

冲压技术丛书

# 电机电器电子 高速精密冲压件 制造技术



中国锻压协会 编著



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

首套以汽车、飞机、农机、机车、电子产品等的冲压件制造技术为主线，内容涉及材料、工艺、模具、设备和生产实例，及其相互关系与发展趋势，注重综合性、典型性、纲目化、实用性和新颖性的冲压技术丛书。

## 冲压技术丛书

冲压技术基础

汽车冲压件制造技术

航空航天钣金冲压件制造技术

农业机械工程机械冲压件制造技术

电机电器电子高速精密冲压件制造技术

轨道机车车辆冲压件制造技术

### 本书特色

- ★ 本书注重综合性、典型性、纲目化、实用性和新颖性。
- ★ 书中介绍电机、电器、电子行业典型高速精密冲压件的制造技术，内容涉及高速精密冲压的材料、工艺、模具、设备和生产实例，及其相互关系和发展趋势。
- ★ 重点介绍电机铁心件、换热器翅片、引线框架、电连接器和精密微薄件的冲压制造技术，高效精密压力机及其自动化周边设备。

地址：北京市百万庄大街22号

邮政编码：100037

电话服务

社服务中心：010-88361066

读者购书热线：010-88379203

网络服务

教材网：<http://www.cmpedu.com>

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

上架指导 工业技术/机械工程/冲压

ISBN 978-7-111-43910-3

策划编辑◎孔劲

ISBN 978-7-111-43910-3



9 787111 439103 >

定价：108.00元

冲压技术丛书

# 电机电器电子高速精密 冲压件制造技术

中国锻压协会 编著

主 编 宋拥政

参 编 (按姓氏笔画排序)

王 健	邓卫国	刘江淮	孙维军	李文霞
李学军	李宪平	何灿焜	闵建成	张庆飞
陈奉明	张顺福	金铁军	赵宏松	柯尊芒
秦 剑	钱晓晨	殷黎明	黄益健	鹿新建
蒋宏湘	储 杰			

昆明理工大学图书馆  
呈 贡 校 区  
中 文 藏 书 章



03002225950

机械工业出版社

本书介绍电机、电器、电子行业典型高速精密冲压件的制造技术，内容涉及高速精密冲压的材料、工艺、模具、设备和生产实例，及其相互关系与发展趋势。重点介绍电机铁心件、换热器翅片、引线框架、电连接器和精密微薄件的冲压制造技术，高效精密压力机及其自动化周边设备。

本书可供电机、电器、电子行业高速精密冲压领域的工程技术人员参考，可作为理工科中高等院校教学或培训教材，适合机械制造与材料工程方向的研究生作为拓展性学习材料，同时还可作为政府部门、行业协会、科研院所和高等院校了解行业现状、制定发展规划、探究科研项目等的参考文献。

### 图书在版编目（CIP）数据

电机电器电子高速精密冲压件制造技术/中国锻压协会编著. —北京：机械工业出版社，2013. 8

（冲压技术丛书）

ISBN 978-7-111-43910-3

I. ①电… II. ①中… III. ①冲压-制造 IV. ①TG31

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 209462 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：孔 劲 责任编辑：孔 劲 版式设计：霍永明  
责任校对：肖 琳 封面设计：姚 毅 责任印制：张 楠  
北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2013 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 18.75 印张 · 5 插页 · 460 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-43910-3

定价：108.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010) 68326294

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010) 88379649

机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

## 冲压技术丛书

### 出版委员会

主 任 张 金

委 员 齐俊河 韩木林 朱继美 高丽红

### 顾问委员会

名誉主任 何光远 李社钊

主 任 缪文民

副 主 任 王仲仁 周贤宾

委 员 (按姓氏笔画排序)

王红旗 卢险峰 阮雪榆 孙友松 李志刚 李硕本 宋玉泉  
宋宝蕴 苑世剑 周开华 周永泰 荣惠康 俞新陆 涂光祺

### 编写委员会

主 编 宋拥政

编 委 (按姓氏笔画排序)

王野青 任运来 祁三中 许发樾 苏娟华 李光瀛 李继贞  
宋拥政 张 一 张 琦 陈 军 赵 军 赵升吨 赵彦启  
侯英玮 徐伟力 舒鑫源 管延锦

# 丛书序一

继“锻件生产技术丛书”出版之后，锻压行业另一套大型技术文献“冲压技术丛书”也与冲压界的广大同仁见面了。编辑出版“冲压技术丛书”是中国冲压行业一项具有里程碑意义的重要工作！

锻压是人类发明的最古老的生产技术之一。人类发现和使用金属已有数千年，锻压生产技术随之不断发展。锻压技术对人类具有宝贵的实用价值。迄今人类生产的大部分金属材料，都是用锻压方法加工成成品零件。锻压产品无处不在。

锻压加工是指通过设备和模具，使材料受力变形获得要求的成品零件。锻压加工材料大部分为金属材料，金属材料受力变形在学术上称为塑性成形，可分为体积成形和板材成形，有冷、温、热多种成形方式。锻压加工分为锻造、冲压和钣金三大领域。

冲压加工主要针对金属板材的冷态成形，所以被称之为冷冲压或板料冲压，简称冲压。冲压生产与冲压行业在制造业中占有重要地位，冲压制造技术是现代制造技术的重要组成部分。

我国的冲压生产几乎遍布制造业的各个领域，涉及方面广泛，工艺内容繁杂，生产布局分散，且企业群体众多，同时受“工艺性”行业观念的影响，一直没有受到制造业界的应有重视。虽然改革开放以来，尤其是随着汽车制造业的发展，我国冲压行业整体水平明显提高，但与先进工业国家相比，仍有很大差距。从总体上看，冲压行业内的相互交流与合作明显不够，发展不平衡且较为缓慢，这不但影响了冲压行业自身的发展，也影响到与之紧密相关产业的发展与进步。

中国锻压协会本着服务行业、推动进步与发展的宗旨，历时3年多，组织了110余位行业专家、学者和工程技术人员编撰了这套共6个分册的“冲压技术丛书”，它对我国冲压行业的生产技术状况进行了系统的梳理、归纳和总结，内容涉及冲压件的材料、工艺、模具、装备、生产实例，及其相互关系与各自的发展趋势，有基础应用理论，更有实践经验总结，还有对沿革的概述和对未来的展望，是从事冲压技术研究、教学和生产实践者的必不可少的学习资料，也是培养年轻冲压技术人员的重要教材，将有助于冲压行业企业取得更大的进步和发展。

在这套丛书出版之际，请允许我代表中国锻压协会，代表冲压行业的同仁们，向所有参加编撰辛勤工作的专家、学者和工作人员，致以衷心的祝贺和感谢！

中国锻压协会秘书长



于北京

## 丛书序二

冲压成形是应用广泛、历史悠久的产品制造工艺，是汽车、飞机、农机、机车、电子产品等的基本制造方法，几乎没有一种现代工业装备上不采用冲压成形零件。全世界约70%以上的金属材料要通过变形加工制成产品，其中大部分零件又要以板材、管材或型材作为原材料或半成品进行冲压加工成形。所以，发展冲压制造技术对于发展制造业具有十分重要的意义，冲压行业在国民经济中占有重要的地位。

我国的冲压行业和冲压制造技术经历了六十余年的发展历程。尤其是改革开放三十多年来，冲压行业从小到大、从旧到新、由内向外不断发展壮大，为我国制造业和各行各业的快速发展起到了重要的支撑作用。冲压制造技术随着发展制造业和先进制造技术而不断发展，尤其在汽车工业迅猛发展的推动下，冲压制造技术在深度和广度上取得了前所未有的进展，正在朝着与高新技术结合，用信息技术、计算机技术、现代测控技术和先进适用技术与装备，改造提升传统冲压技术的方向迅速迈进。同时，也为我国冲压行业逐步走上专业化道路，与汽车工业、航空航天工业、装备制造业和材料工业的协调发展，与国际冲压行业和市场接轨奠定了基础。

面对我国冲压行业和冲压制造技术的巨大进步，中国锻压协会秉持服务行业、推动进步和发展的宗旨，历时3年多，组织110余位行业专家、学者和工程技术人员，编撰大型技术文献“冲压技术丛书”，旨在对国内代表性行业的冲压制造技术现状进行系统的梳理、归纳和总结及展望，以满足冲压行业发展的需要，为冲压业界各方面的读者都带来阅读价值。

“冲压技术丛书”共分六册，包括《冲压技术基础》《汽车冲压件制造技术》《航空航天钣金冲压件制造技术》《农业机械工程机械冲压件制造技术》《轨道机车车辆冲压件制造技术》和《电机电器电子高速精密冲压件制造技术》。

《冲压技术基础》分册，介绍冲压制造技术中新的综合性的共性基础内容。重点介绍冲压变形基础理论、冲压用金属板材、冲压工艺、冲压模具、冲压数值模拟与模具数字化制造、省力与近均匀冲压技术、冲压设备和冲压生产设施。

《汽车冲压件制造技术》分册，重点介绍汽车的冲压技术概况、中小件冲压技术、精冲件制造技术、覆盖件成形技术、冲压同步工程与质保体系、车架件冲压技术、车轮冲压技术、桥壳冲压成形技术、拉弯件成形技术、车身轻量化新工艺新技术。

《航空航天钣金冲压件制造技术》分册，重点介绍飞机的蒙皮类零件、框肋类零件、型材类零件、弯管类零件、旋压类零件及其他成形零件的冲压制造技术。

《农业机械工程机械冲压件制造技术》分册，重点介绍农业机械工程机械的中小件

中文藏书章

冲压技术、覆盖件成形技术、管材件成形技术、钣金件制作技术。

《轨道机车车辆冲压件制造技术》分册，重点介绍机车、客车、货车和城际机车的分离件、弯曲件、拉深件、胀形件、翻边件和校平件的冲压制造技术。

《电机电器电子高速精密冲压件制造技术》分册，重点介绍电机铁心件、换热器翅片、电子引线框架、电连接器和精密微薄件的冲压制造技术，高效精密压力机及其自动化周边设备。

在“冲压技术丛书”编撰过程中，中国锻压协会与丛书主编始终坚持从企业中来，到企业中去“企业路线”，从丛书的分册与架构，到章节设置与内容安排等，一切遵循从冲压生产实际出发，满足行业发展需要的原则，尤其重视来自冲压生产一线技术专家的参与和意见；始终贯穿以代表性冲压制造业的典型冲压件制造技术为主线，内容涉及冲压成形的材料、工艺、模具、设备和生产实例，及其相互关系与各自的发展趋势，并注重综合性、典型性、纲目化、实用性和新颖性。这些理念、做法、要求和目标，得到了冲压行业参编单位及其专家、学者、工程技术人员的大力支持和一致赞同，丛书的编辑出版工作也受到机械工业出版社的高度重视并列入重点出版项目。大家为了这个共同的目标，积极努力，不畏艰辛，甘于奉献，终成正果。

应该说，这套凝结着我国冲压行业的专家、学者和工程技术人员心血与智慧的丛书，是国内外冲压业界首套基于冲压生产现状，跨行业、多学科、综合性的技术文献。它的问世，是在我国当今市场经济下，唯有行业协会才能运作完成的具有里程碑意义的大事，它凝聚了我国冲压行业冲压制造技术的精华，体现了我国冲压行业的技术软实力，将为我国冲压行业薪火相传、永续发展做出贡献！

在此，我谨代表丛书编写委员会向所有参与丛书编撰出版的专家、学者、工程技术人员和工作人员表示衷心感谢！在丛书编写过程中，得到了哈尔滨工业大学王仲仁先生、北京航空航天大学周贤宾先生、南昌大学卢险峰先生、华中科技大学李志刚先生、广东工业大学孙友松先生、中国模具协会周永泰先生等老一辈学者、专家的热情帮助，在此深表谢意！

这套丛书由于涉及的业务面广，专业类多，内容浩繁，加上时间仓促，经验有限，错误与不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。丛书出版后，随着时间的推移和技术的发展，未来还要再进行修订，以求进一步更新、完善和提高。

中国锻压协会“冲压技术丛书”主编

宋拥政

于北京

# 前言

本书根据中国锻压协会“冲压技术丛书”主编提出的丛书编撰规划和《电机电器电子高速精密冲压件制造技术》编写大纲，由丛书主编组织国内高速精密冲压行业代表性企业的专家和工程技术人员进行编撰。

参编单位有：宁波鸿达电机模具有限公司、徐州锻压机床厂集团有限公司、扬州锻压机床股份有限公司、杭州嘉力讯电子科技有限公司、无锡华晶利达电子有限公司、黄山三佳谊华精密机械有限公司、苏州和林精密科技有限公司、昆山嘉华电子有限公司、中国锻压协会。

本书介绍高速精密冲压行业典型冲压件的现实制造技术，内容涉及冲压的材料、工艺、模具、设备和生产实例，及其相互关系与各自的发展趋势。

本书共分8章。重点论述高速精密冲压技术概况、电机铁心件高速精密冲压技术、换热器翅片高速精密冲压技术、引线框架高速精密冲压技术、电连接器高速精密冲压技术、微薄件高速精密冲压技术、高效精密压力机和自动化周边设备及检测仪器。

第1章由宁波鸿达电机模具有限公司张顺福、无锡华晶利达电子有限公司陈奉明、中国锻压协会宋拥政撰写，第2章由宁波鸿达电机模具有限公司李宪平、邓卫国、王健撰写，第3章由黄山三佳谊华精密机械有限公司储杰、李文霞、金铁军撰写，第4章由无锡华晶利达电子有限公司陈奉明撰写，第5章由杭州嘉力讯电子科技有限公司黄益健、刘江淮和昆山嘉华电子有限公司殷黎明、李学军、蒋宏湘撰写，第6章由苏州和林精密科技有限公司孙维军、钱晓晨撰写，第7章由徐州锻压机床厂集团有限公司柯尊芒、鹿新建、秦剑和扬州锻压机床股份有限公司何灿焜撰写，第8章由柯尊芒、鹿新建、闵建成和扬锻股份公司张庆飞、赵宏松撰写。全书由中国锻压协会宋拥政审定和统稿。

在此谨向参与本书编撰的全体专家、工程技术人员和出版工作人员表示衷心感谢！

本书在编撰过程中得到了参编企业的大力支持。宁波鸿达电机模具有限公司和徐州锻压机床厂集团有限公司，协助中国锻压协会举办过三次编写会议；参编企业积极响应并支持中国锻压协会和“冲压技术丛书”编委会的倡议，予以出版赞助。在此亦谨向这些参编企业的负责人宁波鸿达公司宋红杰、徐锻集团康磊、扬锻股份公司董宏斌、杭州嘉力讯公司杨苏杭、三佳谊华公司吴建军、苏州和林公司骆兴顺、昆山嘉华公司周芝福表示衷心感谢！

编 者

# 目 录

丛书序一

丛书序二

前言

第1章 概论	1
1.1 高速精密冲压的应用与分类	1
1.1.1 高速精密冲压技术特点与应用领域	1
1.1.2 高速精密冲压的定义与划分	1
1.1.3 高速精密冲压的演变	2
1.2 冲压件的特点及高速精密冲压件分类	3
1.2.1 冲压件的特点	3
1.2.2 高速精密冲压件分类	3
1.3 高速精密冲压件的技术特点与生产模式	4
1.3.1 高速精密冲压件的技术特点	4
1.3.2 高速精密冲压件的生产模式	5
1.4 高速精密冲压件的材料	5
1.4.1 高速精密冲压件对材料的要求	5
1.4.2 常用材料的种类、性能及技术条件	5
1.4.3 高速精密冲压材料的选用	6
1.5 高速精密冲压工艺及其发展趋势	6
1.5.1 高速精密冲压工艺类型	6
1.5.2 高速精密冲压工艺发展趋势	7
1.6 高速精密冲压模具及其发展趋势	7
1.6.1 高速精密冲压模具分类	7
1.6.2 系列化柔性化模具	8
1.6.3 冲压模具的安全性	8
1.6.4 多工位与多功能冲压模具的现状、差距及发展趋势	9
1.7 高速精密冲压装备	12
1.7.1 高速精密冲压装备的类型	12
1.7.2 高速精密冲压装备的发展	12

1.8 高速精密冲压生产技术的现状与展望	13
1.8.1 典型的高速精密冲压生产概况	13
1.8.2 高速精密冲压技术展望	14
参考文献	15

第2章 电机铁心高速精密冲压技术	16
2.1 概述	16
2.2 电机铁心冲压件分类	16
2.2.1 变压器铁心	16
2.2.2 电动机铁心	17
2.2.3 电机铁心件分类标准	17
2.2.4 各类电机及其典型铁心件(冲片)	19
2.3 电机铁心材料	22
2.3.1 硅钢片的主要特点和分类	22
2.3.2 无取向硅钢片	23
2.3.3 冷轧取向硅钢	25
2.3.4 热轧取向硅钢	28
2.3.5 工作频率与选用的钢带厚度	29
2.4 电机铁心冲压新工艺与自动叠铆模具	29
2.4.1 铁心冲压工艺及其冲压模具的发展	30
2.4.2 电机铁心冲压新工艺	30
2.4.3 电机铁心自动叠铆级进模	33
2.4.4 电机铁心级进模具材料	36
2.5 精密电机铁心冲压件使用设备	48
2.5.1 纵剪开料与卷料堆放	48

2.5.2 国内外高速精密压力机主要参数 .....	49	3.5.3 换热器翅片高速冲压模具材料 .....	90
2.6 精密电机铁心级进冲压排样设计 .....	51	3.5.4 换热器翅片高速冲压模具的设计 .....	92
2.6.1 精密电机铁心冲压件技术要求 .....	51	3.5.5 换热器翅片高速冲压模具的制造 .....	98
2.6.2 精密电机铁心冲裁工艺性要求 .....	52	3.5.6 模具监测和保护装置 .....	99
2.6.3 精密电机冲片(铁心)级进模排样 .....	53	3.5.7 翅片高速冲压模具的使用与维护 .....	99
2.7 精密电机铁心冲压生产 .....	59	3.5.8 翅片高速冲压模具的发展趋势 .....	102
2.7.1 铁心冲压工作流程 .....	59	3.6 翅片专用高速精密冲压设备 .....	102
2.7.2 冲片、铁心的检测 .....	61	3.7 高速精密冲压典型生产实例 .....	104
2.7.3 料头对焊 .....	62	3.7.1 空调换热器翅片生产实例 .....	104
2.7.4 模具刃磨工作流程 .....	62	3.7.2 工业换热器翅片生产实例( $\phi 15.3 \times 12R \times 2P$ 铜翅片高速精密级进模具) .....	119
2.7.5 刃磨试模后线要求 .....	65	参考文献 .....	123
参考文献 .....	65		
<b>第3章 换热器翅片高速精密冲压技术</b> .....	67	<b>第4章 引线框架高速精密冲压技术</b> .....	124
3.1 概述 .....	67	4.1 概述 .....	124
3.2 换热器翅片冲压件 .....	67	4.1.1 引线框架的定义 .....	124
3.2.1 换热器翅片的基本形状与技术要求 .....	67	4.1.2 引线框架的技术特点和生产模式 .....	124
3.2.2 换热器翅片的主要规格及分类 .....	69	4.1.3 引线框架冲压生产的主要装备 .....	125
3.2.3 换热器翅片的结构特点 .....	70	4.1.4 引线框架的特点和分类 .....	127
3.2.4 冲压工艺分析与难点 .....	71	4.1.5 典型的冲压引线框架分析 .....	128
3.3 换热器翅片冲压材料 .....	72	4.1.6 引线框架发展趋势 .....	128
3.3.1 换热器翅片冲压材料特点 .....	72	4.2 引线框架材料 .....	129
3.3.2 换热器翅片冲压材料分类及技术要求 .....	72	4.2.1 引线框架材料的特点 .....	129
3.3.3 换热器翅片典型材料的性能 .....	75	4.2.2 引线框架材料的分类 .....	131
3.3.4 换热器翅片冲压材料国产化情况 .....	77	4.2.3 引线框架材料的国产化 .....	134
3.3.5 换热器翅片冲压材料的发展趋势 .....	77	4.2.4 引线框架材料的发展趋势 .....	135
3.4 换热器翅片高速精密冲压典型工艺 .....	78	4.3 引线框架高速精密冲压工艺 .....	136
3.4.1 换热器翅片拉深工艺 .....	78	4.3.1 引线框架冲裁工艺 .....	136
3.4.2 换热器翅片冲裁工艺 .....	80	4.3.2 引线框架压印工艺 .....	138
3.4.3 换热器翅片翻边工艺 .....	80	4.4 引线框架冲压生产对模具的要求 .....	138
3.4.4 压波形及压花边弯曲工艺 .....	82	4.4.1 引线框架对模具的要求 .....	138
3.5 换热器翅片高速精密冲压模具 .....	82	4.4.2 引线框架材料对模具的要求 .....	139
3.5.1 换热器翅片对模具的要求 .....	82	4.5 引线框架高速精密冲压模具材料 .....	141
3.5.2 换热器翅片冲压模具的分类与结构 .....	84	4.5.1 对高速精密冲压模具材料的要求 .....	141
		4.5.2 高速精密冲压模具的材料与性能 .....	141

