



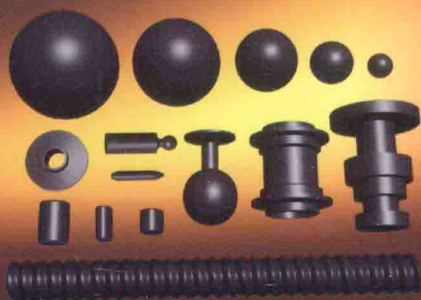
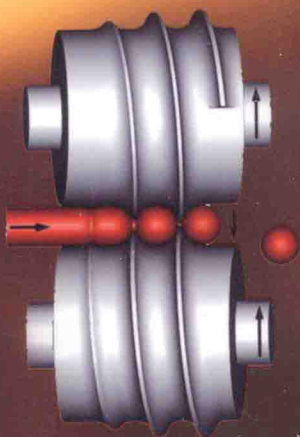
国家科学技术学术著作出版基金资助出版

“十二五”
国家重点图书

零件斜轧成形技术

TECHNOLOGY OF SKEW ROLLING

胡正寰 著
王宝雨 刘晋平 郑振华



化学工业出版社



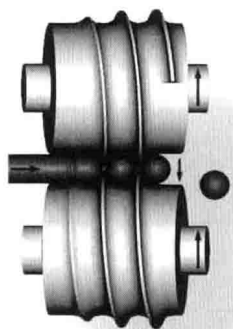
国家科学技术学术著作出版基金资助出版

“十二五”
国家重点图书

零件斜轧成形技术

TECHNOLOGY OF SKEW ROLLING

胡正寰 著
王宝雨 刘晋平 郑振华



化学工业出版社

本书由我国零件斜轧成形技术领域的著名专家——胡正寰院士带领其团队撰写而成，详细介绍了零件斜轧成形技术原理、变形机理、模具设计、模具的数控加工、轧制设备以及轧制工艺调整等内容。本书内容翔实、技术先进，是行业内技术人员不可多得的参考书籍。

本书适宜从事零件斜轧成形以及零件轧制成形的技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

零件斜轧成形技术/胡正寰等著. —北京:
化学工业出版社, 2014. 4
ISBN 978-7-122-16236-6
I. ①零… II. ①胡… III. ①机械-斜轧
IV. ①TG335. 17

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 001784 号

责任编辑: 邢 涛

责任校对: 蒋 宇

装帧设计: 韩 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 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张 14 $\frac{3}{4}$ 字数 276 千字 2014 年 10 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: 89.00 元

版权所有 违者必究



斜轧成形技术是一种回转体与螺旋形零件与制品成形新工艺、新技术。

斜轧零件与传统的冶金轧制同属回转成形即轧制范畴，但轧制的产品不同：冶金轧制主要生产长度方向上等截面的产品，如圆材、管材、板材等；斜轧零件主要生产长度上变截面的回转体、螺旋体产品，如钢球、丝杠等，所以斜轧是冶金轧制的发展与延伸。

轧制的产品不同，则机器的传动方式、模具（轧辊）的结构与形状都不同，因此斜轧零件又被称为特殊轧制。斜轧的零件是在回转中成形的，所以，人们又称它为回转成形。

斜轧与机床切削都属零件成形范畴，但成形方式不同：斜轧是在模具作用下，实现金属流动转移，即塑性成形零件的；切削是在刀具作用下，去除多余金属而成形零件的。所以两者相比较，前者节省材料。

