

669

TG 37

454

金属挤压理论与技术

谢建新 刘静安 著

北 京

冶金工业出版社

2001

内 容 提 要

本书系统地论述了金属挤压理论、挤压技术及其应用,是作者多年教学、科研、技术开发和生产实践经验的积累和总结。

全书包括9章:第1章介绍了挤压技术的历史与发展现状,挤压成形加工的特点与应用;第2章和第3章是有关挤压的基础理论方面的内容,重点讨论了挤压的流动变形行为、挤压制品的组织性能与质量控制、挤压力的计算等问题;第4章至第7章分别介绍了工业生产中应用最为广泛的正挤压、反挤压、静液挤压、连续挤压技术的基本原理、技术特点、工艺实际与发展现状等;第8章介绍了挤压技术在复合材料制备与加工方面的应用;第9章介绍了有关挤压新技术的特点与发展现状。

本书供从事金属材料及其加工行业的科研、设计、生产部门的技术人员阅读,也可供大专院校有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属挤压理论与技术/谢建新,刘静安著. —北京:
冶金工业出版社,2001.5
ISBN 7-5024-2740-6

I. 金… II. ①谢…②刘… III. ①挤压-理论
②挤压-技术 IV. TG37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 10667 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 熊晓梅 责任校对 白迅
北京源海印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销
2001年5月第1版,2001年5月第1次印刷
850mm×1168mm 1/32; 11.75印张; 314千字; 361页; 1-2000册
25.00元
冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893
冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100711) 电话:(010)65289081
(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

挤压是有色金属、钢铁材料生产与零件成形加工的主要方法之一,也是各种复合材料、粉末材料等先进材料制备与加工的重要方法。从大尺寸金属铸锭的热挤压开坯、大型与超大型管棒型材的热挤压加工至小型精密零件的冷挤压成形,从以粉末、颗粒料为原料的复合材料直接固化成形到金属间化合物、超导材料等难加工材料的加工,现代挤压技术得以广泛的应用。

虽然国内外已有几本有影响的有关挤压方面的专著,如 K. Laue、H. Stenger 著《EXTRUSION》,日本塑性加工学会编《押出し加工》,吴诗悫著《挤压理论》等,但尚没有一本较系统地论述挤压基础理论与现代挤压技术及其应用全貌的专著。基于这一认识,著者在多年教学、科学研究、技术开发和生产经验积累与总结的基础上,写成了本书。试图通过有限的篇幅,尽可能将有关挤压的基础理论,挤压技术的发展、现状与应用,以及有关最新研究成果中的主要内容,较系统地总结在一起,以达到读者可以通过本书了解挤压理论与技术全貌的目的。

本书共由 9 章组成:第 1 章介绍了挤压技术的历史与发展现状,挤压成形加工的特点与应用;第 2 章和第 3 章是有关挤压的基础理论方面的内容,重点讨论了挤压的流动变形行为、挤压制品的组织性能与质量控制、挤压力的计算等问题;第 4 章至第 7 章分别介绍了工业生产中应用最为广泛的正挤压、反挤压、静液挤压、连续挤压技术的基本原理、技术特点、工艺实际与发展现状等;第 8 章介绍了挤压技术在复合材料制备与加工方面的应用;第 9 章介绍了有关挤压新技术的特点与发展现状。

除著者本人的研究成果外,本书还参考或引用了国内外专家

学者许多珍贵的资料和研究成果,并在引用之处均用参考文献明示,在此向他(她)们表示深深的谢忱。著者衷心感谢我们的老师、材料加工界前辈,中国工程院院士、北京工业大学校长左铁镛教授,他对本书提出了许多宝贵的意见,并欣然为本书作序,给予本书极高的评价。此外,著者还要借此机会向长期以来与著者一起从事研究、开发、教学、生产技术工作的国内外恩师与同仁表示感谢,本书中许多内容,是著者与他(她)们共同钻研的成果。北京科技大学材料科学与工程学院李静媛女士对本书书稿的撰写给予了很大的帮助,在此深表谢意。

