

涂光祺 编著

精冲技术



强力压边



平面压边



对向凹模



往复成形



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



精 冲 技 术

强力压边 平面压边
对向凹模 往复成形

涂光祺 编著



机 械 工 业 出 版 社

本书全面系统地介绍了强力压边精冲、平面压边精冲、对向凹模精冲和往复成形精冲等技术。其内容包括：板材精冲的规律，精冲变形机理及应力分析，精冲工艺的技术经济效果，精冲零件的结构工艺性，精冲复合工艺，精冲工艺的力能参数，精冲零件的设计和工艺过程设计，精冲零件质量分析，精冲材料，精冲工艺与润滑，精冲模具设计，精冲模具材料的锻造和热处理，精冲模具的制造，精冲压力机结构，精冲压力机自动化及其他精冲方法等；并附有大量生产实例。

本书可供从事冲压行业的工程技术人员使用，也可供大专院校师生及相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

精冲技术 强力压边 平面压边 对向凹模 往复成形/
涂光祺编著. —北京：机械工业出版社，2005.10

ISBN 7-111-17589-1

I. 精... II. 涂... III. 精密冲裁—基本知识
IV. TG386.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 119847 号

机械工业出版社(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：姚毅

责任印制：陶湛

北京铭成印刷有限公司印刷

2006 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

850mm×1168mm $\frac{1}{32}$ ×13.125 印张·1 插页·350 千字

0001—4000 册

定价：28.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

序 言

机械工业出版社的编辑约我撰写本书，这和以前多次的写作不同。对于一个年逾古稀的人而言，我十分珍惜这一机会；我要结合写作，将自己毕生从事的精冲技术工作进行一次全面的总结，将全部技术资料(含研究报告、产品图样、计算书、实验数据、考察报告、专利文献以及论文等)，凡是有实用价值或参考价值的均无保留地反映在本书内，作为对社会的回报。

根据现有的资料，本书将包括强力压边精冲、平面压边精冲、对向凹模精冲和往复成形精冲等多种精冲技术。强力压边精冲以 20 世纪 80 年代写成的《精冲技术》为基础，进行了大量的删改和补充。在国外，平面压边精冲已用于大批量生产，而国内却不知道者甚少。书中介绍了国外学者的相关研究成果和资料。用较大的篇幅阐明了对向凹模精冲的机理和工艺过程材料的流动规律，系统地提供了高碳钢卡尺零件对向凹模精冲大批量生产的宝贵技术资料。另外还介绍了新世纪作者提出的往复成形精冲。

导轨结构是精冲压力机的核心技术，书中除了对台阶式内阻尼静压导轨结构设计进行了重要的补充以外，还介绍了一种承载能力更高的新型内阻尼静压导轨结构。

本书的大部分是在旅加期间完成的，加拿大地大、物博、人少，长期住在这个工业发达、民族和谐、环境优美的国度里，却促使我更加思念和热爱长期饱经列强凌辱，而今开始走向繁荣、富强大道的祖国，对比之下祖国现在取得的成就是多么不易啊！我决定提前回国完成书稿，利用本书作为和读者沟通的桥梁，在精冲领域随时为读者提供技术咨询服务，希望在有生之年能够促进精冲行业在分散网络化制造，即虚拟企业中占据重要的位置，使精冲企业尽快走向世界。

IV

我要藉此机会感谢我的高中母校湖北武昌实验中学，她筹建于1942年国家危亡的时刻，继承了民族的优良传统，以复兴中华为己任而形成的严谨校风哺育了一代代荆楚学子。“三年哺育，终生受益”，使我毕生在科研岗位上始终能够联系实际，刻苦钻研，不断创新。

