

铜材生产加工丛书

铜合金 型线材加工工艺

刘晓璜 刘培兴 刘华鼎 编著

TONG HE JIN



化学工业出版社

铜材生产加工丛书

铜合金 型线材加工工艺

刘晓璐 刘培兴 刘华鼎 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书先介绍了铜合金型材的各种生产方法、加工原理、加工生产工艺过程和生产设备,包括孔型和孔型系统的基本知识、设计方法;型辊轧制中的塑性加工基础理论、加工工艺、力能计算、设备和装置,以及型材拉伸原理、方法、工艺过程与拉伸设备和工具。接着介绍了铜合金线材和线坯的加工工艺、线材的拉伸加工工艺、设备和工具。

本书涵盖了国内外有关铜合金型材和线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。

本书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

铜合金型线材加工工艺/刘晓璐,刘培兴,刘华甬编
著. —北京:化学工业出版社,2009.9
(铜材生产加工丛书)
ISBN 978-7-122-06543-8

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第147970号

责任编辑:丁尚林

文字编辑:冯国庆

责任校对:宋 玮

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14 $\frac{3}{4}$ 字数321千字 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》、《铜合金型线材加工工艺》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

铜合金型材线材是铜合金加工材料的重要组成部分，与其他铜合金材料一样，也是国民经济各部门不可缺少的基础材料，日益显出其重要性。随着社会的进步和科学技术的发展，铜合金型材生产加工技术的发展和进步越来越受到关注。用于铜合金型材加工生产的塑性加工方法很多，主要有型辊轧制技术、挤压技术、拉伸技术、铜合金线材的连铸连轧技术等。这些加工技术具有很强的理论性和工艺性。编著者根据在实际工作中积累的经验和国内外铜加工业专家、学者的研究成果，不揣冒昧，编写了此书。本书详尽地介绍铜合金型材加工工艺，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，便于读者理解、掌握和应用这些技术，对读者的实际工作有所裨益。

本书分为七章。第一章～第四章介绍了铜合金型材的各种生产方法，分析了加工原理，介绍了加工生产工艺过程和生产设备。其中第一章简介了铜合金型材概念及其分类、生产方案和工艺流程；第二章介绍了孔型和孔型系统的基本知识、孔型设计的步骤和方法；第三章介绍了型辊轧制中的塑性加工基础理论、型辊轧制加工工艺过程、型辊轧制时的力能计算、型辊轧机及辅助设备和装置；第四章介绍了型材拉伸原理、拉伸方法、拉伸加工工艺过程及拉伸设备和工具。第五章～第七章介绍了铜合金线材的加工工艺、铜合金线坯的加工工艺、线材的拉伸加工工艺及线材拉伸的设备和工具。其中第五章介绍了铜合金线坯型辊轧制加工方法及其他方法的特点和适用性、线坯轧制加工工艺、线坯连铸连轧技术和工艺、方法及设备；第六章和第七章介绍了铜合金线材加工工艺流程、线材的各种拉伸技术和设备、拉伸工艺过程、拉伸的主要设备及工具。

鉴于编著者学识水平和视野有限，书中难免存在不当之处，敬请铜加工业同行专家、学者和读者予以指正。

编著者

目 录

第1章 型材概述	1
1.1 型材的概念和分类	1
1.2 型材生产方案	1
1.2.1 型辊轧制	1
1.2.2 型材拉伸	2
1.2.3 型材挤压	3
1.3 型材坯的加工方法	6
第2章 轧辊的孔型设计	7
2.1 孔型和孔型系统的基础知识	7
2.1.1 孔型的基本知识	7
2.1.2 孔型系统的基本知识	10
2.2 孔型设计概述	13
2.2.1 孔型设计的内容和要求	13
2.2.2 孔型设计的程序	13
2.2.3 孔型在轧辊上的配置	16
2.3 孔型设计	18
2.3.1 延伸孔型系统设计	18
2.3.2 成品孔型系统设计	29
2.3.3 无孔型型材轧制法及其孔型设计	33
第3章 型材的型辊轧制加工工艺	37
3.1 实现型辊轧制过程的条件——咬入条件	37
3.2 型辊轧制时的变形	39
3.2.1 型辊轧制时变形的不均匀性	39
3.2.2 压下	39
3.2.3 延伸	42
3.2.4 型辊轧制时的宽展	42
3.3 型辊轧制时轧制力和电机功率的计算	44
3.3.1 轧制力的计算	44
3.3.2 轧件温降的计算	48
3.3.3 道次电机功率的计算	49

