艺研究	344
6.6.6	低温渗硼法的研究	345
6.6.7	PVD-TiN 涂层工艺研究	345
6.7	制模与修模新工艺新方法的研究	346
6.7.1	制模新方法新工艺的研究	346
6.7.2	建筑铝型材挤压模具制造工艺路线的改进研究	348
6.7.3	修模新方法、新工艺的研究	349
6.8	20 世纪 90 年代模具技术的发展趋向	350
6.8.1	模具生产量将继续增长	350
6.8.2	模具新材料开发与应用	350
6.8.3	为了提高产品的尺寸精度、外形精度, 开发新型的模具结构	350
6.8.4	模具的 CAD/CAM 技术进一步发展	350
6.8.5	模具复合加工技术的开发和利用	351
6.8.6	模具自动加工系统的研制和发展	351
6.8.7	激光加工在模具加工系统中的研制和发展	351
6.8.8	研磨新技术的发展方向	351
6.8.9	模具标准化的发展趋向	351
6.8.10	模具制造行业的发展动向	352
6.9	挤压模具技术的主攻课题	352
6.9.1	设计原理与强度校核方法的研究	352

6.9.2	工模具结构的改进研究.....	352
6.9.3	挤压模具的 CAD/CAM 技术的开发	353
6.9.4	模具材料的开发.....	353
6.9.5	制模技术的开发.....	353
6.9.6	提高科学管理水平研究.....	353
	参考文献.....	354

1 绪 论

1.1 铝合金型材的分类及其工艺特点

1.1.1 铝合金型材的分类

挤压型材的分类对选择合理的生产工艺和设备、设计与制造工模具以及解决挤压车间的专业技术问题和生产管理问题等都有重要意义。

目前，铝合金挤压型材的品种规格大约有5万种以上，可以根据以下三个基本特征进行分类：

- (1) 挤压型材的使用性质；
- (2) 挤压型材纵截面的形状；
- (3) 挤压型材横截面的形状和尺寸。

综合分析铝合金挤压型材的产品目录，当考虑到产品的第一个特征时，铝合金型材可分为通用型材和专用型材。

根据第三个特征，通用型材一般可分为四组：直角型材、斜角型材、带圆角和圆弧的型材、圆头型材。

直角型材的外廓是由互相垂直的直线组成。斜角型材是由彼此成任意角度的直线组成。型材形成线间只要有一个角不是直角，就属于斜角型材。

型材至少须有一条形成线是等半径或变半径的弧线才属于圆弧型材。圆头形型材的一个或几个翼缘在端部有半径加大（圆头）。

所涉及的每组型材又可分成7个小组：条型材、角型材、T字型材、工字型材、槽形型材、Z字型材、任意截面型材，参见图1-1。

考虑到第二个和第三个特征，专用型材可分为四组：空心型材、变断面型材、壁板型材和建筑型材，参见图1-2。

空心型材可分为四小组：具有一个圆形孔的；具有一个方形孔或矩形孔的；具有一个异形孔的；具有两个或多个异形孔的空心型材。根据用途不同，空心型材也可分为六个小组：合页型材、直升机用型材、冷冻型材、隔框型材、热交换器和电气工业用型材、建筑型材。

变断面实心型材可分为两个小组：阶段变断面型材和逐渐变断面型材。第一小组的品种相当多，目前大约包括800个典型规格。第二小组型材的品种很少，目前不超过50个典型规格。

阶段变断面型材根据型材部分（薄端）的外形可分为T字形的、工字形的、槽形的、带弯边槽形的，Z字形的和任意截面的型材，而大头部分（厚端）的外形可能是各种各样的。该种型材的特点是：大头端是一个整体，其横断面积超过其型材部分横断面积的3~10倍，大头部分长度通常为100~600mm。图1-3例举了部分阶段变断面型材品种。