最后我还要感谢雷天觉院士和姜奎华教授分别在静压导轨开发和精冲机理研究方面给予的热情支持和帮助。

鉴于作者水平所限，书中谬误难免，敬希读者批评指正。

作 者

2005 年于北京

作者科研工作简介

毕生从事金属精密成形新工艺新设备的研究和开发，20 世纪 70 年代以前完成：

仪表零件振动修边工艺研究课题，论文《振动修边过程分析及变形力学的探讨》收入第一届锻压学会论文集，首次提出极限修边余量的概念及计算方法；

汽车大梁滚压工艺与设备的研究，在汽车局召开的武汉现场会上的技术报告被《锻压机械》转载，报告给出的计算方法和图表后来被有关手册采用；

J87-315 冷挤压机开发，填补了当时空白，鉴定后作为定型产品，长期生产满足市场需求。

20 世纪 70 年代初开始至今 30 余年一直从事精冲技术的研究。

基础方面：早期完成精冲工艺变形机理及工艺参数的研究，首次给出了精冲过程的变形机理和数学力学模型，用它计算最佳的压边圈齿形内角为 45° ，而国外公司却通过大量的试验才获得此结果。该理论被选入 1999 年出版的高校教材《精密塑性成形工艺》。对国外的精冲技术规范进行了补充，包括半冲孔相对深度 c ，软钢极限半冲孔相对深度图表、软钢压扁硬化图表和精冲件尺寸散布图表。

工艺方面：先后完成照相机零件、仪表零件、起重工具零件、汽车零件、卡尺零件、齿形零件和飞机摩擦片零件的精冲，其中汽车零件精冲技术分别转让给二汽、一汽和济汽生产汽车门锁、玻璃升降器和座椅调节器。对向凹模精冲卡尺尺框，材料 T10，厚度 7.4mm；专家鉴定认为在精冲技术上有突破（国外规范 T10 最大精冲厚度 3mm）。

设备方面：20 世纪 70 年代初发明的液压模架，可在通用压力机上完成精冲，投资省、见效快，成为我国开展精冲的主要方

法。发明的采用内阻尼静压导轨系统的精冲压力机，鉴定认为其导轨的导向精度和抗偏载能力优于同期进口的设备。样机在满负荷条件下使用近 20 年，至今仍保持良好的性能。新世纪和徐州特种锻压机合作完成了四动精冲压力机的开发，为开展往复成形精冲提供了技术储备。

争取并得到 UNDP 精冲项目的援助，金额 96 万美金，创建了联合国援建精冲技术开发服务中心。

为香港理工大学在港澳地区组建精冲中心提供技术支撑。

专著：《精冲技术》

主编：《冲模技术》

副主编：《锻压手册 冲压卷》

参予编写：《锻压手册 设备卷》，《中国模具设计大典》和《中国材料工程大典》的有关篇章。

培养硕士研究生若干人。

获国家发明奖 1 项，部级科技进步奖若干项。是精冲技术领域的首席专家、学术带头人，享受政府津贴，被 Feintool 誉为中国的精冲之父。

目 录

序言

概述	1
----------	---

第一章 板材精冲的基本规律	16
---------------------	----

第一节 金属的塑性变形	16
-------------------	----

第二节 加工硬化	17
----------------	----

第三节 影响精冲过程塑性变形的基本因素	18
---------------------------	----

第四节 应力状态	21
----------------	----

第五节 塑性条件	23
----------------	----

第六节 体积不变条件	24
------------------	----

第二章 精冲变形机理及应力分析	26
-----------------------	----

第一节 精冲工艺过程特征	26
--------------------	----

第二节 精冲变形模式	30
------------------	----

第三节 精冲变形区的应力分析	32
----------------------	----

第三章 精冲工艺的技术经济效果	37
-----------------------	----

第一节 尺寸公差	37
----------------	----

第二节 剪切面质量	38
-----------------	----

第三节 剪切面垂直度	40
------------------	----

第四节 平面度	41
---------------	----

第五节 塌角和毛刺	42
-----------------	----

第六节 经济效果	44
----------------	----

第四章 精冲零件的结构工艺性	49
----------------------	----

第一节	圆角半径	50
第二节	槽宽和悬臂	51
第三节	环宽	52
第四节	孔径和孔边距	53
第五节	齿轮模数	54
第六节	半冲孔相对深度	54
第五章	精冲复合工艺	56
第一节	带凸台精冲件的分类	56
第二节	半冲孔	57
第三节	精冲挤压	64
第四节	体积成形	66
第五节	压印	67
第六节	压扁	68
第七节	弯曲	70
第八节	压沉孔	74
第九节	翻边	77
第十节	浅拉深	78
第十一节	精冲复合工艺典型实例	80
第十二节	精冲压力机的匹配	84
第十三节	精锻-精冲复合工艺	89
第六章	精冲工艺的力能参数	91
第一节	精冲工艺力的计算	91
第二节	精冲工艺功的计算	95
第三节	精冲工艺力能参数的测试	96
第七章	精冲零件设计和工艺过程设计	97
第一节	精冲零件设计	97
第二节	精冲工艺过程设计	102