4.6 引线框架高速精密冲压模具的设计与制造 .....	142	5.5.3 冲压工艺对模具的要求 .....	174
4.6.1 引线框架高速精密冲压模具设计 .....	142	5.5.4 模具与设备的关系 .....	175
4.6.2 引线框架高速精密冲压模具制造 .....	146	5.6 电连接器高速精密冲压模具的典型结构 .....	175
4.7 模具监测和保护装置 .....	146	5.7 电连接器高速精密冲压模具的材料 .....	177
4.8 高速精密冲压模具的使用与维护 .....	147	5.8 电连接器高速精密冲压模具的设计与制造 .....	178
4.8.1 模具的安装与使用 .....	147	5.8.1 模具设计 .....	178
4.8.2 模具维护的要领 .....	148	5.8.2 模具制造 .....	180
4.8.3 模具常见故障的排除 .....	149	5.9 电连接器冲压模具的监测和保护装置 .....	182
4.9 引线框架高速精密冲压模具的发展趋势 .....	152	5.10 高速精密冲压模具的使用与维护 .....	183
4.10 引线框架高速精密冲压典型生产实例 .....	153	5.10.1 模具使用 .....	183
4.11 引线框架高速精密冲压发展趋势 .....	157	5.10.2 模具维护 .....	183
参考文献 .....	159	5.10.3 常见故障的排除 .....	184
<b>第5章 电连接器高速精密冲压技术</b> .....	<b>160</b>	5.11 电连接器高速精密冲压典型生产实例 .....	185
5.1 概述 .....	160	5.11.1 典型外壳件 .....	185
5.1.1 电连接器的定义 .....	160	5.11.2 端子1 .....	186
5.1.2 电连接器的技术要求和生产方式 .....	160	5.11.3 端子2 .....	187
5.1.3 电连接器冲压生产流程 .....	161	5.11.4 焊接固定片 .....	188
5.2 电连接器的特点及分类 .....	161	5.12 精密端子冲裁连续模设计实例 .....	188
5.2.1 电连接器的特点 .....	161	5.13 电连接器高速精密冲压发展趋势 .....	192
5.2.2 电连接器的分类 .....	162	参考文献 .....	193
5.2.3 电连接器的基本性能 .....	162	<b>第6章 微薄件高速精密冲压技术</b> .....	<b>194</b>
5.2.4 电连接器冲压件的演变 .....	163	6.1 概述 .....	194
5.2.5 电连接器的发展趋势 .....	164	6.1.1 微薄化成形的技术发展 .....	194
5.3 电连接器冲压件材料 .....	164	6.1.2 微成形工艺 .....	195
5.3.1 电连接器冲压件材料特点 .....	164	6.1.3 微成形模具及设备 .....	195
5.3.2 电连接器冲压件典型材料 .....	165	6.2 微成形件的种类及特点 .....	196
5.3.3 电连接器冲压件材料国产化 .....	169	6.2.1 注射类 .....	196
5.4 电连接器高速精密冲压典型工艺 .....	170	6.2.2 声学类 .....	197
5.4.1 高速精密冲裁工艺 .....	170	6.2.3 摄像类 .....	197
5.4.2 高速精密弯曲工艺 .....	171	6.2.4 信号传输类 .....	198
5.4.3 高速精密压印工艺 .....	173	6.2.5 微电动机铁心类 .....	198
5.4.4 拉深与翻边结合工艺 .....	173	6.3 微薄冲压件材料 .....	198
5.5 电连接器高速精密冲压对模具的要求 .....	174	6.3.1 对冲压材料的要求 .....	198
5.5.1 电连接器对模具的要求 .....	174	6.3.2 材料特点 .....	199
5.5.2 冲压材料对模具的要求 .....	174	6.3.3 材料的冲压成形性能 .....	199
		6.3.4 典型材料铍青铜的性能 .....	200
		6.3.5 新型冲压箔材 .....	201

6.4 微薄材料冲压工艺机理 .....	202	7.1.1 高速精密冲压工艺对设备的 要求 .....	216
6.4.1 冲裁工艺 .....	202	7.1.2 设备类型及其特点 .....	218
6.4.2 微弯曲工艺 .....	203	7.1.3 主要部件及其特点 .....	227
6.4.3 拉深工艺 .....	204	7.1.4 高速压力机发展趋势 .....	246
6.4.4 微超塑成形工艺 .....	204	7.2 快速压力机 .....	250
6.4.5 纳米压印工艺 .....	205	7.2.1 快速压力机的应用领域 .....	250
6.4.6 其他微成形工艺 .....	205	7.2.2 快速精密冲压对设备的 要求 .....	251
6.5 冲压件和压力机与模具的关系 .....	205	7.2.3 设备类型及特点 .....	251
6.5.1 微薄冲压件与其成形模具的关系 .....	205	7.2.4 主要部件及其特点 .....	256
6.5.2 微薄件成形模具设计要点 .....	205	7.2.5 快速压力机的发展趋势 .....	259
6.5.3 微薄件模具与设备的关系 .....	206	7.3 高效精密压力机的使用与维护 .....	259
6.6 微薄件冲压模具的类型与结构 .....	206	7.3.1 使用 .....	259
6.6.1 微薄件模具类型 .....	206	7.3.2 维护 .....	263
6.6.2 微薄件模具结构 .....	207	参考文献 .....	265
6.7 微薄件冲压模具材料 .....	209	第8章 自动化周边设备及检测仪器 .....	267
6.7.1 模具材料分类 .....	209	8.1 自动化周边设备简介 .....	267
6.7.2 模具材料性能 .....	209	8.1.1 料架 .....	268
6.8 微薄件冲压模具的设计与制造 .....	210	8.1.2 裁焊机 .....	270
6.8.1 微薄件模具设计 .....	210	8.1.3 校平机 .....	270
6.8.2 微薄件模具制造 .....	211	8.1.4 送料机 .....	273
6.9 模具监测和保护装置 .....	211	8.1.5 三合一送料机 .....	280
6.10 模具的使用与维护 .....	211	8.1.6 给油机 .....	281
6.10.1 模具的使用 .....	211	8.1.7 负压吸废料装置 .....	281
6.10.2 模具的维护 .....	212	8.1.8 收料装置 .....	282
6.10.3 常见故障的排除 .....	212	8.2 检测仪器 .....	284
6.11 典型微成形件生产实例 .....	213	8.2.1 下死点检测仪 .....	284
6.11.1 工艺方案与模具 .....	213	8.2.2 废料上跳检测仪 .....	285
6.11.2 流量控制器模具设计 .....	213	8.2.3 送进错误检测仪 .....	286
6.11.3 流量控制器冲压生产 .....	214	参考文献 .....	286
参考文献 .....	215		
第7章 高效精密压力机 .....	216		
7.1 高速压力机 .....	216		

# 第1章 概论

高速精密冲压技术是机械、电子、材料、自动化、计算机、精密检测、信息网络和管理技术等多学科、多领域、多种高新技术的综合集成,是现代冲压生产的先进制造技术。应用高速精密冲压技术进行制品的批量化冲压生产,具有高生产率、高质量、高精度、节能降耗、减少人工、降低成本和安全生产的特点。在现代制造业中,特别是在当今快速发展的市场经济下的冲压制造业中,高速精密冲压技术与生产占据着十分重要的地位,代表着冲压技术与生产的发展方向之一。

## 1.1 高速精密冲压的应用与分类

### 1.1.1 高速精密冲压技术特点与应用领域

高速精密冲压是基于板材、设备和模具来冲压制件,主要由高速压力机及辅机、精密冲压模具和良好的卷料三个基本要素构成。高速精密冲压生产技术具有生产效率高、质量好、成本低、机械自动化、生产批量化、节材节能等特点,主要用于制造电机、电器、电子、仪器、仪表、器械、家电等产品的冲压件,广泛用于机械、电子、汽车、通信、军工、轻工等行业,在轨道交通、航空航天、新能源等行业的应用也日渐广泛。

### 1.1.2 高速精密冲压的定义与划分

随着电子通信、电机电器、汽车和家电行业等产品技术的迅速发展,对精密冲压件的需求量越来越大,技术要求越来越高,应用范围越来越广。因此在大量和超大量生产中,普通压力机已不能满足生产和技术要求,而采用高速精密压力机进行高速度、自动化、连续冲压是提高生产效率的有效途径。高速精密压力机滑块每分钟的行程次数比同规格普通压力机高达5倍以上,使用高速精密压力机,不仅可获得高精度和高表面质量的冲压件,而且可延长模具的使用寿命。

近年来,冲压技术不断向高速化、精密化和智能化方向发展,推进了高速压力机的发展,涌现出了许多高速和超高速压力机,如德国拉斯特公司、美国明斯特公司、瑞士布鲁德尔公司、德国舒勒公司等研制的小吨位高速精密压力机,滑块行程次数均达2000次/min;日本能率电产京利公司研制的小吨位高速精密压力机滑块行程次数可达到3000次/min和4000次/min,并在满负荷状态下也可达到日本国家标准(JIS)中的特级精度要求。这标志着高速精密压力机已发展到超高速、超精密技术阶段。高速精密冲压是一个相对概念,很难用简单的数字进行划分。目前国际上对高速冲压的速度范围尚未作明确定义,通常把滑块行

程次数比普通压力机高 5 ~ 10 倍的统称为高速精密冲压。

日本有些公司对 600kN 以下的小型高速精密压力机按行程次数分为四个速度等级：常速（ $\leq 250$  次/min），次高速（ $> 250 \sim 400$  次/min），高速（ $> 400 \sim 1000$  次/min）和超高速（ $\geq 1000$  次/min）。

国内在由徐州锻压机床厂集团有限公司（简称徐锻集团）和济南铸造锻压机械研究所有限公司（简称济南铸锻所）共同起草的《闭式高速精密压力机技术条件》中，按公称力和滑块行程次数对高速压力机进行了划分（见表 1-1）。

表 1-1 高速压力机划分

公称力/kN	$\leq 800$	$> 800 \sim 3150$	$> 3150 \sim 6300$	$> 6300$
滑块行程次数/(次/min)	$\geq 400$	$\geq 300$	$\geq 200$	$\geq 100$

目前实际使用的滑块行程次数为：微电机定转子 200 ~ 400 次/min；集成电路引线框架 300 ~ 500 次/min；接插件端子 800 ~ 1300 次/min；金属薄片冲裁 1500 ~ 2500 次/min。

大吨位的高速精密压力机与普通压力机一样，滑块每分钟行程次数也低些。如 3000kN 的大型高速精密压力机，行程次数一般为 100 ~ 400 次/min。再如 1000kN 的翅片高速精密压力机，行程次数一般为 150 ~ 250 次/min。

大量实验数据表明，大吨位高速精密压力机当滑块行程次数高达 500 次/min 时，压力机运行中的不平衡现象明显增加，出现剧烈晃动，滑块下死点动态性能恶化。作为高速精密压力机生产线，还必须解决卷料质量、送料精度、模具性能与寿命、设备的刚度和精度、故障的自动监控、振动与噪声以及润滑系统等一系列技术问题。因此高速精密压力机选用合理的滑块行程次数非常关键。

### 1.1.3 高速精密冲压的演变

冲压主要是按工艺分类，可分为分离工序和成形工序两大类。分离工序也称冲裁，是使工件沿一定轮廓线与板料分离，同时保证分离断面的质量要求。成形工序是使板料在不破坏的条件下发生塑性变形，制成所需形状和尺寸的工件。在实际生产中，常常是多种工序综合应用于一个工件。冲裁、弯曲、剪切、拉深、胀形、旋压、校正是几种主要的冲压工艺。传统的冲压生产都是在普通压力机上进行的。近年来冲压件功能和复杂程度日益增加，对冲压件精度的要求也越来越高，同时人力成本剧增，熟练技工越来越短缺，而低效率生产的普通冲压件，其利润率越来越低，因此，传统的冲压生产方式已不能适应产品和市场的要求。应用自动化、高效率、高稳定性的高速精密冲压技术，在一台压力机上完成多道冲压工序，实现由带料开卷、矫平，从冲裁、成形到精整的全自动冲压，生产更加精密、复杂的工件，从而获得更大的技术附加值，已成为众多企业的不懈追求。

高速精密冲压生产技术是一种集成高速压力机、精密模具、自动化装置、材料、润滑、电控等多方面先进技术的现代生产方式。我国相关行业企业自 20 世纪 80 年代初以来，经过 30 年的引进、消化、吸收与发展，从各环节近乎零起点开始，已取得长足的进步与发展，在整体上达到了中等水平。与先进工业国家相比，国内相关企业还存在一定差距。就高速精密冲压零部件的生产而言，在中低档制品的产能和性价比方面，国内企业具有明显的实力与竞争力。但由于企业技术与装备的起点较低，从业人员技术经验不足等，在高速冲压工艺的

应用与创新等方面还有较大差距。就高速精密冲压装备制造而言,在中低端装备方面已能满足国内需求,但在高端装备的性能、精度、品种和规格等方面,与德国、瑞士、美国、日本等先进工业国家相比,还存在一定差距。我国在快速精密多工位级进模的设计与制造方面已具有相当的水平与实力,但其高端模具与重要的模具材料还依赖进口。在高速精密冲压的箔材方面进行了大量的国产化工作,为降低高速精密冲压件的成本奠定了基础,但在高档箔材的性能、品种等方面,仍有一定差距。

电机、电器、电子等产品的冲压件向高精度、复杂化、超批量、低成本方向的发展,高端冲压产品的不断涌现及各种新材料的广泛应用,将不断推动高速精密冲压向高速、精密、大型化、微薄化、高效率、集成化、复合化等深层次方向发展。

## 1.2 冲压件的特点及高速精密冲压件分类

### 1.2.1 冲压件的特点

冲压件是靠压力机和模具对板材、带材、管材和型材等施加外力,使之产生塑性变形或分离,从而获得所需形状和尺寸的工件。冲压件无处不在,从汽车的车身、底盘、油箱、散热器片,到锅炉容器的壳体、电机的铁心冲片、空调的换热器翅片、电子产品的连接器、半导体引线框架等都是冲压加工的,在仪器仪表、家用电器、自行车、办公器材、生活器皿等产品中也有大量冲压件。

冲压件具有如下特点。

1) 冲压件是在材料消耗不大的前提下,经冲压制造出来的,板料经过塑性变形后,其金属组织结构得到改善和强化,使冲压件强度有所提高。

2) 冲压件的尺寸与模具尺寸一致,具有较高的尺寸精度和较好的互换性,不需要进一步机械加工即可满足一般的装配和使用要求。

3) 冲压可制出其他方法难于制造的带有加强筋、肋、起伏或翻边的工件,提高了工件的结构刚性。

4) 冲压件具有较好的表面质量,外观光滑美观,为表面喷漆、电镀、磷化及其他表面处理提供了理想条件。

5) 冲压件为板材成形,具有材料薄、重量轻、一致性好、材料利用率高等特点。

高速精密冲压件是冲压件中的典型代表,采用高速冲压设备、精密模具和自动化生产模式,工件精度可达微米级,重复精度高、生产效率高,并可冲压出孔窝、凸台等复杂形状,正逐步向高精度、复杂化、微型化方向发展。

### 1.2.2 高速精密冲压件分类

高速精密冲压件按行业、用途和工艺特点一般可分为以下几类。

1) 电机电器铁心冲压件类。

2) 换热器翅片冲压件类。

3) 半导体引线框架冲压件类。

4) 电连接器冲压件类。

5) 汽车零件冲压件类。

- 6) 家电零件冲压件类。
- 7) 五金冲压件类。
- 8) 微成形冲压件类。
- 9) 仪器仪表冲压件类。
- 10) 其他冲压件类。

## 1.3 高速精密冲压件的技术特点与生产模式

### 1.3.1 高速精密冲压件的技术特点

高速精密冲压件种类繁多、生产量大、精度高、形状复杂,使用薄板材料且材料多样。主要类型的高速精密冲压件具有如下技术特点。

定、转子铁心是电机的重要部件,它的质量好坏直接影响到电机的技术性能。传统电机定、转子铁心制造工艺,是用一般冲模冲压出定、转子冲片(散片),经过齐片,再用铆钉铆接、扣片、氩弧焊等方法制成铁心。对于交流电机转子铁心还需用手工扭转出斜槽。步进电动机要求定、转子铁心磁性能和厚度方向均匀,定子铁心和转子铁心冲片之间分别要求旋转一定的角度,如用传统方法制作,效率低,精度很难达到技术要求。随着工业生产技术的不断发展,在电机、电器等技术领域,已广泛采用高速冲压多工位级进模制造自动叠片式结构铁心,如各种微电机的定、转子铁心,及山字形、U字形、小型变压器铁心等。其中定、转子铁心还可带扭转叠斜槽,冲片之间带大角度回转叠铆结构等。与普通冲模相比,多工位级进模具有冲压精度高、生产效率高、使用寿命长、所冲压铁心尺寸精度一致性好、容易实现自动化、适合大批量生产等优点,是微电机行业精密模具发展的方向。

电子冲压件种类最多,结构也最为复杂。电子类冲压件一般精度要求都比较高,同时还要求冲压材料厚度精确、均匀,表面光洁,无斑、无疤、无擦伤、无表面裂纹等,材料的屈服强度均匀、无明显方向性、均匀伸长率高、加工硬化性低。

换热器翅片是指换热装置中进行热传递的金属片,增大换热装置的换热表面积,可提高换热效率。换热器翅片年产量达数亿件,其材料通常为0.08~0.20mm厚的铝箔,因此必须采用高速级进模生产。

半导体引线框架是半导体芯片的载体,扮演半导体器件与印制电路板(PCB)之间的接口角色。其显著的特点是:表面质量、形状精度、形位精度、积累误差、外观特性等要求,是所有冲压件中最高的。尤其是其内引线的形状,基本上都像是螃蟹脚状细而长的悬臂,有别于常规的冲压工艺性。

电连接器种类繁多,应用领域广泛,其中所包含的冲压件更是形态多样,一般有以下几个特点。

(1) 可靠度高 由于是子系统之间的电信号连接,要求在使用恶劣条件下仍能够保持可靠度,如冲击、振动、应力松弛、环境腐蚀等。一般会进行电镀处理来保证耐腐蚀性。

(2) 精度要求高 常规民用产品连接器冲压件,一般冲裁精度在 $\pm 0.03\text{mm}$ 以内,折弯精度在 $\pm 0.05\text{mm}$ 以内,而高等级冲裁精度要求 $\pm 0.01\text{mm}$ ,折弯在 $\pm 0.02\text{mm}$ 以内。

微成形冲压件主要有薄板的微拉深、增量成形、微冲裁和微弯曲等微冲压方法。与传统

冲压工艺相比,虽然过程相同,但微冲压并不是传统冲压形状的简单缩小。

随着成形零件尺寸缩小,微冲压具有以下的特点。

- 1) 其表面积和体积之比增大,从而影响到温度条件。
- 2) 零件尺寸越小,工模具之间的黏附力和表面张力的影响越大。
- 3) 晶粒尺度的影响很显著,不再像传统的成形那样,被看成同性的均匀连续体。
- 4) 当产品的宽度尺寸和板厚相当时,很高的应变速率会影响到材料的塑性和微观组织,特别是晶粒尺寸和典型的工件尺寸。
- 5) 零件的尺寸越小,闭式的润滑坑面积占总润滑面积的比例缩小,工件表面存储润滑剂越困难。

五金冲压件广泛应用在我们熟知的各个领域,包括一些电子器件、汽车配件、装饰材料、仪器仪表等。五金冲压件具有薄、匀、轻、小、强的特点。由于五金冲压件为大家所熟知,在此不再赘述。

### 1.3.2 高速精密冲压件的生产模式

高速精密冲压件均以高速精密压力机生产线和多工位硬质合金级进模作为主要工艺手段实施量产,其中也包含冲裁、拉深、弯曲、翻边、铆接等工序复合的级进模具。材料多为卷状带料,由自动放料架自动放料,一般需经校平机矫平。经过矫平的材料由高速压力机附属送料机进行自动送料。为改善冲压性能,材料表面需浸或喷冲压油,选择冲压油同时需要评估后工序的需要。制件一般由收料机卷盘自动包装,制件加层间纸或塑料薄膜,或由传送带直接送入集料器。部分冲压件需进行后处理,如清洗、电镀等。绝大多数高速精密冲压件以单机自动化生产,个别复杂制件采用多机自动生产线。

## 1.4 高速精密冲压件的材料

### 1.4.1 高速精密冲压件对材料的要求

为了适应高速精密冲压件加工,需采用卷料,卷料的厚度公差、宽度公差、表面质量等应符合国家规定的标准。不同的冲压件对材料的力学性能、物理性能、工艺性能等提出了不同要求。除此之外,对材料纵剪成带料的精度与毛刺、材料利用率及合理的冲裁间隙等均有相关要求。

### 1.4.2 常用材料的种类、性能及技术条件

高速精密冲压生产中最常用的材料是金属材料(包括黑色金属和有色金属)。其中黑色金属主要有普通碳素结构钢、优质碳素结构钢、合金结构钢、碳素工具钢、不锈钢、电工硅钢片等;有色金属主要有纯铜、黄铜、青铜、铜合金、铝等。材料的供应状态一般是各种规格的卷料。关于各种材料的牌号、规格和性能,可查阅有关手册和标准。高速精密冲压件使用的原材料应符合产品图样的要求,应具备质保书或理化试验报告单,保证材料符合标准规定的技术要求,当无质量证明书或其他原因时,应委托有资质的第三方机构进行理化试验。除冲切断面外,高速精密冲压件表面状况的要求与所用材料一致,在成形过程中允许有轻微的拉深纹和较小的表面不平度。

### 1.4.3 高速精密冲压材料的选用

#### 1. 材料选用应考虑的因素

高速精密冲压件应根据冲压类别和产品零件使用的性能要求等选用具有不同力学性能和电性能的材料。通过对各种材料技术指标的比较与工艺性分析、工艺试验及工艺验证,选用冲压性能较好的材料,并在保证产品质量和冲压性能的基础上,选用价格较低的材料,达到既能确保产品零件的使用性能,又能满足冲压工艺要求,同时降低产品成本的目的。据统计,冲压件材料成本约占整个零件成本的70%左右,因此,合理选用冲压材料至关重要。

#### 2. 冲压工艺性对材料的要求

冲压工艺性对材料的要求不仅要满足冲压件的强度与刚度要求,还应该有良好的冲压性能,因为每一种材料都有其与冲压性能密切相关的力学性能特征值。实践证明,一个冲压件能否顺利和高质量地完成,直接取决于材料的冲压性能。冲压加工是一种冷成形方法,与热成形相比,存在冷作硬化效应,应充分利用这一特性。此外,冷成形还存在回弹现象,应要求材料具有良好的塑性和塑性变形的稳定性。

#### 3. 材料性能对工艺选择的影响

材料性能是指材料对各种冲压方法的适应能力。材料性能对工艺选择的影响主要是:

(1) 材料的塑性 在冲压过程中,当变形超过材料成形极限时会引起破裂,塑性好的材料允许的成形极限范围较大,因此要求材料具有良好的塑性和塑性变形的稳定性。

(2) 材料的抗压失稳起皱能力 冲压过程中材料主要受压应力作用时,容易产生失稳起皱,因此要求材料具有良好的抗压、抗失稳起皱能力。

(3) 材料的表面质量 材料应具有良好的表面质量,即材料表面应光泽、清洁、平整和无锈蚀等,不允许有任何影响使用的缺陷。材料表面缺陷在冲压加工时会影响工艺性能、制件质量和模具使用寿命。