3.4	型材轧制生产的加工工艺	51
3.4.1	型材轧制的锭坯和坯料	51
3.4.2	型材轧制时的工艺参数	52
3.4.3	型材轧制注意事项	57
3.5	型材轧制的典型孔型系统举例	58
3.5.1	紫铜小型材坯轧制典型孔型系统举例	58
3.5.2	铜合金型材坯轧制典型孔型系统举例	58
3.6	型材轧制时的废品	59
3.7	型材轧机及其附属装置和辅助设备	60
3.7.1	型材轧机	60
3.7.2	轧辊	65
3.7.3	粗轧机的机械化装置	66
3.7.4	活套沟	68
3.7.5	导卫装置	69
3.7.6	围盘	73
3.7.7	型材轧机的调整	80
3.7.8	型材轧机的辅助设备	81
第4章	铜合金型材的拉伸加工工艺	84
4.1	拉伸的理论基础	84
4.1.1	拉伸的基本概念	84
4.1.2	实现拉伸过程的基本条件	89
4.1.3	拉伸时的应力与变形	90
4.1.4	拉伸力和拉伸应力	91
4.2	型材拉伸加工方法	97
4.2.1	空拉	98
4.2.2	固定短芯头拉伸	98
4.2.3	长芯杆拉伸	98
4.2.4	游动芯头拉伸	98
4.3	型材的拉伸工艺	98
4.3.1	型材的拉伸配模	98
4.3.2	异形管材拉伸配模	104
4.3.3	型材拉伸加工工艺	105
4.4	型材拉伸时的质量控制及废品	111
4.4.1	拉伸制品的质量	111
4.4.2	拉伸制品质量控制	111
4.4.3	拉伸废品	112
4.5	铜合金型材拉伸时的主要设备和工具	112
4.5.1	拉伸机	113

4.5.2	热处理设备——退火炉	115
4.5.3	酸洗设备	119
4.5.4	制夹头设备	119
4.5.5	矫直机	120
4.5.6	锯切设备	121
4.5.7	型材拉伸的工具	121
第5章	铜与铜合金线坯加工工艺	126
5.1	线坯的加工方法、特点和适用性	126
5.2	线坯轧制加工工艺	127
5.3	线坯连铸连轧技术和工艺	128
5.3.1	无氧铜线坯连铸连轧加工新技术	128
5.3.2	低氧光亮铜线坯连铸连轧生产技术	133
5.3.3	紫杂铜连铸连轧生产低氧光亮铜线坯技术	139
第6章	铜合金线材的拉伸加工工艺	145
6.1	概述	145
6.1.1	线材的分类	145
6.1.2	线材生产方案	145
6.1.3	实现线材拉伸的条件	146
6.2	线材的拉伸方法	147
6.2.1	单模拉伸和多模拉伸	147
6.2.2	带滑动的连续式多模拉伸	147
6.2.3	无滑动的连续式多模拉伸	149
6.2.4	无滑动积蓄式多模拉伸	150
6.2.5	多线多模连续拉伸	151
6.2.6	线材连续拉伸方法的比较	151
6.3	拉伸配模	151
6.3.1	线材拉伸配模的方法	151
6.3.2	拉伸圆线时的配模	153
6.3.3	拉伸型线时的配模	158
6.3.4	铜合金线的配模方案	160
6.4	线材拉伸的加工工艺	161
6.4.1	线材拉伸的坯料	161
6.4.2	线材拉伸工序	161
6.5	线材拉伸加工的废品	184
6.6	线材加工新工艺和新技术	186
6.6.1	用超微连轧机制线的新工艺	186
6.6.2	压力模拉伸铜线新工艺	187
6.6.3	细线的静液压挤出拉伸线工艺	188