第八章 精冲零件质量分析	104
第一节 尺寸公差分析	104
第二节 剪切面质量分析	107
第三节 剪切面垂直度分析	114
第四节 平面度分析	115
第五节 塌角与毛刺分析	116
第六节 精冲件缺陷产生原因及消除方法	118
第九章 精冲材料	121
第一节 精冲对材料的基本要求	121
第二节 适于精冲的材料	126
第三节 常用精冲材料的球化退火工艺	128
第十章 精冲工艺润滑	135
第一节 精冲工艺过程的摩擦	135
第二节 精冲过程模具的磨损	136
第三节 精冲工艺过程的润滑	137
第四节 精冲工艺润滑剂	140
第十一章 精冲模具设计	147
第一节 精冲模具结构	147
第二节 压力中心的计算	154
第三节 排样与搭边	157
第四节 V形环尺寸	158
第五节 凸、凹模间隙	160
第六节 凸模和凹模尺寸	162
第七节 模芯结构	164
第八节 结构实例	187
第九节 精冲模架系列	205

第十二章 精冲模具材料锻造和热处理	263
第一节 精冲模具材料	263
第二节 碳素工具钢的锻造和热处理	265
第三节 低合金工具钢的锻造和热处理	269
第四节 高铬工具钢的锻造和热处理	278
第五节 高速钢的锻造和热处理	293
第十三章 精冲模具制造	305
第一节 模芯零件加工	305
第二节 模架镗孔	317
第三节 精冲模具粘接工艺	319
第十四章 对向凹模精冲 平面压边精冲	
往复成形精冲	322
第一节 对向凹模精冲	322
第二节 平面压边精冲	337
第三节 往复成形精冲	339
第十五章 精冲压力机结构	345
第一节 概述	345
第二节 机械式精冲压力机	350
第三节 液压式精冲压力机	355
第四节 精冲压力机台阶式内阻尼静压导轨结构	363
第五节 经济型精冲设备	372
第十六章 精冲压力机自动化	377
第一节 概述	377
第二节 模具保护装置	378
第三节 自动上下料装置	382

第四节 原材料自动上料装置	387
第五节 精冲压力机型号及主要技术参数	388
附录 国家专利《一种静压轴承》	400
参考文献	408

概 述

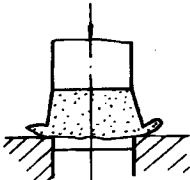
冲裁是冲压工艺的分离工序，它和其他冲压工序一样具有生产率高，材料利用率高，能量消耗少，生产成本低，产品重量轻，强度和刚度好，容易实现自动化生产等优点，因而被各生产部门广泛采用。但是普通冲裁剪切面具有 $2/3$ 的撕裂带，质量差、精度低不能满足一部分冲裁件(其剪切面需要作为工作表面)的技术要求，在这种情况下，普通冲裁只能作为备坯工序，工件还需要进行多道的后续机械加工。例如：片齿轮生产，需先进行冲裁制坯，然后钻、铰中心孔，再将多片齿轮坯用芯棒穿在一起进行滚齿，用这种方法生产的零件一般精度差、效率低。长期以来人们在生产实践中力图寻求既能保留冲裁工艺的上述优点，又能获得剪切面质量和尺寸精度均高的冲裁方法。

