

精冲技术与装备



华 林 胡亚民 编著
宋燕利 刘艳雄

Fine Blanking Technology and Equipment



武汉理工大学出版社

【内容简介】

Fine Blanking Technology and Equipment 精冲技术与装备

华 林 胡亚民 宋燕利 刘艳雄 编著

编著：刘艳雄、宋燕利、胡亚民、华林

责任编辑：宋燕利

封面设计：刘艳雄

插图设计：刘艳雄

出版：武汉理工大学出版社

印刷：武汉理工大学出版社

定价：30.00元

ISBN 7-5680-1000-0

（CIP）

（CIP）

（CIP）

（CIP）

（CIP）

（CIP）

（CIP）

（CIP）

（CIP）

（CIP）

（CIP）

（CIP）

（CIP）

（CIP）

（CIP）

武汉理工大学出版社

【内容简介】

本书系统地阐述了精冲零件、材料、模具和润滑,普通冲压设备精冲和精冲机精冲的工艺模具设计方法及操作要点,并介绍和分析了多种零件精冲和复合精冲生产实例;通过数值模拟和工艺实验阐述了精冲与复合精冲的变形规律,以及有限元模型及其模拟方法和模拟结果;介绍了精冲机结构功能的设计方法、国内外精冲机及精冲自动生产线,分析了精冲技术的发展方向。

本书紧密联系生产实际,反映了精冲行业的发展状况,介绍的丰富精冲实例具有较高的实用价值。

本书特别适合从事精冲理论研究与技术开发的人员阅读,也可供大专院校相关专业的教师和学生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

精冲技术与装备/华林,胡亚民,宋燕利,刘艳雄编著. —武汉:武汉理工大学出版社,2015.1
ISBN 978-7-5629-4476-8

I. ① 精… II. ① 华… ② 胡… ③ 宋… ④ 刘… III. ① 精冲冲裁 IV. ① TG386.2

中国版本图书馆 CIP 数据(2014)第 257996 号

项目负责人:王兆国

责任编辑:万三宝

责任校对:梁雪姣

装帧设计:许伶俐

出版发行:武汉理工大学出版社

地址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮编:430070

网址:<http://www.techbook.com.cn>

经 销 者:各地新华书店

印 刷 者:湖北恒泰印务有限公司

开 本:880mm×1230mm 1/16

印 张:27.25

字 数:824 千字

版 次:2015 年 1 月第 1 版

印 次:2015 年 1 月第 1 次印刷

定 价:98.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

· 版权所有,盗版必究 ·

序

精冲成形技术已经成为机械、汽车、电气、国防等许多工业领域中关键精密零件生产制造的主要工艺方法,是国际塑性成形技术的重要发展方向。华林教授所在的团队长期从事塑性成形技术与装备的教学与科研工作,在精冲技术领域进行了深入研究,先后承担了国家自然科学基金项目、国家科技重大专项、教育部创新团队发展计划项目等精冲理论与技术研究课题,与多家企业合作开发了机械汽车零部件的精冲技术、复合精冲技术以及系列精冲装备,在生产应用中取得了显著的技术经济效益和社会效益,并且培养了十多名从事精冲技术研究的硕士生、博士生和一批企业精冲技术人员,有力地促进了我国精冲技术的应用与发展。

华林教授等人编写的这部《精冲技术与装备》,是他们对国内外精冲技术与装备的综合归纳和系统总结,比较全面地反映了我国精冲技术的应用和发展水平。该书理论与实践紧密结合,既有他们自己的科学理论、技术创新和实践经验,又有国内外广大科技工作者的智慧结晶和丰富的精冲实例。该书共分10章,除第1章“精冲技术概述”、第3章“精冲零件、材料、模具与润滑”为经典内容外;第2章从一个崭新的角度阐述了精冲和复合精冲包括旋转-精冲的变形规律,介绍了精冲的有限元模型、模拟参数和模拟结果;第4章阐述了普通冲压设备进行精冲的工艺模具设计方法和操作要点;第5章阐述了精冲机精冲设计方法,并通过多种零件精冲实例进行了说明;第6章通过多种板类零件复合精冲成形实例,阐述了精冲与板料成形复合技术;第7章通过多种包含体积变形的复合精冲成形实例,阐述了精冲与体积成形复合技术;第8章阐述了阶梯冲头精冲、双层凹模精冲、对向凹模精冲、复位精冲、旋转精冲等特种精冲技术;第9章和第10章分别介绍了国内外精冲机及精冲自动生产线,分析了精冲技术的发展方向。全书文字简练、插图清晰、数据翔实,具有较高的实用价值。

总体而言,本书比较全面地阐述了精冲与复合精冲的理论、工艺、模具、设备及其生产应用,窃以为学习掌握《精冲技术与装备》的有关内容,可以用于指导精冲领域的科研和生产实践。因此,我相信从事精冲理论研究与技术开发的人员,大专院校相关专业的教师和学生,以及对精冲技术感兴趣者,甚至已经有了一定成就的专家学者,读了这本书也会有所裨益和启发。

是为序。

姜奎华

2013年秋

前 言

精冲是通过控制冲压变形区的应力和塑性状态进而实现产品精密成形的先进制造技术,它具有高精度、高效率、低成本等显著的技术经济优点,在机械、汽车、电子、信息、国防等许多工业领域中有着广阔的应用前景,成为冲压技术的重要发展方向。

本书是在综合作者多年的精冲理论与应用技术研究成果和国内外精冲生产技术实践的基础上写成的,系统地阐述了精冲零件、材料、模具及润滑,精冲与复合精冲变形规律及数值模拟方法,普通设备精冲与精冲机精冲工艺模具的设计方法及操作要点,特种精冲技术与应用,精冲机结构功能设计方法,国内外精冲机及精冲自动生产线,分析了多种零件精冲生产实例。本书紧密联系精冲生产实际,反映了我国精冲行业的技术装备发展状况。

