

摆辗技术

张 猛 胡亚民 编著

机械工业出版社

摆 辗 技 术

张 猛 胡亚民 编著

机 械 工 业 出 版 社

本书是介绍摆辗设备与工艺的专著。书中系统地论述了摆辗的运动学、塑性变形特征、力能参数分析计算等基本原理,全面阐述工艺设计与计算、模具设计与应用,列举了大量的生产应用实例。并反映了国内外摆辗技术方面理论研究和推广应用的最新进展,以及作者多年来从事摆辗技术研究的科研成果与摆辗生产实践经验。

本书可供从事塑性加工工作的工程技术人员、科技人员及有关专业大专院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

摆辗技术/张猛,胡亚民编著. -北京:机械工业出版社,1998.6

ISBN 7-111-05940-9

I. 摆… II. ①张…②胡… III. 辗压-技术 IV. TG316.1
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 29279 号

出 版 人:马九荣 (北京市百万庄大街 22 号, 邮政编码 100037)

责任编辑:刘彩英·版式设计:冉晓华·责任校对:张晓蓉

封面设计:姚学峰 责任印制:王国光

煤炭工业出版社印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1998 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm^{1/32}·12.375 印张·269 千字

0 001—1500 册

定价:23.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

作者简介

张猛

河南鄆城人，1940年4月生，1965年毕业于哈尔滨工业大学锻压专业，武汉汽车工业大学教授，中国机械工业科技专家。大学毕业后从事工厂技术工作20年，所主持完成的“Y型轧机连轧工艺与设备研究”、“燃料元件螺旋轧制成形工艺与设备研究”等科研项目均已投入生产应用。1984年后到武汉汽车工业大学任教，任模具教研室主任。从事辗环、摆辗、楔横轧、螺旋轧制等方面塑性成形工艺及设备研究；获多项省部级奖励，先后在国内外杂志和国际学术讨论会上发表学术论文50多篇，译著《金属塑性变形》、专著《回转塑性成形工艺及模具》等学术专著。

胡亚民

江苏省泰州市人，1943年9月生，西安交通大学工学硕士，中国兵器工业第59研究所高级工程师，主持完成的科研课题“钢丝钳终成形辊锻”获1978年全国科学大会奖、“3Cr2W8V钢的最佳热处理工艺与热压模具的使用寿命”获1978年四川省科学大会奖、“JH70型摩托车起动齿轮起动棘轮深端面齿型摆辗成形研究”获1996年机械部科技进步壹等奖；先后在国内外杂志和国际学术讨论会上发表学术论文120多篇；与张猛教授合译《金属塑性变形》、合著《回转塑性成形工艺及模具》，主审《冲压件废次品的产生与防止200例》等学术专著。

前 言

摆辗技术是近年来才为人们所认识的压力加工新工艺。摆辗加工过程中模具与工件周期性的局部接触施以准静压力，工件变形递增积累成形，因而力小，无冲击，无振动，噪声低，劳动环境好，产品精度高，甚至可以实现完全（净形）加工，成为少无切削加工的主要方法之一，既节能，又节材，引起世界各国学者、机械加工厂矿企业的高度重视。许多先进工业国家纷纷组织人力、物力研究摆辗技术，并把它推广应用到锻压件的生产中。

我国于 70 年代初期开展摆辗技术的研究工作。多年来在摆辗基本原理研究上取得了令人瞩目的成就，但在摆辗设备方面尚停留在引进消化、仿制阶段，而在生产应用上与日、美、英等先进工业国家相比还有较大差距。为了促进摆辗技术的发展，使这种先进工艺在我国工业建设中发挥它应有的作用，作者根据自己对摆辗技术的潜心研究及其推广应用的实践经验，以及所能搜集到的国内外介绍摆辗技术发展应用现状的有关资料，编著了本书，尽可能详尽地把摆辗技术介绍给有志于推动机械制造业向少污染、节材、节能方向继续迈进的同仁们。

