

铜材生产加工丛书

铜合金 管棒材加工工艺

刘华鼎 刘培兴 刘晓瑭 编著

TONGHEJIN



化学工业出版社

铜材生产加工丛书

铜合金 管棒材加工工艺

刘华鼎 刘培兴 刘晓璿 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书概述了铜合金管棒材的品种分类以及加工方法的分类和特点；详述了挤压加工工艺、拉伸加工工艺、冷轧管加工工艺等管棒材加工工艺以及废品种类与产生原因；介绍了铜合金管材斜轧热穿孔工艺；阐述了型辊轧制的基础理论、孔型和孔型系的基础知识及孔型设计的方法步骤，介绍了棒材型辊轧制的工艺过程及设备；还简单介绍了管棒材加工的新工艺、新技术。

本书涵盖了国内外有关铜合金管棒材的常用加工技术及加工工艺，也汇集了作者多年积累的工作经验，内容丰富，资料翔实，深入浅出，理论联系实际。非常适合铜与铜合金生产和加工企业的技术人员使用，同时也可供大专院校冶金、材料及相关专业的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

铜合金管棒材加工工艺/刘华鼎，刘培兴，刘晓瑭编
著. —北京：化学工业出版社，2009.9
(铜材生产加工丛书)
ISBN 978-7-122-06542-1

I. 铜… II. ①刘…②刘…③刘… III. ①铜合金-管材
轧制-生产工艺②铜合金-棒材轧制-生产工艺 IV. TG335

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 147971 号

责任编辑：丁尚林
责任校对：顾淑云

文字编辑：冯国庆
装帧设计：关 飞

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）
印 装：大厂聚鑫印刷有限责任公司
720mm×1000mm 1/16 印张 16½ 字数 385 千字 2010 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899
网 址：<http://www.cip.com.cn>
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：58.00 元

版权所有 违者必究

序

铜和铜合金是古老而永远年轻的有色金属。它伴随着中华民族历尽了近五千年的历史沧桑。铜合金的发现和使用技术是我国古代文明史的重要组成部分。据文献记载,在4800年以前我们的先辈就铸造出了铜刀,在龙山文化时期,已经能冶炼铜和铜合金,并掌握了铜合金的铸造、锻造和退火技术,这是最早的塑性加工。蒸汽机出现后铜合金加工生产由手工作坊方式发展成为工厂生产方式。随着社会和科学技术的进步和发展,铜和铜合金加工技术也由半机械化向机械化和自动化发展。20世纪80年代,在铜合金加工理论取得很多新成果的同时,新工艺、新技术和新产品也相继出现。

铜和铜合金在航天、航空、电子、电力、信息、能源、机械、冶金、建筑和交通等领域得到广泛应用。我国铜合金加工产业发展迅速,铜合金材料加工产量居世界首位。铜合金材料的加工技术是控制和改善材料形状、组织、性能及尺寸的主要手段。加工技术的发展和进步,对铜合金新材料的开发研究、应用有着决定性的作用,同时,对改善和提高传统材料的生产和使用性能也具有重要的作用。

为了满足目前铜合金加工技术开发研究和生产的要求,我们不揣冒昧,编写了这套《铜材生产加工丛书》,将铜合金材料从熔炼、铸造到加工成形等工艺做了系统全面的介绍。本丛书搜集了国内外铜合金材料加工领域的专家、学者及工程技术工作者在铜合金材料加工方面所取得的重要研究成果,以及作者在工作中积累的经验,期望使读者系统地了解铜和铜合金塑性加工理论与材料加工生产技术及设备等方面的知识,对铜合金加工工作者提高业务水平有所帮助。

鉴于铜合金加工企业中都是按产品的形状分为板、带、条、箔、管、棒、型、线八类,本丛书分为《铜合金加工基础》、《铜合金熔炼与铸造工艺》、《铜合金板带材加工工艺》、《铜合金管棒材加工工艺》、《铜合金型材加工工艺》五个分册。各分册既有各自独立的体系,又相互联系,便于读者使用。