本书由武汉理工大学华林教授、重庆理工大学胡亚民教授等人合作编写而成。华林起草了编写大纲,并编写了第1章、第2章、第9章;宋燕利副教授与刘艳雄博士合作编写了第3章;胡亚民与华林合作编写了第4~8章及第10章;武汉理工大学庄武豪博士绘制了书中的部分插图。全书由华林教授通稿。

本书所涉及的关于精冲的研究工作得到了国家自然科学基金项目、国家科技重大专项、教育部创新团队发展计划项目、湖北省重大科技创新计划项目、中央高校自主创新基金项目等的资助。

精冲技术的发展很快,我们对于精冲理论与实际问题的认识也需要不断地深化,殷切期望读者对本书批评指正。

本书在写作过程中,得到全国不少从事精冲专业的专家学者和技术人员的支持和帮助,也引用了很多他们关于精冲的专著和论文,谨向这些老师和同仁表示感谢。

编 者

2013年11月

目 录

1 精冲技术概述	(1)
1.1 精冲技术的起源	(1)
1.2 精冲技术的主要形式	(2)
1.3 精冲技术的发展历程	(3)
1.4 精冲模具技术的发展现状	(7)
1.4.1 精冲模具结构设计更新	(7)
1.4.2 精冲模具加工机床更新	(8)
1.4.3 其他工艺条件更新	(8)
1.5 精冲技术的发展趋势	(9)
2 精冲与复合精冲变形规律	(10)
2.1 精冲变形规律	(10)
2.1.1 精冲有限元模型	(10)
2.1.2 数值模拟参数	(10)
2.1.3 模拟结果	(11)
2.2 精冲-挤压复合变形规律	(24)
2.2.1 精冲-挤压复合成形原理	(24)
2.2.2 精冲-挤压复合成形技术特点	(25)
2.2.3 精冲-挤压复合变形机理与成形规律	(25)
2.3 旋转-精冲复合变形规律	(37)
2.3.1 斜齿圆柱齿轮旋转-精冲复合成形原理	(37)
2.3.2 斜齿圆柱齿轮旋转-精冲复合成形损伤分布	(38)
2.3.3 旋转-精冲复合成形过程中的金属流动速度场	(40)
2.3.4 旋转-精冲复合成形过程中的等效应变场	(41)
2.3.5 旋转-精冲复合成形过程中的静水应力场	(43)
2.3.6 旋转-精冲复合成形斜齿圆柱齿轮的断面质量	(43)
2.3.7 斜齿圆柱齿轮旋转-精冲复合成形过程中的载荷-行程曲线	(44)
2.4 精冲件质量分析	(44)
2.4.1 精冲零件加工精度分析	(45)
2.4.2 精冲零件剪切面质量分析	(50)
2.4.3 塌角与毛刺分析	(53)
2.4.4 精冲常见缺陷及其消除方法	(55)
3 精冲零件、材料、模具与润滑	(57)
3.1 精冲零件	(57)
3.1.1 精冲零件的基本特征	(57)

3.1.2	精冲零件的结构工艺性	(57)
3.1.3	精冲零件设计流程	(58)
3.2	精冲材料	(60)
3.2.1	对精冲材料的基本要求	(60)
3.2.2	适于精冲的材料	(62)
3.2.3	常用精冲材料的球化退火工艺	(65)
3.2.4	精冲材料的选择	(67)
3.3	精冲模具设计	(72)
3.3.1	精冲模具的结构	(72)
3.3.2	模架	(74)
3.3.3	精冲主要参数设计与计算	(74)
3.3.4	精冲模具零件设计	(84)
3.4	精冲模具材料	(100)
3.4.1	选择模具材料应考虑的因素	(100)
3.4.2	精冲模具的主要失效形式	(101)
3.4.3	精冲模具材料的性能要求	(103)
3.4.4	模具材料及其热处理	(104)
3.5	精冲模具的制造简介	(117)
3.5.1	机械加工法	(117)
3.5.2	电火花腐蚀穿孔法	(118)
3.5.3	电火花线切割法	(118)
3.5.4	连续轨迹坐标磨法	(118)
3.5.5	粘接法	(118)
3.6	精冲过程中的润滑	(119)
3.6.1	精冲工艺过程中的摩擦及模具磨损	(120)
3.6.2	精冲工艺过程中的润滑	(120)
3.6.3	精冲工艺润滑剂	(122)
4	简易精冲	(128)
4.1	利用液压模架精冲	(129)
4.1.1	异形垫片的精冲	(129)
4.1.2	汽车用支架的精冲	(132)
4.1.3	Z113 提花机刀片的精冲	(134)
4.1.4	往复杆 A 的精冲	(137)
4.1.5	限位凸轮的精冲	(140)
4.1.6	齿板的精冲	(141)
4.1.7	扇形齿板的精冲	(144)
4.2	利用聚氨酯弹性体等作为弹性元件精冲	(146)
4.2.1	铝垫圈的精冲	(146)
4.2.2	黄铜套管的精冲	(148)
4.2.3	Q235 钢垫圈的精冲	(150)
4.2.4	不锈钢垫圈的精冲	(152)