6.6.4 其他拉线新工艺	189
第7章 铜合金线材拉伸的主要设备和工具	192
7.1 线材拉伸机及其辅助设备	192
7.1.1 线材拉伸机	192
7.1.2 拉伸机的辅助设备	199
7.2 线材拉伸生产辅助设备	204
7.2.1 热处理炉	204
7.2.2 酸洗设备	206
7.2.3 供给润滑剂的装置	207
7.3 拉伸工具及其设计和加工	208
7.3.1 拉模材料和各部位的参数	208
7.3.2 金刚石模的设计和加工	209
7.3.3 硬质合金模的设计和加工	214
7.3.4 型模加工	220
7.3.5 扒皮模及其加工	221
7.3.6 模子的质量检查	222
附录1 直径 0.010~0.095mm 的铜及铜合金线材的横断面积及质量	224
附录2 直径 0.10~20.00mm 的铜及铜合金的横断面积及质量	225
参考文献	228

型材概述

1.1 型材的概念和分类

凡横断面为非圆形的、几何形状的、实心或空心的铜合金加工制品称为铜合金型材。

按照制品的横断面形状分为空心型材和实心型材或简单断面型材和复杂断面型材，也可分为三角形型材、方形型材、六角形型材、矩形型材、扇形型材。异形管材属于空心型材，异形棒材属于实心型材。按照制品的成分分为纯铜型材、黄铜型材、青铜型材、白铜型材等。按照用途分为矩形波导管、空调管、内螺旋管、散热管、冷凝管、铜排、电车线、整流子等。

1.2 型材生产方案

通常型材生产是采用挤压、型轧、连铸的加工方法生产的坯料，通过拉伸获得所需形状和尺寸的型材。型材生产方案如图 1-1 所示。

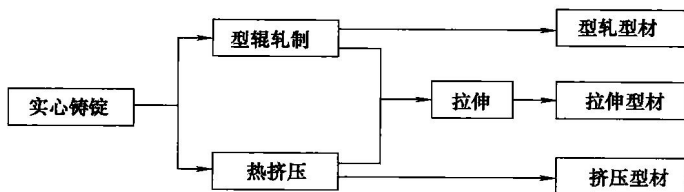


图 1-1 铜合金型材加工生产方案

1.2.1 型辊轧制

通常在单一的型材生产时，其坯料多是采用型辊轧制的加工方法。型辊轧制是一种塑性加工方法，它是用一对型辊轧制的方法来加工生产各种棒材、型材和线坯。型辊轧制的加工过程是将加热到一定温度的锭坯，通过轧辊上的孔型轧制变形，从而获得各种断面形状、尺寸精确的制品。在铜及其合金的型辊轧制加工中，主要是生产简单断面的型材和线坯，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。

型辊轧制的基本原理和板材轧制（平辊轧制）的原理是相同的。只是型辊轧制时轧件的变形受到孔型（轧槽）的限制，宽展为限制展宽或强迫展宽（视孔型结构

而异)。

1.2.1.1 型材轧制的产品

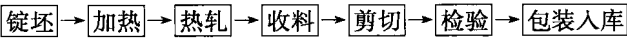
对铜及铜合金的型材轧制而言，其产品基本上是拉伸加工工序的坯料，只有一少部分圆棒材和扁材直接供给用户使用。铜及其合金型材轧制的部分产品列于表1-1中。

表 1-1 铜及铜合金的型材轧制产品

制 品	金属及合金牌号	直径及断面/mm	轧 件 用 途	
热轧盘条 (线坯)	T1 H80, H68, H62, HPb59-1 QMn5, QCd1 QBe2, QCr0.5 QSi3-1, QSn4-3 B0.6, B19 BZn15-20, BMn3-12 BMn40-1.5 BMn43-0.5	φ7~15	以盘卷状交货,拉线生产	
热轧小型材	T1 T1, H80, H68, H62 QBe2.0, B0.6, B19 B30 QCd0.5, BMn40-1.5	矩形(6~12)×(10~22) 梯形 φ10~20	矩形铜线卷坯 整流排坯料 棒坯	
		矩形(6~12)×(10~22)	矩形窄卷带	
热轧中 型型材	T1, H62, QSi3-1 QSn4-3, B19	φ20~45	拉制 φ40mm 以下圆棒	
	T1, H62, QSi3-1 T1, H62, QSi3-1 T1	方形 20~40 六角形 20~40 矩形(6~8)×(50~105) 矩形(6~15)×(50~105) 梯形	拉制 36mm 以下方棒 拉制 36mm 以下六角棒 用作卷带材 用作矩形扁线(母线) 用作整流排	
热轧棒材	T1, H96, H80, H68, H62 HPb59-1, HSn60-1, QSi3-1 QSn4-3, BZn15-20	φ60 以上 φ27~60 φ14~26	用作大棒 用作中棒 用作小棒	用作切削加工 成各种仪表和机 器用的零件
扁坯		厚度 4.5~18, 宽度 12~140		
异型断面型材	QSn6.5-0.4		一般热态轧制。不适于热轧生产的可采用冷轧法制得以供拉线	