编著者

前 言

铜合金管棒材是铜合金加工材料的重要组成部分,与其他铜合金加工材一样,是重要的战略物资,是国防工业、电力电子工业、机械工业等国民经济部门不可缺少的基础材料。随着社会和科学技术的发展和进步,铜合金管棒材加工技术的发展和进步日益得到人们的关注。用于铜合金管棒材加工生产的塑性加工方法很多,主要有挤压技术、拉伸技术、冷轧管技术、孔型轧制技术等。这些加工技术的理论性和工艺性都很强。为了满足新一代铜加工业的工程技术人员和现有工程技术人员知识更新的需要,编著者以实际工作经验为基础,汇集了当代铜加工专家、学者的研究成果,不揣冒昧地编写了本书,详尽地介绍了铜合金管棒材加工工艺过程,以期通过深入浅出的介绍使读者对深奥的理论和复杂的工艺有一个全面的了解,且便于读者应用这些技术,对读者的实际工作有所裨益。

本书内容共分七章。第1章概述了铜合金管棒材的品种分类以及加工方法的分类和特点。第2章~第4章是管棒材加工工艺,介绍了挤压加工工艺、拉伸加工工艺、冷轧管加工工艺的理论基础、方法、过程、设备及工具、废品种类及产生原因。第5章介绍了铜合金管材斜轧热穿孔工艺的加工方法、变形特点、力能计算、工艺过程、废品种类及产生原因、工艺设备及工具的设计和制造。第6章阐述了型辊轧制的基础理论、孔型和孔型系的基础知识及孔型设计的方法步骤;介绍了棒材型辊轧制的工艺过程及设备。第7章介绍了连续挤压技术、连续铸挤技术、半固态挤压技术、上引连铸管坯-拉伸加工技术、水平连铸-行星轧制-盘管拉伸加工生产内螺纹铜盘管技术等管棒材加工的新工艺、新技术。

本书内容丰富、翔实,涵盖了铜合金管材棒材生产加工的各种加工工艺,深入浅出、理论联系实际,便于理解和掌握及应用。

鉴于编著者学识水平有限,书中难免有疏漏之处,谨请铜加工业同行专家、学者和读者斧正。

编著者

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 管材、棒材的品种分类	1
1.2 管材、棒材的加工方法及其比较	1
1.2.1 加工方法	1
1.2.2 管材、棒材加工方法比较	2
1.3 各种加工方法的分类及特点	2
1.3.1 挤压加工	2
1.3.2 拉伸加工	4
1.3.3 冷轧管加工	5
1.3.4 型辊轧制加工	6
第 2 章 管材、棒材挤压加工工艺	8
2.1 挤压的理论基础	8
2.1.1 挤压过程的变形参数	8
2.1.2 挤压过程中金属的变形	9
2.1.3 挤压力	11
2.2 管材、棒材的挤压工序	16
2.2.1 锭坯尺寸的选择	16
2.2.2 锭坯的预加工	20
2.2.3 锭坯的加热	20
2.2.4 挤压	22
2.2.5 挤压时的润滑	32
2.2.6 挤压后管棒的再加工	33
2.2.7 管棒材挤压生产举例	33
2.3 挤压加工的废品	34
2.4 挤压设备与挤压工具	36
2.4.1 挤压机	36
2.4.2 锭坯加热设备	47
2.4.3 挤压工具	50
第 3 章 管材、棒材的拉伸加工工艺	57
3.1 拉伸加工工艺的理论基础	57
3.1.1 拉伸时的变形指数	57
3.1.2 实现拉伸过程的基本条件	58