斜轧与锻造同属塑性零件成形范畴，但成形方式不同：锻造模具做往复运动，其特点为整体、断续成形零件；斜轧模具做回转运动，其特点为局部、连续成形零件。

成形方式的不同，给两种不同的工艺带来显著的差异，两者比较，斜轧的优点如下。

① 工作载荷小 由于是局部成形，载荷只有模锻的几十分之一，故设备小、模具寿命高。

② 产品尺寸精度高 可实现零件的近净成形，材料利用率提高 10% 以上。

③ 生产率高 由于是连续回转成形零件，生产效率高 3~10 倍。

④ 产品质量好 成形零件的金属纤维沿零件外形连续分布，产品承载能力提高。

⑤ 工作环境好 无冲击、低噪声、进出料容易实现自动化操作等。

斜轧的缺点如下。

① 通用性差 一般只能成形回转体零件。

② 模具特殊并且复杂 模具为变高度、变导程的螺旋形状，所以至今只在形状比较简单的产品上得到广泛应用。

③ 工艺调整要求高 工艺调整因素多，掌握不好将影响产品的质量。

④ 零件长度受限制 一般只能轧制长度小于 200mm 的零件。

综上所述，斜轧一般适合批量大、形状相对简单、长度不长的回转体零件，钢球、铜球、圆柱等是它的典型产品。但斜轧螺旋体零件的长度不受限制，可生产很长的零件，例如丝杠、锚杆等。

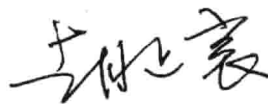
尽管斜轧零件成形技术在国外出现已半个多世纪，但由于技术等原因至今并未得到较广泛应用。

北京科技大学胡正寰的团队从 1958 年开始斜轧技术的研究与推广工作，50 多年来从未间断，特别是近 10 年，这项技术在生产工艺、成套设备和模具设计与制造等方面均取得了突破性进展。因而在斜轧球磨钢球、轴承钢球、电镀用磷铜球等领域得到广泛的推广应用。在国内 10 多个省市（包括台湾）共建设生产线 100 多条，并出口给美国、日本、俄罗斯、哈萨克斯坦、土耳其等国 10 多条生产线，取得了显著的经济效益。与此同时，胡正寰的团队在斜轧成形形状比较复杂的零件上也取得进展，例如带螺旋的锚杆、由 5 个回转体组成的五金工具制坯件等产品均应用于生产。这说明我国的斜轧零件成形技术已达到国际先进水平，在某些方面处于国际领先水平。

由于零件斜轧成形技术具有高效、节材、清洁、低生产成本等优点，今后必将得到全面、快速的发展，其应用将更多、更广，为此我们撰写这本著作，目的是促进这项技术的发展与更广泛的应用。

本书由胡正寰（第一章、第六章、第七章）、王宝雨（第二章中第三节、第五章）、刘晋平（第二章中第一节和第二节、第四章）、郑振华（第三章）等人撰写，全书由胡正寰定稿。另外，参与本书有关工作的还有李玉京、张康生、杨海波、颜世公、张巍、孙淑琳、张春生、常相和、杨翠苹等人以及康永强等多名博士与硕士。

斜轧成形技术是不断发展的技术，现在对该技术中的一些理论与实际问题，仍在不断研究中，所以本书涉及的内容中存在的认识不全面、不准确，甚至不妥之处，殷切希望读者批评指正。



2014 年 1 月

第一章 概 论

1

第一节 零件轧制的特点与分类	1
一、零件轧制技术的特点	1
二、零件轧制技术的分类	2
第二节 轴类零件成形技术的比较	9
一、斜轧与机械成形技术的比较	9
二、斜轧与其它轧制方法的比较	10
第三节 斜轧零件技术的发展与应用	13
一、国内外发展与应用简况	13
二、北京科技大学的工作	14
第四节 斜轧零件工艺流程与生产线布置	20
一、生产工艺流程	20
二、典型生产线布置	21

第二章 轧制原理

23

第一节 斜轧的运动原理	23
一、轧辊与轧件的圆周运动	23
二、斜轧回转体的运动原理	27
三、斜轧螺旋体的运动原理	28
第二节 轧件的旋转条件	32
一、横轧的旋转条件	32
二、斜轧的旋转条件	36
第三节 模具辊形曲面	38
一、模具与棒料空间位置	38
二、模具与轧件运动学分析	39