本书共分四章。第一章概论，介绍一般概念、国内外摆辗技术发展应用概况和摆辗设备，并对摆辗技术的发展应用趋势提出了见解；第二章摆辗的基本原理，阐述了摆辗的运动学、摆辗加工中的塑性变形特性、力能学及实验测试，并给出了力能计算方法及具体应用实例；第三章摆辗工艺及模

具,论述了工艺设计计算、工装模具设计;第四章摆辗成形锻件生产实例,作者多以自己的生产应用实践给出了热摆辗、冷摆辗、温摆辗成形锻件实例,也论及了摆辗铆接及摆辗件废次品分析。本书尽可能详细地列出有关参考文献,以便读者进一步研究时参考。编著者在力求兼顾到初学者能够顺利阅读的条件下,使之成为生产应用的工具。但由于摆辗技术尚处于发展完善阶段,涉及内容又十分广泛,再加之编著者学术水平、实践经验有限,难免疏漏或者谬误,请广大读者批评指正。

本书由武汉汽车工业大学张猛教授撰写第一章的第一、二、四节、第三节之五、第二章、第四章的第二节之十、之十一、第三节之一、之三、之四、第四节;中国兵器工业第59研究所胡亚民高级工程师撰写第一章的第三节之一、之二、之三、之四,第三章,第四章的第一节、第二节之一、之二、之三、之四、之五、之六、之七、之八、之九,第三节之二,第四节;全书由张猛教授统稿,并与胡亚民高级工程师共同定稿。

本书的撰写过程中得到武汉汽车工业大学朱春东讲师的大力协助,李佐新先生为本书描绘大量插图。为此,著者致以衷心的感谢。

编著者

目 录

前言

第一章 概论	1
第一节 摆辗的特点及其应用	1
一、引言	1
二、摆辗的特点	2
三、摆辗的应用	8
第二节 摆辗的分类	11
一、摆辗工艺的类型	11
二、摆辗机的类型	13
第三节 摆辗机简介	14
一、Ⅲ型摆辗机——四轨迹摆辗机	14
二、I型摆辗机——轴向轧机	19
三、中国制造的摆辗机——Ⅱ、Ⅲ型摆辗机	24
四、普通液压机改装的摆辗机	28
五、Ⅱ型摆辗机——摆辗铆接机	31
第四节 国内外摆辗技术的发展概况	37
一、国外摆辗技术的发展概况	37
二、国内摆辗技术的发展概况	41
三、摆辗工艺的发展趋势	43
第二章 摆辗的基本原理	48
第一节 摆辗的运动原理	48
一、摆辗的运动形式	48
二、摆辗的运动学分析	61
第二节 摆辗的宏观变形机制与工艺特性	64

一、摆辗的宏观变形机制	64
二、摆辗自由镦粗回转体工件的变形特性	71
三、摆辗(轴向轧制)挤压变形特性	79
四、摆辗冲孔的变形特性	81
五、摆辗复合加工变形特性	82
六、摆辗塑性变形的模拟试验研究	84
第三节 摆辗的力能参数计算	95
一、接触面积	95
二、摆辗力计算	101
三、摆头扭矩及电动机功率计算	118
四、摆辗力与接触压力分布的测定	127
第四节 摆辗工艺参数与摆辗工艺	135
一、摆头倾角 γ	136
二、每转压下量 s 与辗压时间 Δt	139
三、摆辗工艺	144
第三章 摆辗工艺及模具	149
第一节 冷摆辗成形用材料	149
一、冷成形材料形状	149
二、冷成形材料的材质	149
三、冷成形材料的状况	150
第二节 坯料准备	163
一、预制坯设计	163
二、预制坯的制取	166
第三节 热摆辗用坯料的加热	174
一、加热对金属的影响	174
二、金属的摆辗温度范围	176
三、金属的加热规范	178
四、改善炉内气氛和涂抹润滑保护层	180
五、提高炉温的措施	183