3.1.3 拉伸时的变形特点	60
3.1.4 拉伸力的计算和实测	61
3.2 管材、棒材的拉伸配模	71
3.2.1 拉伸配模的原则、步骤	71
3.2.2 棒材拉伸配模	75
3.2.3 圆管拉伸配模	76
3.2.4 盘管拉伸配模	81
3.2.5 拉伸配模举例	82
3.3 管材、棒材的拉伸工序	83
3.3.1 管材、棒材一般生产工艺流程	83
3.3.2 制夹头	84
3.3.3 拉伸	85
3.3.4 精整	90
3.3.5 拉伸时的热处理	90
3.3.6 拉伸时的润滑	97
3.3.7 拉伸时的酸洗	99
3.4 拉伸制品质量的控制和废品	100
3.4.1 拉伸制品的质量	100
3.4.2 拉伸废品	100
3.5 管材、棒材拉伸设备及拉伸工具	102
3.5.1 拉伸机	102
3.5.2 退火设备	106
3.5.3 拉伸加工的辅助设备	108
3.5.4 拉伸工具及其设计	111
第4章 铜合金管材的冷轧加工工艺	118
4.1 管材冷轧的理论基础	118
4.1.1 冷轧管时金属的变形特点	118
4.1.2 冷轧管时的轧制力计算及测定	119
4.2 管材冷轧工艺	125
4.2.1 冷轧管管坯的准备及要求	125
4.2.2 冷轧	126
4.2.3 冷轧管的工艺润滑	131
4.3 冷轧管废品及产生原因	132
4.4 冷轧管设备和工具	134
4.4.1 冷轧管机	136
4.4.2 冷轧管机的操作及调整	138
4.4.3 冷轧管工具的设计	143
第5章 铜合金管材斜轧热穿孔加工工艺	159
5.1 加工方法及金属变形特点	159
5.1.1 斜轧热穿孔加工方法	159
5.1.2 穿孔时的变形特点	160

5.2 斜轧热穿孔的力能计算	161
5.2.1 穿孔时力及力的分析	161
5.2.2 穿孔时纯变形功及功率消耗	162
5.3 斜轧热穿孔加工工艺	163
5.3.1 锭坯的尺寸选择	163
5.3.2 锭坯加热制度	164
5.3.3 热穿孔	164
5.4 斜轧热穿孔时的废品及产生原因	165
5.5 二辊斜轧热穿孔设备和工具	165
5.5.1 斜轧热穿孔设备	165
5.5.2 二辊斜轧热穿孔工具的设计制造	166
5.6 斜轧热穿孔加工工艺的发展趋势	169
第6章 棒材轧制加工工艺	170
6.1 型辊轧制的理论基础	170
6.1.1 棒材轧制的基础知识简介	170
6.1.2 孔型和孔型系基础知识简介	172
6.2 棒材型辊轧制的孔型设计	174
6.2.1 孔型设计步骤	174
6.2.2 孔型尺寸的确定	175
6.2.3 延伸孔型的设计计算方法	186
6.2.4 棒材轧制的孔型设计举例	189
6.2.5 三辊Y形轧机常用的孔型系统及其设计	199
6.3 棒材的轧制工艺	209
6.3.1 棒材轧制生产的工艺流程	209
6.3.2 轧制工艺	209
6.4 棒材轧制时的废品	215
6.5 棒材的轧制设备	217
6.5.1 型辊轧机	217
6.5.2 轧辊	221
6.5.3 导卫装置	223
6.5.4 型辊轧机的调整	224
6.5.5 辅助设备	225
第7章 管材、棒材加工的新工艺新技术	229
7.1 连续挤压技术	229
7.1.1 Conform 连续挤压法	229
7.1.2 Conform 连续挤压工艺	231
7.1.3 铜扁线连续挤压	232
7.1.4 Conform 连续挤压设备	232
7.2 连续铸挤技术	234
7.2.1 连续铸挤技术的特点	234
7.2.2 连续铸挤工艺	235

7.2.3 连续铸挤设备	235
7.3 半固态挤压	235
7.3.1 半固态挤压的特点	235
7.3.2 半固态挤压的坯料	236
7.3.3 半固态挤压的工艺参数	236
7.4 上引连铸管坯-拉伸加工技术	237
7.4.1 上引连铸管坯的原理	237
7.4.2 上引连铸管坯生产工艺	237
7.4.3 上引连铸管坯的设备和工具	238
7.4.4 上引连铸-拉伸工艺和传统生产工艺的比较	238
7.5 水平连铸-行星轧制-盘拉内螺纹铜管生产新技术	239
7.5.1 水平连铸-行星轧制-盘管拉伸加工生产内螺纹铜盘管生产工艺流程和 主要设备配置	239
7.5.2 工艺简述及设备组成	240
参考文献	254