4.2.5	触指的精冲	(154)
4.2.6	光栏花板的精冲	(156)
4.2.7	电动车制动拉杆叉的精冲	(160)
4.2.8	小模数齿轮的精冲	(162)
4.2.9	动触头、静触头、跳扣的深孔精冲	(168)
4.3	利用普通弹簧或碟形弹簧作为弹性元件精冲	(174)
4.3.1	不锈钢垫圈的精冲	(174)
4.3.2	触爪的精冲	(178)
4.3.3	凸轮的精冲	(179)
4.3.4	08Al 内导杆精冲	(184)
4.3.5	警用枪枪件(击锤)的精冲	(185)
4.3.6	T8A 高碳钢齿圈的精冲	(188)
4.3.7	往复杆 B 的精冲	(189)
4.4	利用气垫、氮气弹簧等作为弹性元件精冲	(192)
4.4.1	波导法兰盘的精冲	(192)
4.4.2	无卤印制电路板的精冲	(195)
4.4.3	支撑板的精冲	(198)
4.4.4	缝纫机压脚扳手的精冲	(199)
4.4.5	带齿扳机的精冲	(201)
4.4.6	联动阀开关齿轮的精冲	(203)
5	精冲机精冲	(206)
5.1	异形垫片的精冲	(207)
5.2	不锈钢 G6 帽的精冲	(208)
5.3	安全带平锁舌的精冲	(211)
5.4	空调压缩机阀板的精冲	(214)
5.5	摩托车从动链轮的精冲	(216)
5.6	调焦凸轮及小模数齿轮的精冲	(220)
5.7	0.3 小模数精密片齿轮的精冲	(224)
6	精冲-板料成形复合成形	(229)
6.1	链板的精冲复合成形	(230)
6.2	调整垫片的精冲复合成形	(235)
6.3	刹车片的精冲复合成形	(237)
6.4	换挡拨叉的精冲复合成形	(240)
6.5	多侧向缺口测量环的精冲复合成形	(242)
6.6	接触弹片的精冲复合成形	(244)
6.7	电子表正极压簧和定子片的精冲复合成形	(247)
6.8	鼠标球用板式薄簧的精冲复合成形	(251)
6.9	黄铜连接器端子的精冲复合成形	(256)
6.10	磷青铜连接器端子的精冲复合成形	(260)
6.11	定位桥的精冲复合成形	(263)

6.12	插头簧片的精冲复合成形	(267)
6.13	冠形齿片的精冲复合成形	(270)
7	精冲-体积成形复合成形	(274)
7.1	非平板状棘轮的精冲-挤压复合成形	(275)
7.2	离合器板的精冲-挤压复合成形	(278)
7.3	带枝丫件的精冲-挤压复合成形	(283)
7.4	旋转卡板的精冲-挤压复合成形	(285)
7.5	换挡限位板的精冲-挤压复合成形	(287)
7.6	双向超越离合器星轮的精冲-挤压复合成形	(289)
7.7	汽车变速换挡机构零件的精冲-挤压复合成形	(292)
7.8	汽车刹车片钢背的精冲-挤压复合成形	(296)
7.9	其他精冲复合成形	(297)
8	特种精冲	(300)
8.1	偏心制动圈的双台阶凸模精冲	(300)
8.2	LY12 矩形板的双层凹模精冲	(303)
8.3	某八边形电器产品的双层凹模精冲	(306)
8.4	杠杆的对向凹模精冲	(307)
8.5	黄铜仪表齿轮齿形的对向凹模精冲	(309)
8.6	带方法兰杆的对向凹模精冲	(311)
8.7	擒纵叉的复位精冲	(313)
8.8	斜齿圆柱齿轮的旋转精冲	(321)
9	精冲装备	(328)
9.1	概述	(328)
9.1.1	简易精冲装备	(328)
9.1.2	精冲装备的结构要求	(330)
9.1.3	精冲装备的分类	(332)
9.2	机械式精冲压力机	(335)
9.2.1	曲柄连杆压机	(335)
9.2.2	曲柄肘杆压机	(337)
9.3	液压式精冲压力机	(339)
9.3.1	液压式精冲压力机主要零部件的结构特征	(339)
9.3.2	液压式精冲机运动仿真	(341)
9.3.3	机架结构静力学与动力学分析	(342)
9.4	精冲压力机的典型结构	(344)
9.4.1	精冲压力机的整机导向机构	(344)
9.4.2	精冲压力机的常用导轨结构	(347)
9.4.3	精冲压力机的电气控制系统	(357)
9.5	精冲压力机的型号及主要技术参数	(364)
9.5.1	国产精冲机	(364)

9.5.2 国外产精冲机	(370)
9.6 精冲压力机的发展	(381)
9.6.1 往复成形精冲压力机	(381)
9.6.2 多缸伺服控制油压机	(383)
9.6.3 辊式精冲压力机	(388)
10 精冲自动化	(391)
10.1 换模机械化	(391)
10.2 精冲模具的快速夹紧	(392)
10.2.1 精冲模具夹紧的基本要求	(392)
10.2.2 精冲模具的换模(夹紧)过程	(392)
10.2.3 精冲模具夹紧装置的成本考核	(393)
10.2.4 精冲模具的传统夹紧形式	(393)
10.2.5 精冲模具的液压式快速夹紧装置	(395)
10.2.6 精冲模具的快速夹紧系统的控制系统	(401)
10.3 自动上下料装置	(402)
10.3.1 自动上下料装置的组件	(402)
10.3.2 自动上下料装置各组件的动作协调	(404)
10.4 板料或带料的自动上料装置	(405)
10.5 模具保护装置	(407)
10.6 HSR 系列自动精冲压力机组	(411)
10.7 模块化外围设备	(413)
10.8 先进的生产管理系统	(414)
参考文献	(416)

1 精冲技术概述

1.1 精冲技术的起源

精冲技术是精密冲裁技术的简称。精冲技术综合了冲压技术的效率高、经济性好和机械加工技术精度高的优势,在不少场合可取代铸造加工、锻压加工、车加工、钻加工、磨加工等工艺。精冲是在普通冲裁的基础上发展起来的,从普通压力机精冲逐步发展到精冲机精冲。

