

普通高等教育国家级规划教材

有色金属材料加工

YOUSEJINSHU
CAILIAOJIAGONG

主 编 刘楚明

副主编 林高用 邓运来 胡其平

 中南大学出版社
www.csupress.com.cn

普通高等教育国家级规划教材

有色金属材料加工

主 编 刘楚明

副主编 林高用 邓运来 胡其平

中南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

有色金属材料加工/刘楚明主编. —长沙:中南大学出版社,2010
ISBN 978-7-81105-862-8

I. 有... II. 刘... III. 有色金属—金属加工 IV. TG146

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 006501 号

有色金属材料加工

主编 刘楚明

☐责任编辑 周兴武

☐责任印制 汤庶平

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 长沙瑞和印务有限公司

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 17 ☐字数 418 千字

☐版 次 2010 年 2 月第 1 版 ☐2010 年 2 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-81105-862-8

☐定 价 35.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

内 容 简 介

本书为普通高等教育国家级规划教材,根据材料科学与工程学科新编教学大纲的基本要求编写。本书系统地阐述了金属塑性加工的基本原理,重点介绍了有色金属材料加工的各种成形技术和方法。主要包括:有色金属板带箔材、有色金属管棒型材、有色金属线材及有色金属锻冲成形和特种加工技术等部分。该书层次清楚,重点突出,深入浅出,通俗易懂,可供大专院校材料科学与工程专业及相近学科的大学生作为教材用书或参考书,也可供从事材料加工研究或生产的工程技术人员参考。

序 言

本教材属于普通高等教育国家级规划教材,根据材料科学与工程专业新编本科生教学大纲要求及有色金属方面的研究特色,由长期从事相关课程教学的教师编写而成。本书系统地阐述了金属塑性加工的基本方法与原理,重点介绍有色金属材料的加工成形技术及其发展趋势。主要内容包括:有色金属板带箔材、有色金属管棒型材、有色金属线材及有色金属锻冲成形和特种加工技术等部分。为便于教学和自学,书后附有思考题和习题。

本教材主要参考了马怀宪主编的《金属塑性加工学——挤压、拉拔与管材冷轧》、傅祖铸主编的《有色金属板带材生产》和娄燕雄主编的《有色金属线材生产》这三本教材。在编写过程中编者还参考了近期国内外出版的多种金属塑性加工原理和技术等方面的有关著作和文献,并根据长期从事塑性加工技术教学和科研工作的体会与经验,在体系上做了新的调整,在有色金属特种成形技术、难变形金属挤压、有色金属线材加工、拉拔配模技术等问题的阐述方面反映了编者自己的教学和科研成果与见解。

本教材可供大专院校材料科学与工程专业及相近学科的大学本、专科生作为教学用书或参考书,教学课时数约 80~120 学时;本教材也可供从事材料加工领域研究开发或生产的工程技术人员参考。

本教材由中南大学材料科学与工程学院刘楚明教授任主编,林高用教授、邓运来副教授和胡其平副教授为副主编。全书分 5 章:绪论和第 1、3 章及习题由刘楚明教授编写,第 2 章由胡其平副教授编写,第 4 章由邓运来副教授编写,第 5 章及其他部分由林高用教授编写。全书由彭大暑教授和傅祖铸教授审定。

本教材根据国家教育部“21 世纪初高等教育教学改革工程”本科教育教改立项项目“材料科学与工程类人才培养方案的综合改革与实践”(编号:1282B10042)的改革新要求进行了认真的审定,并在此项目的推动和资助下出版。此外,在编写和出版过程中,得到了中南大学材料科学与工程学院和中南大学出版社的大力支持。在此深表感谢!

由于编者水平有限,加之编写时间仓促,难免有错误和疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2010 年 2 月

目 录

绪论	(1)
第1章 有色金属材料塑性加工方法	(5)
1.1 基本塑性加工方法	(5)
1.1.1 挤压	(5)
1.1.2 轧制	(9)
1.1.3 拉拔	(12)
1.1.4 锻造	(15)
1.1.5 冲压	(19)
1.2 特种塑性成形	(20)
1.2.1 超塑性成形	(20)
1.2.2 旋压成形	(21)
1.2.3 摆动碾压成形	(23)
1.2.4 粉末冶金锻造	(23)
1.2.5 液态模锻	(25)
1.2.6 高能率成形	(26)
1.2.7 充液拉深	(27)
1.2.8 聚氨酯成形	(29)
第2章 有色金属板带箔材加工	(30)
2.1 简单轧制过程的基本概念	(30)
2.1.1 简单轧制过程及变形参数	(30)
2.1.2 变形区及参数	(31)
2.1.3 轧制过程建立的条件	(33)
2.1.4 轧制过程的基本特点	(37)
2.2 轧制时的流动与变形	(41)
2.2.1 沿轧件断面高向流动与变形的不均匀性	(41)
2.2.2 轧制时的纵向变形——前滑与后滑	(44)
2.2.3 轧制时的横向变形——宽展	(47)
2.2.4 最小可轧厚度	(50)
2.3 轧制压力	(51)
2.3.1 轧制压力的概念	(51)
2.3.2 轧制压力的通常确定方法	(52)