三、模具顶圆曲面方程·····	40
四、模具底圆辊形曲面方程·····	41
五、球类零件型腔曲面方程·····	43

第三章

变形机理

46

第一节 有限元模拟模型·····	46
一、有限元数值模拟的意义·····	46
二、有限元数值模拟模型·····	47
第二节 轧件的应变场·····	51
一、横截面上的应变分布·····	52
二、纵截面上的应变分布·····	53
三、横截面上的等效应变特征·····	55
四、纵截面上的等效应变特征·····	56
第三节 钢球的变形特点·····	58
一、斜轧钢球的运动几何模型·····	58
二、轧制全过程的等效应变特征·····	58
三、轧制过程的金属流动·····	63
第四节 轧件的应力场·····	66
一、横截面上的应力分布·····	66
二、纵截面上的应力分布·····	67
第五节 轧件心部疏松的机理·····	69
一、轧件心部缺陷研究概况·····	69
二、主应力与三坐标轴应力的数量关系·····	73
三、轧件心部疏松发生的原因·····	73

第四章

模具设计

77

第一节 模具特点与设计原则·····	77
一、模具特点·····	77
二、孔型设计原则·····	78
第二节 模具参数的确定·····	82
一、模具基本参数的确定·····	82
二、经验数据的选择·····	83
第三节 钢球孔型设计方法·····	85

一、孔型凸棱单侧变导程方法	85
二、孔型双侧同步变导程方法	88
三、孔型凸棱双侧不同步变导程方法	91
四、多头螺旋孔型设计方法	93
第四节 模具设计实例	95
一、钢球模具设计实例	95
二、多台阶件模具设计实例	98

第五章 模具的数控加工

105

第一节 模具坯料与加工方法	105
一、模具毛坯的制备	105
二、斜轧模具的加工	106
第二节 模具数控加工误差分析	107
一、模具孔型曲面加工方程	107
二、切削刃位于 xoz 面的数控加工误差分析	109
三、切削刃偏置数控加工误差分析	111
第三节 数控编程与数控系统	112
一、数控编程的内容与步骤	112
二、数控编程方法	114
三、数控系统	115
第四节 模具的数控加工	117
一、模具加工步骤及刀具选择	117
二、模具的锥面加工	117
三、孔型的粗加工	119
四、孔型的精加工	123
五、棱高的加工	128
六、储料槽的加工	130

第六章 机械设备

134

第一节 斜轧机的类型	134
一、穿孔式斜轧机	134
二、机床式斜轧机	138
三、钳式斜轧机	140

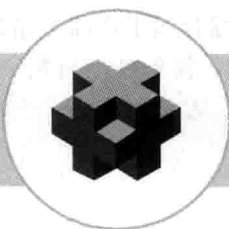
第二节 轧制压力与力矩	144
一、轧辊与轧件的接触面积	144
二、接触面上的单位压力	145
三、轧制力的方向	148
四、轧制压力与力矩的实验	149
第三节 工作机座的结构与设计	151
一、轧辊辊系	152
二、轴向调整机构	159
三、倾角调整机构	161
四、径向调整机构	165
五、导板装置	172
六、工作机架的结构	174
第四节 预应力机座	176
一、预应力机座理论	177
二、预应力机座的几点结论	179
第五节 传动系统的结构与设计	181
一、电动机与皮带减速装置	181
二、减速机与齿轮座	182
三、万向联接轴	189
四、相位调整机构	195

第七章 工艺调整

197

第一节 轧辊的径向调整	198
一、轧辊的径向位置的确定	198
二、径向调整与轧件旋转的关系	199
三、径向调整与导板位置的关系	200
四、径向调整对产品质量的影响	202
第二节 轧辊的倾角调整	203
一、轧辊倾角的确定	204
二、倾角调整对产品质量的影响	204
三、倾角调整对轧制力与力矩的影响	207
第三节 轧辊的相位调整	207
第四节 轧辊的轴向调整	210
一、斜轧孔型轴向错位的判断	211