冲裁是冲压工艺的分离工序,如图 1-1 所示。它和其他冲压工序一样,生产率高,材料利用率高,能量消耗少,生产成本低,产品净形率高,强度和刚度好,容易实现自动化生产。由于具有这些优点,冲裁在各机械工业部门广泛应用。然而,由于冲裁过程的加工特性,进行普通冲裁时冲头 1 和凹模 3 模腔的间隙较大,即冲头 1 的外径尺寸小于凹模 3 模腔的内径尺寸,在冲裁过程中,板料 2 发生拱弯,板料 2 在还没有被完全剪断前就被撕断。因而,在剪切面上有大约 2/3 的撕裂带,剪切面的品质和精度不能满足某些冲裁件的技术要求。在这种情况下,普通冲裁只能用于制坯,对普通冲裁件还需进行后续机械加工。在冲裁生产薄片齿轮时,对每件制品再进行机械加工的话,生产效率很低,成本高,而且质量不稳定。

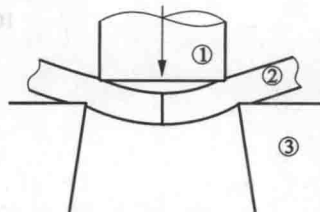


图 1-1 普通冲裁原理示意图
1—冲头;2—板料;3—凹模

后来人们这样加工:冲裁制坯后钻孔,铰中心孔;再用一根具有一定精度的芯棒,按一定的配合要求将多片冲裁后铰了中心孔的坯料穿套在一起进行滚齿。采用这种加工方法生产零件仍然效率低、成本高,加工品质也不能满足生产要求。

后来人们这样加工:冲裁制坯后钻孔,铰中心孔;再用一根具有一定精度的芯棒,按一定的配合要求将多片冲裁后铰了中心孔的坯料穿套在一起进行滚齿。采用这种加工方法生产零件仍然效率低、成本高,加工品质也不能满足生产要求。

人们在生产实践中不断摸索和反复试验,力图寻求既具有冲裁工艺的固有优点,又能获得高的剪切面品质和精度的冲裁方法。图 1-2 为一般压板精冲原理示意图。在冲压前压板先将板料压紧。冲头 1 和凹模 3 模腔的间隙很小,甚至为零(无间隙)或为负(冲头的直径大于凹模模腔的直径),即冲头 1 的外径尺寸等于或大于凹模 3 模腔的内径。在冲裁过程中,板料不发生拱弯,被完全剪断,因而截面断口十分光洁。人们把这样的冲裁称为精密冲裁,简称精冲。图 1-3 所示为普通冲裁件和精密冲裁件剪切面品质的比较。

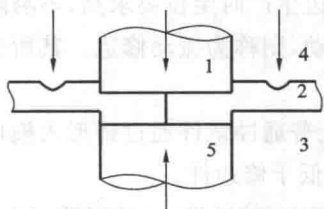


图 1-2 精密冲裁原理示意图

1—冲头;2—板料;3—凹模;4—压边圈;5—反向加压柱塞

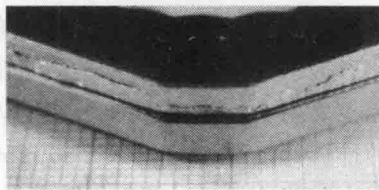


图 1-3 精密冲裁件(下)和普通冲裁件(上)
剪切面品质的比较

精密冲裁技术一般适合于生产批量在 10 万件以上、中等复杂程度以上的零件,批量越大越显示出这种工艺的优越性。某小齿轮盒零件成本的比较曲线大致如图 1-4 所示。当批量很小时,精冲的成本大于普通冲裁的成本,批量越小,两者的差别越大。当批量增加到 15×10^3 件时,精冲成本曲线与普通冲裁成本曲线相交于一点,精冲的成本和普通冲裁的成本相同。如批量继续增加,则精冲的成本更低,大约是普通冲裁的 55%。

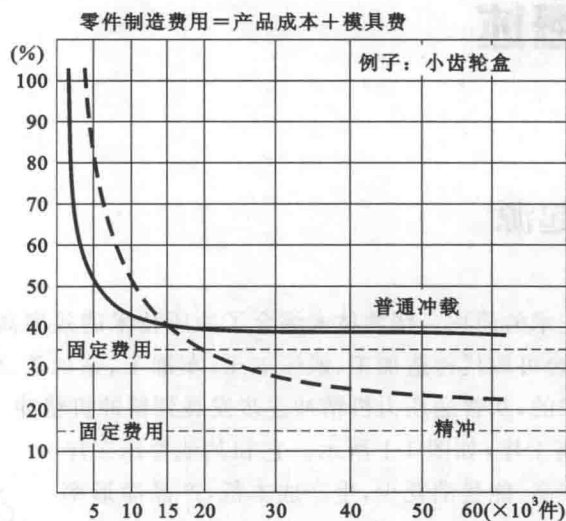


图 1-4 某小齿轮盒零件成本的比较曲线

1.2 精冲技术的主要形式

精冲技术的应用行业有汽车、摩托车、计算机、录像机、通信设备、飞机制造、家电产品、办公机械、光学元件、建筑等。用精冲技术生产的零件有近 8000 种,大约 50%~60% 的精冲件用于汽车工业,如涡轮增压器、制动器、变速箱、安全带、座椅、空调、压缩机等。精密冲裁与精密锻造、精密焊接、精密铸造、精密剪切等精密成形工艺一样,是当前工业技术的发展方向,它们与国计民生有着密切的关系,对节材节能、绿色制造的影响极大。精冲工艺在节省设备、工装、生产面积、生产工时、物流等方面具有显著的经济效益。如某厂家有一台精冲机,模具加工能自己配套解决,可年产 300~600 万件以上精冲件。

对普通冲裁件的二次加工一般称为精整,精整分为修边和挤光两种。

精整常用的一种方法就是修边。修边就是切除不光洁表面。修边模的冲头和凹模的间隙应尽可能小,大约为 0.006~0.010 mm,甚至为负间隙。当然负间隙不宜太大,也以 -0.010~-0.006 mm 为宜。修边余量和修边次数由料厚和产品的形状决定。