2.3.3	单位压力的确定	(53)
2.3.4	平均单位压力与应力状态系数 n_σ 的确定	(58)
2.3.5	金属实际变形抗力的确定	(63)
2.3.6	轧制压力计算举例	(68)
2.4	轧机传动力矩及主电机功率计算	(69)
2.4.1	轧机传动力矩的组成	(69)
2.4.2	轧制力矩的确定	(70)
2.4.3	附加摩擦力矩的确定	(73)
2.4.4	空转力矩的确定	(74)
2.4.5	动力矩的确定	(75)
2.4.6	轧制负荷图与主电机功率计算	(75)
2.5	板带箔材生产基本工艺	(79)
2.5.1	板带箔材产品及生产方法与工艺流程	(79)
2.5.2	热轧锭坯准备	(81)
2.5.3	热轧工艺	(85)
2.5.4	冷轧工艺	(90)
2.5.5	有色金属板带箔材典型生产工艺举例	(95)
2.5.6	板带箔产品的主要缺陷与质量控制	(101)
第3章	有色金属管棒型材加工	(105)
3.1	有色金属管棒型材挤压加工	(105)
3.1.1	挤压基本理论	(105)
3.1.2	挤压制品的组织与性能	(118)
3.1.3	挤压工艺	(122)
3.2	有色金属管棒型材的拉拔	(130)
3.2.1	拉拔时的应力与变形	(130)
3.2.2	拉拔力	(139)
3.2.3	拉拔工艺	(143)
3.3	管材冷轧	(152)
3.3.1	管材冷轧的主要方法	(152)
3.3.2	周期式冷轧管机轧制的变形原理和工具设计	(153)
第4章	有色金属线材加工	(166)
4.1	金属线材的生产方法	(166)
4.2	线杆的生产	(167)
4.2.1	线杆的孔型轧制	(167)
4.2.2	线杆的连铸连轧	(175)
4.2.3	紫铜线杆的直接铸造	(178)
4.3	线材拉拔及拉线机	(181)

4.3.1 拉线理论基础	(181)
4.3.2 拉线机的拉线原理及其配模设计	(188)
4.4 有色金属线材生产工艺	(194)
4.4.1 圆铜线	(194)
4.4.2 圆铝线	(197)
4.4.3 钨丝	(198)
4.4.4 扁线和型线	(199)
4.4.5 双金属线	(200)
第5章 有色金属锻造与冲压成形	(202)
5.1 自由锻	(202)
5.1.1 墩粗	(202)
5.1.2 拔长	(206)
5.1.3 冲孔	(208)
5.1.4 扩孔	(210)
5.1.5 锻造设备吨位选择	(211)
5.1.6 自由锻锻件的结构工艺性	(214)
5.2 模锻	(214)
5.2.1 概述	(215)
5.2.2 开式模锻	(217)
5.2.3 闭式模锻	(220)
5.2.4 锻锤吨位计算	(222)
5.2.5 模锻件的结构工艺性	(222)
5.2.6 模锻工艺举例	(223)
5.3 冲压成形	(225)
5.3.1 冲裁	(225)
5.3.2 弯曲	(233)
5.3.3 拉深	(240)
5.3.4 胀形	(244)
5.3.5 翻边	(247)
5.4 冲压件的工艺性	(250)
5.4.1 冲压件的形状和尺寸	(250)
5.4.2 冲压件精度	(252)
总复习题	(254)
专业词汇中英文对照	(256)
参考文献	(261)

绪 论

材料是人类赖以生存和从事一切活动的物质基础。现代工业、农业、国防建设及科学技术的高速发展和人民生活水平的提高,对材料的种类、功能和效用提出了越来越高的要求。现在人们把材料、能源和信息科学看作是现代技术的三大支柱,新材料更被视为新技术革命的基础和先导。材料主要分为金属材料、无机非金属材料、高分子材料和复合材料。任何材料的使用都要经过加工成形,因此材料成形加工在国民经济中占有极为重要的地位,同时也在一定意义上标志着一个国家的工业、农业、国防和科学技术水平。材料成形的主要任务是解决材料的几何成形及其内部组织性能控制的问题,以获得所需几何形状、尺寸和质量的毛坯或零件。在选择成形工艺方法时,需要综合考虑材料的种类、性能、零件的形状尺寸、工作条件及使用要求、生产批量和制作成本等多种因素,以达到技术上可行、质量可靠和成本低廉。