二、轧辊孔型轴向错位与轴向力	212
第五节 导板的调整	213
一、导板相互位置的确定	213
二、导板相对轧机中心线位置的确定	215
三、导板工作面宽度的确定	218
第六节 其它调整	219
一、单孔型轧制的调整	219
二、轧辊的喇叭口调整	222
三、新轧辊调试要点	222



第一章 概 论

第一节 零件轧制的特点与分类

一、零件轧制技术的特点

零件轧制技术是指用轧制方法成形机器零件与制品的技术。传统的冶金轧制方法一般只能成形等截面的产品，如板材、管材、圆材、方材等。通常将这些材料经过锻造、切削等方法成形机器零件与制品，所以零件轧制既是冶金轧制技术的发展，可称它为特殊轧制，同时又是机械成形技术的发展，亦可称它为零件轧制。

零件轧制成形在某些国家被称为回转成形，因为工件是在回转中成形零件的，所指的回转既可以是工具回转，也可以是工件回转，或者是工具加工件一起回转。由于零件轧制是在回转中成形零件的，它与传统的断续、整体锻造成形零件不同，工件为连续、局部成形，所以人们又称它为特殊锻造。

零件轧制成形与传统锻造成形比较，具有如下优点。

- ① 工作载荷小 由于是局部成形，工作载荷小，只有一般模锻的几十分之一，所以设备重量大幅度下降，模具寿命显著提高。
- ② 生产率高 由于是连续成形，生产效率提高3~10倍。
- ③ 产品尺寸精度高 可以近净成形各种台阶轴，包括直角台阶轴，具有显著的节材效果。
- ④ 产品质量好 成形零件的金属纤维沿零件外形分布，零件承载能力提高。
- ⑤ 工作环境好 冲击与噪声都很小，进出料容易实现自动化操作，工作环境显著改善。

零件轧制成形的缺点：通用性差，需要专门的设备和模具，而且多数模具的设计、制造及生产工艺调整比较复杂。所以，零件轧制工艺多用于种类少而批量大的零件的生产。

不同的零件轧制工艺，其生产的产品形状各异，但综合起来产品类型比较齐全。包括长度上变截面零件、台阶轴、环形件、盘形件、筒形件、齿轮、链轮、轴承钢球与滚子、球磨钢球等，以及为汽车曲轴、前轴、发动机连杆、五金工具等提供的预制毛坯件等。

二、零件轧制技术的分类

（一）辊锻

辊锻属纵向轧制。其工作原理如图 1-1 所示，两个轧辊轴线平行，其旋转方向相反，毛坯在安装于轧辊上的扇形模具带动下，做垂直于轧辊轴线的直线运动，毛坯在模具的作用下高度减小、长度延伸，实现零件成形。