修边件的精度高,粗糙度小,塌角和毛刺小;缺点是在修边生产时定位要求高,不易除屑,效率低。如在修边过程中加入有关能量,使冲头在工作过程中产生振动,则称为振动修边。其所生产的产品品质高于一般振动件,但修边件的某些缺陷可能仍然会保留。

挤光主要用于软料,它是将凹模的入模口设计为锥形,让普通冲裁件通过锥形入模口挤光。锥形入模口的锥形部位约高 0.04~0.06 mm,一般挤光件的品质低于修边件。

采用小间隙冲裁可以获得粗糙度较小、塌角毛刺较大的挤压-精冲件,冲裁间隙不大于 0.02 mm。落料时的凹模圆角半径和冲孔时的凸模圆角半径的大小均为 $0.1t$, t 为板料厚度,单位为 mm。

负间隙冲裁更是明显将坯料挤压进凹模模腔,凸模的工作直径大于凹模的工作直径,大约

$(0.05 \sim 0.20)t$ 。要注意凹模入模口的圆角半径的大小为 $(0.05 \sim 0.10)t$ 。负间隙冲裁适用于软料,能获得较小的粗糙度,但塌角和毛刺较大。

精密冲裁的主要形式是压边精冲。压边精冲的工艺特点主要是更小的小间隙冲裁,其间隙值为 $0.01t$,而且必须采用压边圈(一般采用 V 形齿压边圈)或反向压板加压夹持。所产生的产品精度高,粗糙度小,塌角和毛刺也小,生产效率高,但模具或设备复杂。如果压边圈上无齿形,是一块平板,那么就称为平面压边精冲。在冲裁前和冲裁中均是“平板”压紧坯料。

精冲时还可采用阶梯式冲头,阶梯冲头的小直径按小间隙冲裁过程确定,大直径与小直径之差为 $(0.15 \sim 0.35)t$,高度差为 $(0.1 \sim 0.4)t$ 。精冲时也可采用双层凹模,上、下凹模与冲头的间隙为 $(0.15 \sim 0.35)t$ 。这样,获得的冲裁件粗糙度小,生产率较高;缺点是对于复杂轮廓的产品,模具制造困难。

此外,还有将冲头设计成冲头内芯和冲头外圈两部分,构成组合冲头。冲裁时,外圈先压入 $(0.7 \sim 0.8)t$ 后冲头内芯再进行冲裁。所生产的产品精度高,粗糙度小,塌角和毛刺也小。可以冲厚料和刚性差的材料,这就是所谓的“对向凹模精冲”。实际上相当于抛弃了压板,压板与凹模合为一体。

当工作部分由两个凸模和两个凹模组成时,一个凸模固定,另一个凸模和两个凹模的成形力单独可调,而且按照一定的预置动作程序进行挤压,完成整个往复成形精冲过程。一个凸模和两个凹模还可实现锁定和给以一定压力的状态。

精冲工作开始阶段,上模中的活动凹模一直锁定,滑块下行。此时先让上凸模锁定,下凸模无压力,使精冲毛坯受到活动凹模和上凸模的压力,内部部分材料被挤入固定凹模的模腔中(下凸模被挤向下)。然后让下凸模锁定,上凸模无压力,内部部分材料流入活动凹模的模孔中,上凸模被带动向上。

此时精冲坯料在固定凹模和活动凹模的模腔之内的尺寸加厚,与坯料接触部位的模面之间的厚度变小,产生连皮。而在固定凹模和活动凹模接触部位的模面以外的坯料厚度不发生变化或基本不发生变化。

精冲工作的最后阶段,滑块继续下行,上凸模处于锁定状态。活动凹模产生所需的压边力,压紧坯料,下凸模产生所需的反向压力,在压边力的反向压力的作用下,上凸模完成连皮的强力压边精冲,从而实现精冲成形全过程。这就是所谓的“往复成形精冲”。

往复成形精冲与对向凹模精冲实质上也是相同的,只是把上、下凹模(冲头外圈)都设计成一样,其极限状态可以想象成与指甲钳剪指甲的原理差不多。

精冲工艺可以和其他成形工艺复合。主要有三种复合形式:第一种是精冲外形轮廓和精冲内孔的复合;第二种是精冲成形和其他冲压工艺如拉深、弯曲、侧向冲裁的复合;第三种是精冲成形与体积成形(挤压成形)的复合。第一种情况比较简单,在第 4 章“简易精冲”和第 5 章“精冲机精冲”中就有详细介绍,故不列专章。关于精冲成形和其他冲压工艺如拉深、弯曲、侧向冲裁的复合成形的例子请参见第 7 章。关于精冲成形与挤压成形的复合的例子请参见第 8 章。这里谈的都是在同一台压力机上的复合,至于与其他设备复合的例子,如为其他设备生产预成形件或者其他设备为精冲工艺制坯的例子,请参考其他有关书籍。

1.3 精冲技术的发展历程

采用压边工艺能提高冲裁件的断面品质,欧洲人在 20 世纪 20 年代就已发现并申报了专利。20 世纪 50 年代进入实用阶段。20 世纪 70 年代中期进入普及期,汽车制造业中大量采用精冲技术。经过 50 多年的发展,该技术已相当成熟。平均每辆轿车的精冲件的数量有 250~300 件。我国曾一度致力于对冲压件修整进行研究,在研究修边的模具和工艺上下过不少功夫。20 世纪 50 年代就有人对其进行研究。由于振动修边在瑞士钟表行业得到广泛应用,我国仪表行业从瑞士 ESSA 公司进

口了 40 kN 凸轮式振动修边压力机和 160 kN 内外滑块式振动修边压力机。后来,上海第七机床厂也能生产这种凸轮式振动修边压力机。

20 世纪 60 年代初,国内有研究机构专门研究振动修边工艺。而这时,由于采用压边工艺能直接使冲裁件的品质提高,因而精冲技术在国外迅速发展。专门生产精冲机的厂家就有 10 多家。