作者热切地希望,本书能为读者提供有益的启示与参考作用,但限于作者的学识与经验,书中难免存在一些不妥之处,真诚地欢迎读者批评指正。

作者

2001年2月

1 概 论

1.1 挤压技术的发展与现状^[1,2]

挤压是对放在容器(挤压筒)内的金属坯料施加外力,使之从特定的模孔中流出,获得所需断面形状和尺寸的一种塑性加工方法,如图 1-1 所示。

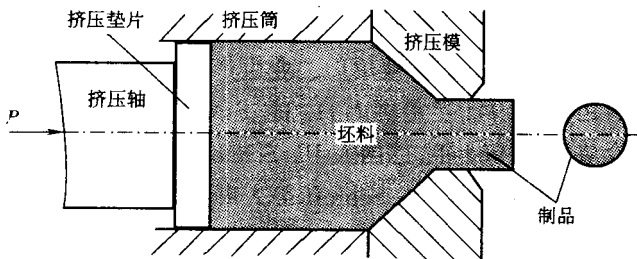


图 1-1 金属挤压的基本原理

与其他金属塑性加工方法(如轧制、锻压)相比,挤压法出现较晚。约在 1797 年,英国人布拉曼(S. Braman)设计了世界上第一台用于铅挤压的机械式挤压机,并取得了专利。1820 年英国人托马斯(B. Thomas)首先设计制造了液压式铅管挤压机,这台挤压机具有现代管材挤压机的基本组成部分:挤压筒、可更换挤压模、装有垫片的挤压轴和通过螺纹连接在轴上的随动挤压针。从此,管材挤压得到了较快的发展。著名的 Tresca 屈服准则就是法

国人 Tresca 在 1864 年通过铅管的挤压实验建立起来的。1870 年,英国人 Haines 发明了铅管反向挤压法,即挤压筒的一端封闭,将挤压模固定在空心挤压轴上实现挤压。1879 年法国的 Borel、德国的 Wesslau 先后开发了铅包覆电缆生产工艺,成为世界上采用挤压法制备复合材料的历史开端。大约在 1893 年,英国人 J. Robertson 发明了静液挤压法,但当时没有发现这种方法有何工业应用价值,直到 20 世纪 50 年代(1955 年)才开始得以实用化。1894 年英国人 G. A. Dick 设计了第一台可挤压熔点和硬度较高的黄铜及其他铜合金的挤压机,其操作原理与现代的挤压机基本相同。1903 年和 1906 年美国 G. W. Lee 申请并公布了铝、黄铜的冷挤压专利。1910 年出现了铝材挤压机,1923 年 Duraaluminum 最先报道了采用复合坯料成形包覆材料的方法。1927 年出现了可移动挤压筒,并采用了电感应加热技术。1930 年欧洲出现了钢的热挤压,但由于当时采用油脂、石墨等作润滑剂,其润滑性能差,存在挤压制品缺陷多、工模具寿命短等致命的弱点。钢的挤压真正得到较大发展并被用于工业生产,是在 1942 年发明了玻璃润滑剂之后。1941 年美国 H. H. Stout 报道了铜粉末直接挤压的实验结果。1965 年,德国人 R. Schnerder 发表了等温挤压实验研究结果,英国的 J. M. Sabroff 等人申请并公布了半连续静液挤压专利。1971 年英国人 D. Green 申请了 Conform 连续挤压专利之后,挤压生产的连续化受到极大重视,于 20 世纪 80 年代初实现了工业化应用。

由上述可知,挤压技术的前期发展过程是从软金属到硬金属,从手工到机械化、半连续化,进一步发展到连续化的过程。而从 20 世纪 50 年代后期至 20 世纪 80 年代初期,欧美、日本等先进国家对建筑、运输、电力、电子电器用铝合金挤压型材需要量的急剧增长,近 20 年来高速发展的工业技术对挤压制品断面形状复杂化、尺寸大范围化(向小型化与大型化两个方向发展)与高精度化、性能均匀化等的要求,以及厂家对高效率化生产和高剩余价值产品的追求,促进了挤压技术的迅速发展,具体表现为:(1)小断面超