## 1.5 高速精密冲压工艺及其发展趋势

### 1.5.1 高速精密冲压工艺类型

#### 1. 连续冲压工艺

在压力机一次冲压行程中,原材料在模具的不同工位上同时完成多道冲压工序,称为连续冲压工艺。其特点是自动化程度高,生产效率高。

#### 2. 单序冲压工艺

在压力机一次冲压行程中,仅完成一道冲压工序,称为单序冲压工艺。其特点是冲压方式简便,适用于小批量生产。

#### 3. 复合成形工艺

利用压力机的一次行程,在模具的同一位置上完成两道以上的冲压工序,称为复合冲模工艺。该工艺能保证产品具有较高的精度和平整性。

#### 4. 微薄成形工艺

在金属薄板的微薄成形方面,主要有薄板的微拉深、增量成形、微冲裁和微弯曲等微冲压方法。与传统冲压工艺相比,虽然过程相同,但微冲压并不是传统冲压形状的简单缩小。

### 1.5.2 高速精密冲压工艺发展趋势

#### 1. 高精度

现代制造对产品的尺寸精度、几何精度和表面质量要求越来越高,从而导致了高速精密冲压工艺技术向高精度发展。如换热器翅片的孔径尺寸公差要求达 $0.02\text{mm}$ ,集成电路引线框架的平面度公差要求在 $0.05\text{mm}$ 以内,电子枪G5底的变薄拉深精度为 $0.01\text{mm}$ ,表面质量要求零缺陷,电机铁心的同轴度公差要求为 $0.03\text{mm}$ ,电连接器的部分尺寸公差高达 $5\mu\text{m}$ 等,这些都促使高速精密冲压工艺的发展进入了高精度阶段,并已逐步接近冲压精度和表面质量的极限。

#### 2. 高速度

电子工业的发展对小型电子零件的需求日趋高涨,从而促进了高速精密压力机的发展。目前国际上的小吨位高速精密压力机在 $8\text{mm}$ 行程长度下,滑块行程次数可达 $4000\text{次}/\text{min}$ , $3000\text{kN}$ 的大吨位高速精密压力机在 $30\text{mm}$ 行程长度下,滑块行程次数为 $160\sim 450\text{次}/\text{min}$ 。这表明高速精密冲压技术在向高速和超高速发展。在大吨位 $3000\text{kN}$ 高速压力机上,国内三列电机铁心大型精密冲压模具的行程次数可达 $350\text{次}/\text{min}$ 。能与 $2500\text{次}/\text{min}$ 高速压力机配套的国内连接器精密冲压模具生产厂家还比较少。

#### 3. 复合化

在塑性成形技术的发展过程中,复合化是技术创新的重要途径之一。板料复合冲压成形技术是将板材成形工艺与体积成形工艺或特种成形工艺相结合,达到板材的复合精密成形,具有许多独特的优点。如对不同厚度、形状复杂的工件,可先用冲压方法预成形,再用冷锻方法终成形。用冲压冷锻复合塑性成形,一是原材料价廉容易采购,可以降低生产成本;二是降低单一冷锻所需的大成形力,有利于提高模具寿命。

#### 4. 微细冲压

微细冲压是指微零件成形技术。微零件通常指至少有某一方向的尺寸小于 $100\mu\text{m}$ 。微细冲压技术用于制作微型机器人、微型飞机、微型卫星、卫星陀螺、微型泵、微型仪器仪表、微型传感器、集成电路等的微薄成形件。有资料表明,国外已经开发的微冲压力机长 $111\text{mm}$ ,宽 $62\text{mm}$ ,高 $170\text{mm}$ ,装有一个交流伺服电动机,可产生 $3\text{kN}$ 的压力。该压力机装有连续冲压模,能实现冲裁和弯曲等。

#### 5. 智能冲压

智能冲压是冲压技术发展的必然趋势,也是冲压成形过程自动化、柔性化加工系统等新技术的更高阶段。它能根据被加工对象的特性,利用易于监控的物理量,在线识别材料的性能参数和预测最优的工艺参数,并自动以最优的工艺参数对材料完成冲压成形。典型的智能化控制的四要素为:实时监控、在线识别、在线预测、实时控制加工。

## 1.6 高速精密冲压模具及其发展趋势

### 1.6.1 高速精密冲压模具分类

- 1) 按模具规格分类:可分为微型、小型、中型、大型和超大型。
- 2) 按工艺用途分类:可分为冲裁模、弯曲模、拉深模、成形模等。

- 3) 按材料成分分类: 可分为工具钢模、硬质合金模等。
- 4) 按完成工序数分类: 可分为单工序模具、多工位级进模具、复合工序模具等。

### 1.6.2 系列化柔性化模具

- 1) 板料成形模具: 使板料发生局部的塑性变形, 按凸模与凹模的形状进行塑性加工成形的模具。
- 2) 组合模具: 通过模具零件的拆装组合, 以完成不同冲压工序或冲压不同制件的模具。
- 3) 微成形模具: 随着工业产品的功能集成化和外形小型化或局部微型化, 使零部件的尺寸日趋微小。冲压加工微薄件的模具称微成形模具。

### 1.6.3 冲压模具的安全性

#### 1. 中小型冲模的安全措施

模具的几何中心与压力中心应一致或在规定范围内。

模具重量 50kg 以下设两只起吊螺栓, 50kg 以上设 4 只起吊螺栓。模具紧固件必须选用优质高强度的标准件, 以确保紧固精度与可靠性。

模具的限程柱和限位块等装置, 需保证冲压工作的最佳行程, 在工作状态下, 导柱、导套不应相互脱离。

细长和微小凸模必须加护套, 预防折断。为防止顶板、顶杆等零件损坏落在危险区域, 应采用防松螺母等安全保护措施。

模具应有防止误送监测装置, 当出现带料误送和故障时, 压力机可即刻停止, 防止模具损坏及其他意外事故。

设置模具润滑和冷却装置, 减少磨损和发热变形对模具精度和寿命的影响。

模具外形轮廓非工作零件必须倒钝, 以免造成伤害。模具制造装配、安装调试、生产使用和维护等全过程必须去磁性、清洁和状态良好, 确保在安全的前提下满足高速精密冲压生产。

#### 2. 大型冲模的安全措施

为保证大型冲模零部件加工、周转、装配, 以及安装调试、生产使用和维护等过程的起吊安全, 必须设置模具起吊装置, 起吊螺栓的强度应能承受整套模具重量并有一定的保险系数, 确保各个环节的吊运安全。

模具几何中心应与压力机中心相一致或在压力机允许的偏载范围内。设计时应应对模具的冲裁力、卸料力、推件力等进行计算, 要有一定的安全系数, 确保模具在批量冲压生产过程中的可靠性与稳定性。

模具必须设置防误送监测装置和条料定位检测装置。出现带料误送和定位误差等故障时, 压力机可及时停止, 以防模具损坏和发生事故。

大型冲模应去磁性、清洁、倒钝, 采取与中小型冲模类似的安全保护措施。此外, 大型模具应提供模具技术参数表、模具装配图和模具使用说明书等有关文件, 其中包括模具安装位置图与安装要领、模具使用与润滑要求、模具常见冲压异常现象及对策、故障原因分析与处理, 以及模具维护与刃磨等内容。

#### 1.6.4 多工位与多功能冲压模具的现状、差距及发展趋势

近年来,我国模具产销量持续攀升,民营模具企业不断涌现,国外著名企业和资本的进入更是促进了模具行业的快速发展,我国已成为名副其实的模具生产大国。冲压模具占模具生产总量的40%左右,覆盖电子、通信、汽车、机械、电机电器、仪器仪表和家电等行业。在新能源设备、自动化装备、医疗器械、航空航天、节能减排等产品领域冲模的发展势头强劲,并已成为模具行业新的增长点。从模具产需情况看,中低档模具已完全实现自给,还供过于求,而以大型、精密、高效、高性能模具为主要代表的高技术含量模具的自给率还较低,只有60%左右,有很大一部分仍然依靠进口,因此我国还不是一个模具强国。提升我国模具企业的整体技术水平,提升企业的核心竞争力,促进模具产业结构优化,仍是我国模具行业的当务之急。

冲压模具主要包括多工位与多功能冲压模具、汽车覆盖件模具和精冲模具等。在此仅对精密多工位与多功能冲压模具阐述其现状与发展。

##### 1. 多工位与多功能冲压模具现状

多工位与多功能冲压模具主要有精密多工位级进模、精密多工位冲压传递模、复杂精密多功能冲压模具等。其中精密多功能级进模主要包括电机铁心硅钢片级进模、换热器翅片级进模、集成电路引线框架级进模、电子连接器级进模、彩管电子枪零件级进模、汽车零件级进模、家电零件级进模等。

受国内市场产品档次提升的推动,我国的先进多工位与多功能冲压模具的总体技术水平得以提升,特别是产量最大的高速精密多工位级进模,在技术水平、制造精度、使用寿命和制造周期等方面均有明显进步,其中一部分高档优质模具的总体性能已接近或达到国际同类模具先进水平,多工位级进模具基本达到国外同类模具先进水平。如电机铁心片级进模冲压件的尺寸公差达到 $1\mu\text{m}$ ,步距公差达到 $3\mu\text{m}$ ,回转公差 $1\mu\text{m}$ ,表面粗糙度值 $R_a$ 为 $0\sim 10\mu\text{m}$ 。模具在高速压力机上使用,具有自动冲压、叠片、扭槽、分组、回转等功能,自动叠片铁心组合的厚度可达到100mm以上,铁心组合的外径可达200mm左右,模具寿命达2亿冲次以上。

换热器翅片级进模制造精度达 $1\mu\text{m}$ ,模具的冲裁间隙为 $10\sim 15\mu\text{m}$ ,用于高速冲压,包括拉深、冲孔、变薄拉深、百叶窗成形、翻边、异形切、边切、纵切、拉料、横切等工位。刃口备件可互换,模具使用寿命达3亿冲次以上。研发的一次冲出12列、24列、36列、48列、60列、72列、76列翅片的高档次级进模,其总体功能已达到国际同类模具水平。其中,国内首创能满足5类片形快速切换生产的12列翅片级进模和76列复合型换热器翅片级进模,已接近国际同类模具的先进水平。

集成电路引线框架级进模制造精度达 $1\mu\text{m}$ ,模具的累积误差为 $0.005\text{mm}/1000\text{mm}$ 。作为半导体器件的芯片载体引线框架,引线的脚数多、尺寸小、精度高、形状复杂,冲出的制品在电镀处要求无毛刺。国内研发已作量产使用的引线框架级进模,其引线脚数量最多达64pin,内引线最小间距达 $0.12\text{mm}$ ,排数最多框架已达8排。易损备件可互换。模具用于高速冲压,使用寿命为5000万冲次以上。研发的中低端集成电路及分立器件引线框架级进模,总体功能和质量已接近或达到国际同类模具水平,但64pin以上的高端集成电路引线框架级进模,国内还是空白。

电子连接器级进模的制造精度达  $1\mu\text{m}$ ，步距公差达  $2\mu\text{m}$ ，工位数多达几十个。其冲压件的形状复杂、精度高，尺寸的一致性要求达  $10\mu\text{m}$ 。用于高速冲压，刃口备件可互换，模具使用寿命 2 亿冲次以上。研发的电子连接器、接插件、电刷件、电器端子等高档级进模，其总体功能已接近国际同类模具水平。其中自主研发的微型电子连接器超高速精密级进模，最高冲次达 2000 次/min 以上，模具使用寿命达 3 亿冲次以上。

彩管电子枪零件级进模制造精度达  $2\mu\text{m}$ ，步距公差达  $3\mu\text{m}$ ，含冲切口、展开轮廓、拉深、压筋、切边、翻边、变薄拉深、整形、精冲水孔等工位。冲压材料为厚度  $0.245\text{mm}$  的自动无磁不锈钢带料，经自动冲压成形 G5 底零件，尺寸公差达到  $10\mu\text{m}$ ，变薄拉深的孔径几何公差在  $0.02\text{mm}$  以内，制品外形品质要求零缺陷，用于高速冲压，备件可互换，模具使用寿命 5000 万冲次以上。

汽车零件级进模是近几年出现的特大型级进模，重量为 20t 左右，包含切口、拉深、弯曲、成形、整形、冲孔等多种工序，制品形状复杂、曲面深度起伏大、精度要求高、材料厚、强度高。国内该类模具技术进步很快，模具结构新颖，成形精度迅速提高，部分模具寿命达 100 万冲次以上。

## 2. 与国际先进水平相比的主要差距

近年来，我国先进多工位与多功能冲压模具水平提高较快，模具制造装备技术已达到国际先进水平。模具设计制造水平有了很大的提高，一部分精密、复杂的级进模已进入规模化生产阶段，模具替代进口成效明显，出口逐年递增。但是与国际先进冲压模具相比，仍然存在以下几个方面的差距。

(1) 模具设计制造技术方面 通过多年的引进消化吸收以及模仿创新，我国的多工位与多功能冲压模具设计技术进步显著，制造技术明显提升。但与国际先进水平相比，差距明显。主要体现在创新不够，对很多先进模具的关键设计内涵和技术、制造工艺中的“KNOW HOW”等基础技术、理论及核心技术等掌握不够，导致模具整体水平提升困难，始终处于技术跟进与追踪阶段，若要达到甚至超越国际先进水平，还缺乏相关设计与制造技术的支撑。

(2) 模具寿命方面 由于受模具材料、热处理技术以及制造装配技术等因素影响，我国冲压模具寿命普遍低于国际先进水平，差距在 30% 以上。特别是一次刃磨寿命低，导致模具维护次数增加，降低了冲压生产效率，提高了模具维护成本，进而影响了我国模具的市场竞争力。

(3) 试模技术与模具可靠性方面 试模过程是对模具进行验证、评估和调整的过程，也是模具设计制造问题集中暴露的过程，还是模具设计与制造及人员专业水平的综合反映。而模具的可靠性和稳定性，则是模具设计制造质量的评价基准和模具正常使用的保证。国内对这些相关技术还缺乏大量积累和深入挖掘，在多工位多功能冲压模具的试模以及使用中的调整和维修时间上，比国外先进模具企业要增加 30% 以上。在模具的可靠性和稳定性方面，差距也是显而易见的。

(4) 模具的基础理论与关键技术方面 长期以来，国内对模具设计和制造的实践性非常重视，但对冲压模具的基础理论和技术研究重视不够，加上专业分工不够细化，模具企业大都小而全、大而全，难以形成核心技术竞争力，自有技术及创新能力落后。另外，模具的材料、标准件等基础技术落后，直接影响到国内多工位与多功能冲压模具的整体技术水平。

(5) 新型模具技术及其拓展方面 随着新工艺新产品的不断涌现,国外已从常规单副级进模向多功能组合模、生产线配套组合模具工装、特大型级进模以及微细零件冲压成形模具等方向发展,而国内大多企数仍将重点放在常规单副级进模系列化和产业化方面,还未掌握如特大型高精、超高速冲压、超薄超强和微细型零件成形冲压模具的关键技术,对多功能复合模具还涉及不多。

(6) 模具制造关键设备方面 多工位与多功能冲压模具的关键制造设备,如光学曲线磨床、坐标磨床、成形工具磨床、慢走丝电火花线切割机床等,目前几乎全部依赖进口。近几年国内模具加工机床如线切割、电火花加工机床的性能提升很快,但还不能满足国内模具制造的需要。

(7) 基础零部件和配套件方面 模具的基础零部件和配套件是模具整体快速发展的基本条件,由于热处理、材料、标准件的技术与质量存在一定差距,国内在高档模具的基础零部件和配套件方面还需依赖进口。

### 3. 多工位与多功能冲压模具的发展趋势

模具技术的总体发展趋势是:由提升模具自身品质,向冲压件控形、控性及一体化解决方案方向发展。因此,多领域交叉,多学科融合,以模具为核心提供系统解决方案,将是今后模具发展的主要特征。

多工位与多功能冲压模具的发展方向是:大力推进专业化分工,开展模具设计与制造及其基础理论等的研发工作,自主创新使主要类型的级进模技术达到国际先进水平。

近期多工位与多功能冲压模具发展重点主要是:保持电机铁心级进模、换热器翅片级进模、引线框架级进模、电连接器件级进模等的高水平发展,同时积极发展其他类型的多工位级进模与多功能冲模等,提升多工位与多功能冲压模具的整体水平。另外,冲压件“控形和控性”是模具发展的大方向,首先要解决“控形”技术问题。重点技术的发展方向如下。

(1) 先进冲压模具设计理论、成形机理与技术的系统研究 促进主要类型冲压模具技术基本达到国际先进水平,必须建立完善、先进的冲压模具设计理论与技术体系,以带动冲压模具设计理论与技术的发展。

(2) 冲压模具先进制造工艺及其关键技术研究 我国冲压模具与国际先进水平差距的主要原因之一,就是我国模具企业缺乏制造工艺与技术“KNOW HOW”。为此必须研究先进的模具制造工艺和新技术,构建我国冲压模具制造工艺和技术体系。

(3) 模具的信息化和智能化 模具的信息化和智能化是实现控形和控性的重要手段,是赶超国际模具先进水平的一个重要方面,可以带动一系列模具先进技术的发展,具有重要的战略意义。

(4) 冲压成形的控形和控性理论研究 深入研究冲压成形控形和控性的深层次理论和技术问题,真正实现模具的智能化制造,同时加强对模具的多领域交叉技术研究。

(5) 新型主导冲压工艺与模具技术研究 新型材料给传统的冲压模具和技术带来了很大的挑战,必然导致新工艺的出现,需要新型模具和成形技术支撑。必须针对这些新材料、新工艺,研究模具设计理论和技术,推动模具技术的发展。

(6) 发展绿色模具设计 在模具设计阶段,就将环境保护和减小资源消耗等措施纳入设计中,将可拆卸性、可回收性、可制造性等作为设计目标并行考虑,并保证产品功能、质量、寿命和经济性。用有限元法对板料成形过程进行计算机数值模拟,为优化冲压工艺和模

具设计提供了科学依据,是真正意义上的绿色模具设计。

## 1.7 高速精密冲压装备

### 1.7.1 高速精密冲压装备的类型

高速精密冲压装备包括高速精密冲压设备、自动化周边设备、工装辅具和检测仪器。

高速精密冲压设备有多种类型与系列,以适应和满足不同的冲压生产要求。按机身结构,有开式、闭式、四柱式三种形式;按对滑块的施力点,有单点、双点、三点和四点形式;按公称力和滑块行程次数,分为快速、高速、超高速三种类型;按滑块下死点动态精度,有精密和超精密两种类型;按工艺用途有通用系列和专用系列之分。

自动化周边设备包括:上料开卷装置、校平装置、送料装置、材料润滑装置、出件装置、理件装置、收料装置、其他辅助装置等。

工装辅具包括:模具、夹具、量具、检具、钳工工具、工位器具等。

检测仪器包括:工具显微镜、高度测量仪、微电脑测高仪、投影仪、三坐标测量仪、光学影像仪、高倍影像检测仪,以及力学试验仪、金相分析仪、电性能测试仪器等。

### 1.7.2 高速精密冲压装备的发展

电子工业的发展使小型电子零件的需求日趋高涨,促进了高精度、高效率的高速压力机的发展。目前日本的小型高速压力机技术代表了最高国际水平。日本能率制作所开发的小型高速压力机滑块行程次数达到了3000次/min,在满负载条件下达到了JIS标准中的特级精度要求,标志着高速压力机发展到超高速和超精密阶段。日本电产京利(KYORI)的MACH-100型高速压力机在100kN、8mm行程时,滑块行程次数已达到4000次/min。瑞士布鲁德尔(BRUDERER)公司、德国舒勒(SCHLUEER)公司、美国明斯特(MINSTER)等公司,都是国际上高速压力机技术的杰出代表。国内徐锻集团、扬锻股份、扬力集团、金丰机械、协易机械等公司,都有高速压力机产品。2004年,徐锻集团开发出SH系列SH-25开式高速精密压力机,滑块行程次数达1200次/min。其他还有VH开式系列、JF75G闭式系列高速压力机。这些高速压力机广泛应用于电子和微电子行业,全面提高了电子行业的技术装备水平,替代了大量的进口机床。目前国外还有一些压力机正处在研究和应用的前沿领域,比如伺服压力机和超高速压力机等。以日本小松公司为代表的厂商,已制作出系列化的伺服压力机。伺服压力机与常规压力机相比有明显优势:①滑块行程按需调整,完全消除无效行程,生产效率高;②运行过程中实时调整滑块状态,精确到微米级,下死点精度高;③运行噪声大幅降低,过程振动也大幅减少,模具寿命进一步提高;④可以设定多种滑块工作曲线,包括下死点停留等特殊工作模式,冲压柔性好;⑤无离合器,驱动部件较少,节能效果显著。

精密高速压力机正在向以下几个方面完善。

#### 1. 实施模具监控

为保证冲压的安全性和精确性,对日趋复杂的冲压模具,实施监控至关重要。这利于保证产品质量的稳定性,防止模具和压力机损坏,同时减少停机时间,避免造成经济损失。精密高速压力机除了正常的模具保护装置之外,还另设有保护系统,即在模具的一处或多处通

过传感器测量滑块的下死点(BDC)位置,传感器先测量上模脱料板的距离,然后与输入的极限值进行比较。如果测量值超过设定的极限值,高速压力机在数毫秒内自动停止。这利于保护机床尤其模具,避免因跳屑而受损,还可避免条料误送导致叠料造成的更严重问题等。

## 2. 滑块位置的监测和调节

高速压力机采用涡流传感器系统测定滑块的下死点位置,会自动调节机床和模具在温升过程中发生的位置变化,可使滑块的下死点位置变动保持在0.01mm以内。不管高速压力机在什么样的速度和温度条件下运行,零件质量始终保持稳定的状态。

## 3. 压力机冲裁力的监控

对压力机的冲裁力进行监控,是一项冲压工艺的安全措施。冲裁力监控系统具有记录和储存功能,可储存压力机的最后一次冲压数据,并可根据需要重新调用。这组冲压数据有助于分析造成产品缺陷的原因,也有助于确定合理的滑块行程次数。