1 材料塑性成形及其特点

所谓成形有两种含义:一是成形(forming),指自然生长或加工后而具有某种形状,一般为固态金属或非金属材料在外力作用下成形;二是成型(molding),指工件、产品经过加工,成为所需要的形状,一般为液态或半液态的金属或非金属原料在模型或模具中成形。本书所讨论的主要是前者,即固态金属材料在外力作用下成形。为方便起见,本书在未特别说明的情况下所用的“材料”均指“金属材料”。

金属材料分为黑色金属和有色金属。黑色金属主要指铁碳合金,如碳素结构钢、铸钢、铸铁及各种合金钢等。有色金属指除黑色金属以外的其他金属,如铝及铝合金、铜及铜合金、镁及镁合金、钛合金等。从原理上理解,黑色金属和有色金属的成形过程是相同的或相似的,但由于材料本质上的差别,其成形的具体方法与工艺是不同的。本书重点以有色金属为例,介绍金属材料成形的基本原理与技术。

材料的成形工艺通常有液态金属成形、塑性成形、连接成形等。每种成形工艺都有其各自的特点。

塑性成形是利用金属的塑性,在外力作用下成形为所需形状、尺寸、组织和性能的毛坯或零件的一种成形方法,因而也称为金属塑性加工或金属压力加工。根据加工时工件的受力和变形方式,基本的塑性成形方法有轧制、挤压、拉拔、锻造、冲压和旋压等几类。它们的成形特点简单概括如下:

(1) 坯料在热变形过程中可能发生了再结晶或部分再结晶,粗大的树枝晶组织被打破,疏松和孔隙被压实、焊合,内部组织和性能得到了较大的改善和提高。

(2) 塑性成形主要是利用金属在塑性状态下的体积转移,而不是靠部分的切除体积,因而材料的利用率高,流线分布合理,提高了制品的强度。

(3) 可以达到较高的精度。近年来,应用先进的技术和设备,有些零件可达到少切削,

甚至无切削的近净成形精度。

(4)具有较高的生产率。随着成形技术的发展,制品的生产率有很大的提高,尤其是金属材料的轧制、拉拔和挤压等更为明显。

但是,塑性成形能耗高,并且不适宜加工形状特别复杂的制品及脆性材料。

2 材料塑性成形的基本问题

材料塑性成形属质量不变过程,材料的状态一般为固态,主要的基本过程为机械过程——塑性变形,能量类型可为机械能、电能和化学能,能量传递介质一般为刚性介质——工模具,形状信息由工模具(含有一定的形状信息量)和加工材料与工模具的相对运动共同产生。这样,尽管塑性成形的具体方法多种多样,所要生产的零件或零件毛坯五花八门,但都可以从上述的共同特征中引申出一些基本问题。

(1)材料对塑性变形的适应能力——塑性。材料的塑性是塑性成形的前提条件,塑性好预示着对具体成形方法的选择和形状信息增量(塑性变形量)的确定的有利性;如果材料没有塑性,则塑性成形无从谈起。塑性除与材料本身的性质有关外,还与外部变形条件(变形温度、变形速度和应力状态)有密切关系。因此,研究不同变形条件下材料的塑性行为、塑性变形的物理本质和机理以及塑性变形所引起的组织性能的变化就很有必要。

(2)塑性成形需要输入能量,即对加工材料施加外力和做功。只有对所需成形力和功的大小做出准确评价,才能正确选用加工设备和设计成形模具,并且通过对成形力的影响因素的分析,可为减小成形力和降低能耗提供依据。求解所需的成形力,从根本上说就是确定工件内部的应力场。因为应力场的确定,自然包括与工模具接触表面处应力分布的确定,进而就可求得成形力及模壁的压力分布。此外,应力场的确定,对于分析工件内部裂纹的产生和空洞的愈合等也是必不可少的。

(3)加工材料受到外力作用而发生塑性变形时,材料内部会存在位移场、应变场。这些物理场变量的确定,一方面可以用来分析材料的瞬时流动状态和形状尺寸的变化规律,为合理选择原毛坯、设计中间毛坯及模具模膛的形状提供依据;另一方面可以用来分析工件的内部性能,如硬度分布、锻造流线的形成、化合物的破碎和再结晶晶粒度的变化等。将应变场与应力场相配合,再利用必要的判据则可进一步预测工件内部可能产生的缺陷,从而为控制产品质量提供依据。

(4)塑性成形需要输入形状信息,这些信息由含有形状信息量的工模具和加工材料与工模具的相对运动共同产生。对于给定的塑性成形件,形状信息分几个阶段输入,与其相应的模具结构和形状参数如何确定,设备系统如何选择和控制等,都将是十分重要的。