精密型材与大型或超大型型材(如大型整体壁板)的挤压、等温挤压、水封挤压、冷却模挤压、高速挤压等正向挤压技术的发展与进步;(2)反向挤压、静液挤压技术应用范围的扩大;(3)以 Conform 为代表的连续挤压技术的实用化;(4)各种特殊挤压技术,如粉末挤压,以铝包钢线和低温超电导材料为代表的层状复合材料挤压技术的广泛应用;(5)半固态金属挤压、多坯料挤压等新方法的开发研究等。从应用范围看,从大尺寸金属铸锭的热挤压开坯至小型精密零件的冷挤压成形,从以粉末、颗粒料为原料的直接挤压成形到金属间化合物、超导材料等难加工材料的挤压加工,现代挤压技术得到了极为广泛的开发与应用。

1.2 挤压方法的分类

根据挤压筒内金属的应力应变状态、挤压方向、润滑状态、挤压温度、挤压速度、工模具的种类或结构、坯料的形状或数目、制品的形状或数目等的不同,挤压的分类方法也不同。各种分类方法如图 1-2 所示。这些分类方法并非一成不变,许多分类方法可以作为另一种分类方法的细分。例如,当按照挤压方向来分时,一般认为有正向挤压、反向挤压、侧向挤压等三种,而正向挤压、反向挤压又可按照变形特征进一步分为平面变形挤压、轴对称变形挤压、一般三维变形挤压等。图 1-3 所示为工业上广泛应用的几种主要挤压方法,即正向挤压(正挤压)法、反向挤压(反挤压)法、侧向挤压法、玻璃润滑挤压法、静液挤压法、连续挤压法的示意图。这几种方法的主要特征如下。

1.2.1 正向挤压(正挤压)

通常将金属挤压时制品流出方向与挤压轴运动方向相同的挤压,称为正向挤压或简称正挤压,如图 1-1 所示。正挤压是最基本的挤压方法,以其技术最成熟、工艺操作简单、生产灵活性大等特

点,成为以铝及铝合金、铜及铜合金、钛合金、钢铁材料等为代表的许多工业与建筑材料成形加工中最广泛使用的方法之一。正挤压又可按照图 1-2 所示的其他分类方法进一步分类,如分为平面变形挤压、轴对称变形挤压和一般三维变形挤压,或分为冷挤压、温挤压和热挤压等。