## 4. 工艺数据的汇集和管理

压力机的输出信号被输入到各个数据采集系统中,可对相关信息和统计资料加以分析,提出改善冲压生产工艺的可能性方案,从而提高生产效率。

## 5. 送料自动化

高速精密冲压必须自动送料,一般采用轧辊式或夹钳式送料装置。目前国外还出现了滚筒式送料装置,其突出特点是送料不必调节材料厚度,滚筒更换快捷,可缩短换模调试时间,提高设备的灵活性和生产效率。另外,对厚度0.1mm以下的箔带料,其送料导向易致条料误送,冲压次数被迫降低,送料装置离模具越远,问题越大。为此,瑞士布鲁德尔(BRUDERER)公司与日本三共(Sankyo)公司合作开发了专用夹式送料装置,安装于导向架之间,更加接近冲模,解决了带料导向所存在的问题。

# 1.8 高速精密冲压生产技术的现状与展望

## 1.8.1 典型的高速精密冲压生产概况

### 1. 电机铁心高速精密冲压生产概况

铁心是电机产品重要部件,一般由0.35mm、0.5mm厚的硅钢片制成,铁心冲片生产是关键。目前,国内在高速精密冲压铁心冲片和铁心自动叠铆技术方面取得了重大进步。铁心的双列直槽叠铆、双列带扭槽叠铆、三列带扭槽叠铆、带扭槽及回转叠铆、双回转叠铆、双列大回转叠铆,大型外转子铁心带扭槽叠铆、定子铁心半圆组合叠铆、定子铁心多块组合叠铆、长直条定子铁心卷圆组合叠铆等的高速精密冲压生产技术,与国际先进水平相比已毫不逊色。

三列带扭槽叠铆铁心在上述制品中具有典型代表性,其高速精密冲压生产概况如下。

铁心材料为厚0.5mm、宽307.5mm的50W470无取向电工钢带。带料经开卷、S形校平、送料、材料润滑等装置,进入含大型精密级进模的高速压力机生产线内。在压力机滑块高速往复运行中,带料经模具上的自动冲压导正钉孔、转子片叠铆工艺孔、转子片记号孔、转子片计量孔、转子片槽形、转子片台阶孔、转子片叠铆点、转子片内孔、转子片落料叠铆及扭槽、定子片缺口、定子片记号孔、定子片计量孔、定子片槽形、定子片叠铆点、定子片

内孔、定子片落料叠铆等诸多工序,进行多工序交叉连续冲压,一次完成三套定转子铁心制品。铁心自动叠铆厚度 105mm。其中,定子铁心外径  $\phi 110.52_{-0.02}^0$  mm,圆柱度公差 0.01mm,内径  $\phi 56.05_{+0.03}^0$  mm,有 20 个槽形孔,经叠铆而成;转子铁心外径  $\phi 55.1_{-0.02}^0$  mm,有 26 只槽形孔及扭槽,以及内孔和墙面台阶孔等,经叠铆而成。铁心制品在 3000kN 高速精密压力机上生产,冲压次数达 280~320 次/min,在冲压过程中铁心自动输出。

## 2. 换热器翅片高速精密冲压生产概况

换热器翅片是空调产品的主要零件,一般由 0.105mm 厚的铝箔制成。近年来,国内在高速精密冲压换热器翅片技术方面有明显提高。如家用空调换热器翅片、汽车空调换热器翅片、工业空调换热器翅片、整体穿管式空调换热器翅片、新型异型孔空调换热器翅片,以及大型冷库散热器翅片等,这些零件的高速精密冲压技术已接近国际先进水平。

$\phi 5.2\text{mm} \times 72$  列  $\times 2$  步距翅片的高速精密冲压技术具有典型代表性,其生产概况如下。

翅片材料为厚度 0.105mm 的 1000-8H22 铝箔带料,经由料架、过油装置、气动初始送料、进入由高速压力机、大型精密级进模、吸料、集料装置等组成的自动生产线。带料经压料装置、拉深、冲孔、翻边、百叶窗、中部异形切、端部异形切、边切、导正、纵切、送料、横切共 12 个成形工位的连续冲压,一次出 72 列翅片。翅片的片形复杂、精度较高,要求表面光洁、平整,无刮伤、无毛刺,翻边无开裂等。 $\phi 5.2\text{mm} \times 72$  列  $\times 2$  步距翅片在 1000kN 高速精密专用压力机上生产,冲压次数 260 次/min,并在冲压过程中实现一边进料一边取料。

## 3. 引线框架高速精密冲压生产概况

引线框架是半导体芯片上的零件,用于半导体器件与印制电路板之间的接口。其主要特点是种类多、批量大、精度高、形状细小、材料较薄,需要表面局部电镀,外观要求严格等。近几年,随着科技的发展,国内引线框架的高速精密冲压技术水平较以前有了很大提高。如分立器件 TO 系列、SOT 系列、SOD 系列等的引线框架,集成电路 DIP、SOP、QFP 系列等的引线框架,这些零件的冲压生产技术水平,已达到或接近国外同类产品水平。

SSOP-24 集成电路引线框架是典型的高速精密冲压产品,其冲压生产的概况如下。

引线框架材料为牌号 C194,厚度 0.203mm 的铜合金卷料。卷料经由放料架、送料装置、校平装置,进入由高速压力机、精密级进模、卷式收料装置等组成的冲压自动生产线,历经打字、冲压麻点、冲定位孔与锁定孔、冲内引线 A、冲内引线 B、冲内引线 C、冲内引线 D、冲一字形孔、冲外引线 A、冲外引线 B、冲外引线 C、载片分离、精压内引线、校横弯、校外引线、校步距、内引线校平、精整等,共 32 个工位的连续冲压。一次冲出 4 排,每排在  $11\text{mm} \times 9\text{mm}$  的尺寸上冲出 24 条内、外引线脚,内引线的最小间距仅 0.17mm,产品的平面度公差要求控制在 0.05mm 之内。该引线框架在 800kN 高速精密压力机上生产,冲压次数为 500 次/min。

SSOP-24 集成电路引线框架,集微薄化、小间距、多引脚、多排列、高精度、高冲次的技术特点于一体,其冲压生产的总体技术水平已接近国际同类产品的先进水平。

## 1.8.2 高速精密冲压技术展望

在 21 世纪,随着电子信息等高新技术的不断发展和市场需求的个性化与多样化,未来高速精密冲压先进技术的发展,总趋势是向精密化、高速化、数控化、智能化、网络化、集

成化、低碳环保和绿色制造的方向发展。

## 参 考 文 献

- [1] 中国机械工程学会塑性工程学会. 锻压手册第2卷 [M]. 3版. 北京: 机械工业出版社, 2008.

图 1-1-1 锻压加工示意图

锻压加工是指利用锻压机械对金属坯料施加压力，使其产生塑性变形，从而获得具有一定形状、尺寸和力学性能的锻件的加工方法。锻压加工是金属加工的一种重要方法，广泛应用于机械制造、航空航天、船舶制造、汽车制造、冶金工业等领域。锻压加工具有加工精度高、力学性能好、生产效率高、节能环保等优点。随着科学技术的不断进步，锻压加工技术也在不断创新和发展，为现代工业的发展提供了强有力的支撑。

图 1-1-2 锻压加工示意图

锻压加工是指利用锻压机械对金属坯料施加压力，使其产生塑性变形，从而获得具有一定形状、尺寸和力学性能的锻件的加工方法。锻压加工是金属加工的一种重要方法，广泛应用于机械制造、航空航天、船舶制造、汽车制造、冶金工业等领域。

图 1-1-3 锻压加工示意图

锻压加工是指利用锻压机械对金属坯料施加压力，使其产生塑性变形，从而获得具有一定形状、尺寸和力学性能的锻件的加工方法。锻压加工是金属加工的一种重要方法，广泛应用于机械制造、航空航天、船舶制造、汽车制造、冶金工业等领域。



图 1-1-4



图 1-1-5



图 1-1-6



图 1-1-7



图 1-1-8



图 1-1-9

图 1-1-4 图 1-1-5 图 1-1-6 图 1-1-7 图 1-1-8 图 1-1-9

图 1-1-4 图 1-1-5 图 1-1-6 图 1-1-7 图 1-1-8 图 1-1-9

图 1-1-4 图 1-1-5 图 1-1-6 图 1-1-7 图 1-1-8 图 1-1-9

锻压加工是指利用锻压机械对金属坯料施加压力，使其产生塑性变形，从而获得具有一定形状、尺寸和力学性能的锻件的加工方法。锻压加工是金属加工的一种重要方法，广泛应用于机械制造、航空航天、船舶制造、汽车制造、冶金工业等领域。

## 第 2 章 电机铁心高速精密冲压技术

### 2.1 概述

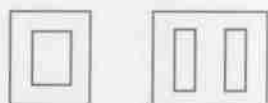
电机的定子铁心和转子铁心是电机的关键零件。在 20 世纪 70 年代,由于冲压装备技术落后,定子铁心和转子铁心的冲压制造需要多套模具和专用工装,标准公差等级仅达 IT11 ~ IT14,不能满足电机的组装精度要求,只能再通过切削加工达到要求的 IT7 或 IT8 级,生产周期长、效率很低。20 世纪 80 年代初,随着家用电器尤其电风扇的普及,为满足快速增长的市场需求,高速精密多工位自动叠压、扭槽级进模和高速冲压生产线被引进中国,使铁心的生产效率大幅增加,标准公差等级达到 IT6 或 IT7,且定子铁心自动叠压成台,转子铁心自动叠压扭槽准确,电机起动性能稳定,国内电机铁心精密冲压件从此产生。自 20 世纪 90 年代末至今,电机铁心精密冲压件已普及应用于各行各业的各类电机,取得了巨大的技术经济效果。

### 2.2 电机铁心冲压件分类

电机品种繁多,总体上可归为两大类:静止电机(如变压器)和旋转电机(如电动机)。由此产生两大类电机铁心:静止电机铁心和旋转电机铁心。

#### 2.2.1 变压器铁心

变压器的铁心形式有:芯式铁心、壳式铁心(见图 2-1);单相铁心和三相铁心(见图 2-2);小型变压器的铁心一般是 E 字形和 F 字形(见图 2-3)。



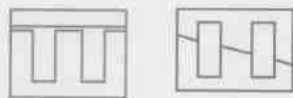
芯式铁心

壳式铁心



单相铁心

三相铁心



E字形铁心

F字形铁心

图 2-1 芯式、壳式铁心

图 2-2 单相、三相铁心

图 2-3 E 字形、F 字形铁心

变压器铁心材料的特性决定变压器的性能,其选用要求主要是减少变压器的空载损耗。变压器常用各种软性磁性材料的特征与用途见表 2-1。

表 2-1 各种软性磁性材料的特征与用途对照表

材料名称	适用频率范围	饱和磁通密度/T	主要用途
冷压取向电工钢带 <sup>①</sup>	工频:数百赫兹	2.03	电力变压器
冷压无取向电工钢带 <sup>①</sup>	工频:数百赫兹	2.0~2.18	旋转电机、小型变压器
坡莫合金	工频:1kHz	1.6	通信变压器、磁头
非晶合金	工频:数百赫兹	1.6	电子部件、小型电力变压器
铁氧体	16kHz~1MHz	0.51	高频变压器、扼流圈

① 本书中,电工钢带即指硅钢片。

2.2.2 电动机铁心

1. 定子铁心（静止部分）

定子铁心一般由 0.35~0.5mm 厚硅钢片（即电工钢带）冲压、叠压而成。采用硅钢片的目的是为了减小定子的铁耗。将硅钢片冲成环形或外方内圆形，并在内圆均冲出齿槽。定子铁心的外形有圆形和方形，装配时圆形定子用外径定位，方形定子用其上的安装孔定位。

三相异步电动机的定子铁心槽型有以下几种。

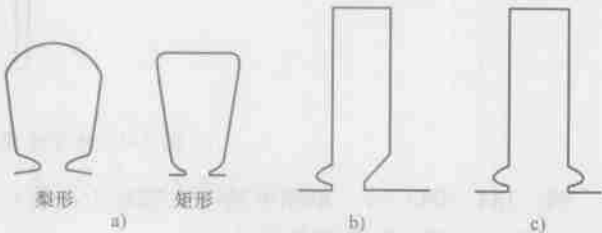


图 2-4 三相异步电动机定子铁心的槽型  
a) 半闭口型槽 b) 半开口型槽 c) 开口型槽

1) 半闭口型槽，一般用于小型低压电动机中（见图 2-4a）。

2) 半开口型槽，一般用于大型、中型低压电动机（见图 2-4b）。

3) 开口型槽，主要用于高压电动机中（见图 2-4c）。

其他电动机典型的定子冲片槽型如图 2-5 所示。



图 2-5 典型定子冲片槽型

2. 转子铁心（转动部分）

转子铁心槽型有多种形式，分开口槽和闭口槽两大类，具体按转子绕组的构造来选用，常用槽型如图 2-6 所示。

2.2.3 电机铁心件分类标准

电机产品种类、规格繁多，对电机冲压模具制造厂家而言，需要建立相应的电机典型铁心件图库和模具通用件零件库，以缩短模具设计制造周期，同时提高模具零件的标准化。

下面介绍铁心件（冲片）类别及其代号（鸿达标准）。

（1）冲片代号表示方法

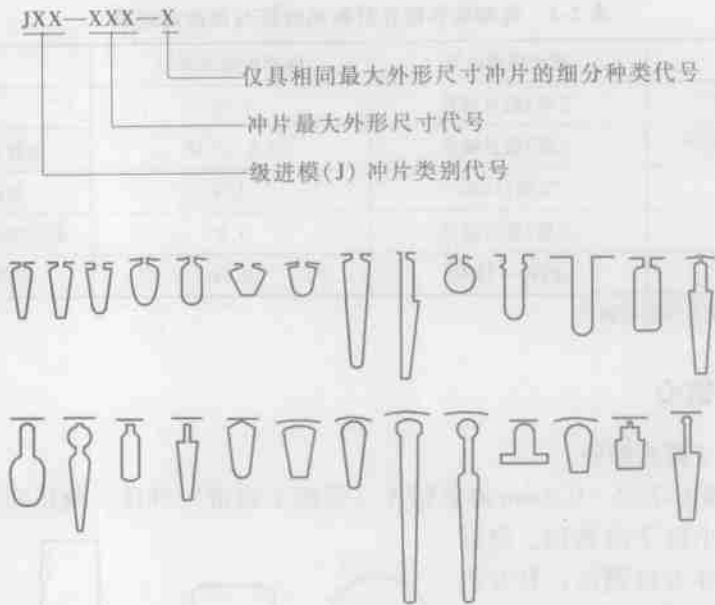


图 2-6 转子冲片槽型

例：JA1—083—1：单相串励电机的定子冲片；外形为圆形切双边，定子外圆的最大直径为  $\phi 83\text{mm}$ ，第一种类型的冲片。

(2) 冲片类别代号明细表（鸿达标准，见表 2-2）

表 2-2 冲片类别代号明细表（鸿达标准）

序号	冲片类别名称	冲片类别代号	冲片外形特征/电机类别	
1	单相串励电机铁心	JA1	圆形切双边	定子片
		JA2	圆形切四边	
		JA3	方形	
		JA4	方形、转子带扭	定、转子片
		JA5	方形	定子片
		JA6	马蹄形	转子
2	单相家用电机铁心	JB1	圆形	定子片
		JB2	圆形切边	
		JB3	方形	
		JB4	圆形	
3	单相罩极电机铁心	JC1	圆形大定子套小定子	
		JC2	方形定子拼块	
		JC3	定子拼块	
4	永磁直流电机铁心	JD1	圆形散片	转子片
		JD2	圆形直槽	
		JD3	圆形扭槽	

(续)

序号	冲片类别名称	冲片类别代号	冲片外形特征/电机类别
5	工业电机铁心	JE1	Y系三相异步电动机
		JE2	T、TK系同步电机(发电机)、永磁同步电动机
		JE3	特种电机
6	密封定子铁心	JF1	半圆拼块
		JF2	拼块铁心
		JF3	长条铁心
7	电源变压器铁心	JG1	E形片
		JG2	E1形片
		JG3	工字形片
8	其他类型铁心	JH	特殊形

## 2.2.4 各类电机及其典型铁心件(冲片)

### 1. 单相串励电机及其典型铁心件(冲片)

JA1: 定子外形为圆形切双边, 转子铁心直槽(见图2-7a); JA2: 定子外形为圆形切四边, 转子铁心直槽(见图2-7b); JA3: 定子外形为正方形, 转子铁心直槽(见图2-7c), 均为电动工具电动机铁心; JA4: 定子外形为圆形, 转子铁心扭槽(见图2-7d), 为吸尘器电动机铁心; JA5: 定子外形为方形, 转子铁心扭槽(见图2-7e), 为电风扇电动机铁心; JA6: 定子马蹄形, 转子铁心直槽(见图2-7f), 为电磁灶风扇电动机铁心。

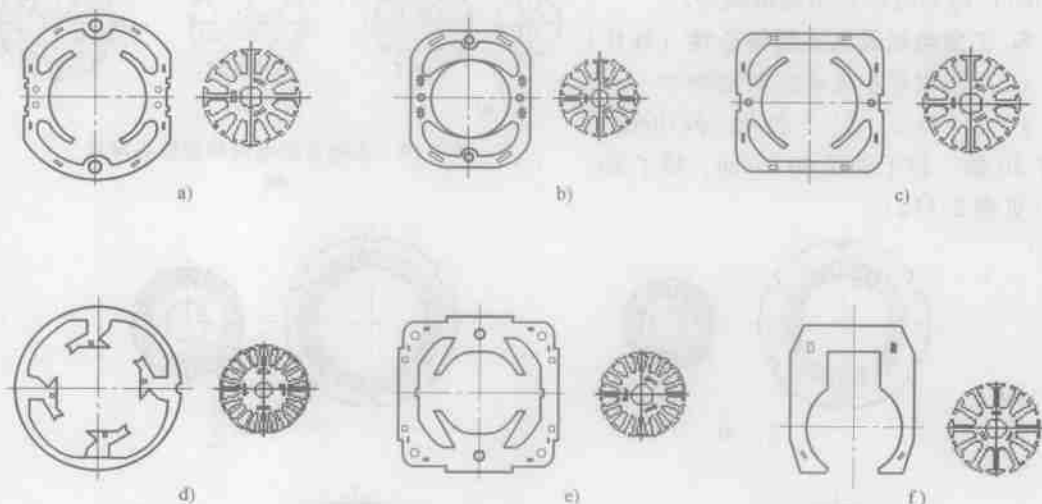


图2-7 单相串励电机典型转子铁心冲片

### 2. 单相家用电机及其典型铁心件(冲片)

JB1: 定子外形为圆形, 转子铁心扭槽(见图2-8a), 为电风扇电动机铁心; JB2: 定子外形为圆形切边, 转子铁心扭槽(见图2-8b), 为冰箱压缩机电动机铁心; JB3: 定子外形为正方形, 转子铁心扭槽(见图2-8c), 为洗衣机电动机铁心; JB4: 外转子铁心扭槽, 内

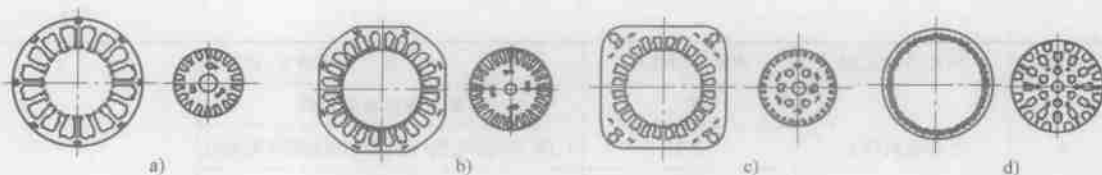


图 2-8 单相家用电机典型铁心冲片

定子铁心直槽（见图 2-8d），为吊扇电动机铁心。

### 3. 单相罩极电机及其典型铁心件（冲片）

JC1：定子外形为圆形切边，内套小定子，转子铁心扭槽（见图 2-9a）；JC2：定子外形为方形，内套小定子，转子铁心扭槽（见图 2-9b）；JC3：定子为拼块铁心，转子铁心扭槽（见图 2-9c）。这些均为小家电风扇电动机铁心。

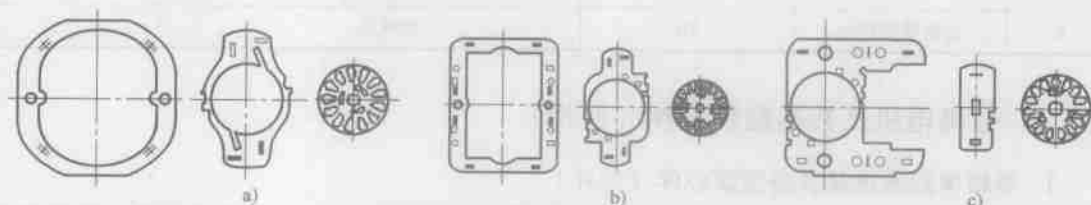


图 2-9 单相罩极电机典型铁心冲片

### 4. 永磁直流电机及其典型铁心件（冲片）

JD1：转子冲片（见图 2-10a），为玩具电动机铁心；JD2：转子铁心直槽（见图 2-10b）；JD3：转子铁心扭槽（见图 2-10c）；均为汽车专用电机铁心。

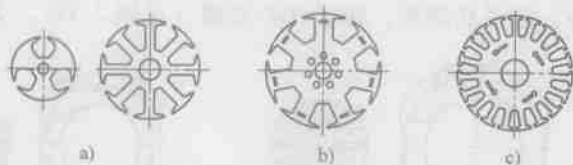


图 2-10 永磁直流电机典型铁心冲片

### 5. 工业电机及其典型铁心件（冲片）

#### (1) 三相异步电动机典型冲片

1) Y132-2：定子外径  $\phi 210\text{mm}$ ，定子 30 槽，转子外径  $\phi 116\text{mm}$ ，转子 26 槽（见图 2-11a）。