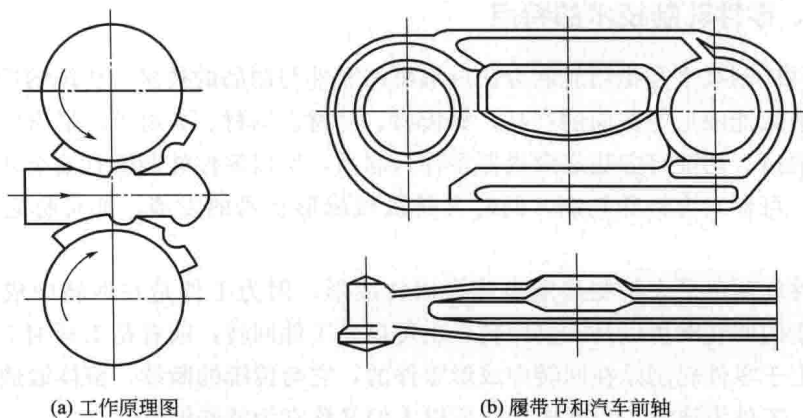


图 1-1 辊锻工作原理及其典型产品示意图

辊锻分为制坯辊锻与成形辊锻。制坯辊锻主要用于模锻制坯，即在辊锻机上按锻件形状尺寸进行金属预分配（制坯），然后在曲柄压力机或摩擦压力机等设备上模锻成形。组成的生产线既提高生产率又提高材料利用率，如汽车曲轴、前梁等锻件的生产线。成形辊锻视锻件成形程度分为终成形辊锻、部分成形辊锻和初成形辊锻。截面形状简单的锻件，如垦锄、钢叉、汽车变截面弹簧等多用终成形辊锻或部分成形辊锻生产。截面形状比较复杂、厚度差比较大的锻件，如连杆、汽车前梁等多采用初成形辊锻，辊锻后再在小吨位的模锻设备上整形。

(二) 横轧

横轧的工作原理如图 1-2 所示, 两个轧辊轴线平行, 其旋转方向相同。圆形毛坯在轧辊的带动下, 做平行于轧辊轴线与轧辊旋转方向相反的旋转运动。毛坯在轧辊孔型的作用下成形零件。

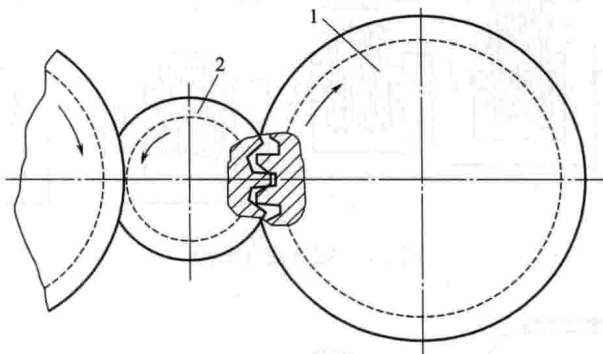


图 1-2 横轧齿轮工作原理

1—带齿形的轧辊；2—工件

横轧零件成形有三种形式。

1. 齿轮横轧

齿轮横轧工作原理如图 1-2 所示, 带齿形的轧辊 1 与圆形工件 2 对滚中实现局部连续成形, 轧制成齿轮。这种横轧的变形主要在径向进行, 轴向变形很小并受到限制。

齿轮横轧的应用范围包括: 直齿、斜齿及人字圆柱齿轮, 直齿、斜齿及螺旋圆锥齿轮以及链轮等。

齿轮横轧可分为热轧与冷轧, 热轧多用于精度不高的大模数齿轮, 冷轧多用于精度高的小模数齿轮, 也有采用热粗轧后冷精轧的。

2. 螺纹横轧

螺纹横轧又称螺纹滚压, 如图 1-3 所示。两个带螺纹的轧辊, 以相同的方向旋转, 带动圆形轧件旋转, 其中一个轧辊径向进给, 将轧件轧成螺纹。这种横轧的变形主要在径向进行。