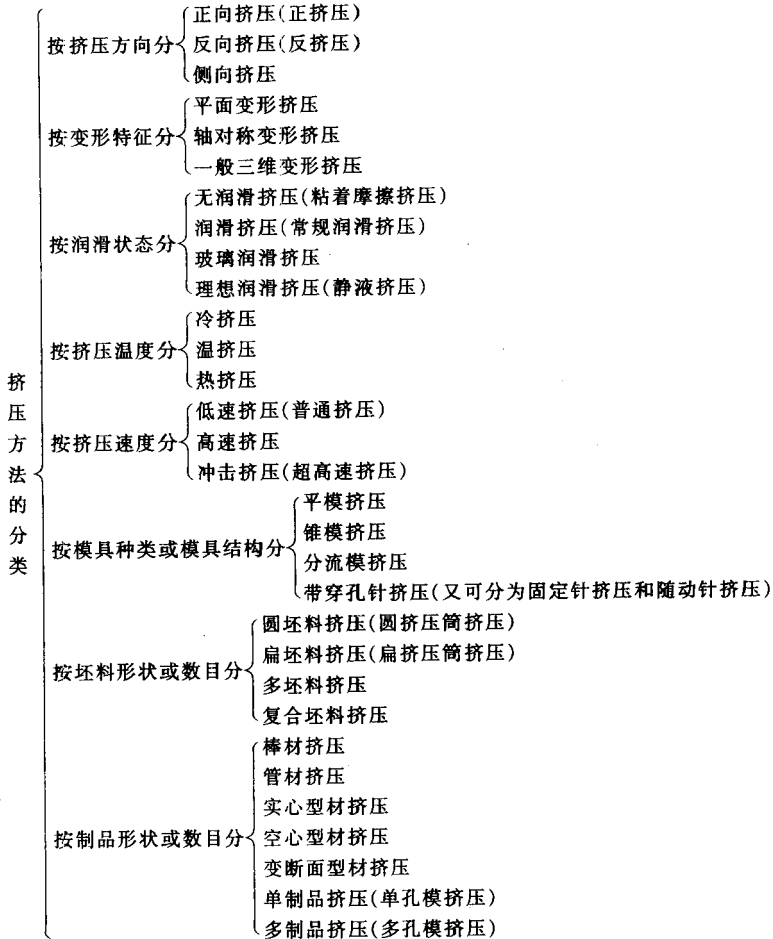


图 1-2 挤压方法的分类

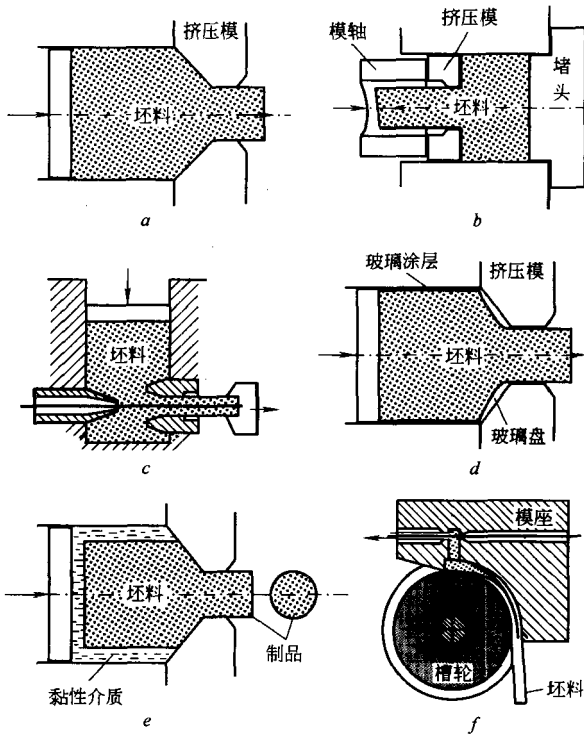


图 1-3 工业上常用挤压方法

a—普通正挤压；b—反挤压；c—侧向挤压；
d—玻璃润滑挤压；e—静液挤压；f—连续挤压

正挤压的基本特征是，挤压时坯料与挤压筒之间产生相对滑动，存在有很大的外摩擦，且在大多数情况下，这种摩擦是有害的^①，它使金属流动不均匀，从而给挤压制品的质量带来不利影响，导致挤压制品头部与尾部、表层部与中心部的组织性能不均匀；使挤压

① 按照定义，挤压筒驱动的有效摩擦挤压也是一种正挤压，而此时坯料与挤压筒壁之间的摩擦是有益的。

能耗增加,一般情况下挤压筒内表面上的摩擦能耗占挤压能耗的30%~40%,甚至更高;由于强烈的摩擦发热作用,限制了铝及铝合金等中低熔点合金挤压速度的提高,加快了挤压模具的磨损。

1.2.2 反向挤压(反挤压)