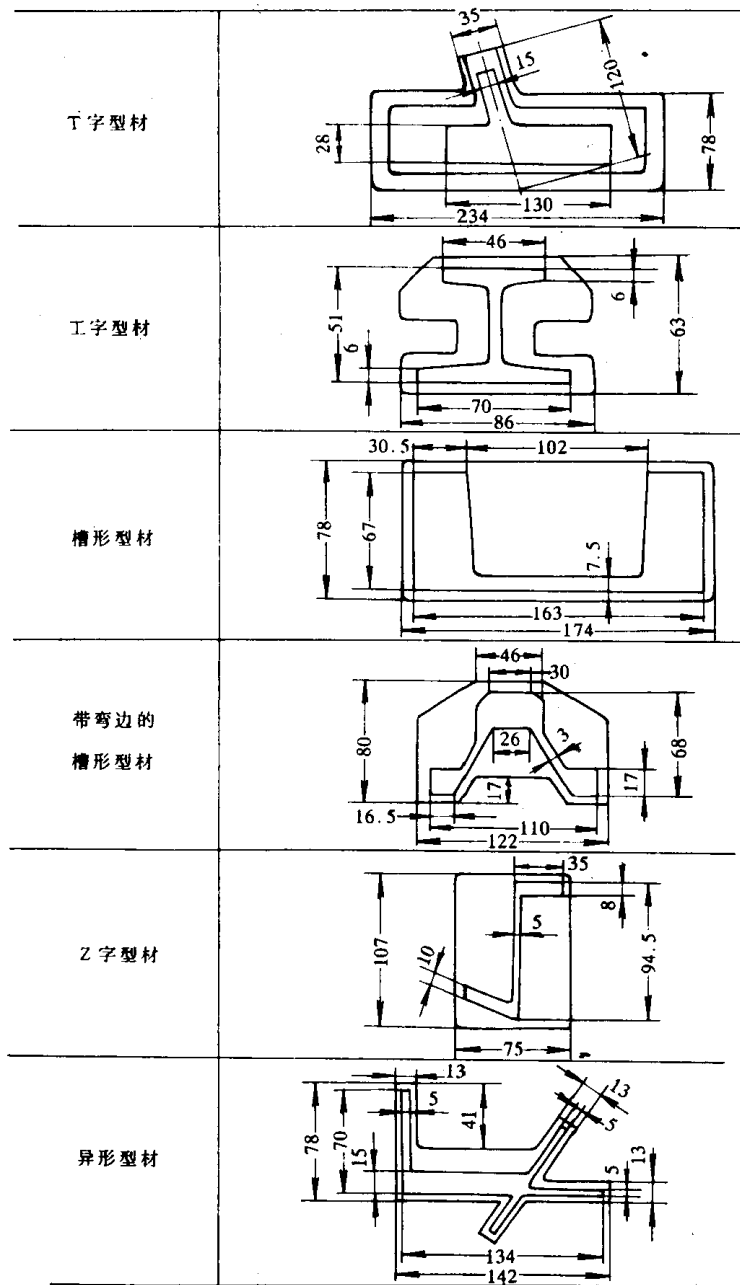


图 1-3 阶段变断面型材品种举例

民用建筑型材在铝型材中所占比重最大，应用最为广泛，绝大多数用 6063T5 材料生产，具有壁薄、形状复杂、精度高、表面质量要求严等特点，故宜单独分为一类。按其形状可分为空心型材和实心型材，按其用途可分为外墙围护结构、门窗洞口填充结构、室内装饰结构、装饰型材和辅助型材等。