概 述

1.1 管材、棒材的品种分类

铜及铜合金管材、棒材品种繁多,有450多个,规格有两万余种。一般的分类方法是先按几何形状,再按合金名称、性能、生产方式和用途等来分别命名。

(1) 管材 横断面为中空圆形或简单的几何形状的加工材。管材按形状分为型管和圆管。型管中有椭圆管、方管、矩形管、三角管、六角管、滴形管、五边管、外方内圆管、螺旋管、内肋管、外肋管、梅花管等。圆管中又按外径与壁厚之比分为薄壁管和厚壁管,外径与壁厚之比为 $(30:1) \sim (50:1)$ 时,称为薄壁管,小于这个比值的称为厚壁管。按合金名称分为紫铜管、黄铜管、青铜管、白铜管等。按生产方法和性能分为挤制管、拉制管、焊接管、软管、半硬管。按用途分为冷凝管、空调管、散热管、波导管、制氧机管、航天管、天线管等。此外,还有毛细管、盘管、直条管等名称。管材的规格范围直径为 $0.5 \sim 530\text{mm}$,壁厚为 $0.1 \sim 75\text{mm}$ 。

(2) 棒材 横断面为圆形或简单几何形状的实心加工材。按几何形状分为圆棒、六角棒和方棒等。按生产方式分为挤制棒和拉制棒。按性能分为硬态棒和热态棒。按合金名称分为紫铜棒、黄铜棒、青铜棒、铍青铜棒、白铜棒等。

1.2 管材、棒材的加工方法及其比较

1.2.1 加工方法

1.2.1.1 管材加工方法

(1) 无缝管材生产方法

① 铸锭-热挤压-冷轧-冷拉伸 我国基本使用热挤压-冷轧-冷拉伸方法生产管材。热挤压方法是把加热到规定温度的铸锭在水压机或油压机上挤成无缝管。这些挤制管既可作为管坯继续冷加工,又可作为成品直接供用户使用。对于难以冷加工的铜合金以及大口径的管材,主要采用挤压法生产,挤压后的管坯经酸洗、锯切、矫直后进行冷轧或冷拉成成品管。冷轧多为中间工序,对中等规格的管材亦可生产成品管。冷轧管坯供生产长管和圆盘管使用。冷拉是制得尺寸精确、表面光洁的管材关键工序。冷拉分为短芯头拉伸、长芯杆拉伸、游动芯头拉伸、空拉等多种拉伸方法。冷拉后的管材要经退火、精整、无损检查和人工检查,才能作为成品出厂。

② 铸锭-热挤压-冷拉 热挤压-冷拉伸方法也是普遍使用的生产方法,挤压的管

还不经冷轧，直接进行冷拉伸成尺寸精确、表面光洁的管材。

③ 水平连续铸造-冷轧-冷拉伸 这是铜合金熔炼结束时，在水平连续铸造机组上铸出铸锭后，用高速连轧机轧出管坯，再经冷拉伸拉出成品管。

(2) 有缝管材生产方法 水平连铸带坯-冷轧-冷弯焊接成形-冷轧-冷拉伸生产方法是铜合金液在水平连铸机组上连续铸成带坯，经冷轧成铜合金带材后，再经冷弯成形用高频焊机焊接成管坯，用高速冷轧管机冷轧后，在联合拉伸机上拉制成成品管材。

此外，生产特殊管材还有一些专门的生产方法，如大直径薄壁管是采用旋压法生产的；螺纹散热管是采用滚轧法生产的。

1.2.1.2 棒材加工方法

- ① 铸锭-热挤压-冷拉伸。
- ② 铸锭-热挤压。
- ③ 铸锭-型辊轧制-冷拉伸。
- ④ 水平连铸连轧-拉伸。

棒材生产多采用热挤压生产坯料，然后经冷拉伸的方法生产出成品棒材；有的热挤压的棒材直接供用户使用；有采用型辊轧制方法生产棒坯的，然后经冷拉伸生产成品棒材；有的用水平连铸连轧生产棒坯，然后经过冷拉伸生产成品棒材。对于特殊的棒材，如铝白铜棒材是经过旋锻后冷拉伸、磨屑等工序才出成品的。