六、燃煤锻造加热炉的基本结构	188
七、室式燃煤锻造加热炉的种类	194
八、燃煤锻造加热炉的操作	195
九、燃气炉和燃油炉的结构和操作	196
十、电加热	199
第四节 摆辗成形件图设计	201
一、摆辗成形件图的设计原则	201
二、摆辗成形件图的具体设计	205
第五节 摆辗成形模具设计	213
一、摆辗成形模具的设计原则	213
二、摆辗成形模具的具体设计	215
三、摆辗镶块组合模	219
第六节 摆辗模具寿命	228
一、合理选择模具材料	230
二、模具的预热和冷却	266
三、摆辗成形过程中的润滑	268
第四章 摆辗成形锻件生产实例	273
第一节 热摆辗成形件	273
一、汽车、拖拉机、电瓶车后半轴	273
二、高速钢锯片铣刀和碗形直齿插齿刀坯	281
三、汽车、拖拉机后桥从动齿轮坯	284
四、碟形弹簧、离合器摩擦片等薄盘形毛坯	287
第二节 冷摆辗成形件	294
一、扬声器导磁体	295
二、炮弹药筒底板模拟件	298
三、摩托车起动齿轮	302
四、带枝丫的起动棘轮	309
五、VE 泵端面凸轮	312
六、直齿锥齿轮	318

七、从动弧齿锥齿轮	324
八、变速箱同步齿圈	328
九、摩托车单向器飞块	332
十、冷辗压成形烧结体金属阀座环	337
十一、冷摆辗致密化粉末冶金烧结体推力轴承环	343
第三节 温摆辗成形件	349
一、概论	349
二、磁电动机轮套	350
三、粉末冶金锥齿轮温摆辗成形	356
四、温辗离合器摩擦片锻坯	359
第四节 摆辗铆接	366
一、铆接的类型	366
二、摆辗铆接的铆钉头部长度的计算举例	368
第五节 摆辗件废次品分析	370
一、冷拔开裂	370
二、冷摆辗开裂	371
三、摆辗件充填不满	373
四、摆辗件厚薄差大或上下底面不平	375
参考文献	378

第一章 概 论

第一节 摆辗的特点及其应用

一、引言

摆辗也可以叫轴向轧制,是70年代才逐步大量用于生产的塑性加工技术。古老的塑性加工中的工模具与工件的运动都比较简单。例如锻造、冲压、挤压、拉拔等,工模具只作直线运动,工件与工模具的另一部分相对静止。轧制、辊锻等,模具(轧辊)旋转,工件作直线运动;旋压则是工件随胎模旋转,旋棒作曲线运动,或者是旋轮在自转的同时作曲线运动。随着工业的发展而出现的新技术、新工艺,其工模具及工件的运动也就变得复杂起来。例如辊式楔横轧,轧辊绕自轴旋转,工件绕自轴反向旋转,而板式楔横轧时模板作直线运动,工件自轴旋转的同时又沿轴线垂直方向移动。旋转锻造是锤头沿工件径向直线运动的同时又绕工件轴线旋转运动,而工件还同时沿轴向移动。斜轧则是轧辊绕自轴旋转,工件绕自轴旋转的同时又沿轴向前进,即作螺旋运动。

根据工模具的运动方式的不同,可以把传统的塑性加工方法分为两类:一是工模具作平移运动,即工模具作直线运动。这种方法能够成形各种形状的工件,在加工轴对称类工件时可以轴向施力成形。但所需工艺力大,设备大,成本较高。第二类是工模具作旋转运动的。这类方法只能加工长轴类和轴对称类工件,在加工过程中只能横(径)向加压,该