螺纹横轧广泛应用于冷轧直径 3~20mm 紧固件的螺纹, 其精度可达 7 级, 螺纹的表面粗糙度可达 $0.4\mu\text{m}$ 。

3. 台阶轴楔模横轧

楔模横轧工作原理如图 1-4(a) 所示, 两个带楔形模具的轧辊, 以相同的方向

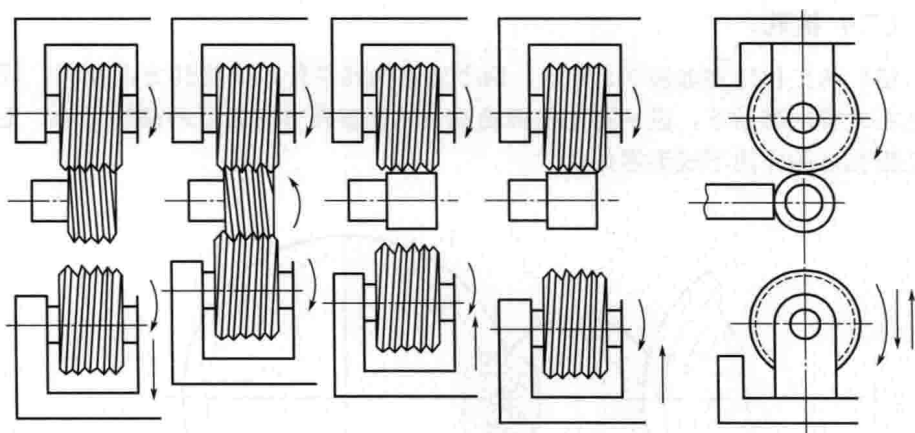


图 1-3 螺纹横轧原理

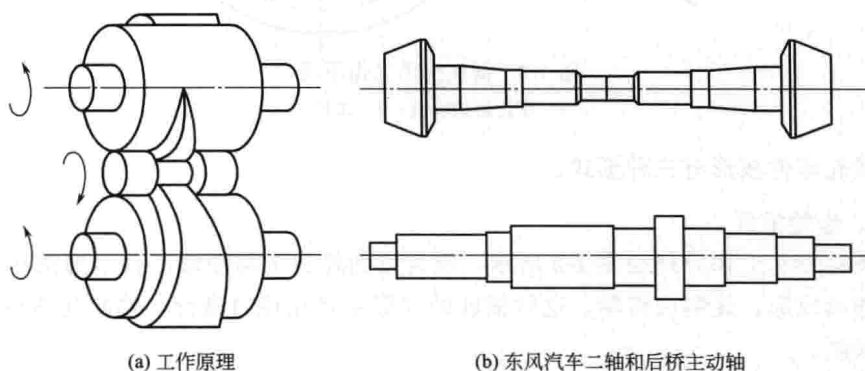


图 1-4 楔横轧工作原理及其典型产品示意图

旋转并带动圆形轧件旋转，轧件在楔形孔型的作用下，轧制成各种形状的台阶轴。楔横轧的变形主要是径向压缩轴向延伸。

楔横轧广泛应用于汽车、拖拉机、摩托车、内燃机等使用的轴类零件毛坯的生产。还可以用它为模锻件提供比其它锻造方法更精确的预制毛坯，例如连杆、五金工具毛坯等。

(三) 斜轧

斜轧零件成形有三种形式。

1. 螺旋孔型斜轧

螺旋孔型斜轧的工作原理如图 1-5(a) 所示。两个带螺旋孔型的轧辊，其轴线

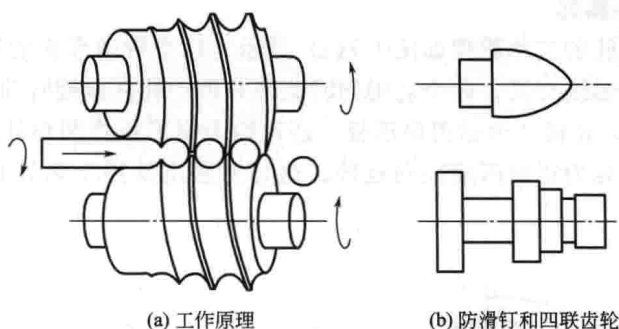


图 1-5 螺旋孔型斜轧工作原理及其典型产品示意图

相互交叉，轧辊以相同方向旋转带动圆形轧件既旋转又前进，轧件在螺旋孔型的作用下，成形回转体零件毛坯。螺旋孔型斜轧的变形主要是直径压缩轴向延伸。

螺旋孔型斜轧可以轧制球磨钢球、轴承钢球及滚子、铜球、铝球等零件。可以用穿孔斜轧轧出空心毛管后，在带芯棒的螺旋孔型斜轧机上轧出空心的回转体零件毛坯，如轴承的内座圈等。还可以用钢管冷轧出新型的锚杆等。