金属挤压时制品流出方向与挤压轴运动方向相反的挤压,称为反向挤压或简称反挤压,如图1-3b所示。反挤压法主要用于铝及铝合金(其中以高强度铝合金的应用相对较多)、铜及铜合金管材与型材的热挤压成形,以及各种铝合金、铜合金、钛合金、钢铁材料零部件的冷挤压成形。反挤压时金属坯料与挤压筒壁之间无相对滑动,挤压能耗较低(所需挤压力小),因而在同样能力的设备上,反挤压法可以实现更大变形程度的挤压变形,或挤压变形抗力更高的合金。与正挤压不同,反挤压时金属流动主要集中在模孔附近的领域,因而沿制品长度方向金属的变形是均匀的。但是,迄今为止反挤压技术仍不完善,主要体现在挤压操作较为复杂,间隙时间较正挤压长,挤压制品质量的稳定性仍需进一步提高等方面^[2]。

1.2.3 侧向挤压

金属挤压时制品流出方向与挤压轴运动方向垂直的挤压,称为侧向挤压,如图1-3c所示。由于其设备结构和金属流动特点,侧向挤压主要用于电线电缆行业各种复合导线的成形^[1],以及一些特殊的包覆材料成形。但近年来,有关通过高能高速变形来细化晶粒、提高材料力学性能的研究受到重视,因而利用可以附加强烈剪切变形的侧向挤压法制备高性能新材料的尝试成为研究热点之一,如侧向摩擦挤压、等通道侧向挤压^[3]等。

1.2.4 玻璃润滑挤压

玻璃润滑挤压主要用于钢铁材料以及钛合金、钨金属等高熔点材料的管棒材和简单型材的成形。如图1-3d所示,其主要特征

是变形材料与工具之间隔有一层处于高黏性的熔融玻璃,以减轻坯料与工具间的摩擦,并起到隔热作用。根据所用玻璃润滑剂的种类不同,其使用温度范围一般为 600~1200℃。由于施加润滑剂、挤压后脱润滑剂等操作的缘故,玻璃润滑挤压工艺通常非常繁杂,对生产率的影响较大。

1.2.5 静液挤压

与正挤压、反挤压等方法不同,静液挤压时金属坯料不直接与挤压筒内表面产生接触,二者之间介以高压介质,施加于挤压轴上的挤压力通过高压介质传递到坯料上而实现挤压,如图 1-3e 所示。静液挤压时,坯料与挤压筒内表面之间几乎没有摩擦存在,接近于理想润滑状态,金属流动均匀。同时,由于坯料周围存在较高的静水压力,有利于提高坯料的变形能力。因此,静液挤压主要用于各种包覆材料成形、低温超导材料成形、难加工材料成形、精密型材成形等方面。但是,由于使用了高压介质,需要进行坯料预加工、介质充填与排放等操作,降低了挤压生产成材率,增加了挤压周期,静液挤压的应用受到了很大限制。

1.2.6 连续挤压

以上所述各种方法的一个共同特点是挤压生产的不连续性,前后坯料的挤压之间需要进行分离压余、充填坯料等一系列辅助操作,影响了挤压生产的效率,不利于生产连续长尺寸的制品。为此,实现挤压生产的连续化是近 30 年来挤压技术研究开发的重要方向之一。挤压生产真正实现连续化,并获得较好的实际应用,是在英国原子能局的 D.Green 于 1971 年发明了 Conform 连续挤压法之后^[4,5]。如图 1-3f 所示,Conform 连续挤压法是利用变形金属与工具之间的摩擦力而实现挤压的。由旋转槽轮上的矩形断面槽和固定模座所组成的环行通道起到普通挤压法中挤压筒的作用,当槽轮旋转时,借助于槽壁上的摩擦力不断地将杆状坯料送入而实现连续挤压。

Conform 连续挤压时坯料与工具表面的摩擦发热较为显著。因此,对于低熔点的铝及铝合金,不需进行外部加热即可使变形区的温度上升至 $400\sim 500^{\circ}\text{C}$ 而实现热挤压。而对于铜及铜合金等较高熔点的材料,单靠摩擦发热很难达到变形金属的热挤压温度,一般需要对轮槽、模座进行辅助加热才能实现稳定挤压。