1.2.1.2 型材轧制的工艺流程

铜及其合金棒、型、线型材轧制生产的工艺流程如下。



1.2.2 型材拉伸

拉伸是最常见的金属塑性加工方法之一。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。在拉伸过程中，坯料的横断面减小而长度增加。

拉伸的主要工具是拉伸模。拉伸使用的坯料是挤压、轧制的。拉伸一般是在冷状态下进行的。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、棒材和型材制品。它可以消除坯料表面上的凹坑、歪扭、弯曲、划伤及其他缺陷，改善制品的外观质量。

1.2.2.1 型材拉伸的特点

(1) 由于拉伸过程通常是在冷态下进行的，使用的模具是由硬度高、耐磨性好的材料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。例如拉制的波导管，其内表面粗糙度可达到 $R_a 0.4\mu\text{m}$ ，尺寸公差达到正负百分之几毫米。

(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 $0.5\sim 1.0$ 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。

(5) 拉伸时用于克服摩擦所消耗的能量较多，大约占总能量的 60% 以上。拉伸道次加工率小，两次退火间的总变形量不够大，这就增加了拉伸道次和退火次数。

为了减少和克服上述缺点，在生产中采用硬质合金作为拉伸模具的材料；精心设计和加工模孔；采用游动芯头和强制润滑拉伸；使用辊式拉模和旋转拉模；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。

1.2.2.2 型材拉伸的工艺流程

型材拉伸是型材生产工艺中最后一道加工工序。坯料在拉伸过程中要进行中间退火、酸洗处理、制夹头/切头切尾、锯切、扒皮等辅助工序。最终拉伸后的制品还要进行精整或成品退火，最后经过检验合格后才能称为成品。空心型材拉伸工艺流程如图 1-2 所示，实心型材拉伸工艺流程如图 1-3 所示。

1.2.3 型材挤压

铜合金型材挤压是把加热到一定温度的铸锭放进挤压机的挤压筒中，挤压机的挤压力通过挤压轴、垫片作用于铸锭上，迫使合金通过挤压模流出，从而获得所需的形状、尺寸和性能的型材成品。铜合金型材坯的热挤压加工法也是一种常用的坯料加工方法。与型辊轧制法相比，热挤压加工法具有很多优点。