3 金属塑性成形技术的发展趋势

金属塑性成形工艺有着悠久的历史,近年来在计算机的应用、先进技术和设备的开发和应用等方面均已取得显著进展,并正向高科技、自动化和精密成形的方向发展。

1) 计算机技术的应用

(1)塑性成形过程的数值模拟。计算机技术已应用于模拟和计算工件塑性变形区的应力

场、应变场和温度场。已可预测金属充填模膛情况、锻造流线的分布和缺陷产生情况；可分析变形过程的热效应及其对组织结构和晶粒度的影响；可掌握变形区的应力分布，以便于分析缺陷产生原因和设计模具结构；可计算出各工步的变形力和能耗，为选用或设计设备提供依据。

(2)塑性成形过程的控制和检测。计算机控制和检测技术已广泛应用于自动生产线。塑性成形柔性加工系统(FMS)在发达国家已应用于生产。图0-1所示为冲压柔性加工系统示例。

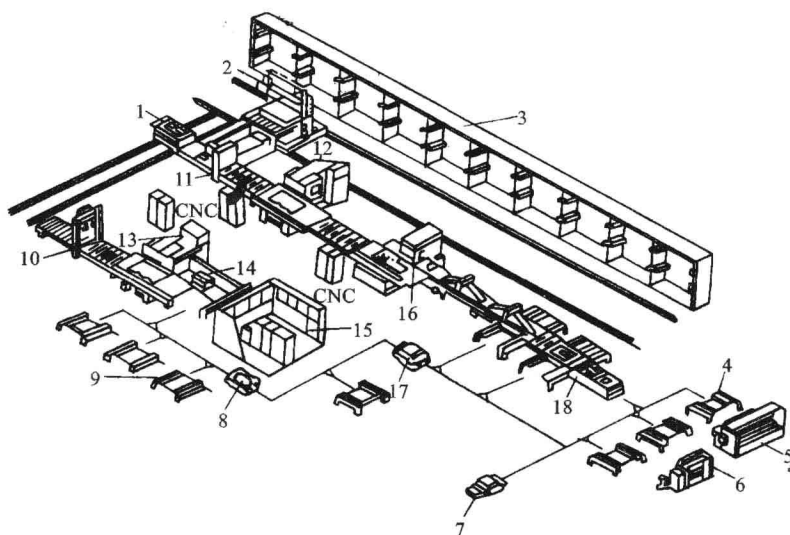


图0-1 冲压柔性加工系统示例

- 1—装料台车；2—堆料机；3—仓库；4—板料平台；5、6—折弯机；
7、8、17—自动运输车；9—焊接平台；10、11—装料器；12、13—压力机；
14—挪料机；15—中央控制室；16—剪切机；18—分拣装置

2) 先进成形技术的开发和应用

(1)精密塑性成形技术。高精度、高效、低耗的冷锻技术逐渐成为中小型精密锻件生产的发展方向，发达国家轿车生产中使用的冷锻件比重逐年提高。温锻的能耗低于热锻，而锻件的精度和力学性能接近冷锻，对于大型锻件及高强度材料的锻造较冷锻有更广阔的发展前景。精密锻造、精压、精密冲裁等少、无屑工艺能直接得到或接近获得零件的实际形状和尺寸，其应用正在日益扩大。

(2)复合工艺和组合工艺。粉末锻造(粉末冶金+锻造)、液态模锻(铸造+模锻)等复合工艺有利于简化模具结构，提高坯料的塑性成形性能，应用越来越广泛。采用热锻-温整形、温锻-冷整形、热锻-冷整形的组合工艺，有利于大批量生产高强度、形状复杂的锻件，正在得到开发和应用。

3) 塑性成形设备及生产自动化

(1)塑性成形设备。传统的锻压设备正在得到改造，以提高其生产能力和锻件质量。在开发高效、高精度、多工位的加工设备中，综合应用了计算机技术、光电技术等先进技术，以

提高其可靠性和对加工过程的监控能力。高效、节能的新型螺旋压力机正在取代传统的摩擦压力机；高效、节能、锻件精度高的热模锻机械压力机有逐步取代大吨位模锻锤的趋势。生产效率、能耗低、变形力小、使用寿命长的各类轧机近年来已在我国推广应用。

(2) 塑性成形的自动化。在大批量生产中，自动线的应用已日益普遍，其发展趋势，一是提高综合性，除备料、加热、制坯、模锻、切边外，还将包括热处理、检验等工序自动化；二是实现快调、可变，以适应多品种、小批量生产；三是进一步发展自动锻压车间或自动锻压工厂，采用计算机进行生产控制和企业管理。近年我国自主开发的汽车前桥全自动线，由一系列新型加工设备、转送机器人、机械手等组成，代表了我国锻造生产自动化的发展新水平。