Conform 连续挤压适合于铝包钢电线等包覆材料、小断面尺寸的铝及铝合金线材、管材、型材的成形。采用扩展模挤压技术,也可用于较大断面型材的生产。

1.3 挤压加工的特点

挤压加工具有许多特点,主要表现在挤压变形过程的应力应变状态、金属流动行为、产品的综合质量、生产的灵活性与多样性、生产效率与成本等一些方面^[6,7]。

1.3.1 挤压加工的优点

挤压加工的优点如下:

(1) 提高金属的变形能力。金属在挤压变形区中处于强烈的三向压应力状态,可以充分发挥其塑性,获得大变形量。例如,纯铝的挤压比(挤压筒断面积与制品断面积之比)可以达到 500,纯铜的挤压比可达 400,钢的挤压比可达 $40\sim 50$ 。对于一些采用轧制、锻压等其他方法加工困难乃至不能加工的低塑性难变形金属和合金,甚至有如铸铁一类脆性材料,也可采用挤压法进行加工。

(2) 制品综合质量高。挤压变形可以改善金属材料的组织,提高其力学性能,特别是对于一些具有挤压效应的铝合金,其挤压制品在淬火时效后,纵向(挤压方向)力学性能远高于其他加工方法生产的同类产品。对于某些需要采用轧制、锻造进行加工的材料,例如钛合金、LF6、LC4、MB15 锻件,挤压法还常被用作铸锭的开坯,以改善材料的组织,提高其塑性。

与轧制、锻造等加工方法相比,挤压制品的尺寸精度高、表面质量好。随着挤压技术的进步、工艺水平的提高和模具设计与制造技术的进步,现已可以生产壁厚 0.3~0.5mm、尺寸精度达 $\pm 0.05\sim 0.1\text{mm}$ 的超小型高精密空心型材。

(3) 产品范围广。挤压加工不但可以生产断面形状简单的管、棒、线材,而且还可以生产断面形状非常复杂的实心 and 空心型材、制品断面沿长度方向分阶段变化的和逐渐变化的变断面型材,其中许多断面形状的制品是采用其他塑性加工方法所无法成形的。挤压制品的尺寸范围也非常广,从断面外接圆直径达 500~1000mm 的超大型管材和型材,到断面尺寸有如火柴棒大小的超小型精密型材。

(4) 生产灵活性大。挤压加工具有很大的灵活性,只需更换模具就可以在同一台设备上生产形状、尺寸规格和品种不同的产品,且更换工模具的操作简单方便、费时小、效率高。

(5) 工艺流程简单、设备投资少。相对于穿孔轧制、孔型轧制等管材与型材生产工艺,挤压生产具有工艺流程短、设备数量与投资少等优点。

1.3.2 挤压加工的缺点

虽然挤压加工具有上述许多优点,但由于其变形方式与设备结构的特点,也存在一些缺点:

(1) 制品组织性能不均匀。由于挤压时金属的流动不均匀(在无润滑正向挤压时尤为严重),致使挤压制品存在表层与中心、头部与尾部的组织性能不均匀现象。特别是 LD2、LD5、LD7 等合金的挤压制品,在热处理后表层晶粒显著粗化,形成一定厚度的粗晶环,严重影响制品的使用性能。

(2) 挤压工模具的工作条件恶劣、工模具耗损大。挤压时坯料处于近似密闭状态,三向压力高,因而模具需要承受很高的压力作用。同时,热挤压时工模具通常还要受到高温、高摩擦作用,从而大大影响模具的强度和使用寿命。

(3) 生产效率较低。除近年来发展的连续挤压法外,常规的各种挤压方法均不能实现连续生产。一般情况下,挤压速度(这里指制品的流出速度)远远低于轧制速度,且挤压生产的几何废料损失大、成品率较低。