2. 仿形斜轧

仿形斜轧的工作原理如图 1-6 所示。三个带锥形的轧辊 1 带动圆形轧件 2 旋转，由于轧辊轴线与轧件轴线交叉，故轧件除旋转外还向前运动。三个轧辊借助于仿形板 3 改变轧辊距轧件径向距离，实现变截面轴的轧制。仿形斜轧的变形主要是径向压缩轴向延伸。仿形斜轧主要用于长径比大的轴类零件的生产，如纺织锭杆、某些医疗器械、火车轴等。

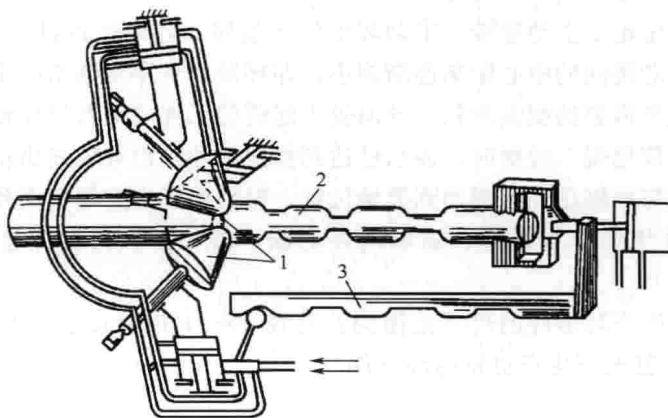


图 1-6 仿形斜轧工作原理

1—轧辊；2—轧件；3—仿形板

3. 麻花钻头斜轧

麻花钻头斜轧的工作原理如图 1-7(a) 所示。四个带扇形板的轧辊 1、2，其轴线与轧件 3 的轴线交叉，四个轧辊同时旋转并带动轧件做旋转前进运动。轧辊 1 为钻沟扇形板，轧辊 2 为钻刃扇形板，通过四个扇形板将圆形轧件轧制成麻花钻头。其变形主要为径向压缩轴向延伸。这种方法主要用于热轧直径 3~13mm 的钻头。

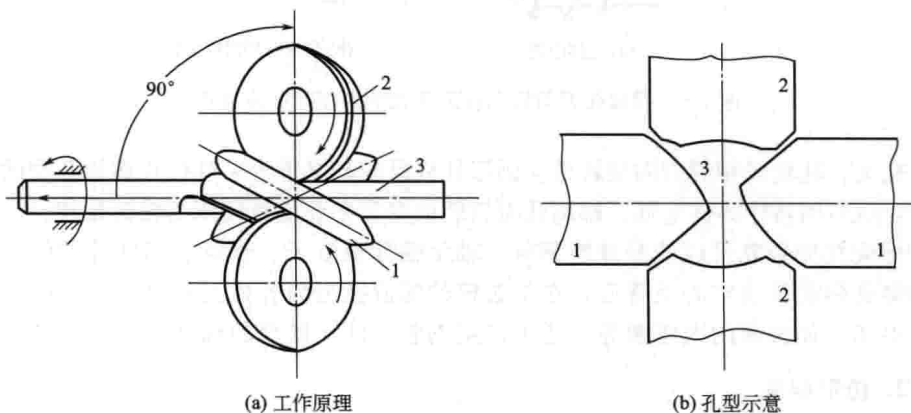


图 1-7 斜轧麻花钻头工作原理及孔型示意图

1—钻沟扇形板；2—钻刃扇形板；3—轧件

(四) 辗环

辗环是环形零件辗扩的简称，是环形件成型的新方法。其工作原理如图 1-8(a) 所示，辗压轮 1 主动旋转，带动环形坯 3 旋转，环形坯再带动芯辊 2 旋转。同时辗压轮与芯辊间的中心距离逐渐缩小，即环形的坯厚度逐渐减小，直径逐渐扩大，并形成所需要的截面形状。导向辊 4 起诱导工件成圈及增加辗扩稳定的作用。当工件与信号辊 5 接触时，表示已达到预定尺寸，信号辊发出精辗及停辗的信号，辗压轮完成辗压任务退回到原始位置。辗环用于生产等截面环形件，应用比较广泛，包括火车车轮箍、轴承内外套圈、齿轮圈、法兰、起重机旋转轮圈等。