1.2.2 管材、棒材加工方法比较

管材、棒材各种生产方法比较见表 1-1。

表 1-1 管材、棒材各种生产方法比较

生产方法	产品	优点	缺点	适用范围
铸造→热挤压→冷轧→冷拉伸	管、棒	产品质量好；坯料重量大；生产灵活性大；产品种类多；生产工序少	几何废料多；设备投资贵；产品成本高	各种铜合金管、棒材
铸造→斜轧热穿孔→冷轧→拉伸	管材	几何废料少；设备投资比挤压法少；生产率高	生产品种少；质量差	紫铜、黄铜管材
连铸→冷轧→拉伸	管、棒	投资少，成本低；产品坯料重量大；成品率高；生产工序少	生产品种少；管材质量差	紫铜、黄铜、青铜管、棒
铸造→孔型轧制→拉伸	棒材	产量高；几何废料少；设备投资比挤压法少	生产品种少；棒材质量差；占地面积大	紫铜、黄铜、青铜棒
铜带→焊接成形→拉伸	管材	成品率高；适于大批量生产；能生产长管材；生产工序少	有焊缝耐压性能差；适于一般用途管材	黄铜管材

1.3 各种加工方法的分类及特点

1.3.1 挤压加工

1.3.1.1 挤压方法及分类

(1) 挤压方法 金属挤压是把坯料置于挤压缸（筒）中在挤压轴的作用下，使其

从一定形状和尺寸的模孔中挤出的过程。通常的挤压过程如图 1-1 所示。把加热到适当温度的铸锭放到挤压机的挤压筒中，在挤压筒的一端安装着与制品的形状、尺寸一致的挤压模，在挤压筒的另一端插入挤压轴，挤压轴的尺寸比挤压筒的内径小 3~10mm，为了改善挤压轴前端的工作条件，在挤压轴与铸锭之间安放一个直径略小于挤压筒内径的垫片，挤压机的压力通过挤压轴、垫片作用在铸锭上，迫使金属流入模孔，从而获得所需要的挤压制品。

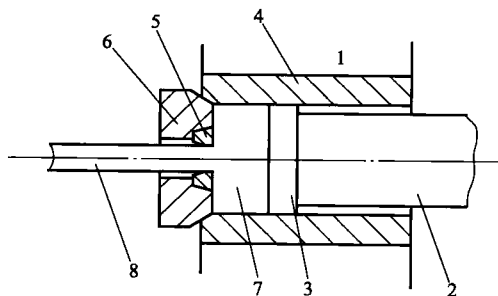


图 1-1 挤压过程示意图

1—挤压筒；2—挤压轴；3—垫片；4—挤压筒内衬套；
5—挤压模；6—模座；7—铸锭；8—棒材

铜及铜合金常用挤压模有多种。平面模与圆弧模多用于圆棒材与简单断面棒材的挤压，圆锥模多用于管材挤压。

挤压棒材使用实心挤压轴，挤压管材使用空心挤压轴——管轴。管材的内径是靠穿孔针来确定的，穿孔针穿过管轴的内孔安装在挤压机的穿孔系统上。挤压管材时，挤压轴通过垫片给铸锭施加压力，使金属充满挤压筒；随后，穿孔系统向前运动，穿孔针穿通铸锭，挤压轴再一次给铸锭施加压力，迫使金属从模孔与穿孔针所构成的间隙中流出，形成所需管材。穿孔时，铸锭中心部分的金属以实心棒的形状从模孔中流出，此即所谓的“穿孔料头”。穿孔料头的大小与铸锭充满挤压筒的程度以及管材的内、外直径有关。无穿孔系统的挤压机用空心锭挤压管材。

(2) 挤压方法分类 挤压方法是塑性加工生产管材、棒材的一种主要方法，挤压方法分类如图 1-2 所示。

1.3.1.2 挤压加工的特点

挤压加工法以它独特的加工工艺，广泛地应用于铜及铜合金生产中，与轧制、锻造等加工方法相比，具有以下特点。

(1) 优点

① 挤压过程具有比轧制、锻造更为优越的变形条件。在挤压过程中，金属处于强烈的三向压缩应力状态，这样，可以充分地发挥金属的塑性，锡青铜、硅青铜等高温塑性差的合金，采用热挤压法可以顺利地生产管棒材。

② 热挤压法不仅可以生产圆形的管材、棒材，而且能生产断面形状极为复杂的型管、型棒（通常称为异型材或经济断面型材）。

③ 挤压法具有极大的灵活性。更换挤压筒和挤压轴，就可以在一个很大的范围内改变产品的尺寸；更换挤压模或穿孔针可以改变产品的尺寸和形状；更换挤压工具所需的时间比较短，这是热轧所无法比拟的。