用热挤压法加工的型材绝大部分是作为拉伸工序的坯料，只有少数的制品（多为复杂断面的型材）作为成品供应用户使用。

按挤压坯料相对挤压筒的运动特点分为正向挤压、反向挤压和联合挤压。按挤压型材的类型可分为实心型材挤压、空心型材挤压和沿型材长度方向断面变化的实心型材挤压等。

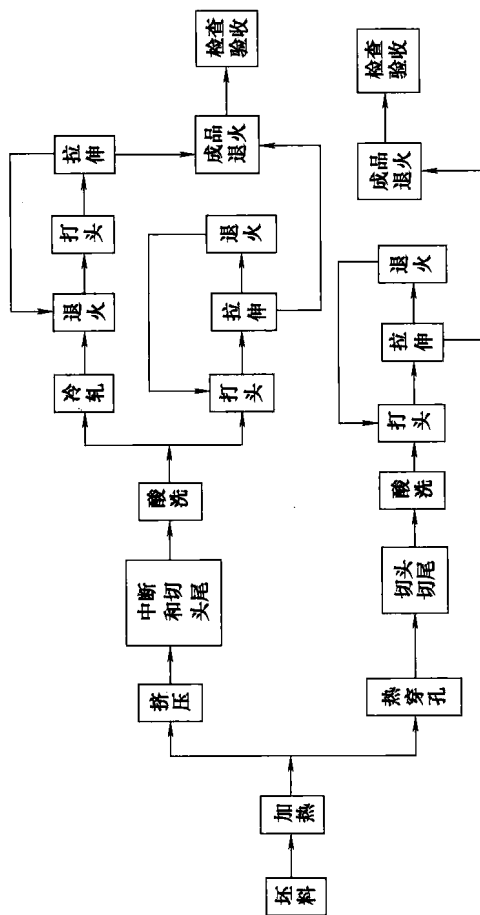


图 1-2 空心型材生产工艺流程

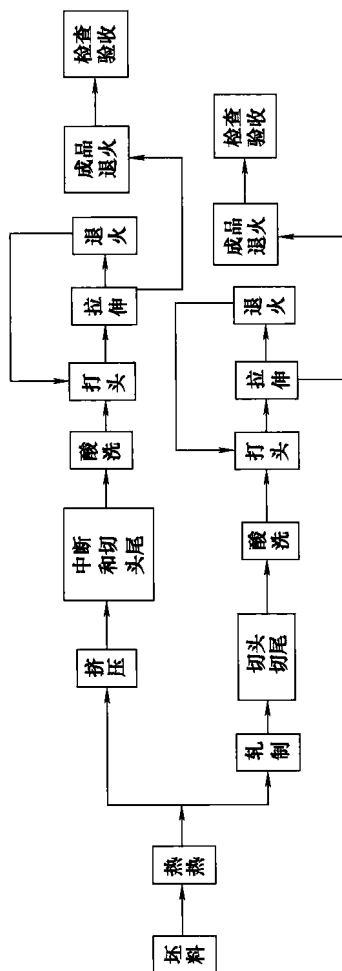


图 1-3 实心型材生产工艺流程

1.2.3.1 实心型材挤压

实心型材通常采用正向挤压和反向挤压两种方法。

(1) 实心型材正向挤压的特点

① 由于型材与坯料之间缺乏相似性，金属的流动不具备挤压圆棒时的完全对称性。

② 型材各部分的金属流动受到比周长的影响。所谓比周长是指把型材横断面假想分为几部分后，各部分面积上的周长与该面积的比值。

由于上述两种原因，使得型材各部分所得的金属供应量不同，加之型材各部分受模子工作带的摩擦阻力也不同，因而造成正挤压型材时变形不均匀。这样型材出模孔后往往发生弯曲和变形。

为了减少由于型材不均匀变形产生的弯曲和变形，应尽量避免型材各部分金属流出模孔速度不等的现象。目前采用的措施主要是合理设计挤压模，适当控制速度或者型材出模后进入导路。

(2) 实心型材反向挤压的特点 反向挤压时，位于死区处的金属与挤压筒有相对滑动，其他部分的金属与挤压筒并不发生相对滑动。因此摩擦力对反向挤压的影响小。塑性变形区仅集中在模口附近，塑性变形区的最大高度为挤压筒内径的一半；而死区的高度约为挤压筒内径的 $1/8 \sim 1/4$ 。反向挤压时，锭坯未变形部分受到三向等压应力的作用。反向挤压由于变形区小，金属流动均匀，因此使挤压缩孔和压余少，制品力学性能也较均匀。反向挤压的制品力学性能较正向挤压低，表面质量较正向挤压差。

1.2.3.2 空心型材挤压

(1) 空心型材正向挤压的特点 空心型材在正向挤压时，由于型材各部分所受的摩擦阻力不同，致使其各部分的流出速度非常不均匀。这常引起型材的翘曲、破裂，不能充满模孔，使芯棒位置偏移，从而改变了型材的尺寸。因此，在正向挤压空心型材时需采取有效措施。

(2) 空心型材的挤压方法 根据空心型材的外形、孔腔的数目及尺寸、形状、孔腔对型材断面中心位置的非对称分布程度以及其他因素，可采用如下两种方法挤压空心型材。

① 穿孔针型材挤压法 此法可对空心 and 实心锭坯进行挤压。当采用实心锭坯时，在挤压前要先进行穿孔。这种方法挤出的空心型材无接缝。不过此法只能生产断面形状简单的空心型材和孔腔较大的异形断面型材。