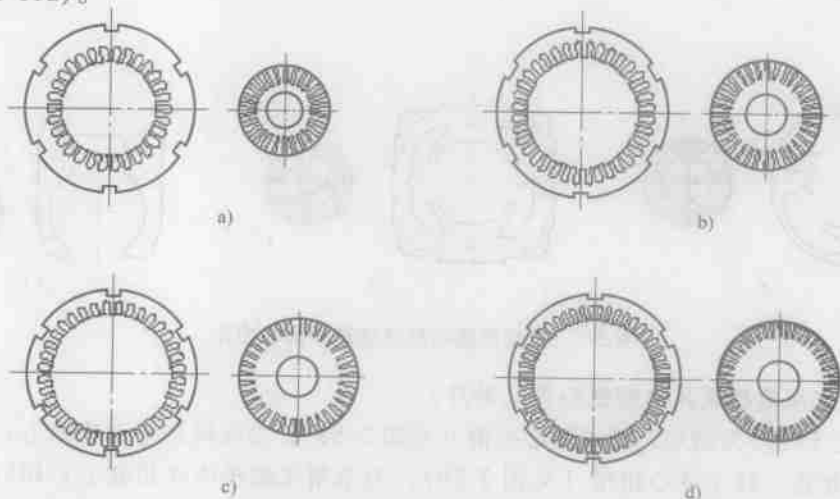


图 2-11 三相异步电动机典型冲片

- 2) Y132-4: 定子外径  $\phi 210\text{mm}$ , 定子 36 槽, 转子外径  $\phi 136\text{mm}$ , 转子 32 槽 (见图 2-11b)。
  - 3) Y132-6: 定子外径  $\phi 210\text{mm}$ , 定子 36 槽, 转子外径  $\phi 148\text{mm}$ , 转子 33 槽 (见图 2-11c)。
  - 4) Y132-8: 定子外径  $\phi 210\text{mm}$ , 定子 48 槽, 转子外径  $\phi 148\text{mm}$ , 转子 44 槽 (见图 2-11d)。
- (2) 三相同步电机典型冲片

- 1) T 系列一般用途的同步电机 (发电机) 自动叠铆定子铁心、转子凸极式铁心 (见图 2-12a)。
- 2) TK 系列中压同步电机定、转子冲片, 转子凸极式带阻尼笼槽形 (见图 2-12b)。
- 3) 大型发电机的扇形冲片, 24 片拼合直径  $4500\text{mm}$  (见图 2-12c)。

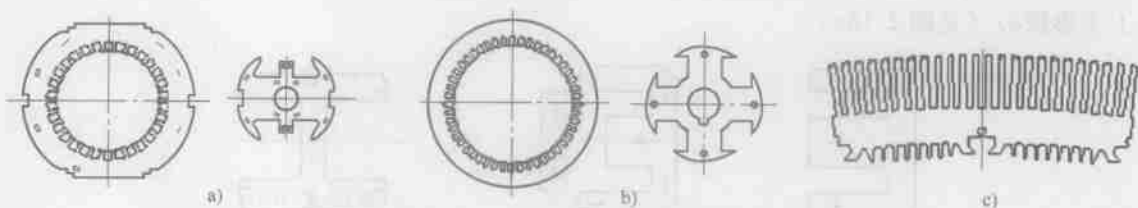


图 2-12 三相同步电机典型冲片

永磁同步电机定子冲片与三相同步电机一样, 转子冲片中安装永磁材料 (见图 2-13)。

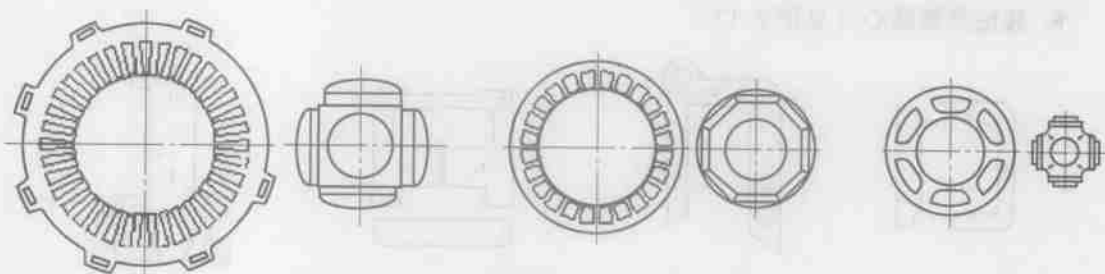


图 2-13 永磁同步电机典型冲片

(3) 特种电机 (一般包括伺服电动机、步进电动机、测速发电机)

JE3: 特种电机典型冲片如图 2-14 所示。

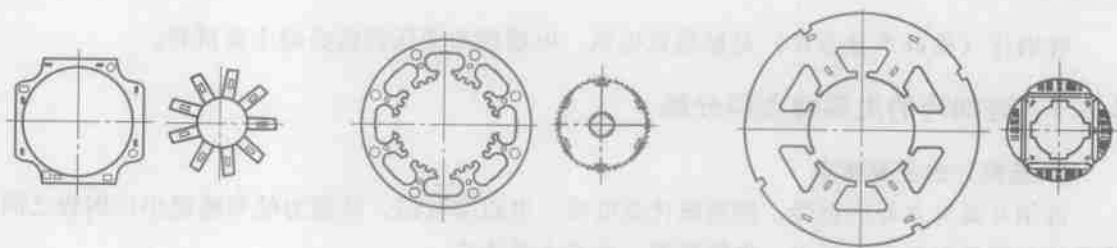


图 2-14 特种电机典型冲片

## 6. 塑封定子典型铁心

JF1: 两块半圆定子铁心组合 (见图 2-15a); JF2: 多块定子铁心组合 (见图 2-15b); JF3: 长直条定子铁心卷圆组合 (见图 2-15c)。

## 7. 小型变压器典型铁心

JG1: E 字形变压器铁心 (见图 2-16a); JG2: EI 形变压器铁心 (见图 2-16b); JG3:

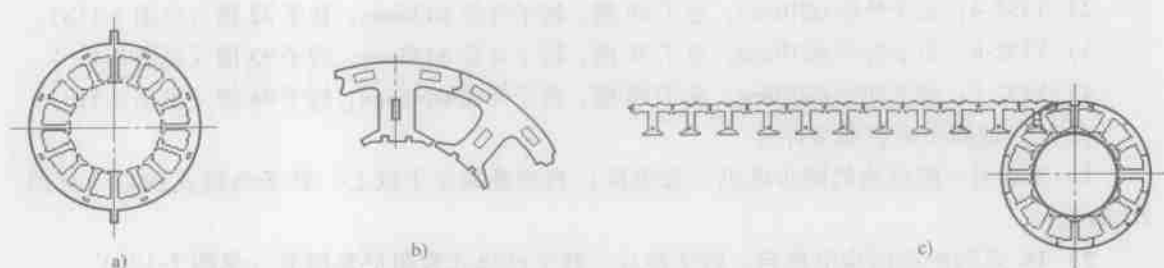


图 2-15 塑封定子典型铁心

工字形铁心（见图 2-16c）。

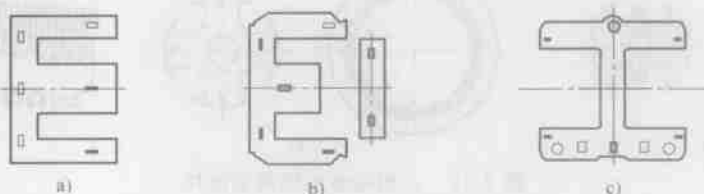


图 2-16 小型变压器典型铁心

#### 8. 其他类型铁心（见图 2-17）

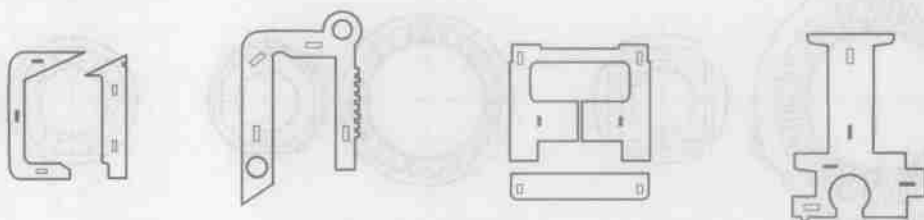


图 2-17 其他类型铁心

## 2.3 电机铁心材料

硅钢片（铁硅系合金片）是制造发电机、电动机和变压器铁心的主要材料。

### 2.3.1 硅钢片的主要特点和分类

#### 1. 硅钢片的主要特点

硅钢片具有良好的磁性，饱和磁化强度高，电阻率较高，矫顽力低和铁损小；钢板之间的黏结及磁性时效现象减少；价格低廉，适合大量生产。

电力工业中各种发动机、放电机、电力和分配变压器使用的硅钢片，一般为经热轧或冷轧厚度为 0.5mm、0.35mm 或 0.3mm 的硅钢钢带。

电信工业方面的音频变压器、高频变压器、脉冲变压器、磁放大器等，一般使用厚度小于 0.2mm（最薄达 0.025mm）的冷轧取向硅钢片。

对硅钢片的共同要求是，在中等及弱磁场下的铁损低、磁感应强度高；有适合的硬度，以保证良好的冲片性能；无磁性时效现象；表面质量好，厚度均匀；表面涂层绝缘性好等。

电机和变压器的铁心用硅钢片制成。铁心损失是指单位重量的硅钢片铁心在交变磁场作用下所消耗的无效功率,其单位是  $W/kg$ 。硅钢片铁损低,制成的电机和变压器节电省材,可缩小体积,减轻重量。各工业国家均以铁损值作为硅钢片产品最重要的考核指标,并以铁损值作为划分牌号的依据。

硅钢片的磁感应强度越高,电机或变压器铁心的体积与重量就越小。通常,铁心重量占到电机或变压器重量的  $1/3$  至  $1/2$ ,因此采用低铁损高磁感硅钢片铁心,将显著减小电机和变压器的总重和体积,同时节省硅钢片、铜线、绝缘材料和变压器油。

## 2. 硅钢片分类

硅钢片种类很多,可按硅含量、轧制工艺、组织结构或使用条件来分类。

按硅含量  $w(Si)$  可分为四类:低硅钢 ( $w(Si) = 0.8\% \sim 1.8\%$ ),中硅钢 ( $w(Si) = 1.8\% \sim 2.8\%$ ),较高硅钢 ( $w(Si) = 2.8\% \sim 3.8\%$ ),高硅钢 ( $w(Si) = 3.8\% \sim 7.0\%$ )。

按轧制工艺可分为热轧硅钢片和冷轧硅钢片。

按组织结构可分为晶粒取向(单取向为高斯织构、双取向为立方织构)硅钢片和无取向硅钢片。

按用途可分为电机硅钢片和变压器硅钢片。

按板材厚度可分为一般硅钢片(常用厚度为  $0.30 \sim 0.50mm$ )和薄硅钢带(厚度为  $0.025 \sim 0.20mm$ )。

通常热轧硅钢片都是无取向的,冷轧硅钢片可以是无取向的(或取向很小的),也可能是晶粒取向的。无取向硅钢片适合制造电机铁心,晶粒取向硅钢片适合制造变压器铁心。薄硅钢带一般都是晶粒取向的,主要用于较高频率的电信工业器材。

## 2.3.2 无取向硅钢片

### 1. 无取向硅钢片的优点

采用无取向硅钢片制造电机铁心,要求硅钢片各方向的磁性应当接近,即硅钢片的各向导性越小越好。一般规定无取向硅钢片纵横方向的磁感应强度  $B_{25}$  差值不大于  $10\%$ 。为了减小电机的重量和体积,避免过大的离心力,减小磁化电流,要求无取向硅钢片有高磁感应强度;大型电机还要求其铁损要低。

无取向硅钢片约占硅钢总产量的  $80\%$ ,有热轧和冷轧两种,二者相比,冷轧无取向硅钢片有以下优点。

(1) 磁感应强度高 冷轧无取向硅钢的  $B_{10}$  可达  $1.6T$ ,而热轧的仅为  $1.4T$ 。

(2) 铁损低 冷轧无取向硅钢硅含量  $w(Si) \leq 3\%$  的铁损比同含量的热轧钢低  $10\% \sim 30\%$ ,相当于硅含量  $w(Si)$  提高  $1\%$  的热轧硅钢片牌号的铁损值。

(3) 冲剪加工性好 各种冷轧硅钢片的冲剪加工性比硅含量相同的热轧硅钢片好,冲模寿命提高  $4$  倍以上。冷轧硅钢按卷料供货(热轧硅钢片按片状供货),适合自动化送料,可大幅提高生产率和材料利用率。

(4) 板厚均匀表面质量好 板厚  $0.35mm$  的冷轧硅钢片填充系数达  $97\% \sim 98\%$ ,厚度公差为  $0.02mm \sim 0.03mm$ ,同样厚度的热轧硅钢片其填充系数为  $92\% \sim 98\%$ ,厚度公差为  $\pm(0.04 \sim 0.05)mm$ 。

(5) 发展快产量大 冷轧硅钢片表面质量好,使其表面的绝缘涂层质量也好。因此,

冷轧硅钢片发展很快,已逐步取代热轧硅钢片,占到了硅钢总量的95%以上(包括无取向和取向两种)。我国仍有一定产量的热轧硅钢。

## 2. 无取向硅钢的磁特性和工艺性能(见表2-3)

表 2-3 无取向硅钢的磁特性和工艺性能

牌号	公称厚度 /mm	理论密度 /(g/cm <sup>3</sup> )	50Hz		最小弯曲 次数/次	最小叠装系数 (%)
			最大铁损(P <sub>1.5</sub> ) /(W/kg)	最小磁感应 强度(B <sub>500</sub> )/T		
35W230	0.35	7.60	2.30	1.60	2	95
35W250		7.60	2.50	1.60	2	
35W270		7.65	2.70	1.60	2	
35W300		7.65	3.00	1.60	3	
35W330		7.65	3.30	1.60	3	
35W360		7.65	3.60	1.61	5	
35W400		7.65	4.00	1.62	5	
35W440		7.70	4.40	1.64	5	
50W230	0.50	7.60	2.30	1.60	2	97
50W250		7.60	2.50	1.60	2	
50W270		7.60	2.70	1.60	2	
50W290		7.60	2.90	1.60	2	
50W310		7.65	3.10	1.60	3	
50W330		7.65	3.30	1.60	3	
50W350		7.65	3.50	1.60	5	
50W400		7.65	4.00	1.61	5	
50W470		7.70	4.70	1.62	10	
50W540		7.70	5.40	1.65	10	
50W600		7.75	6.00	1.65	10	
50W700		7.80	7.00	1.68	10	
50W800		7.80	8.00	1.68	10	
50W1000		7.85	10.00	1.69	10	
50W1300		7.85	13.00	1.69	10	
65W600	0.65	7.75	6.00	1.64	10	97
65W700		7.75	7.00	1.65	10	
65W800		7.80	8.00	1.68	10	
65W1000		7.80	10.00	1.68	10	
65W1300		7.85	13.00	1.69	10	
65W1600		7.85	16.00	1.69	10	

注:1. 字母W表示无取向。

2. 字母前为100倍的板厚值,字母后为100倍的铁损值。

3. 无取向硅钢带的力学性能（见表 2-4）

表 2-4 无取向硅钢带的力学性能

牌号	抗拉强度 $R_m$ /MPa	伸长率 $A$ (%)	牌号	抗拉强度 $R_m$ /MPa	伸长率 $A$ (%)
	≥			≥	
35W230	450	≥10	50W350	420	≥11
35W250	440		50W400	400	≥14
35W270	430		50W470	380	≥16
35W300	420	≥11	50W540	360	
35W330	410		50W600	340	≥21
35W360	400	≥14	50W700	320	
35W400	390		50W800	300	
35W440	380		50W1000	290	≥22
50W230	450	≥10	65W600	340	
50W250	450		65W700	320	
50W270	450		65W800	300	
50W290	440		65W1000	290	
50W310	430	≥11	65W1300	290	
50W330	425		65W1600	290	

- 注：1. 字母 W 表示无取向。  
2. 字母前为 100 倍的板厚值，字母后为 100 倍的铁损值。  
3. 钢带（片）厚度小于 0.50mm 时，伸长率为  $A_{10}$ ；钢带（片）厚度大于等于 0.5mm 时，伸长率为  $A_5$ 。

4. 无取向钢带（片）的尺寸允许偏差（见表 2-5）

表 2-5 无取向钢带（片）的尺寸允许偏差（单位：mm）

宽度	厚度	厚度允许偏差	横向厚度差	宽度允许偏差	长度允许偏差
≤150	0.35	±0.04	≤0.02	+0.3 0	+10 0
	0.50	±0.04	≤0.03		
	0.65	±0.05	≤0.03		
>150~500	0.35	±0.04	≤0.02	+0.5 0	+10 0
	0.50	±0.04	≤0.03		
	0.65	±0.05	≤0.03		
>500~1000	0.35	±0.04	≤0.02	+1.5 0	+10 0
	0.50	±0.04	≤0.03		
	0.65	±0.05	≤0.04		
>1000	0.35	±0.04	≤0.03	+1.5 0	+10 0
	0.50	±0.04	≤0.04		
	0.65	±0.05	≤0.04		

- 注：1. 钢带的平面度不大于 2.0%。  
2. 钢带的镰刀弯，每 2000mm 不小于 1.0mm。

2.3.3 冷轧取向硅钢

1. 冷轧取向硅钢的种类与特点

冷轧取向硅钢有两种，一种是最常用的单取向硅钢，又称立方棱织构硅钢；另一种是双

取向硅钢, 又称立方织构硅钢。立方织构硅钢制造工艺复杂严格, 成本也高, 至今各国都未形成工业化生产。下面介绍的取向硅钢是指单取向硅钢。

取向硅钢比无取向硅钢具有更高的磁感应强度。设计变压器或电机选用最大工作磁感应强度。热轧无取向硅钢的磁感应强度为 1T; 冷轧的无取向硅钢为 1.5T, 取向硅钢达到 1.7T。同时, 冷轧取向硅钢的铁损比热轧无取向硅钢的小得多, 含硅 3% 的冷轧取向硅钢的铁损, 仅为含硅 4% 的热轧硅钢的一半。

冷轧取向硅钢的上述特点, 最适合制造变压器铁心。在制造小型变压器时, 一般直接冲成 EI 形状, 叠成铁心, 能基本保证沿轧向冲片和磁化。因此, 用冷轧取向硅钢制造各类变压器时, 与用热轧硅钢相比, 铁心的重量和体积可减小 20% ~ 30%, 其他材料也可相应减少 10% ~ 20%, 还由于铁损小, 而极大地提高了变压器效率。

冷轧取向硅钢可分为普通取向硅钢 (简称 Co 钢) 和高磁感取向硅钢 (简称 HL-B 钢)。

冷轧取向薄硅钢的厚度为 0.025 ~ 0.20mm, 硅含量  $w(\text{Si})$  约为 3%, 适用于频率 400Hz 以上的电信器材上。

## 2. 取向硅钢的磁特性和工艺性能 (见表 2-6)

表 2-6 取向硅钢的磁特性和工艺性能

牌号	公称厚度 /mm	理论密度 /(g/cm <sup>3</sup> )	50Hz		最小弯曲 次数/次	最小叠装系数 (%)
			最大铁损(P1.7) /(W/kg)	最小磁感应 强度(B800)/T		
27QG100		7.65	1.00	1.85	1	95
27QG110			1.10	1.85		
27QG120			1.20	1.78		
27QG130			1.30	1.78		
27QG140			1.40	1.75		
30QG110	0.30	7.65	1.10	1.85	1	95.5
30QG120			1.20	1.85		
30QG130			1.30	1.85		
30QG130			1.30	1.78		
30QG140			1.40	1.78		
30QG150			1.50	1.75		
35QG125	0.35	7.65	1.25	1.85	1	96
35QG135			1.35	1.85		
35QG134			1.35	1.78		
35QG145			1.45	1.78		
35QG155			1.55	1.78		
35QG165			1.65	1.76		

注: 1. QG 表示电信用高磁感硅钢。

2. 字母前为 100 倍的板厚值, 字母后为 100 倍的铁损值。

3. 按 GB/T 3655 测试时, 试样应消除应力退火, 退火工艺为: 在 800℃ ± 20℃ 的炉温中保持 2h, 然后空冷到室温。

4. 按 GB/T 13789 测试时, 试样可不消除应力退火。

## 3. 晶粒取向硅钢薄带的牌号、规格及磁特性 (见表 2-7)

表 2-7 晶粒取向硅钢薄带的牌号、规格及磁特性

牌号	厚度 /mm	铁损/(W/kg)				磁感应强度/T		矫顽力 HC /(A/m)
		P1.0/400	P1.5/400	P1.0/1000	P0.5/3000	B50	B1000	
		≤				≥		
DG3	0.025	—	—	—	35	—	1.60	60
DG3	0.03				35		1.65	45
DG4	0.03				30		1.70	40
DG1	0.05	—	21.0	—	—	0.60	1.55	36
DG2			19.0			0.80	1.60	34
DG3			17.0	24.0		0.85	1.66	32
DG4			16.0	22.0		0.90	1.70	32
DG5			15.0	20.0		1.05	1.75	32
DG6			14.5	19.0		1.10	1.75	32
DG1	0.08	—	22.0	—	—	0.60	1.55	36
DG2			19.0			0.80	1.66	32
DG3			17.0			0.90	1.66	28
DG4			16.0			1.00	1.70	26
DG5			15.0			1.05	1.75	26
DG6			14.0			1.20	1.80	26
DG3	0.15	—	19.0	—	—	0.90	1.65	26
DG4			19.0			1.00	1.75	26
DG5			17.0			1.10	1.75	26
DG6			16.5			1.13	1.75	26
DG1	0.20	12.0	—	—	—	—	1.55	
DG2		11.0					1.60	
DG3		10.0					1.66	
DG4		9.0					1.70	
DG5		8.2					1.74	

注: 1. 铁损 P1.0/400、P1.5/400、P1.0/1000、P0.5/3000 分别表示在频率为 400Hz、磁感应强度值 1.0T 时, 400Hz、1.0T 时, 和 3000Hz、0.5T 时的比铁损值。

2. B50、B1000 分别表示磁场强度为 50A/m 和 1000A/m 时的磁感应强度值。

3. 0.20mm 厚度的 DG1~DG5 试样要求沿轧向剪切, 尺寸为 30mm×30mm, 消除应力退火后测试。

4. 铁损 P1.0/1000 和矫顽力 HC 供参考, 不作判定依据。

5. 钢带应以退火状态并在钢带表面涂上绝缘涂层后交货。

6. D 表示电信工业用钢, G 表示工作频率 400Hz 以上。

晶粒取向硅钢薄带也称电信用冷轧硅钢带, 是用于制造工作频率在 400Hz 以上各种电源变压器、脉冲变压器、磁放大器、交换器等铁心。

## 4. 晶粒取向硅钢薄带的尺寸允许偏差 (见表 2-8)

表 2-8 晶粒取向硅钢薄带的尺寸允许偏差

(单位: mm)