④ 挤压制品有致密的组织和较高的力学性能。热挤压一般是在金属或合金处于塑性较好、变形抗力较低的温度下进行的，金属可以获得很大的变形量，使铸造组织变为加工组织。

⑤ 与其他热加工方法相比，热挤压法所获得的产品尺寸精确，挤压产品只需要

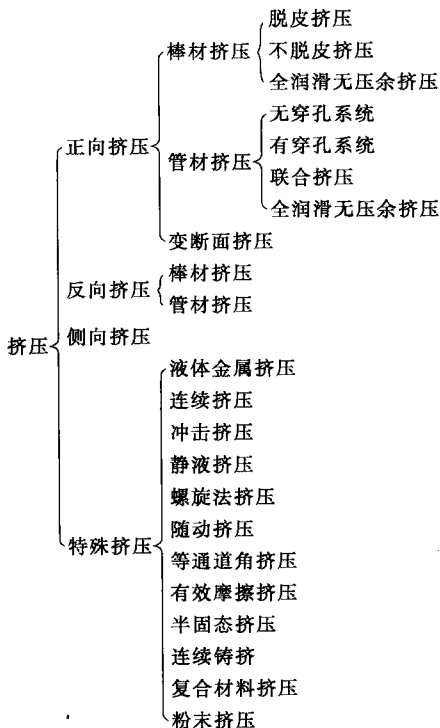


图 1-2 挤压方法分类

进行少量的机械加工（有的不需机械加工），就可作为机器零件使用。

(2) 缺点

① 热挤压法产生较多的几何废料。压余、穿孔料头、制品的头尾等所构成的几何废料占铸锭重量的 10%~40%，润滑挤压、静液挤压等新的挤压技术改善了这一缺点。

② 挤压过程一般是在高温、高压下进行，被挤压金属与工具之间存在着很大的摩擦，使挤压工具变形、磨损，制造挤压工具的材料价格比较昂贵，提高了产品的成本。

1.3.2 拉伸加工

拉伸是最常见的金属塑性加工方法之一，也是铜合金管材、棒材的主要生产方法之一。

1.3.2.1 拉伸方法及分类

拉伸方法的分类如图 1-3 所示。拉伸过程是金属在拉伸力的作用下，通过断面逐渐减小的模孔拉制成圆形或异型断面制品的加工过程（图 1-4）。在拉伸过程中，坯料的横断面减小而长度增加。

拉伸使用的坯料是挤压、轧制、冷轧或连续铸造的，有时甚至是用带卷焊接的。拉伸的主要工具是拉伸模。拉伸一般是在冷状态下进行的，对于一些在常温下强度高、塑性差的金属材料如钨、钼等，则采用温拉或热拉。

1.3.2.2 拉伸加工的特点

用拉伸方法能生产其他加工方法不能达到的尺寸精确、形状复杂的管材、棒材和

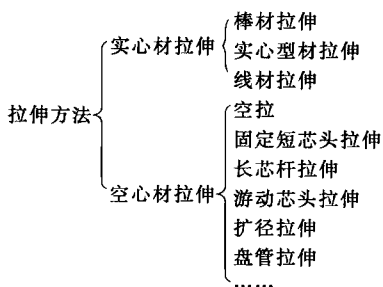


图 1-3 拉伸方法的分类

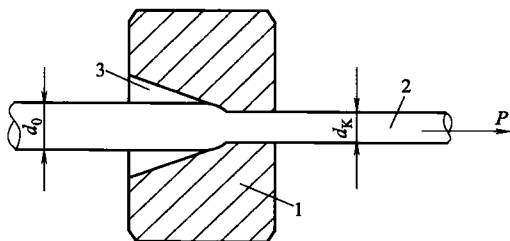


图 1-4 拉伸过程示意图

1—模具；2—拉伸坯料；3—拉伸模孔

型材制品。它可以消除坯料表面上的凹坑、划伤及歪扭、弯曲缺陷，改善制品的外观质量。拉伸与其他加工方法相比，具有以下一些特点。

(1) 优点

① 由于拉伸过程通常是在冷态下进行的，使用的模具是硬度高、耐磨性好的材料，并经过精密加工制成的，因而所获得的拉伸制品表面光洁、尺寸精确。

② 拉伸时更换模具方便，生产灵活性大，所以拉伸制品的品种、规格多。它可以生产直径在 0.04mm、长度达千米以上极细的线材，也可生产直径为 350mm 的大直径管材。至于异型断面的偏心管、外方（矩）内圆管、空心导线等，一般都要通过拉伸才能满足用户对制品品种和规格的要求。