此外，按型材的合金状态与力学性能不同，还可分为一般强度型材和高强度型材。

1.1.2 铝合金型材断面设计原则

用挤压的方法生产铝型材是一种节约金属、生产效率较高的方法，但是，它受到许多因素的影响，在型材断面设计时要考虑到挤压的可能性，以下讨论型材断面设计的几个主要因素。

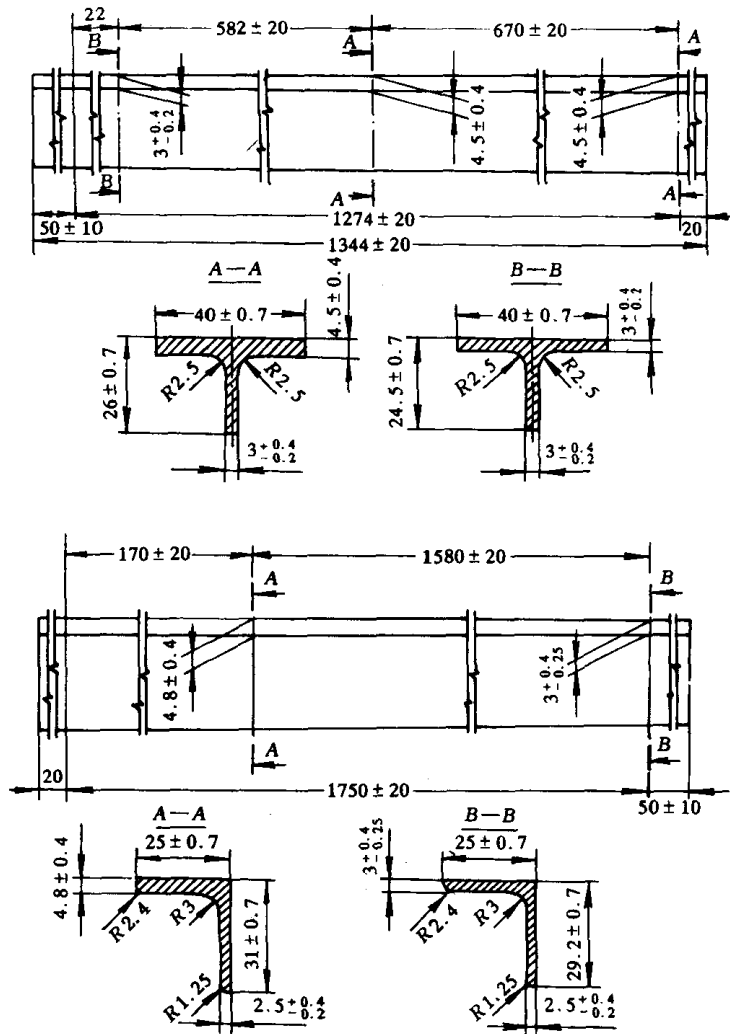


图 1-4 逐渐变断面型材品种举例

1.1.2.1 断面大小

型材断面大小用外接圆来衡量，外接圆越大，所需要的挤压力就越大。一般来说，每台挤压机上能挤压出的最大外接圆的型材不是固定不变的，它与挤压筒直径有关，如 20MN 挤压机上的挤压筒直径一般为 $\phi 170 \sim \phi 200 \text{mm}$ ，最大的可为 $\phi 220 \text{mm}$ ，挤压型材的最大外接圆一般比挤压筒直径小 25~50mm，挤压空心型材时则应更小一些。

1.1.2.2 断面形状的复杂性

根据型材的断面形状可分成三大类，即实心型材、半空心型材及空心型材，见图 1-6。

(1) 实心型材，即是一般的角形、槽形等型材。

(2) 半空心型材，根据断面形状又可分为三级：1) 半空心型材 I 级，空间部分和将空间部分围起来的型材壁厚，从开口处中心线看是左右对称的；2) 半空心型材 II 级，从开口部分中心线看左右是不对称的；3) 半空心 III 级，从开口部分看是左右对称的，与不对称的二个半空心型材。