经过长期的摸索、反复试验和生产考验，到目前为止，已先后出现了许多冲压方法可满足提高冲裁件剪切面质量和尺寸精度的要求。

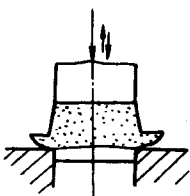
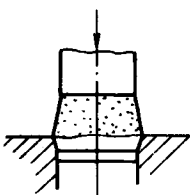
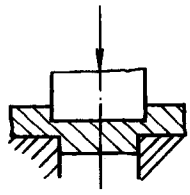
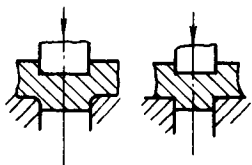
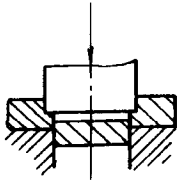
1. 提高冲裁件剪切面质量的冲压工艺

提高冲裁件剪切面质量的冲压工艺分为三类，即精整、半精冲和精冲，示于表 0-1。

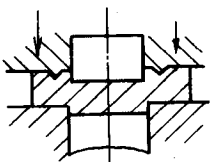
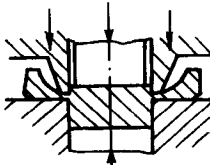
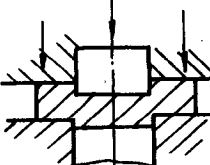
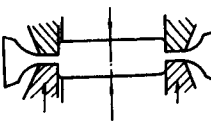
表 0-1 提高冲裁件剪切面质量的冲压工艺

类别	工艺名称	简 图	方法要领	主要优缺点
精 整	修边		切除不光洁表面，按料厚和形状定修边余量和次数，小间隙 $0.006 \sim 0.01\text{mm}$ 或负间隙	精度高，粗糙度小，塌角和毛刺小，定位要求高，不易除屑，效率低于精冲

(续)

类别	工艺名称	简 图	方法要领	主要优缺点
精 整	振动修边		修边过程中加入振动因素	质量高于修边，除修边缺点外，尚有振动的危害
	挤光		锥形凹模，挤光余量单边 $0.04 \sim 0.06\text{mm}$	质量低于修边和精冲，只适于软料，效率低于精冲
半 精 冲	负间隙冲裁		凸模大于凹模 $(0.05 \sim 0.2)t$ ，凹模圆角 $(0.05 \sim 0.1)t$	粗糙度值较小，只适于软料，塌角毛刺较大
	小间隙圆角刃口冲裁		间隙小于 0.02mm ，落料：凹模刃口圆角 $0.1t$ ，冲孔：凸模刃口圆角 $0.1t$	粗糙度较小，塌角毛刺较大
	同步剪挤冲裁		台阶凸模直径差 $(0.15 \sim 0.35)t$ ，高 $(0.1 \sim 0.4)t$	对材料适应性强，粗糙度值小，异形模具制造困难

(续)

类别	工艺名称	简 图	方法要领	主要优缺点
精 冲	强力压边精冲		小 间 隙 $0.01t$, 在压边圈和反压板夹持下冲裁	精度高和粗糙度值小, 塌角和毛刺较小, 效率高, 模具和机床复杂
	对向凹模精冲		凸起凹模压入 $(0.7 \sim 0.8)t$ 再进行冲裁	精度高和粗糙度值小, 塌角和毛刺小, 可冲厚料和塑性差的材料, 模具和机床复杂
	平面压边精冲		见本书第十四章第二节	
	往复成形精冲		见本书第十四章第三节	

2. 历史和现状

20 世纪 50 年代, 强力压边精冲和修边、振动修边、负间隙冲裁、小间隙圆角刃口冲裁等工艺基本处于平行发展的阶段; 确切的说当时在修边工艺基础上发展起来的振动修边工艺是先于强

力压边精冲工艺而受到国内外的重视。我国仪表行业从瑞士 ESSA 公司先后进口了 40kN (4t) 凸轮式和 160kN (16t) 内、外滑块式振动修边压力机,开展振动修边工艺。上海第七机床厂还仿制小批量生产了 40kN (4t) 振动修边压力机以满足国内开展振动修边工艺的需要。20 世纪 60 年代初机械科学研究院先后对振动修边工艺和强力压边精冲工艺开展了研究,作者也是先从事振动修边工艺后从事强力压边精冲工艺的。进入 20 世纪 60 年代,强力压边精冲由于技术经济效果显著优于其他工艺而迅速崛起,取代了振动修边工艺,在提高冲裁件剪切面质量的冲压技术领域成为一枝独秀的局面。