③ 在拉伸变形过程中金属的冷作硬化大，故拉出后的制品力学性能好。在变形量足够大的情况下，拉伸制品的力学性能约比挤压坯料增加 0.5~1.0 倍。

④ 拉伸工艺、工具、设备比较简单，维护方便，操作也不复杂，生产效率高。

(2) 缺点

① 拉伸用于克服摩擦所消耗的能量较多，大约占总能量的 60% 以上。

② 拉伸道次加工率小，两次退火间的总变形量不够大，从而增加了拉伸道次和退火次数。

(3) 改进

① 在生产中采用硬质合金作为拉伸模具的材料；精心设计与加工模孔；

② 采用游动芯头和强制润滑拉伸；

③ 使用辊式拉模和旋转拉模；

④ 对模子、芯头施以超声波振荡等方法，使拉伸力减小，道次加工率增加，同时也减少了能量的消耗，延长了工具的使用寿命。

为了提高生产效率，拉伸技术正在向高速、多线、自动化方向发展，许多新型的拉伸机逐渐代替了原来的老式设备。用于游动芯头拉管的直线拉伸机，额定能力已达到 200t，拉伸后管材的长度达 120m，拉伸速度可达 120~150m/min，可同时拉 3~5 根，最多可拉 9 根，拉伸机全部采用自动化程序控制，只需一人操作，生产率可达 4000m/h。

1.3.3 冷轧管加工

由热挤压、斜轧热穿孔或卧式（水平）连铸等方法供给的管坯经冷轧变形将管坯

轧制成所需要的规格的管材，这种方法称为冷轧管法。

冷轧管法的实质就是内孔套有芯头的管坯，在周期往复运动的轧辊的变断面轧槽内，进行减径和减薄壁厚的轧制变形过程。冷轧法生产管材时金属变形条件好，延伸系数高，能得到特殊形状的断面，并能缩短和改善生产流程，从而显著地降低几何废料和提高成品率。

1.3.3.1 冷轧管分类

按轧机轧辊的运动方式冷轧管的分类如图 1-5 所示。

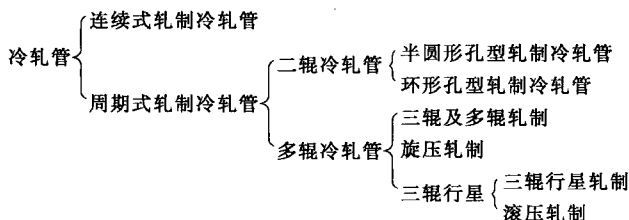


图 1-5 冷轧管的分类

1.3.3.2 冷轧管法的特点

与拉伸法比较，冷轧管法具有以下的特点。

(1) 优点

① 管坯冷轧时，金属处于强烈的三向压应力状态，能充分利用金属的塑性，允许采用较大的加工率。每道延伸系数可达 8~10。因此，适合于生产低塑性、难变形合金的薄壁管材。