1.4 挤压制品的种类及用途

从原理上讲,几乎所有的金属材料均可以采用挤压的方法进行加工,但由于挤压加工的能耗、模具消耗大,对设备能力要求高等特点,挤压加工应用最多的材料是低熔点有色金属,如铝及铝合金的挤压,较高熔点的有色金属如铜及铜合金、钛及钛合金次之,钢铁材料则相对较少。从挤压温度来看,以挤压温度在被加工材料的再结晶温度以上的热挤压居大多数,而用于各种零部件成形的温挤压与冷挤压相对较少。关于各种材料挤压制品种类与用途的详细情况将在相应章节讨论,这里概要介绍几类主要的挤压材料的特性及挤压制品的用途^[2,8,9]。

1.4.1 铝及铝合金

进入 20 世纪 90 年代以来,可持续发展问题受到普遍重视,各个领域对于节能、轻量化的要求越来越高。铝合金由于具有比强度高、耐腐蚀、加工性好、易于回收等特点,是现代社会所追求的、最有希望的金属材料。铝合金挤压制品种类多、用途广。图 1-4 所示为铝合金挤压型材断面形状之例^[10]。据有关资料统计,1998 年全球铝材挤压机已超过 5500 台,铝材品种达 40000 种。1998 年国内挤压铝材实际产量约为 95 万 t,而生产能力已达到 200 万 t。同期日本的实际年产量约为 150 万 t,美国的实际产量则达 350 万 t,欧洲国家的实际产量约为 200 万 t,均远远超过中国的年产量。

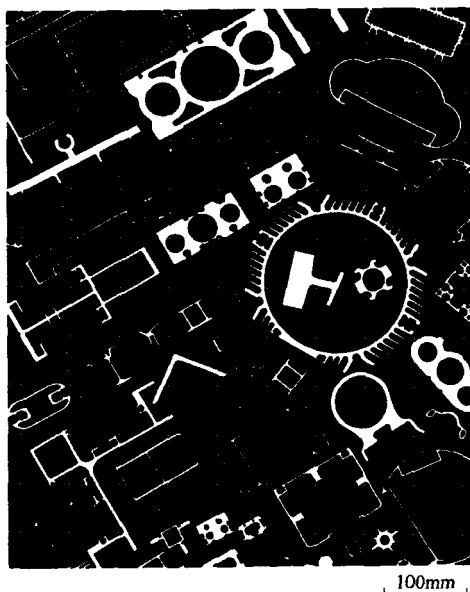


图 1-4 铝合金挤压型材断面形状之例

铝合金按照对于最终制品的性能要求与用途不同,分为铸造铝合金和变形铝合金两大类。国际上通常将变形铝合金按主要合金元素的种类分为 8 大类,分别为 1000 系、2000 系,⋯,7000 系和 8000 系。国内过去按照变形铝合金的性能与使用要求分为工业纯铝(L 系)、防锈铝(LF 系)、锻铝(LD 系)、硬铝(LY 系)、超硬铝(LC 系)、特殊铝(LT 系)、硬钎焊铝(LQ 系),近年参考国际命名法,重新建立了一套由数字与字母组成的 4 位牌号体系,正在推广。不同合金系的材料特征与挤压制品用途如下:

(1) 1000 系纯铝,工业纯铝,具有优良的可加工性、耐腐蚀性、表面处理性和导电性,但强度较低。主要用于对于强度要求不高的家庭用品、电气制品、医药与食品包装、输电与配电材料等。

(2) 2000 系合金,Al-Cu 系合金,对应于国内的硬铝和部分锻

铝,如 2017(LY11)、2024(LY12)、2117(LY1)、2014(LD10)、2618(LD7)等。该系列具有可和钢材相匹敌的强度,多用于飞机结构材料。但由于 Cu 含量较高,耐蚀性较差,用于腐蚀环境时需要进行防蚀处理。

(3) 3000 系合金,AL-Mn 系合金,热处理不可强化,含 1%~1.5%Mn(质量分数)的 3003 合金(LF21)为其典型代表,可加工性、耐蚀性与纯铝相当,强度有较大提高,焊接性能良好。广泛用于日用品、建筑材料、器件等方面。