强力压边精冲 1923 年发明,在国外 20 世纪 50 年代进入实用阶段;60 年代大发展,生产精冲压力机的厂家骤增到 10 多家;70 年代中期进入大型精冲件的普及期,汽车制造业中大量采用精冲技术,一辆轿车的精冲件有的高达 80 多种,成为汽车制造业降低成本增加产量的重要技术措施之一;强力压边精冲在生产中已经历了半个多世纪,在国外已发展成为成熟的工艺。

开展强力压边精冲,在我国一开始就是引进和自主开发同步进行的。20 世纪 60 年代初起步,70 年代开始在生产中应用。前期主要用于仪器仪表、照相机、办公机械、起重机械、电器开关等行业,80 年代开始进入汽车、摩托车等行业。精冲件生产单位前后有 30 多家,分布在北京、天津、长春、武汉、十堰、西安、重庆、襄樊、广州、苏州、上海、常州、常熟、蚌埠、宁波、杭州、济南等地。上述生产精冲件的单位,其精冲技术装备分为两类,一类从国外引进,以苏州东风精冲公司和广州精冲零件公司为代表,采用的精冲压力机和精冲模具主要加工设备均从国外进口;一类为自主开发,以北京机电研究所、重庆五九所和杭州武林厂为代表,采用国产精冲设备。上述两种类型的精冲生产单位,经过较长时间的生产锤炼和成长,进入新世纪以来,均能长期稳定的组织精冲件大批量生产,在质量上达到了外资企业的技术要求,产品进入国际市场。这充分表明,我国在精冲技术

领域，基本上消化吸收了引进的国外技术，逐步完善了自主开发的技术，精冲技术开始向日益成熟，更适合国情的方向发展。

精冲工艺方面，目前我国已累计生产近千种精冲件，其中有一定难度的汽车座椅调角器总成，汽车、坦克、飞机制动摩擦片，汽车变速箱拨叉，厚度 $0.4 \sim 6\text{mm}$ 的各种齿轮，摩托车主，从动链轮，空压机阀板等均能大批量生产。材料的强度越高、厚度越厚、尺寸越大；零件的内、外形廓尺寸越小；零件形状越复杂、需要采用的精冲复合工艺越多；零件空间尺寸精度要求越高；则精冲工艺的难度越大。

目前我国最大的精冲件为图 154 飞机起落架用摩擦片，如图 0-1 所示。外径 $\phi 375\text{mm}$ ，厚度 8mm ，材料 30CrSiMoV ， $\sigma_b 700 \sim 800\text{N/mm}^2$ 。表征精冲模刃口部分的受力强度系数 $\alpha = \sigma_b t / 1000 = 5.6 \sim 6.4$ ，属于难精冲零件。国内现有精冲件大部分 α 值均在 3

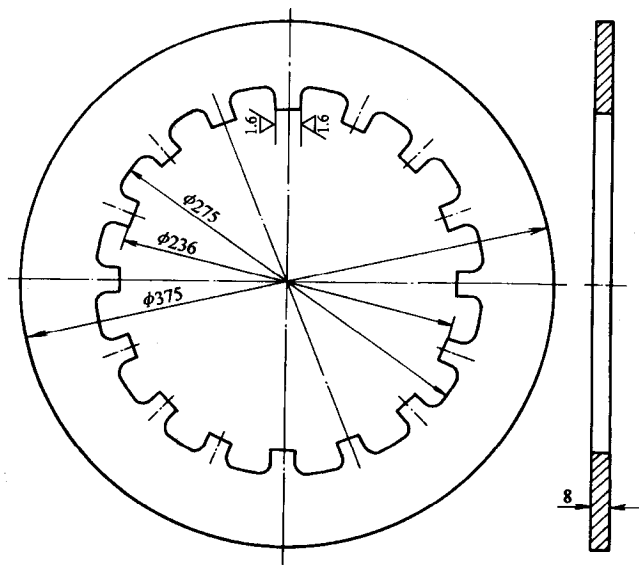


图 0-1 图 154 飞机起落架用摩擦片