(3) 超大吨位挤压设备。我国已拥有自主研发的 100 MN 油压双动铝挤压机生产线，可生产高速轨道交通系统所需要的大型铝合金型材。

(4) 高精度热连轧设备。我国已从国外引进多条热、冷连轧机组，最大单卷重可达 30 t。

4) 配套技术的发展

(1) 模具生产技术。用于大批量生产的模具正向高效率发展；用于小批量生产的模具正向简易化发展，如采用钢皮冲模、薄板冲模、柔性模等。正在大力改进模具的结构、材料和热处理工艺，以提高模具的使用寿命。模具的制造精度将得到进一步提高，以适应精密成形工艺的需要。将加快开发并应用计算机辅助设计和制造系统(CAD/CAM)，发展高精度、高寿命模具和简易模具(柔性模、低熔点合金模等)的制造技术以及开发通用组合模具、成组模具、快速换模装置等，以适应冲压产品的更新换代和各种生产批量的要求。

(2) 坯料加热方法。火焰加热方式较经济、工艺适应性强，仍是国内外主要的坯料加热方法。生产效率高、加热质量和劳动条件好的电加热方式的应用正在逐年扩大。各类少、无氧加热方法和相应设备将得到进一步开发和扩大应用。

(3) 大规格锭坯的熔炼铸造方法。为提高生产效率及适应大型材、管材和大厚板的加工成形，大规格锭坯的熔炼与铸造技术正在被引进和开发。例如国内某大型企业已拥有 82.5 t 大容量圆形固定式熔炼炉，熔化速率可达 18.2 t/h，热效率 $\geq 50\%$ 。炉底配有电磁搅拌器，既可提高熔化速度、减少和降低金属烧损，还可在短期内使加入的合金元素分布均匀。铝扁锭半连续铸造机可铸造最大单锭重达 34 t，同时可铸 5 块锭坯，扁锭规格可达到 350 ~ 640 mm $\times$ 950 ~ 2130 mm $\times$ 5500 $\times$ 9150 mm(厚 $\times$ 宽 $\times$ 长)。

此外，今后着重发展的配套技术还有满足精密模锻需要的高效精密下料技术，适合不同温度区间、无污染的润滑材料和涂覆方法以及制件的检测技术等。

第1章 有色金属材料塑性加工方法

1.1 基本塑性加工方法

本节主要介绍五种基本塑性成形方法(即挤压、轧制、拉拔、锻造和冲压)的基本概念、分类方式、优缺点以及与之相关的较新工艺。关于运用这五种成形方法时的成形条件、力学特点、力的计算、制品的组织性能与质量控制、基本工艺计算等,将在第2、3、4、5章详细介绍。

1.1.1 挤 压

1. 挤压的概念及分类

所谓挤压,就是对放在容器(挤压筒)中的锭坯一端施加压力,使之通过模孔成形的一种压力加工方法。

按成形时的温度,挤压可分为热挤压、温挤压和冷挤压三种。其中热挤压主要用于大型坯锭,以获得具有相当长度的棒材或各种型材的半成品;温挤压和冷挤压则主要采用小型坯锭,可获得成品零件或只需进行少量机械加工的半成品件。

根据金属的流动方向与挤压轴运动方向的关系,挤压又可分为正挤压、反挤压、复合挤压和侧向挤压,如图1-1所示。

正挤压时,金属的流动方向与挤压轴的运动方向相同,其最主要的特征是金属与挤压筒内壁间有相对滑动,故存在很大的外摩擦,摩擦力的作用方向与金属运动方向相反。正挤压与反挤压相比较有以下优点:更换工具简单、迅速;辅助时间少;制品表面品质好;对铸锭表面品质没有严格要求;设备简单,投资费用少;制品外接圆直径大。由于正挤压具有上述许多优点,因而目前绝大多数有色金属型、棒材都是采用正向挤压法生产的。然而正挤压也有许多缺点:因铸锭表面和挤压筒内衬内壁发生剧烈摩擦,消耗总压力高达30%~40%;因摩擦作用机械能转换为热能,使铸锭升温,因而制品头、尾温度不一致(头端低,尾端高),致使尺寸不均匀,精度下降;因摩擦作用,表层金属发生剧烈的剪切变形,这层金属流入制品表层,热处理后形成粗大晶粒层-粗晶环,粗晶环区力学性能差;因摩擦作用,使金属流动不均匀,中心流速较边部的快,为避免挤压表层产生裂纹必