方向变形为主动变形。与第一类相比,则因为是局部加压连续变形,所需工艺力小,设备小,生产率高,而且节能、节材,生产成本较低。摆动辗压的工模具作旋转运动,使局部加压连续变形,类似于第二类加工方法,具有节能、节材、生产成本低的优点,又能加工成形第一类加工方法所能成形的短轴类轴对称件。因而摆动辗压兼有两类加工方法的优点。但它的加工范围有一定的局限性。

二、摆辗的特点

摆辗模具及工件的运动方式不同于传统的塑性加工方法,而且有几种类型。摆辗的模具有两部分,主动加压部分为锥体模,其加工过程中与工件局部接触,在工件上滚动或滚动+滑动。锥体模轴线与机床中心轴线斜交,交点为锥顶,交角为 γ 。该角又称摆头倾角。另一部分模具与机床同轴,工件装在这部分模具上,加工过程中它与工件之间无相对运动(金属流动之运动除外)。目前,世界上所制造的摆动辗压机,其锥体模的运动形式有:自转、公转、章动、摆动、公转+自转和章动+自转。装卡工件的模具固定在工作台上,其运动形式有:(1)轴向平移;(2)自轴旋转;(3)自轴旋转+轴向平移。锥体模的运动形式更多一些。即(1)自轴旋转,如图 1-1a 所示也叫自转;(2)模具轴线上的一点绕机床轴线作圆周运动,如图 1-1b 所示,简称公转;(3)模具轴线上的一点作往复弧线运动,弧线与机床轴线相交,交点为弧线中点,弧线在机床工作台面上的投影为直线,如图 1-1c 所示,此运动简称摆动;(4)模具轴线上的一点以机床轴线上的一点为原点作复杂运动,其运动轨迹在机床工作台面上的投影可是多叶玫瑰线、螺旋线等等,如图 1-1d 所示,此运动简称为章动。