厚度	厚度允许 偏差	宽度允许偏差				
		5 ~ 10	> 10 ~ 50	> 50 ~ 80	> 80	> 600
≤0.03	±0.005	±0.10			±0.20	
0.05						
0.08	+0.10		+0.10	—		
0.10	-0.15		-0.20			
0.15						
0.20	±0.015	—	—	+0.10	—	+1.0
				-0.30		0

## 5. 取向钢带（片）的尺寸允许偏差（见表 2-9）

表 2-9 取向钢带（片）的尺寸允许偏差

（单位：mm）

宽度	厚度	厚度允许偏差	横向厚度差	宽度允许偏差	长度允许偏差
< 150	0.27 0.30 0.35	±0.03	≤0.02	+0.20 0	+10 0
				+0.20 0	
> 150 ~ 400			≤0.03	+0.50 0	
> 400 ~ 750				+0.60 0	
> 750					

注：1. 钢带的平面度不小于 1.5%。

2. 钢带的镰刀弯，每 2000mm 不大于 1.0mm。

## 2.3.4 热轧取向硅钢

## 1. 热轧硅钢板牌号、规格及性能（见表 2-10）

表 2-10 热轧硅钢板牌号、规格及性能

牌号	厚度 /mm	最小磁感应强度/T			最大铁损/(W/kg)		弯曲次数 ≥	理论密度/(g/cm <sup>3</sup> )	
		B25	B50	B100	P10/50	P15/50		酸洗 钢板	未酸洗 钢板
DR530-50	0.50	1.51	1.61	1.74	2.20	5.30	—	7.75	7.70
DR510-50	0.50	1.54	1.64	1.76	2.10	5.10			
DR490-50	0.50	1.56	1.66	1.77	2.00	4.90			
DR450-50	0.50	1.54	1.64	1.76	1.86	4.50			
DR420-50	0.50	1.54	1.64	1.76	1.80	4.20			
DR400-50	0.50	1.54	1.64	1.76	1.65	4.00			
DR440-50	0.50	1.46	1.57	1.71	2.00	4.00	4	7.65	—
DR405-50	0.50	1.50	1.61	1.74	1.80	4.05			
DR360-50	0.50	1.45	1.56	1.68	1.60	3.60	1.0	7.55	—
DR315-50	0.50	1.45	1.56	1.68	1.35	3.15			
DR290-50	0.50	1.44	1.55	1.67	1.20	2.90			
DR265-50	0.50	1.44	1.55	1.67	1.10	2.65			
DR360-35	0.35	1.46	1.57	1.71	1.60	3.60	5.0	7.65	—
DR325-35	0.35	1.50	1.61	1.74	1.40	3.25			
DR300-35	0.35	1.45	1.56	1.68	1.35	3.20	1.0	7.55	—
DR280-35	0.35	1.45	1.56	1.68	1.15	2.80			
DR255-35	0.35	1.44	1.54	1.66	1.05	2.55			
DR225-35	0.35	1.44	1.54	1.66	0.90	2.25			

注：1. P10/50、P15/50 表示当用 50Hz 反复磁化和按正弦变化，磁感应强度为 1.0T 和 1.5T 时总的单位铁损。

2. 低硅钢板 B100 不做判定依据，如需保证时，应在合同中注明。

3. 经供需双方协议，供方应提供磁化曲线。

4. 理论密度仅用于计算试样断面积，不做交货条件。

## 2. 高频率检验条件下的电磁和工艺性能 (见表 2-11)

表 2-11 高频率检验条件下的电磁和工艺性能

牌号	厚度/mm	最小磁感应强度/T			最大铁损 (W/kg)		电阻率/( $\Omega \cdot m$ )	最低弯曲次数
		B5	B10	B25	P7.5/400	P10/400	$\rho$	$\geq$
DR1750G-35	0.35	1.23	1.32	1.44	10.00	17.50	0.57	1
DR1250G-20	0.20	1.21	1.30	1.42	7.20	12.50	0.57	2
DR1100G-10	0.10	1.20	1.29	1.40	6.30	11.00	0.57	3

注: 1. B5、B10、B25 表示当磁场强度为字母后数值时, 在基本换向磁化曲线上的磁感应强度;

2. P7.5/400、P10/400 表示当用 400Hz 反复磁化和按正弦变化, 磁感应强度为 0.75T 和 1.00T 时总的单位铁损;

3. DR 表示电工用热轧硅钢板, G 表示在频率 400Hz 的磁场强度下检验, 字母 DR 后的数字为铁损值的 100 倍, 横线后的数字为厚度的 100 倍。

## 3. 热轧硅钢带 (板) 的尺寸允许偏差 (见表 2-12)

表 2-12 热轧硅钢带 (板) 的尺寸允许偏差

(单位: mm)

公称厚度	厚度允许偏差	宽度允许偏差	长度允许偏差	同板差允许值
0.50	$\pm 0.05$	$\leq 750$ +8	$\leq 1500$ +25	0.06
0.35	$\pm 0.04$	$> 750$ +10	$> 1500$ +30	0.05
0.20	$\pm 0.03$	—	—	0.04
0.10	$\pm 0.02$	—	—	0.03

注: 厚度 0.42mm 和 0.30mm 的钢板, 分别按照 0.50mm 和 0.35mm 的场规格规定检验。

## 2.3.5 工作频率与选用的钢带厚度 (见表 2-13)

表 2-13 工作频率与选用的钢带厚度

工作频率/Hz	50 或 60	400	400 ~ 1000	400 ~ 2000	1000 ~ 10000	3000 ~ 10000 以上
钢带厚度/mm	0.20 ~ 0.65	0.20	0.15	0.08 或 0.10	0.05	0.02 ~ 0.03

## 2.4 电机铁心冲压新工艺与自动叠铆模具

当前, 由于模具设计与制造技术的飞速发展, 采用精密化、自动化、长寿命化的模具来制造零部件的工艺技术被广泛采用, 模具设计和制造技术正朝着向现代化高技术方向发展。现代冲压技术是用高精度、高效率、长寿命、集各工序于一副模具的多工序、多工位级进模在高速压力机或多工位压力机上进行自动化冲压。现代高速精密冲压生产方式如图 2-18 所示, 其冲压过程是冲压条料从卷料上出来后, 先经过校平机进行校平, 再通过自动送料装置进行自动送料, 然后条料进入模具, 可以连续完成冲裁、拉深、弯曲、成形、精整、切边等工序的冲压, 到零件成品从模具中输送出来, 整个冲压过程都是在压力机上自动完成的。

采用高速精密多工位自动冲压生产线冲压电机铁心, 目前在国外已相当普遍, 在国内正逐步应用和发展。

高速精密冲压电机铁心是通过高速压力机及其周边配套设备和带叠铆功能的多工位级进模自动连续完成冲裁、扭槽、回转、叠铆和计数分组等工序, 直接将定子、转子冲片叠铆成定子和转子铁心。叠铆多工位级进模将冲压铁心的多道工序布于一副模具的多个工位, 实现了电机铁心的连续生产, 这种新的铁心生产方式与传统生产方式相比, 自动化程度高, 铁心尺寸精度高、模具使用寿命长, 适合大批量生产, 极大地提高了生产效率。

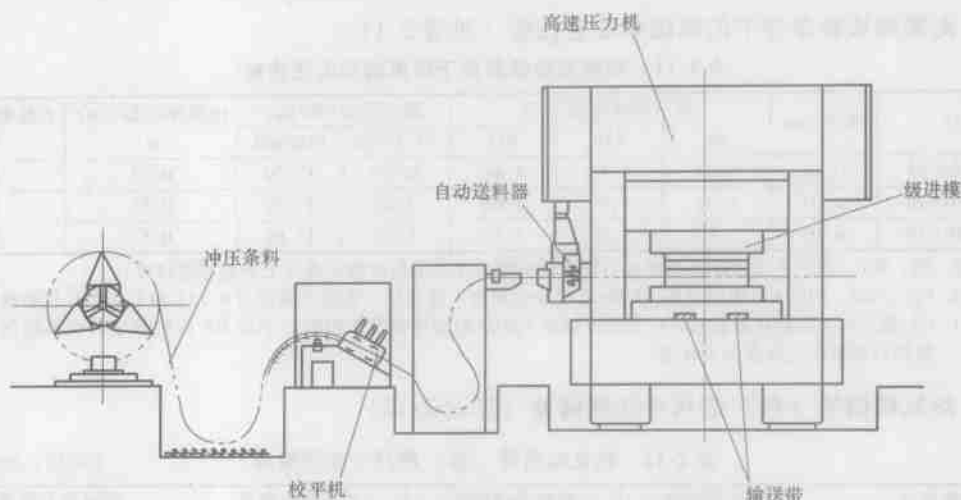


图 2-18 高速精密多工位自动冲压生产线

### 2.4.1 铁心冲压工艺及其冲压模具的发展

设计冲压模具尤其是设计高速精密冲压模具，需要熟知冲压工艺流程，具有一定的实践经验和理论基础才能设计出技术先进、安全实用、工作可靠的冲模结构。冲压工艺流程是冲压件各加工工序的总和，包括冲压件的准备工序、基本工序、辅助工序和后续工序，以及冲压工艺的过程的先后次序与协调组合。对冲压工艺流程设计的基本要求是：技术上可行、经济上合算，还要考虑操作方便与安全性。冲压工艺流程合理与否决定了模具设计与冲压件制造技术的合理性，以及冲压件的质量与成本。

冲压模具设计要基于冲压工艺与流程。对一套复杂结构的高精度冲模结构设计而言，还要经过多次试冲和改进，有的甚至试模后还要再改进模具的设计结构，只有通过多次反复和修改，才能达到完善模具结构的目的。因此，冲压工艺及其流程也需要随着生产验证而不断完善。

铁心是机电产品的重要部件，铁心制造的关键是铁心冲压模具。传统铁心冲压模具采用复合冲模，冲一次完成一片冲压，电机定、转子冲片的冲压常用3副冲模分别完成落料、定子冲槽形和转子冲槽形，生产效率低、冲片的一致性差。同时，还需要将冲片进行理片、铆压、焊接，或用螺钉紧固，制成铁心。因此，传统的铁心生产方式是工序多、成本高、精度差、质量不易保证。

近年来，随着现代精密冲压技术和模具制造技术的不断发展，出现了电机定子、转子铁心采用自动叠铆硬质合金级进模来进行冲压的新工艺。这类模具改变了传统的冲压工艺、模具结构和生产方式，除了具有传统的冲裁功能外，还具有扭槽、回转、叠铆、计量分组等新的高难度技术功能，冲压出来的不再是单片零件，而是成批的铁心组件，这为高精度铁心自动化生产开辟了新工艺。

### 2.4.2 电机铁心冲压新工艺

#### 1. 叠铆工艺

板材在冲压分离时，分别形成工件和废料孔，如以工件为轴当做被包容件，以废料孔为孔当做包容件，则在冲裁间隙和材料弹性变形条件下，如将同一基本尺寸的被包容件嵌入包

容件,必将自然形成过盈连接而达到两者紧固的目的。因此,在电机定子、转子冲片的适当部位,冲压出同一尺寸的工艺凹型孔和工艺凸点(叠铆点),凹型孔与凸点为过盈配合(过盈量为冲裁间隙),在叠装凸模顶杆的挤压和凹模收紧圈的收紧两者联合作用下,将冲片连接成所需厚度的铁心。

冲片叠铆点结构如图 2-19 所示,上部凹型孔与下部凸起为同一名义尺寸,将上片凸起嵌入下片凹型孔中,在过盈状态下实现紧固连接,形成多片叠铆的铁心,如图 2-20a 所示。为了控制铁心叠片厚度,需将最后一块冲为通孔。叠铆铁心的分离结构,如图 2-20b 所示。



图 2-19 冲片叠铆点结构

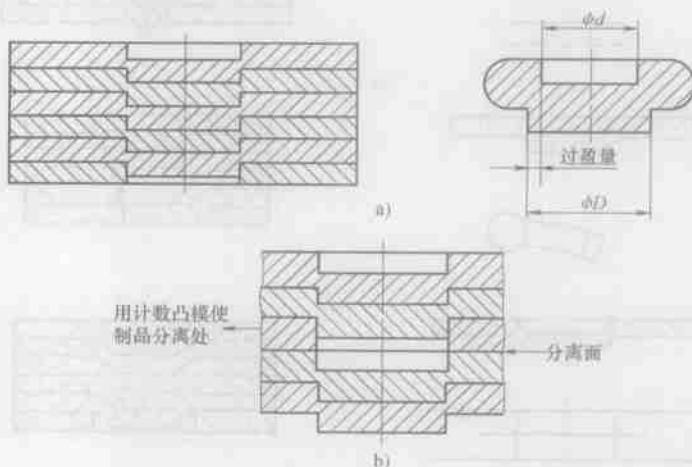


图 2-20 叠铆铁心与叠铆点结构及其分离结构

a) 叠铆铁心与叠铆点结构 b) 叠铆铁心分离结构

叠铆铁心有两种结构形式。

1) 密叠式。叠铆成组的铁心不需要在模具外再加压,出模即可达到铁心结合力的要求。

2) 半密叠式。出模时已叠铆的铁心冲片之间存有微小间隙,还需要再加压才能保证结合力。

按平面冲片的叠铆点形状有:圆形、长方形、长圆弧形等,一般的如图 2-21 所示。

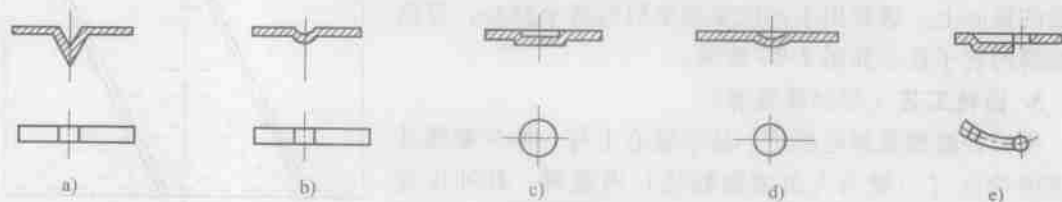


图 2-21 冲片叠铆点形状

铁心叠铆点的结构形式如图 2-22 所示,有圆形叠铆、V 形叠铆、L 形叠铆和梯形叠铆。

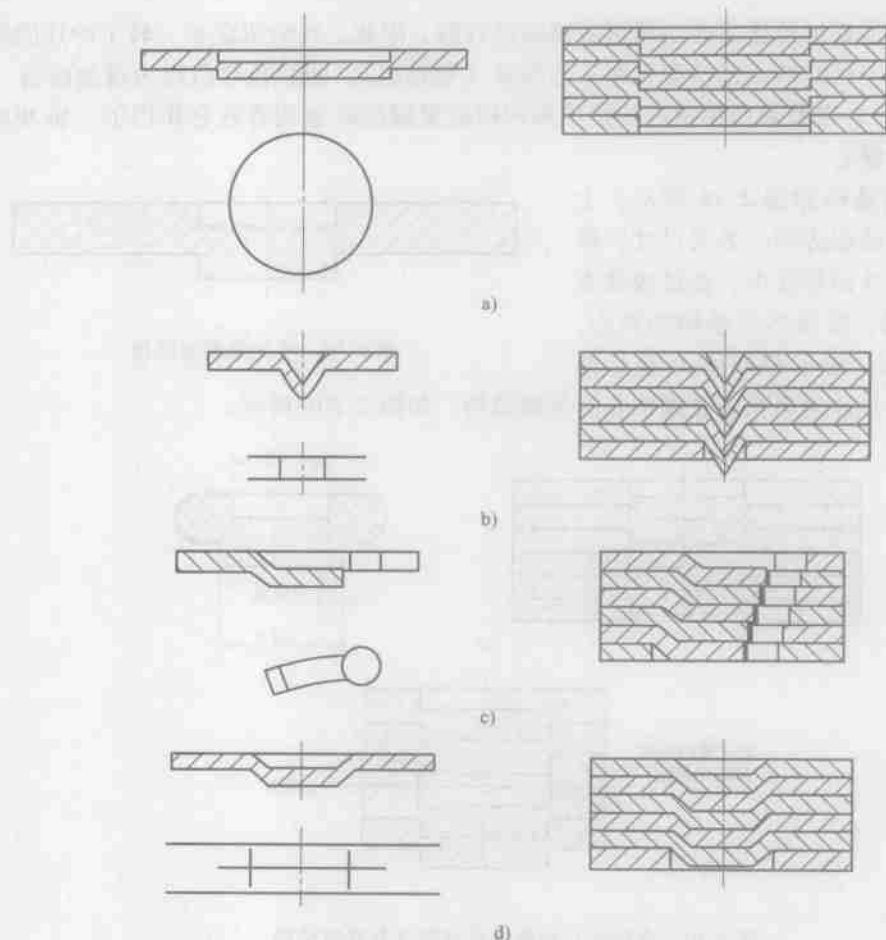


图 2-22 铁心叠铆点的结构形式

a) 圆形叠铆 b) V 形叠铆 c) L 形叠铆 d) 梯形叠铆

## 2. 扭槽工艺（带扭转叠铆）

带扭转叠铆是指电机转子铁心上每一冲片要转动一小角度后再叠铆，其冲压过程为压力机每冲完一次，模具内转子落料部分的回转套转一个小角度，转动量可以改变和调整，当转子冲片被冲下后，回转套内的铁心在动力源的带动下转动，冲片接着被叠铆在转动后的铁心上。通常用于冲压交流电机的转子铁心，带扭转叠铆的转子铁心如图 2-23 所示。

## 3. 回转工艺（带回转叠铆）

带回转叠铆是指电机定、转子铁心上每一冲片要转动规定的角度（一般为大角度整数倍）再叠铆，其冲压过程为压力机每冲完一次，模具内定、转子落料部分的回转套转动规定的角度，每次转动的规定角度要精确，冲片冲下后就被叠铆在铁心上，接着铁心再转动规定的角度。这种叠铆方式可补偿铁心厚度方向的尺寸变化。

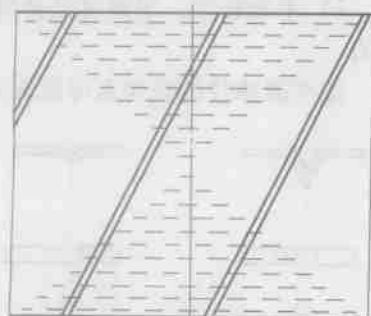


图 2-23 带扭转叠铆的转子铁心

#### 4. 回转加扭槽工艺（带回转加扭斜叠铆）

带回转加扭斜叠铆是指电机转子铁心上每一冲片要转动规定角度（一般为大角度）再加上一个小角度（转动角度不是整数倍）后进行叠铆。压力机每冲完一次，模具内转子落料部分的回转套转动规定的角度，冲片冲下后就被叠铆在铁心上，接着铁心再转动规定角度。这种叠铆方式可补偿铁心厚度方向的尺寸变化和满足交流电机转子铁心需要扭斜的要求。

### 2.4.3 电机铁心自动叠铆级进模

随着电机制造工艺的不断发展，现代冲压技术引用到制造电机领域的冲压零件现在越来越多地被电机制造厂家所接受，制造电机的加工手段也越来越先进。在国外，电机铁心带回转自动叠片技术应用在多工位级进模上非常普遍，一般先进电机制造厂家都采用现代冲压技术来冲压零件。即在一副多工位级进模上完成电机铁心的冲压、自动叠铆、自动带回转、自动带扭斜等一系列自动冲压功能。在国内，用现代冲压技术来冲压零件的加工方法正逐步发展起来，这一制造电机工艺的优势已被许多电机制造厂家所重视。用多工位级进模来冲压电机转子、定子铁心，直接套裁冲出定子冲片和转子冲片，并在其适当部位冲出一定形状的叠铆点，然后自动叠铆成铁心。用现代冲压技术来冲压零件与原来用普通模具及设备冲压零件相比较，前者具有冲压零件自动化程度高、尺寸精度高、模具使用寿命长等特点，省去了冲片整理、用铆钉铆接、扣片或氩弧焊等工艺过程，适合于冲压件的大批量生产，提高了制造电机的生产效率，保证了电机制造的技术要求。

用多工位级进模冲压定、转子铁心与用普通模具冲压定、转子冲片相比，多工位级进模除了转子、定子的轴孔和槽孔冲裁工位外，还增设了转子、定子的计量孔和叠铆点冲压工位，并将原来转子、定子的落料工位改成落料叠铆工位，还可按铁心结构要求设置扭转机构，使转子铁心的斜槽在落料扭转叠铆工位上完成；或者设置回转机构，使铁心冲片经过落料回转后叠铆。

#### 1. 自动叠铆级进模的类型

根据电机铁心冲压工艺的类型，自动叠铆级进模主要有直接叠铆级进模、带扭斜叠铆级进模、带回转叠铆级进模、带回转加扭斜叠铆级进模四种类型。

(1) 直接叠铆级进模 在模具内套裁冲出定子冲片和转子冲片，并在落料时直接将定子冲片和转子冲片叠铆成定子铁心和转子铁心。

(2) 带扭转叠铆级进模 在模具内套

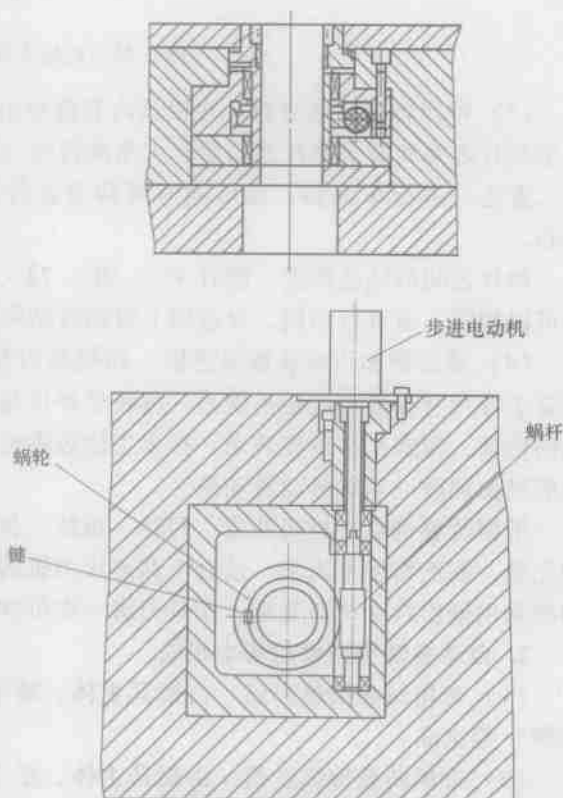


图 2-24 步进电动机带动扭转机构

裁冲出定子冲片和转子冲片，并在落料时将定子冲片直接叠铆成定子铁心，将转子冲片叠铆成带扭斜的转子铁心。扭斜呈小角度转动。在多工位级进模转子落料部分带有扭转机构，有两种方式：一种是由步进电动机带动，其转动结构如图 2-24 所示；二是由上模具的上、下运动所带动，即机械式带动扭转机构，如图 2-25 所示。