② 组合模焊合挤压 此法只适合用于焊接性优良的铜合金，大多数铜合金不适用于用此法生产。这种方法可以生产横断面形状复杂的空心型材，但是挤出的空心型材有接缝。

上述两种方法中金属流动的特点都与圆棒挤压有很大的不同。在用带穿孔针的挤压机上挤压实心锭坯或空心锭坯时，金属流动不仅受到挤压筒与模端面的摩擦阻力，还受到穿孔针的摩擦阻力。从而使金属的流动较均匀。用组合模挤压时，由于金属受

到分流桥的阻滞，也使内外层金属流动速度均匀。

(3) 空心型材反向挤压的特点 在生产大直径（约 300mm 以上）空心型材时采用反向挤压法或联合挤压法，而在生产带底的薄壁空心型材时用冲击挤压法。上述三种方法均属反向挤压法。

反向挤压时，金属的变形区很小，只集中在出口间隙处，变形区的高度随变形程度或延伸系数增加而减少，流动较均匀。锭坯表面缺陷仍出现在空心型材表面。

1.2.3.3 变断面实心型材挤压

铜合金变断面型材的断面大小和形状沿其长度方向上的分布是不一样的，其中有的是连续变化的，称为“逐渐变断面型材”，有的是非连续变化的，称为“阶段变断面型材”，亦或是两种形式的结合。

变断面实心型材有如下几种挤压方法。

① 用几套可拆卸的挤压模分步挤压基本型部分和大头部分的方法，用单独的挤压模挤压型材各个断面，每个挤压阶段结束后更换挤压模。

② 采用异型挤压筒的挤压法。挤压断面形状简单且长度不大的型材大头部分时，可在挤压筒内孔的横断面形状与型材大头部分的横断面形状相同的挤压筒内进行挤压。

③ 逐渐变断面实心型材挤压。逐渐变断面实心型材主要采用带活动件的挤压模的挤压方法来挤压。挤压模的活动件在挤压过程中沿径向移动，利用仿形导向装置保证挤压模的活动件的移动，导向装置与挤压机的前机架相连接。

实心型材的挤压工艺流程、工艺参数和工艺制度与同类合金的圆棒挤压基本相同；空心型材的挤压工艺流程、工艺参数和工艺制度与同类合金的管材挤压基本相同。

1.3 型材坯的加工方法

(1) 连铸型材坯 简单断面型材坯（例如方棒坯、六角棒坯、扁坯）采用水平连铸法或立式连铸法铸造。连铸型材坯可直接送去热处理后进行拉伸生产。此方法工序少、设备少、成本低。

(2) 热挤压型材坯 断面较复杂的型材是在挤压机上生产的。凡是难于用连铸法和型辊轧制法生产的型材坯料都可以用此法生产。挤压出的制品有的可以直接供应使用。因与管材、棒材热挤压相似，故本书只做简单的介绍。

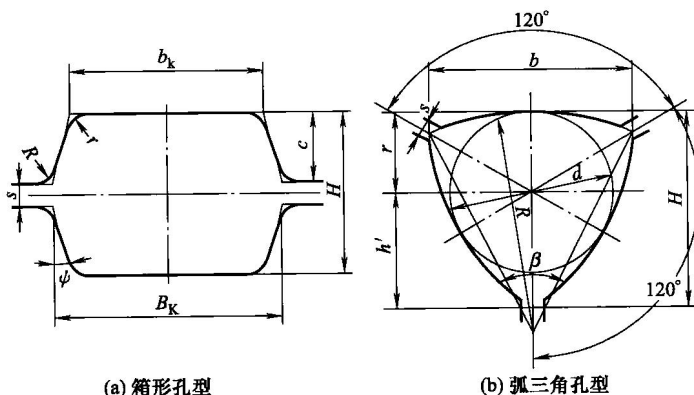
(3) 型辊轧制型材坯 简单断面的型材坯（如方棒坯、六角棒坯、扁坯、梯形坯等）都可以用型辊轧制法生产。这种方法生产率高、成品率高，适于大批量生产。本书以此法为重点，详细论述其理论基础、工艺过程和设备等。