(3) 空心型材根据断面形状也可分三级：

1) 空心型材 I 级，空心部分是圆的，直径较小，断面形状是对称的，或内径较小，外

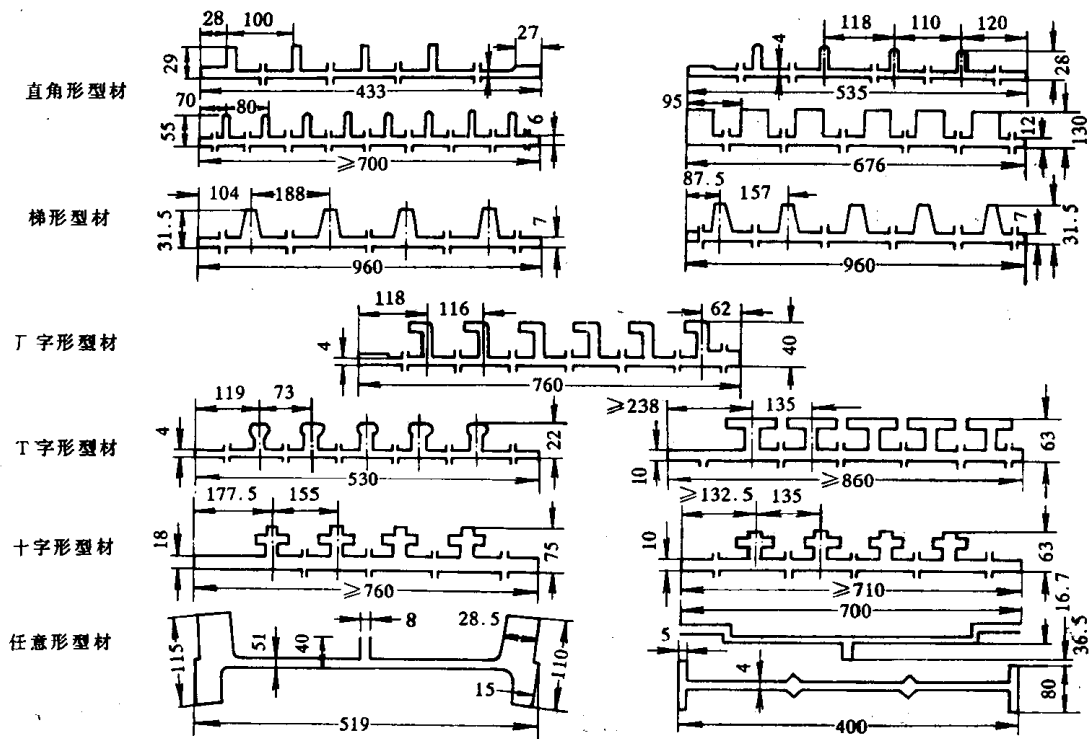


图 1-5 带筋整体壁板型材品种举例

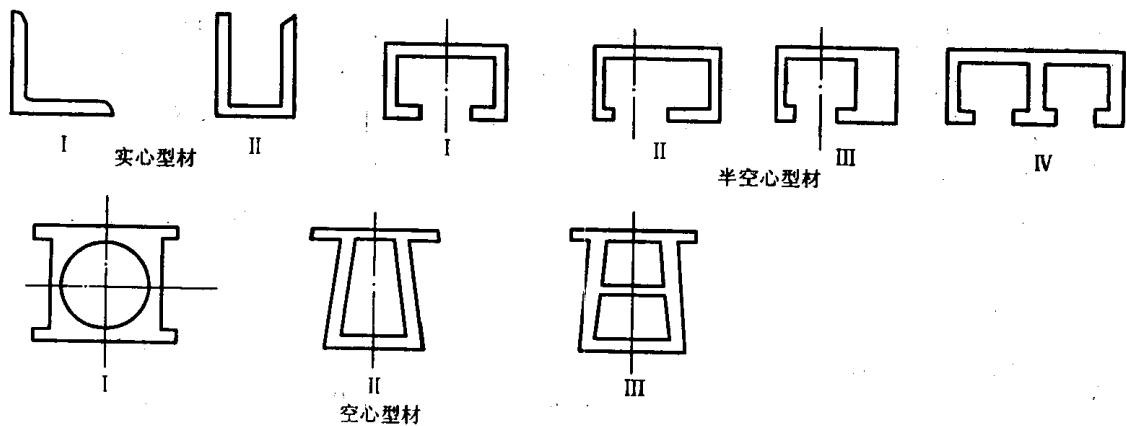


图 1-6 型材按断面分类图

形是不对称的。2) 空心型材Ⅱ级，除Ⅰ级以外的，外接圆不大于 $\phi 130\text{mm}$ ，只有一个空心部分，而且空心部分是非圆形的。3) 空心型材Ⅲ级。除Ⅰ、Ⅱ级以外所有的空心型材，壁厚是均一的，其空心断面是完整或多孔的，即圆、正方、长方、六角、椭圆、梯形等。

但上述三个级别没有包括某些专门用途的空心型材。

除了断面复杂性之外，还要考虑其形状因素，形状因素就是型材断面周长与单位质量之比（或周长与断面积之比），即

$$F_0 = \frac{S}{A} = \frac{S}{W} \quad (1-1)$$

式中 F_0 ——形状因素；
 S ——型材断面周长；

W——型材的单位质量；

A——型材断面积。

综合上述，如以 C 表示型材外接圆直径，那么 SC/A 就是一个反映挤压难易程度的指数，指数值越大，则型材就越难于挤压。

1.1.2.3 挤压系数

为使挤压型材具有一定的变形量，同时又不致于难挤压，合理的选择挤压系数是很重要的。一般来说纯铝的挤压系数可达 300，6063 合金可达 200，硬铝可选在 20~60 之间。有时可用变形率来表示。

$$\epsilon = \frac{A_1 - A_2}{A_1} = \frac{\lambda - 1}{\lambda} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 ϵ ——变形率；

A_1 ——铸锭断面积（挤压筒断面积）；

A_2 ——挤压制品断面积。

通常认为 ϵ 在 95% 以上是经济合理的。

1.1.2.4 型材壁厚

某一特定型材壁厚最小值取决于型材的外接圆直径的大小、合金成分和形状因素等。

壁厚与合金的挤压难易程度有关系。如 6063 合金壁厚取为 1mm 时，则 6061 合金就应取为 1.5mm 左右，而 7075 合金则应取为 2.0~2.5mm 左右。