② 由于道次加工率大，缩短了工艺流程，减少了工序（省去了拉伸时的退火、酸洗、制夹头、切头尾等），节省了各种消耗，减少了几何废料，提高了成品率，降低了成本。

③ 冷轧管法具有较强的纠正管坯壁厚不均的能力，冷轧管材尺寸精确，内外表面光洁。

④ 冷轧管材具有较好的力学性能。

⑤ 冷轧管法可生产各种规格的小直径薄壁管以及各种异型管材。

(2) 缺点

① 冷轧管机设备复杂、投资高，维护和调整困难。

② 工具费用高。孔型块（亦可称为槽辊）需用特殊钢制造，材料价格昂贵，加工和修理需专用机床，且工序长、孔型的寿命短。

③ 更换工具程序多且繁，生产辅助时间长，生产效率较拉伸法低。冷轧管法用于生产塑性好、管壁厚的管材不经济。

④ 冷轧管材易发生环状痕（竹节）、波纹和椭圆度较大等质量问题，需经整径拉伸才能出成品。

1.3.4 型辊轧制加工

1.3.4.1 型辊轧制的概述

棒材也可采用型辊轧制的方法加工。型辊轧制是一种塑性加工方法，它是用一对

刻有轧槽的轧辊轧制的方法来加工生产棒材的。型辊轧制的加工过程是将加热到一定温度的锭坯通过型辊压下，在孔型中产生塑性变形，从而获得与孔型断面形状、尺寸相同的制品。

在铜合金的型辊轧制加工中，主要是生产简单断面的棒材和线坯，一部分制品可作为成品供用户使用，大部分是用作拉伸加工的坯料。

棒材型辊轧制的整个过程是由锭坯开始通过粗轧、中轧、精轧三个轧制阶段轧成成品棒材的。三个轧制阶段的目的是不同的。

① 粗轧阶段 也称开坯轧制。在此阶段是通过适当的塑性变形量来改善轧件的组织和加工性的，使内部组织由粗大的柱状晶和等轴晶形成的铸造组织改变成由细小的、致密的球状晶构成的变形组织。

② 中轧阶段 又称延伸阶段。此阶段利用轧件的温度高、塑性高、变形抗力低的特点，采用方扁交替延伸孔型系，以大的变形量、少的道次数进行轧制，以尽快地把尺寸向成品棒材靠近。

③ 精轧阶段 此阶段是轧制的最后几个道次。它不再给予轧件大的变形，而是要轧出断面（形状和尺寸）精确、表面质量良好的成品棒。

1.3.4.2 棒材型辊轧制产品的分类

型辊轧制的棒材大部分是供拉伸棒材的坯料，一般称为棒坯，只有少部分热轧棒材直接供给用户作为成品使用。

按断面形状可分为圆棒坯、方棒坯、六角棒坯，后两种也属于简单断面型材。

按规格可分为小圆棒坯（ $\phi 6 \sim 25\text{mm}$ ）、中棒坯（ $\phi 27 \sim 60\text{mm}$ ）、大棒坯（ $\phi 60\text{mm}$ 以上）。

按合金牌号可分为紫铜（纯铜）棒（T2、T3、TU1、TU2、TP1、TP2）、黄铜棒（H96、H90、H85、H80、H68、H65、H62、HPb63-3、HPb60-1、HPb59-1、HSn62-1、HMn58-2、HFe59-1-1）、青铜棒（QSn4-3、QBe2.5、QBe2.15、QBe2、QBe1.9、QBe1.7、QSi3-1、QMn5、QCr0.5）、白铜棒（B0.6、B16、B19、B30、BMn3-12、BMn50-1.5、BMn43-0.5、BZn15-20）。

第2章

管材、棒材挤压加工工艺

2.1 挤压的理论基础

2.1.1 挤压过程的变形参数

挤压比和变形程度是挤压过程的两个基本变形参数,说明挤压过程中金属变形量。

(1) 挤压比 在塑性加工中也称为延伸系数。它表示制品挤压前铸锭充满挤压筒的断面积与挤压后制品断面积总和之比。实际应用中用挤压筒的断面积与制品断面积总和之比。

$$\lambda = \frac{F_t}{\sum F} \quad (2-1)$$

式中 λ ——挤压比;

F_t ——挤压筒的断面积, mm^2 ;

F ——制品的断面积, mm^2 。

对于圆形管棒材可以采用下列简化公式进行计算挤压比。

圆形棒材:

$$\lambda = \frac{\left(\frac{D_t}{d}\right)^2}{n} \quad (2-2)$$

圆形管材:

$$\lambda = \frac{(D_t - s_t) s_t}{(d - s) s} = \frac{F_t}{F} = \frac{D_t^2 - d^2}{4s(d - s)} + 1 \quad (2-3)$$

式中 D_t ——挤压筒直径, mm ;

d ——制品直径, mm ;

s_t ——铸锭穿孔后环形断面的壁厚, $s_t = \frac{D_t - D_z}{2}$, mm ;

D_z ——穿孔针直径,即管材内径, mm ;

s ——制品的壁厚, mm ;

n ——多孔模的模孔数,单孔模 $n = 1$ 。

为了便于计算管材挤压比,式(2-3)可利用计算图2-1求管材挤压比,使用方法如图中所示。

(2) 变形程度 变形程度也称为加工率,它是表示金属相对变形的一个参数。以