目前所制造的摆辗机，其模具与工件的不同形式运动组合成如下几种：

1) 锥体模绕自轴旋转（自转），且沿机床轴线（即固定工件模具的轴线）方向平移，工件以机床轴线为轴心转动（自转）；

2) 锥体模绕自轴旋转（自转），工件与锥体模定速比自转，并沿机床轴线方向平移；

3) 锥体模轴线以机床轴线为中心章动+平移，工件固定；

4) 锥体模章动，工件平移；

5) 锥体模轴线绕机床轴线旋转，即公转，工件平移；

6) 锥体模章动+自转，工件平移；

7) 锥体模公转+自转，工件平移；

8) 锥体模章动，摆动或公转，工件平移；

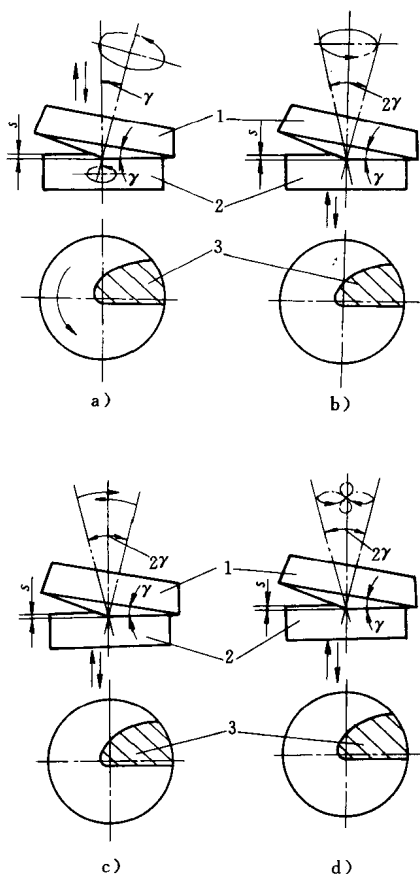


图 1-1 摆辗的锥体模运动形式示意图

a) 自转 b) 公转 c) 摆动 d) 章动

1—锥体模 2—工件

3—锥体模与工件的接触面积

9) 锥体模章动+自转或锥体模公转+自转或摆动+自转, 工件平移。

在上述 9 种运动形式的摆辗机中, 1)、2) 两种运动形式的往往叫轴向轧机, 也是锥齿轮辗压成形机, 或叫锥齿轮轧机。3) 种运动形式的为摆辗铆接机。轴向轧机与锥体模有自转运动的摆辗机 (上述 6)、7)、9)), 辗压过程中锥体模在工件上滚动, 摩擦系数小, 摩擦功率消耗就少; 同时接触面上单位面积压力也有所降低, 总的压力较小, 也降低了塑性变形消耗的功率, 因而是省力、节能的设备。而轴向轧机 (即 1)、2) 两种运动形式的摆辗机) 辗压时, 因为工件转动、锥体模与工件的接触面与机床床身相对位置不变, 即工艺力的位置基本固定, 因而对设备刚度、加工精度、运动副的影响较小。所以这种摆辗机结构简单, 可以采用普通轧机所能采用的轴承。德国人已系列生产这类设备, 主要用于热辗压成形环件, 称之为轴向模轧制 (*Axial Die—Rolling*)。美国人所制造的这种机器用于大型锻件的热锻成形, 如钢锭开坯锻造等, 并已实现自动化生产。其缺点是锥体模有自转, 此模具一面只能切向整圆成形, 而工件这一面上不能有任意断口。若成形锥齿轮, 则模具与工件的速比 (齿数之比) 需等于 $\cos\gamma$ 。第四、五、七种运动形式的摆辗机, 锥体模是公转+自转或者章动+自转, 而工件为平移而不旋转, 因锥体模自转而使得它与工件之间为滚动摩擦, 功率消耗少。又因工件不转动而接触面随锥体模的位置变化, 即工艺力位置变化, 既需要球面运动副, 设备结构复杂, 又使得锥体模一面只能切向整圆成形。其缺点较多。第二、三、六种运动形式的摆辗机, 是在第四、五、七种运动形式的摆辗机上增设防转装置, 防止锥体模自轴转动演变而来, 因而锥体模与工件之间滚动+滑

动，摩擦系数增大，其功率消耗相当于有自转者的 1.5~1.8 倍。设备结构复杂。但能够实现锥体模面的复杂形状的成形，是目前用于冷、温变形的摆辗机。这种辗压机英国人叫转动锻造机 (Rotary Forging Machine)，美国人又叫轨道锻造机 (Orbital Forging Machine)；瑞士人叫轨道冷成形压力机 (Orbital Cold Forming Presses)；俄国人叫球面运动压力机 (Сферодвижный прессователь)；日本人叫回转锻造机 (回轉鍛造機)。波兰人叫摆动模轧机 (Rocking Die Mill)，中国用此译名摆辗机。

锥体模的运动形式多样，并且比传统的塑性加工的运动复杂，设备的结构也复杂。而第一类因为工件旋转，没有球面运动，则不存在运动副在冷热变化时的运转不灵，以及工艺力位置固定，设备承受固定载荷，运动精度高，设备相对刚度大，使用寿命长。又因锥体模在工件上滚动，摩擦系数小，摆头扭矩小，节能。在热塑性成形轴向加工方面已得到生产应用。第六类实际是二、三类的综合，利用双层偏心筒传动实现摆头公转或摆动。摆动（章动）的形式可变。增加防转机构取消了摆头自转，因而锥体模面可以加工成形多种形状。设备结构复杂，又需球面运动，造价较高。防转装置强制摆头在工件上滑动，摩擦系数大，摆头扭矩大，耗能较大，目前用于冷塑性成形轴向加工，可加工工件最大直径 190mm，设备最大压力为 6300kN。