壁厚选择除与合金有关外，还与外接圆直径、断面形状等有关。型材的外接圆尺寸或宽度尺寸越大，设计的厚度也应越大，一般情况下型材的宽厚比 (B/t) 以小于 30 为宜；当 $B/t > 50$ 时就比较难于挤压了，当 $B/t > 100$ 时，属特别难于挤压成形的型材，需要采取一些特殊的技术措施，才能保证产品质量和使挤压过程得以顺利进行。断面形状对挤压难易程度的影响可参见图 1-10。越难挤压的断面，要求有较大的壁厚，较小的宽厚比和较小的挤压系数。

1.1.2.5 包围空间面积的设计

在型材的断面形状方面，凡有三方面包围，一面开口的部分，称之为空间面积，这个空间从模子方面来看是个悬臂梁，当悬臂梁细而深时，模子破损率就大，甚至很难制造出来，即使能制造出来也很难挤压出型材。表 1-1 为美国的型材断面形状挤压难易程度的分级，由图 1-7 所示，按 F/C^2 或 $E+F/C^2$ 公式计算，哪个数值大取哪个，然后与表 1-1 中的数值对照，比表上数值大的定为半空心型材，小的则定为实心型材。

表 1-1 美国断面形状与挤压难易程度的分级

开口部分深度/mm	1 级		2 级		3 级	
	合金 A	合金 B	合金 A	合金 B	合金 A	合金 B
0.76~1.27	1	1	1	0.75	1	0.5
1.27~1.6	2.0	1.5	1.5	1.0	1.125	0.75
1.6~3.18	2.5	2.0	2.0	1.5	1.5	1.125
3.18~6.35	3.0	2.5	2.5	2.0	1.875	1.5
6.35~12.7	3.5	2.75	3.0	2.5	2.25	1.875

续表 1-1

开口部分深度/mm	1 级		2 级		3 级	
	合金 A	合金 B	合金 A	合金 B	合金 A	合金 B
12.7~25.4	4.0	3.0	3.5	2.5	3.0	2.25
25.4~38.1	3.5	2.75	3.0	2.0	2.25	1.5
38.1~63.5	3.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.125
63.5 以上	2.25	2.0	2.0	1.5	1.5	1.125

合金 A: 1060、1100、3003、5052、5154、5254、6061、6062、6082、6005、6063、6101、6251、6403、7004、7104、7005、7003 等。

合金 B: 2011、2014、2017、2117、2024、5083、5086、5454、5456、6066、7001、7075、7178、7079、8091 等。

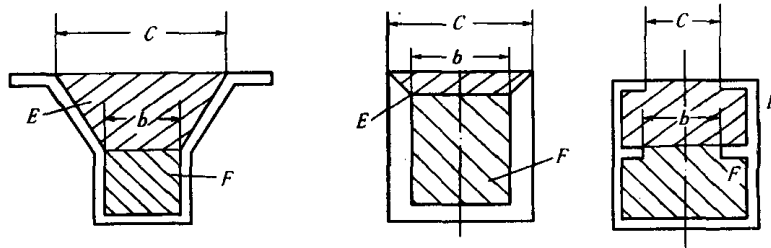


图 1-7 半空心型材断面图

1.1.2.6 直角间的圆角半径

凸出的直角上的过渡半径是很重要的，过小时在模子上会发生应力集中，而凹形的直角则在模孔入口处易于磨损，因此，应尽量避免尖角。像 6063 一类挤压性能良好的合金，其最小圆角半径可取 $R=0.4\text{mm}$ ，其它合金应取 0.6mm 。

1.1.2.7 断面尺寸公差

型材的断面尺寸公差应根据产品的加工余量、使用条件、型材挤压的难易程度、合金牌号和形状的部位来确定，一般来说，在有关的技术标准中或在用户提供的图纸中规定。对某些挤压难度大的型材，可改变形状，或增大工艺余量、尺寸公差来减少挤压的难度，挤压出近似要求的挤压制品，然后整形或加工到使用形状与尺寸。

1.1.2.8 其它的设计要素

铝合金型材的种类很多，在设计时除了要考虑共同的设计要素外，还要考虑各自的特殊设计要素。例如，对长度有要求的型材，必须考虑形位公差。阶段变断面型材要求大头部分与型材部分的断面比例控制在一定范围内，目前这个比例已达到 10 左右，此比例越大，挤压难度就越大。又如对整体带筋壁板型材的宽厚比、立筋的对称性及空心型材对合金成分的选择等等都有严格的要求，在设计型材时必须仔细计算和评估。

1.2 铝合金型材常用合金及其特性

1.2.1 铝合金型材常用合金

变形铝合金可按照以下几个主要特征进行分类：