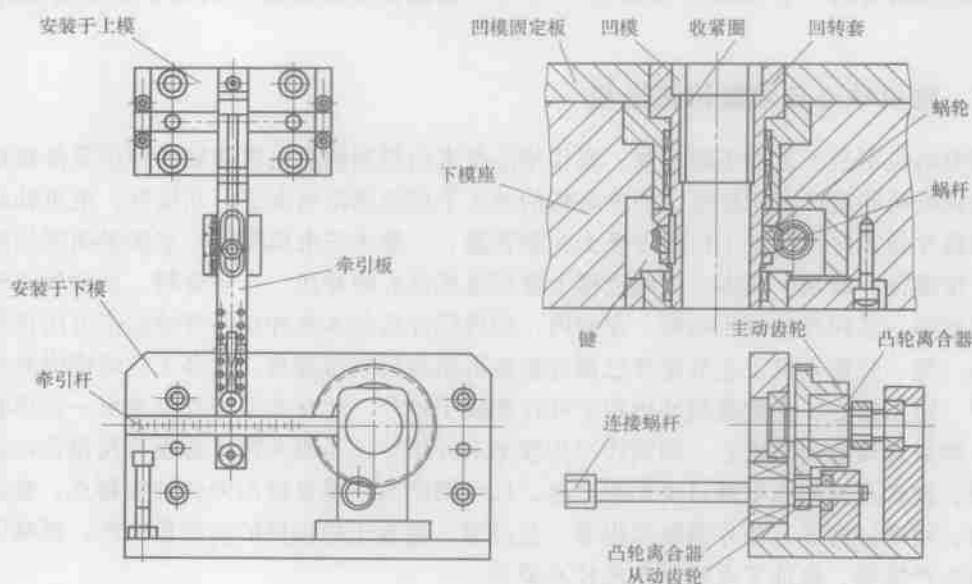


图 2-25 机械式带动扭转机构

(3) 带回转叠铆级进模 在模具内套裁冲出定子冲片和转子冲片，根据铁心冲压要求，定子冲片之间和转子冲片之间要有大角度转动（整数倍回转），可以对定子冲片和转子冲片的二者之一进行单回转，也可同时对两者进行双回转，并在冲片落料时叠铆成带回转的铁心。

冲片之间的转动角度一般有  $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $72^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ ，转子冲片、定子冲片的转动角度可以相同，也可以不同。级进模上带回转结构如图 2-26 所示。

(4) 带回转加扭斜叠铆级进模 在模具内套裁冲出定子冲片和转子冲片，并在落料时将定子冲片直接叠铆成定子铁心，将转子冲片叠铆成带回转加扭斜的转子铁心。回转是大角度的转动，扭斜呈小角度转动。在多工位级进模转子落料部分带有转动机构，这种回转方式一般是由伺服电动机带动转动的。

带回转叠铆级进模集冲裁、回转、扭转、自动叠铆等功能于一副模具，模具设计结构比较先进，制造精度要求高，适合于高速压力机的自动化冲压。该级进模中的主要零件凸模、凹模采用硬质合金材料制造，模具刃磨一次可冲压 100 万次以上，总寿命在 1 亿次以上。

## 2. 自动叠铆级进模的基本组成

(1) 带扭转叠铆级进模 由模具主体、转子扭转机构、定子和转子铁心排出机构（输送带）等组成。

(2) 带回转叠铆级进模 由模具主体、定子和转子回转机构、定子和转子回转驱动装置和定子、转子铁心排出机构等组成。

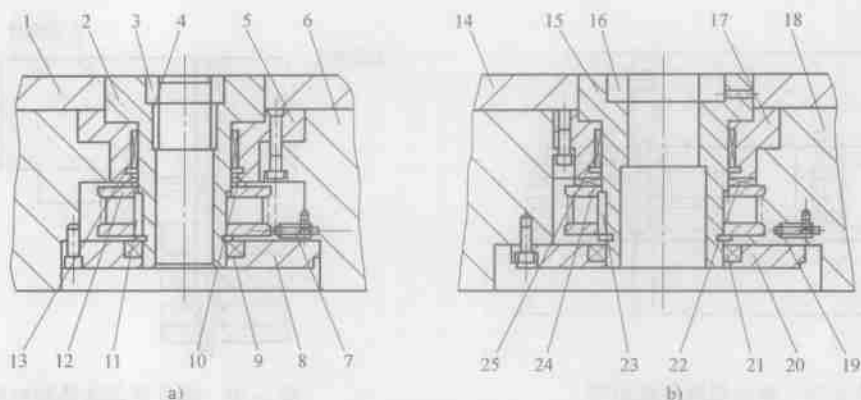


图 2-26 模具双回转机构

a) 转子回转结构 b) 定子回转结构

- 1、14—凹模固定板 2、15—转子回转套 3、16—转子落料凹模 4—转子收紧圈 5、17—回转套固定座  
6、18—下模座 7、19—接近开关 8、20—底板 9、21—轴承 10、22—推力滚针轴承  
11、23—键 12、24—法兰盘 13、25—滚针轴承

### 3. 模具主体结构设计

为确保级进模的高精度和制造中的工艺要求，一是采用双导向结构，即在上、下模座间依靠 6 根大的滚珠导柱进行导向，另外在各卸料板与上、下模座间有 4 根小导柱导向，如图 2-27 所示；二是采用较多的镶拼式和组合式结构，以保证制造、检测和维修方便。

### 4. 凸模、凹模设计

凸模固定采用压板方式，以便更换和维修；凹模采用镶拼结构，用圆柱销定位，确保精度，如图 2-28 所示。

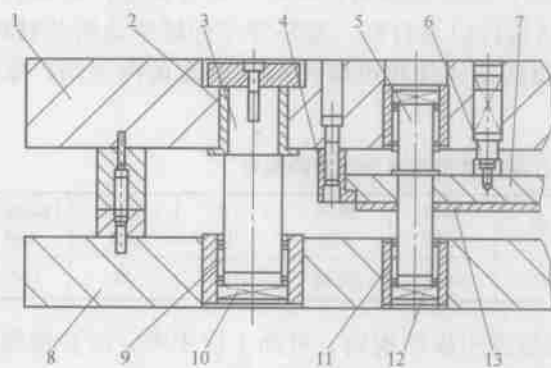


图 2-27 级进模双导向结构

- 1—上模座 2—导套 3—大导柱 4—卸料板定位块  
5—小导柱 6—顶柱 7—卸料固定板 8—下模座  
9、11—滚珠保持圈 10、12—弹簧 13—卸料板

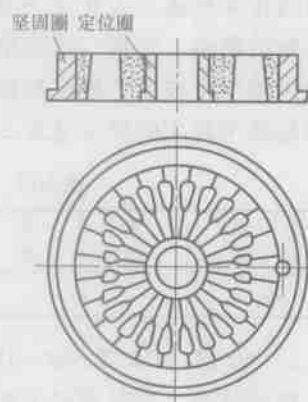


图 2-28 定子冲槽凹模镶拼结构

### 5. 安全保护装置

为保证铁心的叠铆深度，及上模中的凸模进入凹模的深度，必须使用限位柱进行控制，如图 2-29 所示。为防止发生误送料故障，设计有微动开关进行误送监测，如图 2-30 所示。

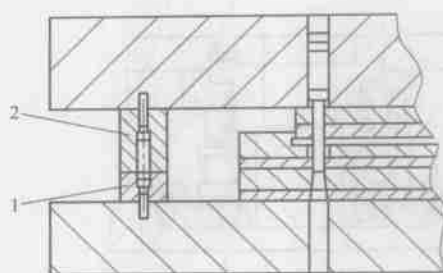


图 2-29 级进模限位柱结构

1—下限位柱 2—上限位柱

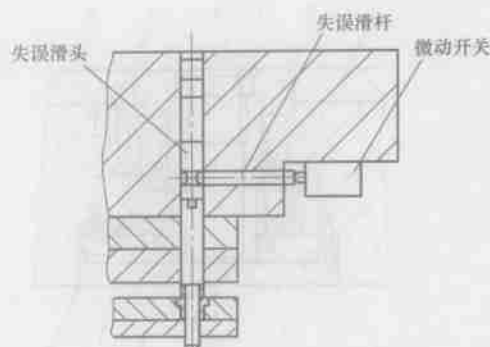


图 2-30 级进模误差监测结构

目前，在级进模上直接冲压出微电机的定子铁心和转子铁心是一项比较先进的制造技术，不仅提高了微电机制造精度和生产效率，而且使精密多工位级进模向着高精度、长寿命、多功能方向获得了进一步的发展。随着电机制造技术的不断发展，带自动叠铆、带回转叠铆技术的精密多工位级进模，已成为电机领域精密模具制造业的主要发展方向之一。

#### 2.4.4 电机铁心级进模具材料

##### 1. 主要模具材料品种与选用

##### (1) 优质碳素结构钢 (GB/T 699—1999)

1) 45 钢 (GB/T 699—1999)。45 钢是常用的调质结构钢，强度较高，塑性和韧性尚好，可加工性优良，经调质处理后，其综合力学性能比其他中碳结构钢好，但淬透性较低，通常均在调质或正火状态下使用。其焊接性差，焊前需预热，焊后应进行去应力退火。45 钢是制造模座、垫板、常规模卸料板等模具结构件以及打杆、套环等零件经常选用的材料。在级进模中常被用于模座垫板、要求不高的扭转结构件和小零件。45 钢在国内不同厂家及各国标准中对应的牌号见表 2-14。

表 2-14 45 钢在国内不同厂家及各国标准中对应的牌号

南钢	太钢	湘钢	东特	舞阳	宝钢	美国 ANSI	德国 DIN	日本 JIS	中国 GB	国际标准 ISO
45		45		S45C	S45C	1045	CK45	S45C	45	C45e

2) 50 钢 (GB/T 699—1999)。此钢属高强度中碳结构钢，可加工性中等，冷变形塑性低，焊接性差，热处理时无回火脆性，但淬透性较低，水中临界直径为 13~30mm，并且水淬时有开裂倾向。50 钢通常在正火或淬火、回火或高频表面淬火后使用。适用于制造耐磨性要求较高，动载荷及冲击作用不大的零件，常用于一般性模架类零件。50 钢在国内不同厂家及各国标准中对应的牌号见表 2-15。

表 2-15 50 钢在国内不同厂家及各国标准中对应的牌号

南钢	太钢	湘钢	东特	舞阳	宝钢	美国 ANSI	德国 DIN	日本 JIS	中国 GB	国际标准 ISO
50		50		S50C	S50C	1050	CK50	S50C	50	C50e

3) 55 钢 (GB/T 699—1999)。55 钢特性与 50 钢相近, 经热处理后有较高的强度和硬度, 但塑性韧性差, 水中临界淬透直径为 15 ~ 32mm, 并且水淬时有开裂倾向。通常在正火或淬火、回火或高频表面淬火后使用。适用于制造要求较高强度和耐磨性或弹性的零件, 如齿轮, 连杆, 扁弹簧等。55 钢在国内不同厂家及各国标准中对应的牌号见表 2-16。

表 2-16 55 钢在国内不同厂家及各国标准中对应的牌号

南 钢	太 钢	湘 钢	东 特	舞 阳	宝 钢	美国 ANSI	德国 DIN	日本 JIS	中国 GB	国际标准 ISO
55		55		S55C	S55C	1055	CK55	S55C	55	C55e

4) BM48C (东莞宝钢)。其化学成分、机械性能介于 45 钢和 50 钢之间, 具有均匀颁布的硬度和组织, 良好的切削加工性能、抛光性能和焊补性能。适用于制造塑料模具, 各模具的模架等。

5) S48C (日本 JIS)。其机械性能介于 45 钢和 50 钢之间, 通常在正火或淬火、回火或高频表面淬火后使用。适用于制造模具上的一般结构件及模架零件。

## (2) 合金结构钢 (GB/T 3077—1999)

### 1) 非预硬钢。

① 40Cr (GB/T 3077—1999)。40Cr 是最常用的合金调质钢, 其抗拉强度、屈服强度及淬透性均比 40 钢高, 适用于制造中等载荷和中等速度的零件, 经调质并高频表面淬火后, 可制作表面硬度及耐磨性要求较高而无很大冲击的零件。在调质状态下常用于模架类零件。适用于制作级进模中的模座, 卸料板件等零件。各国标准中 40Cr 对应的牌号见表 2-17。

表 2-17 40Cr 在各国标准中对应的牌号

美国 ANSI	德国 DIN	日本 JIS	中国 GB	国际标准 ISO
5140	41Cr4	SCr440	40Cr	41Cr4

② 50Cr (GB/T 3077—1999)。淬透性较好, 经正火或调质后可加工性良好, 退火后可加工性也较好; 钢的冷变形塑性低, 焊接时有开裂倾向, 所以焊前需预热到 200℃, 焊后应消除应力; 一般在淬火及回火或调质状态下使用。适用于制造重载荷及受摩擦的零件。50Cr 在各国标准中对应的牌号见表 2-18。

表 2-18 50Cr 在各国标准中对应的牌号

美国 ANSI	德国 DIN	日本 JIS	中国 GB	国际标准 ISO
5150	—	—	50Cr	—

③ 38CrMoAl (GB/T 3077—1999)。为传统使用的高级氮化钢, 有很好的氮化性能和强度, 氮化处理后有高的表面硬度、耐磨性及高的耐腐蚀性; 淬透性不高, 可加工性尚可, 但冷变形塑性低, 焊接性差; 须在调质及氮化处理后使用。适用于制造要求高的耐磨性、高疲劳强度和相当大的强度, 热处理后尺寸要求精确的氮化零件。38CrMoAl 在各国标准中对应的牌号见表 2-19。

表 2-19 38CrMoAl 在各国标准中对应的牌号

美国 ANSI	德国 DIN	日本 JIS	中国 GB	国际标准 ISO
(SEA)6470E	41CrAlMo7	SACM645	38CrMoAl	41CrAlMo7

④ 30CrMnSi (GB/T 3077—1999)。常用的高强度调质结构钢,淬透性较高,热处理后具有高的强度和足够的韧性,在正火状态下冷变形塑性中等,在退火状态下可加工性良好,一般经调质处理后使用。适用于制造重要用途零件,如高速载荷的砂轮轴、齿轮、链轮、轴、轴套等;也可用于工作在振动载荷下的焊接结构和铆接结构。

## 2) 预硬钢。

① NAK55 (日本大同,防腐预硬钢)。日本大同制钢株式会社专利钢 NAK55 是不需任何热处理、适用于镜面抛光加工的预硬化钢。NAK55 主要用于镜面抛光模具,电视机滤光板、化妆品盒等模具,精密皱纹加工模具,汽车零件放电加工模具等。NAK55 在不同厂家及各国标准中对应的牌号见表 2-20。

表 2-20 NAK55 在不同厂家及各国标准中对应的牌号

大同	日立	美国 ANSI	德国 DIN	日本 JIS	中国 GB
NAK55	HPM50	P21	—	—	10Ni3MnCuAl

② HPM1 (日本日立)。有优秀的镜面加工性,良好的韧性、强度和耐磨性,优秀的抛光性。广泛用于橡胶、塑料模具,高强度模具板,汽车零件等。

③ NAK80 (日本大同)。在 NAK55 基础上改进的材料,镜面研磨性能好,放电加工性能好,焊接性能佳,不需要进行热处理,可直接加工生产模具。主要用于生产塑胶模具,也适用于要求变形极小的级进模卸料板座等。NAK80 在不同厂家及各国标准中对应的牌号见表 2-21。

表 2-21 NAK80 在不同厂家及各国标准中对应的牌号

大同	日立	美国 ANSI	德国 DIN	日本 JIS	中国 GB
NAK80	ZHD421	—	P21	—	10Ni3MnCuAl

④ W35B (舞阳)。普通优质塑膜钢,预硬性良好,板厚大于 80mm 时硬度不均匀,具有良好的机械加工特性和抛光性能,适用于塑料模、模架等。

⑤ P80A (舞阳)。预调质硬化塑料模具钢,镜面研磨性极佳,可达到令人满意的光洁程度;钢板预硬化硬度高,有良好的切削加工性能;使用时可保持高精度;蚀刻性能好,放电加工时表面细致美观,可取代梨花蚀皮。适用于高性能精密塑料模、橡胶模具、冲压模具及产业机械等各种零件。

⑥ B20 (宝钢)。非调质预硬塑胶模具钢,硬度不均匀,用于取代 S45C ~ S50C,材料的切削加工、抛光、焊接和耐腐蚀性能均得到改善,用于制造模架。

⑦ B20H (宝钢)。普通粗钢,在 B20 基础上,添加了部分合金元素,使材料的抛光性能、耐腐蚀性能和表面氮化性能更好,硬度比 B20 有所提高。但还是存在硬度不均匀,抛光性能和焊补性能良好。用于制作模架、塑料模具、预硬零件。

⑧ BPD25 (宝钢)。普通粗钢,特性和用途与 B20H 相似,是在 B20H 的基础上,添加和改进部分合金元素,提高锰的含量,用镍代替钒。使材料的抛光性能,耐腐蚀性能和表面氮化性能更好,交货硬度的均匀性和钢胚的质量得到了提高。适用于制造中等要求预硬模架或下模件。

⑨ B30 (宝钢)。加工性能良好,适用于制造塑胶模具、模架等。

⑩ B30H (宝钢)。在 B30 非调质预硬态塑料模具钢的基础上进行了改进,组织和硬度

沿大模块截面分布均匀,切削加工性能和焊接性能更好。具有极佳的抛光性能、耐腐蚀性能和表面氮化性能,无需热处理,在硬度为 33~37HRC 的情况下经锻造后硬度基本不变。适用于制造塑料模的预硬形腔、高品质的塑料模具、模架等。

⑪ 30PH (宝钢)。其组织和硬度沿模块截面分布均匀,在重新热加工前后组织和硬度基本不变,型腔加工前后无需热处理,有利于钳工一次性完成抛光和修整,材料具有良好的加工性能和焊接性能。具有极佳的抛光性能、耐腐蚀性能和表面氮化性能。适用于制造要求的大型模架及下模件。

⑫ B40 (宝钢)。为非调质预硬钢,组织和硬度沿模块截面分布均匀,加工后无需热处理,镜面研磨性极佳,有良好的机械加工性能和焊接性能,耐腐蚀性好,适合进行氮化处理。适用于制造精密塑胶模具。

⑬ B40H (宝钢)。特性和用途基本与 NAK80 一致,为其国内代用牌号。研磨抛光容易,镜面性好,淬透性高,时效变形小,具有良好的电火花加工性能、补焊性能、图案蚀刻性能和冷热加工性能。适用于制造工作温度 300℃ 以下,使用硬度小于 45HRC,要求高镜面、高精度的各种注塑模具。

⑭ 3Cr2Mo (GB/T 1299—2000)。有良好的切削加工性能、镜面研磨性能、电火花加工性能和抛光性能。经机加工成形后,不需要进行高温热处理,可经表面渗碳或氮化处理,淬透性较好,可预硬交货。预硬后沿材料截面硬度分布均匀。适用于制造尺寸精度及表面粗糙度要求一般的塑料模和压铸低熔点金属的模具等。3Cr2Mo 在不同厂家和各国标准中对应的牌号见表 2-22。

表 2-22 3Cr2Mo 在不同厂家和各国标准中对应的牌号

一胜百	奥地利百禄	大同	日立	德国撒斯特	太钢	东特	舞阳	宝钢	美国 ANSI	德国 DIN	日本 JIS	中国 GB
618	M201, M202	PX4 PX5	HPM7 NP8	GS-638 GS-2311	P20	P20	P20	P20	P20	1.2311	HPMS	3Cr2Mo

⑮ P20M (舞阳,太钢,东特)。性能和组织都比 P20 差,但是价格比 P20 便宜,是 P20 的经济型替代品。适用于制造塑料模和模架板件等。

⑯ P20H (舞阳,太钢,东特)。组织结构较 45 钢好,能提高加工精度,抛光性能良好,具有良好的淬透性,适用于制造塑料模具,加工成精密塑膜及镜面模具等。

⑰ NIMAX (一胜百)。是一种新型塑料模具钢,机加工性能优良,不必焊前预热及焊后热处理。具有高的硬度和韧性,使模具具备抗凹陷能力,适合做模具蚀纹加工,有优良的抛光性能。适于制作不同类型的塑胶模具、模具模座和各种工程部件。

⑱ 718 (南钢、太钢、东特、舞阳、宝钢)。由于加了 1% (质量分数) 的 Ni,淬透性极佳,可预硬交货。具有良好的电火花加工性能和抛光性能。预硬后沿大断面材料截面硬度分布均匀。用于制造生产批量较大,模具尺寸较大,形状复杂,尺寸精度,表面粗糙度及表面抛光性能要求较高的高质量塑胶成型模具。718 钢在不同厂家及各国标准中对应的牌号见表 2-23。

表 2-23 718 钢在不同厂家及各国标准中对应的牌号

一胜百	奥地利百禄	日立	德国撒斯特	南钢	太钢	东特	舞阳	宝钢	美国 ANSI	德国 DIN	日本 JIS	中国 GB
718S (H)	M238	NP9 NP10	GS2711 GS2738	718		718	718	718	P20 + Ni	1.2738	HPMS	3Cr2MnNiMo

⑱ PAK90 (日本大同)。抗腐蚀性能良好, 保养简单, 适合做普通塑料模, 模架等。PAK90 钢在不同厂家及各国标准中对应的牌号见表 2-24。

表 2-24 PAK90 钢在不同厂家及各国标准中对应的牌号

一胜百	奥地利百禄	大同	日立	德国撒斯特	美国 ANSI	德国 DIN	日本 JIS	中国 GB
S136H	M300	PAK90	HPM38	GS2316	420	1.2316	SUS 420J2	3Cr17Ni MnMo

⑳ ROYALLOY (奥地利百禄)。模座模架用不锈钢, 抗磨性佳, 是特殊加硫易切削钢, 加工性能、延展性能佳。无需热处理, 可直接供货态使用。适合于制造高耐腐蚀和耐磨性要求的模座及模架。