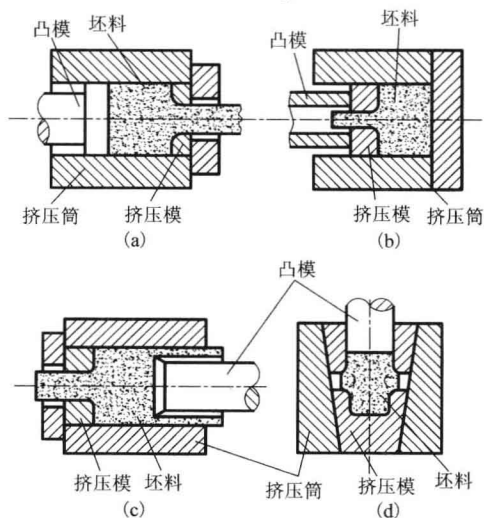


图1-1 挤压类型

(a) 正挤压; (b) 反挤压; (c) 复合挤压; (d) 侧向挤压

须降低挤压速度,挤压残料厚。

反挤压时的金属流动方向与挤压轴的运动方向相反,反挤压可分为挤压杆动反挤压和挤压筒动反挤压。其特点是除靠近模孔附近处之外,金属与挤压筒内壁间无相对滑动,故无摩擦。反挤压的这一特点使之与正挤压相比具有所需挤压力小(约小 30% ~ 40%),制品尺寸精度高,力学性能均匀,组织均匀,挤压速度高,成品率和生产率高等优点。反挤压法的缺点是,由于受空心挤压轴强度的限制,使反挤压制品的最大外接圆尺寸比正挤压的小 30% 左右,铸锭表面品质要求严,设备一次投资费用比正向挤压机高 20% ~ 30%,辅助时间长。因反挤压具备以上许多优点,所以它特别适应于挤压硬合金型、棒、管材以及要求尺寸精度高、组织细密无粗晶环的制品。

反挤压法也可用于生产空心制品。所用的锭坯有空心的也有实心的。这取决于所用的设备结构和金属的性质以及其他方面的要求。挤压时,穿孔针与模孔形成环形间隙,在挤压轴压力的作用下,金属由此间隙中流出挤成管材。

反挤压法生产管材一般有两种方式:①采用空心锭坯与不动的芯棒进行反挤压。挤压时,压力加于可动的挤压筒上,金属则由芯棒与安装在不动的挤压杆端部的模子所形成的环形孔中流出而成管材;②采用实心锭坯与可动的挤压杆进行反挤压。挤压时,金属由挤压垫片与挤压筒构成的间隙挤出,形成大型管材。

2. 挤压的优、缺点

作为生产管、棒、型材以及线坯的挤压法与其他加工方法,如型材轧制和斜轧穿孔相比具有以下一些优点:

(1)具有比轧制更为强烈的三向压应力状态,金属可以发挥其最大的塑性,因此可以加工用轧制或锻造加工有困难甚至无法加工的金属材料。对于要进行轧制或锻造的脆性材料,如钨和钼等,为了改善其组织和性能,也可采用挤压法先对锭坯进行开坯。由于挤压法的应力状态非常有利于发挥塑性,因而金属可以一次承受很大的塑性变形。在许多情况下,热挤压比(挤压筒截面面积与制品断面面积之比)可达 50 或更大一些,而在挤压纯铝时可高达 1000 以上。

(2)挤压法不只是可以在一台设备上生产形状简单的管、棒和型材,而且还可以生产断面极其复杂的,以及变断面的管材和型材。这些产品一般用轧制法生产非常困难,甚至是不可能的,或者虽可用滚压、焊接和铣削等加工方法生产,但是很不经济。

(3)具有极大的灵活性。在同一台设备上能够生产出很多的产品品种和规格。当从一种品种或规格改换成生产另一种品种或规格的制品时,操作极为方便、简单,只需要更换相应的模具即可,而所占的工作时间很短。因此,挤压法非常适合于生产小批量、多品种和多规格的产品。

(4)产品尺寸精确、表面质量高。热挤压制品的尺寸精确度和光洁度介于热轧与冷轧、冷拔或机械加工之间。用挤压法可以生产出的型材最小断面尺寸可达 2 mm,最小壁厚可达 0.2 mm 以下,其尺寸偏差为名义尺寸的 +0.5%,制品的表面粗糙度 R_a 可达 1.6 ~ 2.5 μm 。

(5)实现生产过程自动化和封闭化比较容易。目前建筑铝型材的挤压生产线已实现完全自动化操作,操作人员数已减少到 2 人。在生产一些具有放射性的材料时,挤压生产线比轧制生产线更容易实现封闭化。

挤压法虽具有上述优点,但也存在一些缺点,这就是:

(1) 金属的固定废料损失较大。在挤压终了时要留压余和存在挤压缩尾。在挤压管材时还有穿孔料头的损失。压余量一般可占锭坯重量的 10% ~ 15%。此外, 正挤压时的锭坯长度受一定的限制, 一般锭长与直径之比不超过 3 ~ 4, 不能通过增大锭坯长度来减少固定的压余损失, 故成品率较低。然而, 用轧制法生产时没有此种固定的废料, 轧件的切头尾损失仅为锭重的 1% ~ 3%。

(2) 加工速度低。由于挤压时的一次变形量和金属与工具间的摩擦都很大, 而且塑性变形区又完全为挤压筒所封闭, 使金属在变形区内的温度升高, 从而有可能达到某些合金的脆性区温度, 引起挤压制品表面出现裂纹或开裂而成为废品。因此, 金属流出的速度受到一定的限制。在轧制时, 由于道次变形量和摩擦都比较小, 因此生成的变形热和摩擦热皆不大。在此条件下, 金属由塑性区温度升高到脆性区温度的可能性非常小, 所以一般金属的轧制速度实际上是不受限制的。此外, 在一个挤压周期中, 由于有较多的辅助工序, 占用时间较长, 生产率比轧制时的低。