国内部分单位的精冲压力机和精冲模具的主要加工设备是从国外引进的,如苏州东风精冲公司和广州精冲零件公司等,也有单位立足于自主开发,如武汉理工大学、北京机电研究所、中国兵器工业第五九研究所(重庆)、杭州武林机械厂等。

我国从瑞士 Feintool-Osterwalder 公司进口的 GKP 型精冲压力机为肘杆式底传动机械压力机,其运动曲线可以满足精冲工艺过程的快速闭合、慢速冲裁和快速回程的要求。其齿轮和轴之间采用紧固环连接,既可保证双边同步传动,又能实现过载保护。滑块由表及里排滚柱过盈导向。

20 世纪 80 年代之后,我国进口的压力机均为全液压式,吨位有 3200 kN、4000 kN、6000 kN、8000 kN。滑块对工作台的垂直精度为 0.08 mm/180 mm,这是一项最重要的技术指标。

1962 年,A. Guidi 第一次发表精冲理论,引起了中国冲压专家的关注,并将其论文翻译后在 1963 年的《机械译丛》杂志上发表。

国内原一机部仪表工厂设计处与原一机部机械科学研究院、西安交通大学从 20 世纪 60 年代初期就共同进行精冲工艺研究,1965 年 10 月撰写有《仪表零件精密冲裁工艺试验研究小结》,但没有公开发表。

1965 年,西安仪表厂从瑞士 Feintool-Osterwalder 公司购进一台 800 kN 肘杆式三动精冲机和多套小模数齿轮精冲模,用于生产仪表零件。1966 年 5 月,原机械部济南铸锻所完成了与天津红星工厂合作用强力齿圈压板精冲打字机零件——卡簧片的研究报告。

李锡曾在 1966 年《锻压机械》杂志上发表论文《精密冲裁》,这是国内第一篇公开发表的关于精密冲裁的文章。

如果在设计模具的液压模架时,能提供压边力、反向压力和保证导向精确,将它安装在通用压力机上,也能完成精冲工艺,这就是简易精冲,也有人称其为普通精冲。20 世纪 70 年代,原南京航空学院曾采用碟形弹簧和聚氨酯橡胶等弹性元件建立压边力和反向压力来开展简易精冲。简易精冲的投资少,见效快,适合于生产批量不大的产品;不足之处是当模具开启时,顶件和卸料同步进行,往往发生将精冲件顶回到废料框中的情况,从而有可能使剪切面擦伤,影响下次送料。

1972 年,哈尔滨仪表机床厂开始研制“YA99-25 型精密冲裁液压机”,该机的主要技术性能参数为:主活塞最大压力 350 kN,压边滑块压力 10~100 kN,反向支承压力 5~50 kN;结构采用上传动方式,主油缸安装在机身最上方,油缸内装有内、外活塞,外活塞与压边滑块连接,内活塞杆穿过外活塞及压边滑块可与凸模相接,压边滑块在四个立柱的导轨间上下运动;工作台的下面装有反向压力油缸,液压油的油箱在机身的最下方,液压件箱装在机身的左上方,电气箱装在机身的右上方,机身为铸铁件。

1973 年,冲压前辈张正修在《锻压机械》杂志上发表了第 2 篇同名文章《精密冲裁》。精密冲裁在我国 20 世纪 70 年代开始在生产上有所应用。

1974 年,原华中工学院与武汉国营长江有线电厂协作,设计制造了一套液压精冲模架,利用普通压床改装,进行多种零件的精密冲裁工艺试验,获得成功,并投入生产。当年原四机部在该厂召开了全国性新工艺经验交流会,并拍摄了电影。

1975 年,贵州长征电器九厂开始研发简易精冲工艺,1976 年正式投产,用于冲裁 5 mm 以下的低碳钢板材,效果良好,截面粗糙度 $R_a \leq 1.6 \mu\text{m}$,尺寸精度可控制在 $\pm 0.02 \text{ mm}$ 。

武汉 733 厂(武汉国营长江有线电厂)在 JB21-100 型开式双柱固定台压力机上安装液压装置,精冲电传打字机零件获得成功并扩大生产,还将此项技术传授给天津 754 厂(中国人民解放军总后勤部天津实验工厂),也取得令人满意的效果。

国营 772 厂在《航空工艺技术》杂志 1976 年第 3 期上发表第 3 篇同名文章《精密冲裁》，文章介绍了他们经过四个多月的试验，将 JB21-100 型 100 t 开式偏心冲床改装成为精冲冲床，用通用模架精冲模具生产精冲件。

1976 年，我国与瑞士 Feintool 公司开始了精冲技术交流，翻译了 Feintool 公司的《实用精冲手册》（初版），Feintool 公司第一次向中国提供了精冲技术培训资料，后被翻译并于 1977 年由国防工业出版社出版，即《精冲技术》（第 1 版）。

1977 年，内江锻压机床厂研制 Y 99-63/100 型精密冲裁液压机获得成功，同年召开鉴定会，称其“填补了空白，该机的性能满足精冲工艺的要求，参数选择合理，符合我国国情，机器的设计和试制是成功的”。

1977 年，上海开关厂采用精冲工艺生产 SN8-10 触片，设计制造了精冲通用模架、模芯和液压装置，并在普通闭式单点压力机上进行了精冲试验，并正式用于生产，效果很好。

1977 年，原一机部北京机电研究所设计的精冲液压模架在天津第三开关厂投入使用，使国内精冲料厚增大到 10 mm，可精冲零件的最大尺寸达到 250 mm。

1978 年，哈尔滨锻压机床厂研制出 Y 99-25/40 型 250 kN 三动全液压精冲压力机，内江锻压机床厂研制出 Y26-100 型 1000 kN 三动全液压精冲压力机。截至 1978 年底，国内已有西安仪表厂、无锡模具厂、安徽电影机械厂、天津电器厂、上海人民电器厂、上海星火模具厂等 100 多家科研单位与企业开发应用精冲技术。