(4) 4000 系合金,Al-Si 系合金,对应于国内的特种铝合金系列,如含 5%Si(质量分数)的 4043 合金(LT1)专门用作焊接材料,具有熔点低(575~630℃)、流动性好、耐蚀性好等特点。

(5) 5000 系合金,AL-Mg 系合金,热处理不可强化,耐蚀性、焊接性、表面光泽性优良,通过控制 Mg 的含量,可以获得不同强度级别的合金,如 5052(LF2)、5083(LF4)、5056(LF6)等。含 Mg 量少的合金主要用于装饰材料、高级器件,含 Mg 量中等的合金主要用于船舶、车辆、建筑材料,含 Mg 量高的合金主要用于船舶、车辆、化学工厂的焊接构件。

(6) 6000 系合金,Al-Mg-Si 系合金, Mg_2Si 析出硬化型热处理可强化合金,耐蚀性良好,具有较高强度(在铝合金中属于中等),且热加工性优良,因而大量用作挤压材料。据统计,6000 系挤压加工材料的使用量占全世界挤压材料的使用量的 80%以上,在日本甚至高达 90%^[2]。尤其是 6063 铝合金除具有优良的挤压成形性能外,还具有良好的淬火性能,大量用于建筑型材挤压生产。

(7) 7000 系合金,包括 Al-Zn-Mg-Cu 高强度铝合金和 Al-Zn-Mg 焊接构件用合金两大类,前者如 7075(LC9),后者如 7003、7N01 等。7075 在铝合金中强度最高,主要用于飞机与体育用品;7003、7N01 为日本开发的合金,具有强度高、焊接性与淬硬性优良等特点,主要用于铁道车辆用焊接结构材料。7000 系合金的主要缺点是耐应力腐蚀裂纹性能较差,需要采用合适的热处理予以改

善。

(8) 8000 系合金, 8090 是典型的 8000 系挤压铝合金(Al-Li 合金), 其最大特点是密度低、高刚性、高强度, 是世界各国竞相开发的材料。例如, 美国空军的开发目标是强度等其他性能指标与 7075T6 相当, 而刚性比其提高 30%; 美国铝业公司的开发目标是, 力学性能与 7075T6 或 6061T6 相当, 而密度降低 8%~9%。

1.4.2 铜及铜合金

铜及铜合金的强度较低, 很少将其用作结构材料, 但由于其导电、导热性能优良, 多用作电器、导线材料。除冷挤压的情形外, 铜及铜合金挤压材料很少直接使用, 一般需要经过拉拔、轧制、锻造等二次加工后使用。各种铜合金的特性及制品的用途如下:

(1) 工业纯铜, 加工纯铜主要分为含氧铜(韧铜、反射炉精炼铜, T1、T2、T3)、磷脱氧铜(TP1、TP2)、无氧铜(TU1、TU2)三大类, 此外还有少量低合金化铜(TAg0.1)。含氧铜(氧的质量分数为 0.02%~0.04%)具有优良的导电性, 主要用作导电材料和装饰材料。纯铜中含少量的氧可以与微量杂质形成氧化物, 以防止杂质的固溶而导致导电性的降低。但含氧铜在含氢气氛中容易产生氢脆现象。

磷脱氧铜由于含氧量低, 不容易产生氢脆现象, 且加工性、焊接性、耐蚀性优良, 以棒材、管材等用于热交换器材料、配管、装饰用材等方面。但由于含磷, 导电性下降。

无氧铜(氧含量在 0.001% 以下)具有优良的加工性、耐蚀性、导电性, 用于真空管等电子材料、低温超导材料的稳定材料等方面。

(2) 黄铜, Cu-Zn 系合金, 是应用最广的典型变形铜合金。与纯铜相比, 力学性能与加工性能良好, 但导电导热性能、耐蚀性能大为降低。锌含量(质量分数)为 5%~20% 的黄铜由于具有金黄色, 主要用于建筑与装饰材料; 锌含量(质量分数)为 25%~35% 的黄铜强度较纯铜大幅度提高, 且富有延展性, 冷锻性能与滚轧性