辗环工艺生产环形件的尺寸范围为：直径 40~10000mm。质量从 0.2kg 到 6000kg 不等，甚至可生产更重的环形件。

(五) 摆辗

摆辗是摆动辗压的简称，是盘形件成型的新方法。其工作原理如图 1-9(a)

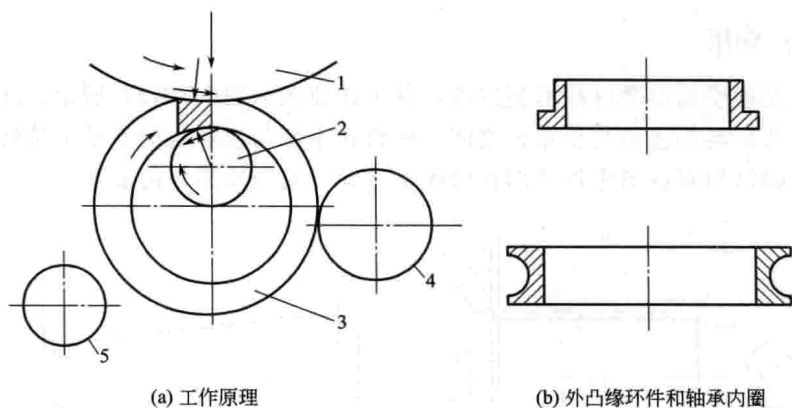


图 1-8 辗环工作原理及其典型产品示意图

1—辗压轮；2—芯辊；3—环形坯；4—导向辊；5—信号辊

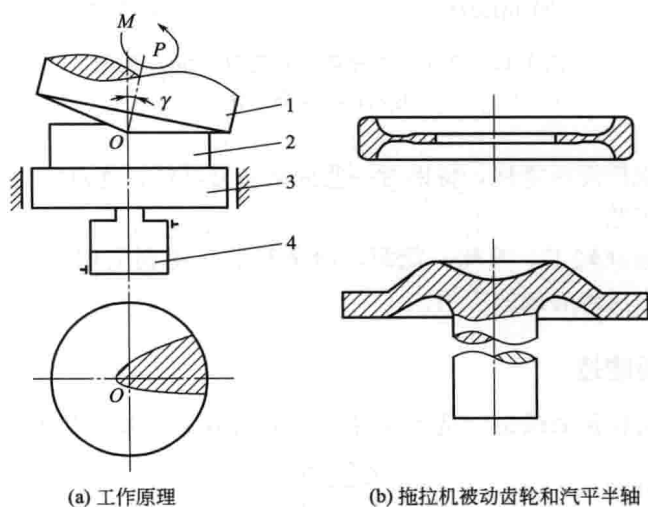


图 1-9 摆辗工作原理及其典型产品示意图

1—锥模；2—工件；3—滑块；4—油缸

所示，锥模 1 的轴线 OP 与摆辗机主轴线 OM 成一个夹角 γ ，称之为摆角。当主轴旋转时，带动锥模沿工件 2 做摆动运动，油缸 4 推动滑块 3 把毛坯送进并加压，锥模母线相对于工件轴线做螺旋运动。毛坯在锥形模具作用下高度减小直径增大，成形为盘形件。

摆辗主要用于盘类零件的生产，如汽车后桥被动锥齿轮、盘形弹簧及汽车半轴等。