1979 年，为介绍国外先进经验，总结国内推广精冲技术的成果，10 月 31 日至 11 月 8 日原国家仪表总局委托原一机部第十一设计院和无锡模具厂，在江苏无锡市召开了“精密冲裁与模具‘三化’技术经验座谈会”。参加这次会议的有来自全国 21 个省、市、自治区及中央直属的大专院校、科研设计及企事业单位，共 91 个单位 131 位代表。

精密冲裁工艺应用前期主要用于仪器仪表、照相机、办公机械、起重机械、电气开关等行业，20 世纪 80 年代开始进入汽车、摩托车行业。国内有几十家工厂采用这一工艺。

20 世纪 70 年代国内先后开发了 4000 kN 和 10000 kN 两种全液压精冲压力机，并小量投入市场。但在滑块对工作台的垂直精度和送料装置自动化方面不够理想。有些精冲压力机的滑块采用滚动导向，导向精度高，但抗偏载能力差。

Feintool、SMG 公司推出的 4000 kN、25000 kN 大吨位全液压三动精冲压力机，为冲制厚板、大尺寸精冲零件创造了条件，1981 年中国研制出 6300 kN 精冲压力机。

当时，北京机电研究所涂光祺开发了台阶式内阻尼静压导轨，在承受倾覆力矩 100 kN·m 的情况下，压机滑块导轨仍保持油膜润滑。内江锻压机床厂开发的 Y26-630 型精冲压力机，即采用此结构。当时同时生产了 3 台，其中 1 台在中国兵器工业第五九研究所，从 1986 年开始使用至今，仍保持良好的精度和性能。

湖北军工企业 733 厂、181 厂等单位从 20 世纪 70 年代开始在精密冲裁方面做了大量的工作，取得了在普通压力机上进行精密冲裁的成熟技术成果，武汉车锁厂、513 厂、520 厂在这方面也应用得很好。“在普通压力机上进行精密冲裁”技术通过部级鉴定，获得多项奖励，分别被列为航空工业部和国防科工委“八五”重点推广项目，1994 年又通过了国家科委的初审和答辩，被列为国家级重点科技成果推广项目。

20 世纪 80 年代前，我国进口的精冲压力机有 30 多台，都是小吨位，大部分是 400 kN，少量为 600 kN、750 kN、800 kN、1600 kN、2500 kN，大部分从瑞士 Feintool-Osterwalder 公司进口，少量从瑞士 Schmid 公司、瑞士 ESSA 公司和英国 Fine-O-Matic 公司进口。

1984 年无锡模具厂接受“六五”科技攻关项目“精冲新工艺”，用国产 Y99-25 型精冲机和进口 Feintool GKP25/40 精冲机精冲 $m=0.3550$ 的小模数片齿轮、照相机调焦凸轮等零件，获得成功并通过国家鉴定，投入生产。基于中国汽车工业总公司“八五”行业发展规划重点技改项目，该厂筹建了苏

州东风精冲工程有限公司,从 Feintool 公司成套引进精冲技术及设备,标志着国内推广精冲技术已进入汽车制造行业。该公司具备设计与制造精冲模 50 套/年及各类精冲件 800 万件/年的能力,是国内较有实力的汽车精冲零件加工中心。

1987 年 2 月,四川省机械工业厅受国家机械委员会机床工业局的委托,在内江市召开了 Y26-100 型 1000 kN 精密冲裁液压机技术鉴定会。

1993 年,天津市电机总厂采用高速精密自动级进冲压机(高速级进冲)生产 $\phi 100$ 电机铁芯冲片。因其具有高效、精密、安全、优质和节约原材料等显著优点,技术经济效益显著。

21 世纪以来,宁波帕沃尔精密液压机械有限公司生产了 YPKJ 系列框架式精冲液压机,佛山市兴发液压机械制造有限公司生产了 ZWJ 系列四柱快速精冲机,徐州特种锻压机床厂生产了 YTD26 型内阻尼静压导轨精冲压力机,武汉华夏精冲技术有限公司先后开发了 HFB2500A、HFB6300A 全自动液压精冲机。

湖北黄石华力锻压机床有限公司与武汉理工大学合作,开发了数控精冲机系列产品(型号包括 KHF200、KHF320、KHF500、KHF700、KHF1200),不仅满足了我国精冲生产装备的市场需求,而且替代了进口产品,精冲机的部分技术指标达到国际先进水平,在我国市场占有最大份额。2012 年 6 月 6 日,黄石华力锻压机床有限公司举办了“KHF 系列精冲机制造 15 年技术总结暨 2012 款精冲机展示会”,展出了一系列液压式数控精冲压力机。

武汉理工大学、吉林大学、天津大学、江南大学、天津理工大学、重庆理工大学等高校都开展了精冲技术方向的研究生培养,迄今为止全国已经培养了近 100 名硕士和博士,他们的学位论文涉及精冲设备、工艺和理论等方面。武汉理工大学对复合精冲的理论研究和生产实践进行了深入探索,揭示了复合精冲成形规律,建立了精冲复合成形件的毛坯设计方法,联合研制了 12000 kN 精冲压力机,开发了系列机械汽车零件精冲和复合精冲技术,并在生产中得到了广泛应用。

我国已累积生产近千种精冲零件,包括汽车座椅角调器总成,汽车、坦克、飞机上的制动摩擦片,变速箱拨叉,厚度从 0.4 到 4 mm 的直齿圆柱齿轮,摩托车主动链轮和从动链轮,空压机阀板等。其中,飞机起落用的摩擦片,外径达 375 mm,厚 8 mm,材料为 30CrSiMoV, $\sigma_b = 700 \sim 800$ MPa。汽车上的精冲件如图 1-5 所示。我国还制定了《精冲件结构工艺性》、《精冲件质量》、《精冲件通用技术条件》、《精冲件工艺编制原则》、《精冲模具》、《精冲压力机精度》和《精冲模具润滑剂技术条件》等国家标准和行业标准。