轧辊的孔型设计

将锭坯在逐渐减小断面的轧辊孔型中间进行轧制，从而获得所需要的断面形状、尺寸和性能的产品。为此而进行的设计和计算工作称为孔型设计。

2.1 孔型和孔型系统的基础知识

型辊轧制的主要工具是带有不同形状和断面尺寸的、逐渐减小的刻槽的轧辊，这种刻槽称为轧槽。由两个或三个轧辊相对应的轧槽及其辊缝所构成的空间则称为孔型，如图 2-1 所示。



(a) 箱形孔型
 c —轧槽深度； H —孔型高度； B_K —轧槽槽口宽度； b_k —轧槽槽底宽度； R —外圆角半径； r —内圆角半径； s —辊缝； ψ —侧壁斜角
 (b) 弧三角孔型
 d —内切圆直径； b —孔型理论宽度； R —弧边半径； H —孔型高度； h' —孔型长半轴； r —孔型短半轴； β —弧边对应的圆心角； s —辊缝

图 2-1 孔型

2.1.1 孔型的基本知识

2.1.1.1 孔型的分类及应用

孔型的形状有许多种，生产实践中轧制型材坯、线坯常用的孔型种类如图 2-2 所示。

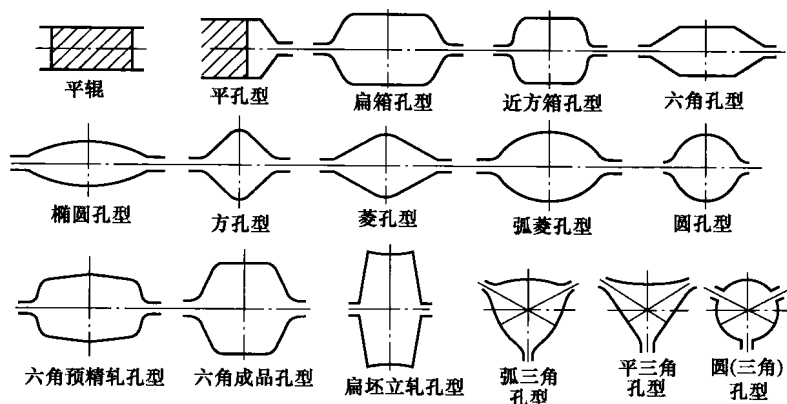


图 2-2 常用的孔型的种类

孔型分开口式和闭口式，如图 2-3 所示。若一个轧辊的辊体不进入另一个轧辊的辊体中，所构成的孔型即称为开口式孔型；反之则称为闭口式孔型。轧制线坯和棒坯时，常用的是开口式孔型；轧制型材时，常用闭口式孔型。

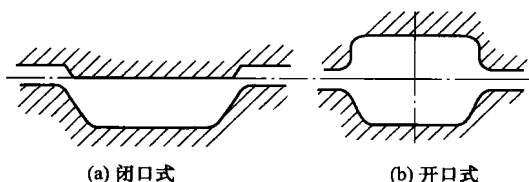


图 2-3 闭口孔型与开口孔型

按照孔型在轧制过程中所起的作用，可将其分为四类。

(1) 粗轧或延伸孔型 如箱形、椭圆形和方形等孔型可以作为粗轧孔型。一般用在减小锭坯的断面，将锭坯的铸造状态组织改造成加工状态组织的开坯工序上。

(2) 中轧孔型 由方形、菱形和椭圆形孔型等互相交替合成的孔型可以作为中轧孔型。用于继续减小轧件的断面面积，并且使轧件的外形逐渐接近成品形状和尺寸。

(3) 预精轧或成品前孔型 是成品前一道孔型，使轧件的形状和尺寸十分接近于成品。如椭圆形孔型可以作为圆断面线坯和圆棒的预精轧孔型，六边形孔型可以作为六角形制品的预精轧孔型。

(4) 精轧或成品孔型 它是最后一道孔型，给轧件以最终断面形状和尺寸，孔型的形状和尺寸与技术条件上所要求的成品形状和尺寸相同。

2.1.1.2 孔型的要素

不同的孔型形状有着不同的结构特点，基本上都是由辊缝、圆角、孔型侧壁、孔型高度以及孔型宽度等要素组成。

(1) 辊缝 轧辊辊面的间隙称为辊缝。辊缝是可调节轧辊，并且可避免空轧时轧辊相互接触摩擦。上下轧辊的轧槽凹入深度与辊缝之和便是由孔型中轧出的轧件高