(3) 沿长度和断面上制品的组织 and 性能不够均一。这是由于挤压时, 锭坯内外层和前后端变形不均匀所致。

(4) 工具消耗较大。挤压法的突出特点就是工作应力高, 可达到金属变形抗力的 10 倍。挤压垫上的压力平均为 400 ~ 800 MPa, 有时可达 1000 MPa 或更高。此外, 在高温和高摩擦的作用下, 使得挤压工具的使用寿命比轧辊的低得多。同时, 由于加工制造挤压工具的材料皆为价格昂贵的高级耐热合金钢, 所以对挤压制品的成本有不可忽视的影响。

综上所述可知, 挤压法非常适合于生产品种、规格和批数繁多的有色金属管、棒、型材以及线坯等。在生产断面复杂的或薄壁的管材和型材、直径与壁厚之比趋近于 2 的超厚壁管材, 以及脆性的有色金属和钢铁材料方面, 挤压法是唯一可行的压力加工方法。

3. 其他挤压工艺

1) 静液挤压

静液挤压又称为高压液体挤压, 它是一种新的挤压工艺, 其工作原理如图 1-2 所示。挤压时, 锭坯借助于其周围的高压液体的压力 (达 1000 ~ 3000 MPa) 由模孔中挤出, 实现塑性变形。高压液体的压力可以直接用一个增压器将液体压入挤压筒中, 或者用挤压轴压缩挤压筒内的液体获得, 后一种方式由于技术简单而得到最广泛应用。

与通常的挤压方法相比, 静液挤压具有下列优点:

(1) 锭坯与挤压筒内壁不直接接触, 无摩擦, 故金属变形极为均匀, 产品质量也比较高。

(2) 锭坯与模具间处于流体动力润滑状态, 故摩擦力很小, 模具磨损少, 制品表面光洁度高。

(3) 制品的机械性能在断面上和长度上都很均匀, 而且在强度特性与机械挤压相似的情况下, 其塑性指标则高于后者。

(4) 由于锭坯与挤压筒内无摩擦, 在其他条件相同情况下, 静液挤压时的挤压力比正向机械挤压的小 20% ~ 40%,

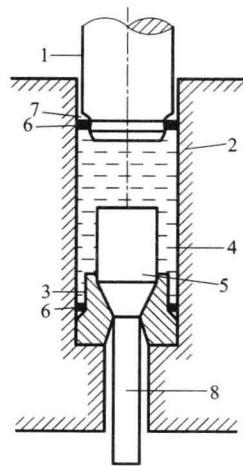


图 1-2 静液挤压工件原理图

1—挤压轴；2—挤压杆；3—模具；
4—高压液体；5—锭坯；6—O形密封环；
7—斜切密封环；8—制品

从而可充分地利用挤压力，采用大挤压比。一般根据材料的不同，挤压比为 2 ~ 400，对纯铝可达 20000 甚至更大。

(5) 可以实现高速挤压。

静液挤压除具有上述一些优点外，当然也存在一些问题有待解决：

(1) 在高压下挤压轴、模子的密封材料和结构问题。锭坯一端必须事先加工成锥形，以便与模孔很好地配合，防止液体泄漏。

(2) 挤压工具，如挤压筒、挤压轴承受的压力极高，材料选择与结构设计如何保证强度问题。

(3) 作为传压介质的液体选择问题。以便保证挤压制品的表面质量、精度和工作的稳定性。

2) CONFORM 连续挤压法

CONFORM 连续挤压法是英国能资源管理局于 20 世纪 70 年代初研制成功的一种新的铝合金连续挤压法。CONFORM 挤压法的特点是，利用送料辊和坯料之间的接触摩擦力产生挤压力，同时将坯料温度提高到 500℃ 左右。图 1-3 为 CONFORM 法单辊及双辊挤压示意图。