上述分析表明，与传统的塑性加工方法相比，塑性成形轴向加工的运动形式多样，并且也比较复杂，这是它发展较晚，生产应用有一定难度的原因。同时也成为摆辗工艺的一大特点。

摆辗时，装在摆头上的锥体形状模具与工件局部接触

(图 1-2)，仅为工件变形面积的 $1/n$ ，接触面积轴向压缩而切向和径向伸长，由于模具摆动而该接触面不断地移动，复盖工件整个变形面积时即完成一个进给 (s/r) 周期，多个进给周期叠加完成工件所需要的整体变形。实际上相当于锥体沿母线在工件上滚动+滑动，接触面偏向一旁，即机床承受周期变化偏心载荷。正因为摆辗过程如此，还具有以下优点：

1. 省力

塑性加工的变形抗力为平均单位面积压力与接触面

积的乘积。摆辗是连续局部变形，接触面积是常规锻造接触面积的 $1/n$ ($n=5\sim 20$)；第二个原因是模具与工件之间相对运动有滚动，摩擦系数小，降低了塑性流动阻力；再者，接触面积小，则塑性区相对厚度大，应力状态系数小，变形抗力小。综合上述因素，轧制变形抗力仅为常规锻造变形抗力的 $1/5\sim 1/20$ 。

由于力小，则同样锻造加工能力所需要的设备小，自重小，占地面积小，基建费用低。

2. 成形的尺寸形状精度高，可以实现少无切削加工

由于轧制力小，并且平均单位压力低，所以摆辗可以用于冷锻，例如汽车差速器行星锥齿轮，各种锥齿轮，齿形冷

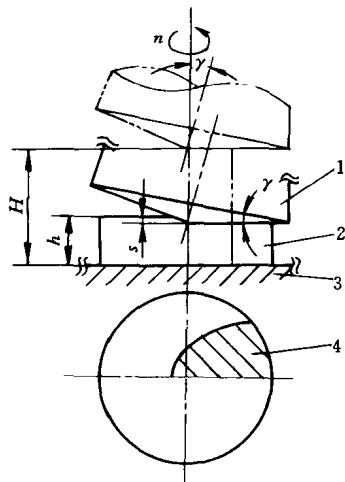


图 1-2 摆辗

1—摆头（上模） 2—工件
3—下模 4—工件俯视图

辗成形后不需切削加工而达到 7 级精度；汽车同步器齿环冷辗成形等，表面粗糙度可达 $R_a 0.4 \sim 0.8 \mu\text{m}$ ，齿形不再切削加工。

3. 可成形薄件

平行垫板间的镦粗时的单位压力计算公式⁽¹⁾为：

$$p \div \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_s \left(1 + \frac{\mu B}{2H} \right) \quad (1-1)$$

式中 p ——单位面积成形（流动）压力；

σ_s ——有效流动应力；

μ ——摩擦系数；

B ——工件坯料变形区宽度；

H ——坯料变形区高度。

上式表明，锻造镦粗时的单位压力随摩擦系数的增加而增加，随塑性变形区的相对薄度 B/H 的增加而增加。锻造镦粗的塑性变形区的大小就是工具与工件的接触面积。由于常规锻造是全面积接触，因而塑性变形区的相对薄度就是工件的相对薄度。即工件越薄，需要的单位压力越大。工件很薄，可能使单位压力等于甚至大于模具材料的强度极限，就无法实现塑性加工。而轧制是局部接触，接触面积仅为工件锻造接触面积的 $1/n$ ($n=5 \sim 20$)，即塑性变形区的相对薄度 B/H 较小，单位压力不大。当工件很薄时，还可以通过减小摆辗的每转进给量而缩小接触面积。因此，工件越薄，则常规锻造力与轧制压力的差别越大（图 1-3⁽²⁾）。这说明辗压比常规锻造省力，而且工件越薄越省力。摆动辗压可以成形超薄件，从而扩大了锻造成形的加工范围。特别是厚薄变化有特殊要求的工件，例如锣、钹等，摆辗成形件音质优良。

4. 摆辗模具寿命高