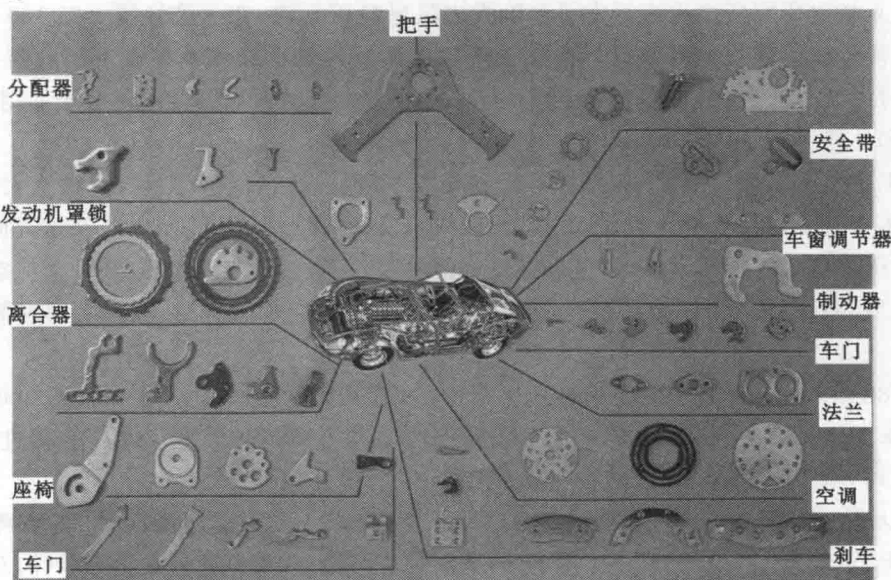


图 1-5 汽车上的精冲件

精冲工艺的发展方向大致为:

- (1) 被精冲材料的强度(σ_b)越来越高,厚度(t)越来越厚,尺寸越来越大;
- (2) 精冲件的内形轮廓和外形轮廓越来越微小、精细,结构越来越复杂;
- (3) 精冲件的尺寸精度越来越高。

国内已有较多的关于精锻-精冲复合工艺和精冲-精锻复合工艺的研究,这两种复合工艺都是使板料精密冲裁和棒料精密成形交汇和结合,相互取长补短。因此精锻-精冲复合工艺和精冲-精锻复合工艺生产出的零件大小、轮廓将由精锻和精冲组合完成,充分发挥两种工艺的优势,成为精冲件大型化、复杂化和向厚度增大方向发展的一种途径。

在精密成形设备上精锻成形棒料毛坯,可为后续精冲成形提供厚度不等且不受被压边精冲材料极限厚度约束的复杂形状毛坯。精冲板料也可获得适合于后续精锻成形的复杂形状的异形预制坯,扩大精锻工艺的应用范围。后一种情况在瑞士 Schmid 公司冷精密摆辗某枪械零件时已有先例,在冷精密摆辗终成形时,采用精冲件作为坯料,见图 1-6。

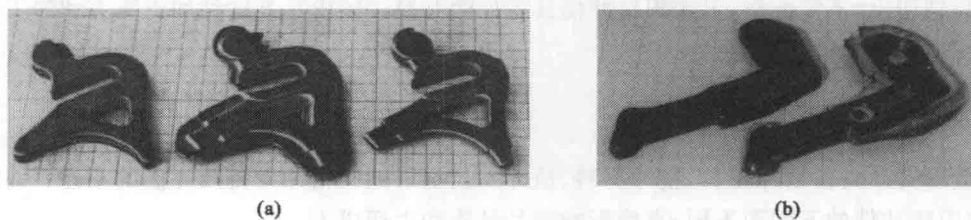


图 1-6 Schmid 公司的冷摆辗成形件和精冲预制坯件

(a) 自行车零件的精冲预制坯件(左)、冷摆辗成形件(中)和切飞边后的冷摆辗成形件(右);

(b) 兵器用制动杆的精冲预制坯件(左)和冷摆辗成形件(右)

1.4 精冲模具技术的发展现状

仅有精密的锻压设备而模具的精度不高,也不能生产出精度高的锻件或冲压件。而如果模具精度高,但是锻压设备精度不高,还有可能生产出精度高的锻件或冲压件。对于精冲技术来说,精冲模具尤其重要。

1.4.1 精冲模具结构设计更新

20 世纪 80 年代以前,国内的精冲模架均采用整体嵌入式结构,将凹模嵌入凹模座的锥形凹槽,压边圈要嵌入压边圈座的锥形凹槽。锥面的接触面要保证在 75% 以上,轴向预压力为 0.4 mm,预压后的凹模与压边圈的型腔要同心,否则就会在冲裁时产生冲裁间隙不均匀的现象,影响精冲的成败。凹模座是模具中最主要的基本零件,上面有加工精度要求相当高的导向孔,其加工制造相当困难,这在一定程度上阻碍了精冲技术在我国推广。

20 世纪 80 年代以后,国内逐步兴起导销式模具。凹模和压边圈改由凹模座上的导销定位。在工作时凹模上的导销插入压边圈上的导孔内。凹模和压边圈分别由销固定在凹模座和压边圈座上。因为可以将凹模和压边圈叠在一起组合加工,所以这种结构加工简单,可保证型腔对中,误差小。与嵌入式结构的精冲模具相比,很明显从加工费用、工人的装拆和操作角度来讲,导销式结构的精冲模具要合理得多。因为它取缔了一对大件的相互配合要求,而将其由 4 个导销导孔代替。导销式结构的精冲模具和嵌入式结构的精冲模具同样拥有“结构紧凑,封闭高度小”,“结构刚性好”,“定位可靠”的优点。