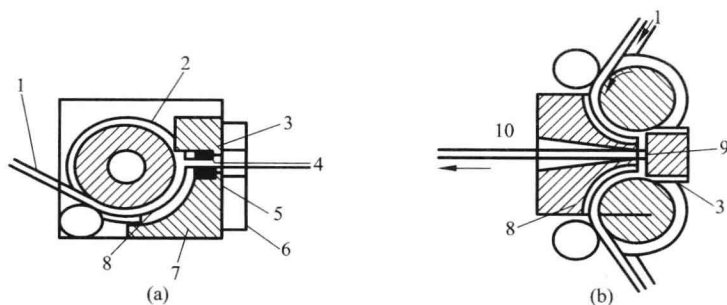


图 1-3 CONFORM 挤压法

(a) 单辊；(b) 双辊

1—毛坯；2—带模槽的送料辊；3—限制器；4—挤压制品；5—挤压模；
6—模座支架；7—模座；8—扇形体模槽；9—挤压模和芯棒；10—挤压管

毛坯被送入送料辊，通过送料辊与毛坯之间的摩擦作用使毛坯升温并迫使毛坯沿着模槽（槽长约为送料辊周长的 1/4）方向前进，然后进入模具。CONFORM 挤压法有单辊送料和双辊送料两种方法。图 1-3(a) 为单辊送料，图 1-3(b) 为双辊送料。双辊送料时，两辊按顺、逆时针方向旋转，两根毛坯从两边进入挤压模。CONFORM 挤压法的优点为：可以生产出尺寸小、壁薄的型材、管材；成品率高，一般可达到 98.5%；毛坯无须加热；设备造价低；可以连续生产，生产效率高。早期的 CONFORM 只适用于小规格的软铝制品的连续挤压，而现在已发展到可以连续挤压紫铜、黄铜、锌合金、镁合金等多种规格有色金属材料管、棒、线、排制品。

3) 无压余挤压

无压余挤压是铝及铝合金润滑挤压的较高发展阶段。因此在无压余挤压时，必须遵守润滑挤压时的条件，其中最基本的是锭坯表面能在工具表面上均匀地滑动，以防止形成滞留区和消除分层、起皮、压入等缺陷。

无压余挤压的特点是,后面的锭坯与前一个锭坯结合处是一个一定的曲面,它在挤压后变成垂直于制品轴线的面。图1-4所示为无压余挤压过程示意图。

1.1.2 轧制

1. 轧制的概念及分类

所谓轧制是指在旋转的轧辊间,借助轧辊施加的压力使金属发生塑性变形的过程。轧制方法有多种分类。

(1) 根据轧辊的配置、轧辊的运动特点和产品形状,轧制可分为三类,即纵轧、横轧和斜轧,如图1-5所示。

纵轧的特点是两轧辊轴心线平行,旋转方向相反,轧件作垂直于轧辊轴心线的直线运动,进出料靠轧辊运动完成。

横轧的特点是两辊轴心线平行,旋转方向相同,轧件作平行于轧辊轴心线并与轧辊旋转方向

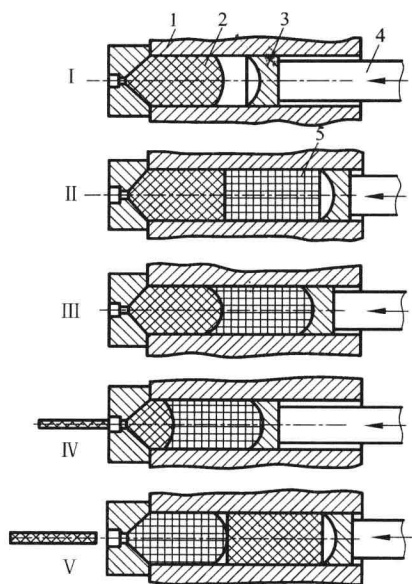


图1-4 无压余挤压过程示意图

1—挤压筒; 2—锭坯;
3—凹垫片; 4—挤压轴; 5—锭坯

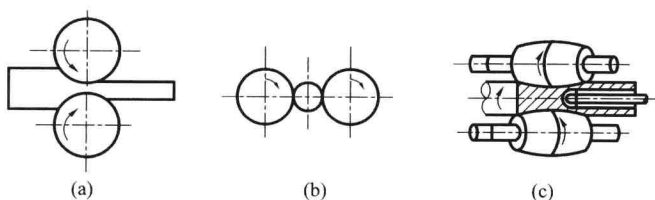


图1-5 轧制的三种方式

(a)纵轧; (b)横轧; (c)斜轧

相反的旋转运动,进出料需靠专门的装置。

斜轧的特点是两辊的轴心线交叉一个不大的角度,旋转方向相同,轧件在两个轧辊的交叉中心线上作旋转前进运动,与纵轧一样进出料靠轧辊自动完成。

(2) 根据轧制时轧件的温度,轧制可分为热轧与冷轧。

热轧是金属在再结晶温度以上的轧制过程。金属在该过程中无加工硬化,所以热轧时金属具有较高的塑性和较低的变形抗力,这样可以用较少的能量得到较大的变形。因此,大多数有色金属都要进行热轧,只有少数的有色金属,由于在高温时塑性较低而不适于进行热轧。一般来说,金属热轧时的温度比较高,远远高于室温,但也有个别有色金属热轧温度比较低,如铅由于在室温时就能再结晶,因此,铅在室温下轧制也属于热轧。

与冷轧相比热轧有以下特点:

- ①热轧可以把塑性较低的铸造组织过渡到塑性较高的变形组织,改善金属的加工性能;
- ②热轧时金属的变形抗力较低,这样能显著地减少能量消耗;