### (3) 碳素工具钢 (GB/T 1298—2008)

1) T8A。有较高的硬度, 一定的韧性和耐磨性, 但热硬性低, 淬透性差, 淬火时易过热变形大, 塑性和强度较低。适用于制造要求较高硬度, 具有一定耐磨性和韧性的各种工具, 如形状简单的模子和冲头, 切削软金属的刀具、打眼工具等。T8A 在各国标准中对应的牌号见表 2-25。

表 2-25 T8A 在各国标准中对应的牌号

美国 ANSI	德国 DIN	日本 JIS	中国 GB	国际标准 ISO
W108Special	C80W1	—	T8A	—

2) T10A。硬度和耐磨性比 T8 高, 韧性尚可, 但热硬性和淬透性差, 淬火变形大。适用于制造切削速度不高、不受突然的冲击而要求有一定耐磨性和韧性的刀具, 如车刀、锉刀、铰刀、丝锥、刮刀, 要求不高的冷切边模, 轻载冲模等。T10A 在各国标准中对应的牌号见表 2-26。

表 2-26 T10A 在各国标准中对应的牌号

美国 ANSI	德国 DIN	日本 JIS	中国 GB	国际标准 ISO
W110Special	C105W1	—	T10A	—

3) T8MnA。特性与用途和 T8 钢相似, 但淬透性较好, 故还可以用于制造较大截面尺寸的工具。T8MnA 在各国标准中对应的牌号见表 2-27。

表 2-27 T8MnA 在各国标准中对应的牌号

美国 ANSI	德国 DIN	日本 JIS	中国 GB	国际标准 ISO
—	C85W	—	T8MnA	—

### (4) 合金工具钢

1) Cr12。(GB/T 1299—2000) 一种广泛应用的冷作模具钢, 有高的强度、较好的淬透性和良好的耐磨性, 淬火变形小, 但冲击韧性差。适用于制造承受冲击载荷较小, 要求高耐磨性的工件, 如冷冲模冲头、冷剪切刀、钻套、量规、拉丝模、压印模、搓丝板、拉延模等。还适用于制作轻载冲裁模、精冲模、级进模中的垫板, 定转子收紧圈 (基体), 转子扭转套, 支撑套, 扭转摆杆, 扭转拨杆, 调整垫块, 联轴套, 蜗杆保持架和其他一些小零件, 刃口最佳硬度为 60~62HRC。Cr12 在各国标准中对应的牌号见表 2-28。

表 2-28 Cr12 在各国标准中对应的牌号

美国 ANSI	德国 DIN	日本 JIS	中国 GB	国际标准 ISO
D3	X210 Cr12; 1.2080	SKD1	Cr12	210Cr12

2) Cr12MoV (GB/T 1299—2000)。与 Cr12 钢同属高碳铬的莱氏体钢,但其淬透性,硬度、耐磨性、强度均比 Cr12 钢高;热处理时体积变形小,并有较好的热加工性,碳化物分布均匀。适合于制造截面尺寸较大,形状复杂、工作条件繁重的各类冷冲模具和工具。还适用于制造精冲模和重载冲裁模,制作级进模的凹模固定板,凸模固定板,卸料板等,刃口最佳硬度为 60~62HRC。Cr12MoV 在各国标准中对应的牌号见表 2-29。

表 2-29 Cr12MoV 在各国标准中对应的牌号

美国 ANSI	德国 DIN	日本 JIS	中国 GB	国际标准 ISO	一胜百
—	X165CrMoV12; 1.2601	SKD11	Cr12MoV	160CrMoV12	XW-41

3) Cr12Mo1V1 (GB/T 1299—2000)。特性与效果和 Cr12 MoV 相似,但晶粒细化效果好,故淬透性和韧性均比 Cr12 MoV 钢好,能空淬淬硬,可与 Cr12 MoV 互换使用,刃口最佳硬度为 60~62HRC。Cr12Mo1V1 在各国标准中对应的牌号见表 2-30。

表 2-30 Cr12Mo1V1 在各国标准中对应的牌号

美国 ANSI	德国 DIN	日本 JIS	中国 GB	国际标准 ISO	一胜百	大同	日立
D2	X155CrMo1211. 2379	SKD11	Cr12Mo1V1	—	XW-42	DC11	SLD

4) 9CrWMn (GB/T 1299—2000)。一种应用较为广泛的量具钢,有较高的淬透性、一定的硬度和耐磨性,较好的韧性,淬火后变形和扭曲小,但形成网状碳化物较敏感,使刀具刃口有剥落的危险,热加工应严格控制工艺。适用于制造要求变形小的细而长的和形状复杂的量具以及截面尺寸不大而形状复杂的高精度冷冲模、塑料模等。最佳使用硬度为 57~59HRC。9CrWMn 在各国标准中对应的牌号见表 2-31。

表 2-31 9CrWMn 在各国标准中对应的牌号

美国 ANSI	德国 DIN	日本 JIS	中国 GB	国际标准 ISO	一胜百	大同	日立
O1	1.2510	SKS3	9CrWMn	—	DF3	GDA	SGT

5) CrWMn (GB/T 1299—2000)。一种应用较为广泛的量具钢,也称油钢,有较高的淬透性、一定的硬度和耐磨性,较好的韧性,淬火后变形和扭曲小,但形成网状碳化物较敏感,使刀具刃口有剥落的危险,热加工应严格控制工艺。适用于制造要求变形小的细而长的和形状复杂的量具以及截面尺寸不大而形状复杂的高精度塑料、冲压模等,刃口最佳硬度为 55~59HRC。CrWMn 在各国标准中对应的牌号见表 2-32。

表 2-32 CrWMn 在各国标准中对应的牌号

美国 ANSI	德国 DIN	日本 JIS	中国 GB	国际标准 ISO	一胜百
O7	105WCr6	SKS31	CrWMn	—	—

6) Cr5Mo1V (GB/T 1299—2000)。碳化物细小均匀,有较高的空淬性能,截面尺寸≤100mm 的工件可完全淬透,并且变形小,韧性比 Cr12 钢高耐磨性稍低。适用于制造需要耐磨同时要求韧性的冷作模具钢;也可代替 CrWMn, 9 MnW 钢制作小型冷冲裁模、下料模、成形模和冲头等。Cr5Mo1V 在各国标准中对应的牌号见表 2-33。

表 2-33 Cr5Mo1V 在各国标准中对应的牌号

美国 ANSI	德国 DIN	日本 JIS	中国 GB	国际标准 ISO	一胜百
A2	X100CrMoV51	SKD12	Cr5Mo1V	100CrMoV5	XW-10

7) Cr4W2MoV (GB/T 1299—2000)。性能较稳定,与 Cr12 钢相比,所制造模具的使用寿命有较大提高;共晶碳化物颗粒细小均匀,有较高的淬透性和淬硬性,较好的耐磨性和尺寸稳定性。可代替 Cr12 钢制作电器硅钢片冲裁模,可冲裁厚度为 1.5~6mm 的弹簧钢板,使用寿命一般比 Cr12 和 Cr12MoV 钢提高一倍以上;也可用于制造冷锻模、落料模、冷挤凹模等。

8) 9Mn2V (GB/T 1299—2000)。有较高的硬度和耐磨性,淬火时变形较小,淬透性也较好,过热敏感性小,碳化物不均匀性较 CrWMn 低。适用于制造小型轻载冷冲模具,特别适合于制造各种要求变形小,耐磨性较高的精密量具、精密丝杆、磨床主轴。9Mn2V 在各国标准中对应的牌号见表 2-34。

表 2-34 9Mn2V 在各国标准中对应的牌号

美国 ANSI	德国 DIN	日本 JIS	中国 GB	国际标准 ISO	大同
O2	90MnCrV8	SKS93	9Mn2V	90MnV2	YK30

9) 6W6Mo5Cr4V (GB/T 1299—2000)。淬透性好,并具有类似高速钢的高硬度和高耐磨性等良好的综合力学性能;但热加工温度范围较窄,变形抗力较大,并且容易脱碳,应在工艺上予以注意。适用于制造冷挤压凹模,上下冲头等模具。

10) 7CrSiMnMoV (爱之制钢 SX105V)。为火焰淬火模具钢,可在模具加工完后,采用氧乙炔喷枪或其他加热器,对模具的刃部或其他部位进行加热后空冷淬火,一般淬火后可以直接使用。该钢具有良好的淬透性,φ80mm 的钢材经过淬火后距表面 30mm 处的硬度可达到 60HRC 以上,心部和表面硬度差值为 3HRC。火焰淬火时,经 180~200℃ 预热,用喷枪加热至 900~1000℃ 淬火,硬度可达到 60HRC 以上,可得到深度超过 1.5mm 的淬硬层。适用于制造重载冷冲模。

11) DC53 (日本大同)。具有高硬度,高温回火 520~530℃ 硬度可达 62~63HRC。高韧性,韧性比 SKD11 高两倍,可以防止工具、模具龟裂于崩缺,从而提高模具寿命;改善了 SKD11 的巨大碳化物,可防止造成刀口碎裂。具有良好的切削性能、研磨性能和线切割性能。适用于冲裁模、冷作成形模、冷拉模、成形压辊,冲头,刃口最佳硬度为 60~62HRC。

表 2-35 DC53 在各国标准中对应的牌号

一胜百	大同	日立	美国 ANSI	德国 DIN	日本 JIS	中国 GB
ASSAB88	DC53	SLD8	—	—	DC53	Cr8Mo2SiV

12) Cr8 (东北特钢)。性能比 Cr12 差,但价格便宜,可用来代替 Cr12 制作模板等零件。

#### (5) 高速工具钢

1) W18Cr4V (GB/T 9943—2008)。为钨系高速钢,也称白钢,是应用最广泛的一个高速钢牌号。热处理温度范围宽,淬火不易过热,易于磨削加工;热加工时不易氧化,在 500~600℃ 时硬度仍可保持在 52~58HRC;碳化物不均匀,高温塑性均较钼系高速钢差,不适宜制造大型及热塑成形的刀具,对有些硬性材料满足不了刀具硬度和热硬性的要求。适用于制造加工中等硬度材料 (300~320HB),工作温度在低于 600℃ 时仍要保持切削性能的

一般刀具和复杂刀具。W18Cr4V 在各国标准中对应的牌号见表 2-36。

表 2-36 W18Cr4V 在各国标准中对应的牌号

美国 ANSI	德国 DIN	日本 JIS	中国 GB	国际标准 ISO
T1	S18-0-1	SKH2	W18Cr4V	HS18-0-1

2) W6Mo5Cr4V2 (GB/T 9943—2008)。为钨钼系高速钢类, 具有碳化物颗粒细小并且分部均匀、韧性高、耐磨性好、热塑性好; 硬度和热硬性稍低; 高温硬度与 W18Cr4V 相当。适用于制造各种需要承受冲击力较大的刀具和一般高速切削刀具, 也适用于制造精冲模和易断凸模, 刃口最佳硬度为 62 ~ 64HRC。W6Mo5Cr4V2 在不同厂家和各国标准中对应的牌号见表 2-37。

表 2-37 W6Mo5Cr4V2 在不同厂家和各国标准中对应的牌号

一胜百	大同	日立	美国 ANSI	德国 DIN	日本 JIS	中国 GB	国际标准 ISO	
EM2	MH51	YXM1	M2	S6-5-2	1.3343	SKH51	W6Mo5Cr4V2	HS6-5-2

3) W2Mo9Cr4VCo8 (GB/T 9943—2008)。为高碳含钴超硬型钨钼系高速钢, 有高的硬度 (67HRC) 和高温硬度、热硬性和易磨削等优点。适用于制造高精度和形状复杂的刀具, 可加工铁基高温变形合金、铸造高温合金、钛合金及超高强度钢等, 但韧性稍差, 淬火硬度宜采用中下限, 刃口最佳硬度为 65 ~ 67HRC。W2Mo9Cr4VCo8 在不同厂家和各国标准中对应的牌号见表 2-38。

表 2-38 W2Mo9Cr4VCo8 在不同厂家和各国标准中对应的牌号

日立	美国 ANSI	德国 DIN		日本 JIS	中国 GB	国际标准 ISO
XVC5	M42	S2-10-1-8	1.3247	SKH59	W2Mo9Cr4VCo8	HS2-9-1-8

4) W6Mo5Cr4V2Co5 (GB/T 9943—2008)。为一般含钴型钨、钼系高速钢, 红硬性和高温硬度比 W6Mo5Cr4V2 钢高, 但韧性下降。适用于制造高速切削刀具, 及切削较高强度的材料, 刃口最佳使用硬度为 65 ~ 67HRC。W6Mo5Cr4V2Co5 在各国厂家和各国标准中对应的牌号见表 2-39。

表 2-39 W6Mo5Cr4V2Co5 在不同厂家和各国标准中对应的牌号

一胜百	大同	日立	美国 ANSI	德国 DIN		日本 JIS	中国 GB	国际标准 ISO
M35	MH55	YXM4	M35	S6-5-2-5	1.3243	SKH55	W6Mo5Cr4V2Co5	HS6-5-2-5

## (6) 粉末冶金工具钢

1) V4 (一胜百) 粉末冶金合金工具钢。具有高耐磨损性、高延展性、高抗黏着磨损。适合冲切高粘度材料, 长寿命精冲模具, 冷挤模, 拉伸模, 粉末压制模。最佳使用硬度为 60 ~ 62HRC。

2) V10 (一胜百)。为高碳高合金工具钢, 性能与 Cr12Mo1V1 相似。因采用粉末冶金制造, 其合金成分均匀, 具备高的耐磨性和韧性, 易于冲裁薄材, 具有高的耐磨粒磨损性、高韧性、高抗压强度。

适用于制造冷冲模刃口和对耐磨性要求高的各种刀具等, 特别适合失效方式以磨粒磨损

为主的长寿命生产的模具,如精冲模、矽钢片冲裁模、电路板冲切模、冷锻模、拉伸模、粉末压制模,常代替在实际应用中发生崩角或开裂的硬质合金材料。宁波鸿达精密模具公司使用的硬度为 61~63HRC。

3) DEX20 (日本大同) 粉末冶金高速钢。DEX20 的机械加工性能比一般传统方法制造的高合金工具钢好,热处理的尺寸稳定性也比较好,而且容易预测。具有高硬度、高韧性及高温回火的特性,耐磨性、韧性和变形都优于同成分传统高速钢,特别适合表面处理,如 PVD 镀钛。适合于薄板材下料及成形,如中碳钢或高碳钢板材的下料,冲切已硬化钢板或冷轧钢带,还可用于含玻璃纤维的塑料模、塑料成形机的零件等。刃口最佳硬度为 63~65HRC。DEX20 在不同厂家和各国标准中对应的牌号见表 2-40。

表 2-40 DEX20 在不同厂家和各国标准中对应的牌号

一胜百	奥地利百禄	大同	日立	美国 ANSI
ASP-23	S790	DEX20	HAP10	M3:2

4) DEX40 (日本大同)。DEX40 切削、磨削性能良好,高温强度极为出色。具有高硬度,良好的韧性、耐磨性、红硬性和热处理尺寸稳定性。其耐磨性,韧性,变形均优于同成分传统高速钢。适合制作多刃刀具,也适合制作一般要求的单刃模、冷锻模,对耐磨性有严格要求的冷冲模,刃口最佳硬度为 64~66HRC。DEX40 在不同厂家和各国标准中对应的牌号见表 2-41

表 2-41 DEX40 在不同厂家和各国标准中对应的牌号

一胜百	奥地利百禄	大同	日立
ASP-30	S590	DEX40	HAP40

5) DEX60 (日本大同)。为 W-Mo-V-Co 粉末冶金高速钢,其耐磨性,韧性,变形均优于同成分传统高速钢,适合制作精密冷冲模,各种高、热硬性要求的刀具。刃口最佳硬度为 67~70HRC。

6) DEX80 (日本大同)。为 W-Mo-V-Co 粉末冶金高速钢,其耐磨性、韧性、变形能力均优于同成分传统高速钢,具有高耐磨性、高抗压性,良好的淬透性、热处理稳定性和高的热硬性。

适合于制造精密冷冲模及各种红硬性要求高的刀具。刃口最佳硬度为 66~68HRC。表 2-42 为 DEX80 在不同厂家对应的牌号。

表 2-42 不同厂家 DEX80 对应的牌号

一胜百	奥地利百禄	大同	日立
ASP-60	S390	DEX80	HAP72

## (7) 硬质合金类

1) YG15 (株洲 601, 四川自贡, 浙江恒成, 湖南博云)。使用强度是钨钴合金中最高的,耐冲击性最好,但耐磨性较低。适用于应力较大的条件下使用,制造冲击回转凿岩机凿坚硬和极坚硬岩层的钻头,压缩率大的钢棒、钢管的拉深模具、冲压模具等。

2) YG20 (株洲 601, 四川自贡, 浙江恒成)。适用于冲击力大的成形模,级进模,制作手表零件、乐器弹簧片、电池壳、牙膏壳、小尺寸钢球、螺钉、螺母等用的冲压模具,热轧麻花钻的压板等。

3) MZ30 (株洲 601)。强度高, 耐磨性好。适用于 Cu、Al、不锈钢等材料的薄片高速冲裁。

4) MD40A (博云东方)。给 MD45 做了电加工优化处理, 具有更好的电加工性能。用途和 MD45 相似。

5) MD50A (博云)。将 MD55 做了电加工处理, 具有更好的电加工性能, 用途和 MD55 相似。综合性能好, 韧性和抗蚀性好, 适用于制造冲压标准件、紧固件、沉头钉、钢球的模具, 以及大负荷高速冲裁。

6) YG12X (浙江恒成)。细颗粒, 适合于制造拉丝模、拉管模、粉末冶金用模具、切削工具等。

7) HL20E (浙江恒成)。适用于制造标准件、轴承、工具等行业用的冷镦、冷冲、冷压模具。

8) H2 (日本住友)。属细颗粒钨钴合金, 耐磨性较高, 但使用强度、耐冲击性、耐振动性和耐崩裂性较差。适用于加工冷硬合金铸铁和耐热合金钢, 也适用于普通铸铁的精加工, 以及钢材、有色金属及其合金线材的细丝拉伸。

9) DA50 (日本山合金)。使用微细颗粒和细颗粒原料、具备优越的耐磨性和韧性。适用范围最广, 适用于各种工具。

10) RD50 (日本山合金)。RD50 是 DA50 在强度和耐腐蚀性上改良后开发的品种, 增加了强度, 放电加工时的耐电蚀性有较大改善, 用途和 DA50 相似。

11) DC-650 (德国都明)。高耐磨, 高强度, 中度耐震, 低度耐冲击, 刃口锋利。适用于冲裁各类薄片, 厚度小于 0.3mm 的剃刀片、引线框、弹簧片、不锈钢片、硅钢片等冲压及拉深成形模具, 滚压轮, 硬质合金压印模。

12) DC-337 (德国都明)。具有高度耐震性, 耐冲击, 中度耐磨, 有高抗碎强度, 其专利粉末用专利方法严格制造。适用于制造级进模, 热、冷金属成形冲头, 打孔冲头, 冲模, 冷挤压或反向挤压冲头, 型锻心轴。

在美国和欧洲已经证明, 特别适合电机定转子的高精冲压。

13) CF-H40S (奥地利森拉天时)。具有优秀的耐腐蚀性能, 达到了耐磨和断裂韧度的理想配合, 用途较广。

14) MB20EDM (德国兰帛)。耐线切割加工腐蚀, 适用于冲裁模的制造。

15) G3 (日本共立)。具有良好的耐磨性及抗崩刃性, 适合制作各种工具、一般拉深模、粉末冶金成形模、轻载冲裁模、活塞、衬垫等。

16) G4 (日本共立)。耐冲击性能稍高于 G3, 耐磨性能低于 G3, 用途基本和 G3 一致。

17) G5 (日本共立)。耐冲击性能高于 G4, 耐磨性能低于 G4, 适合于制作一般冲裁模, 重载拉深模等。

18) KG4 (台湾春保)。耐磨性能佳, 适合制作对耐磨性要求高的模具。

19) KG7 (台湾春保)。耐磨性能较好, 适用于制作对耐磨性要求较高的工模具。

20) KG6 (台湾春保)。Co 含量少于 KG7, 但粒度粗, 硬度低于 KG7, 抗弯强度低于 KG7。

21) WF30 (台湾春保)。其超微颗粒使得合金强度提升, 耐剥落, 韧性较好, 是一种适合用于模具锐利刃口加工的材料, 可延长精密模具的使用寿命。

22) CD-337 (美国肯纳)。具有特高强度、高耐震冲击性能,中度耐磨,有电加工防腐性能。适用于各类中、厚片的冲压,拉深,成形,压印,锻压模及硅钢片冲压。也适用于制造拉罐模具、冲击冲头、冷挤压凸模、厚冷轧钢板拉深模,特别适用于有粘性的材料冲裁。

23) CD-650 (美国肯纳)。具有高耐磨性,高强度,中度耐震,低度抗冲击,有电加工防腐性能。适用于制造各类薄片、厚度小于0.3mm的引线框、弹簧片、钢片冲压模。

24) D40 (日本富士)。耐磨性和韧性较好,适合于制造各种工模具。

25) D60 (日本富士)。耐磨性和韧性较好,适合于制造各种工模具,韧性好于D40,硬度低于D40。

## 2. 主要零件的材料牌号与性能

### (1) 上下模座、卸料板座、模座垫板 (见表 2-43)

表 2-43 上下模座、卸料板座、模座垫板的材料牌号与性能

序号	零件名称	材料 牌号	机械性能					出厂硬度	
			抗拉 强度 /MPa	屈服 强度 /MPa	伸长率 (%)	断面 收缩率 (%)	冲击 吸收能量 $A_{KV}/J$		
1	上模座	45	600	355	16	40	39	未热处理 229HBW 退火钢 197HBW ≥150HBW	
		S45C							
		BM48C	630	375	14	40	31	未热处理 241HBW 退火钢 207HBW	
		S50C							
		B20H	1250					24~27HRC	
		BPD25						25~30HRC	
		W35B						28~32HRC	
		B30PH						28~32HRC	
P20	28~32HRC								
718	30~35HRC								
2	下模座	45	600	355	16	40	39	未热处理 229HBW 退火钢 197HBW ≥150HBW	
		S45C							
		BM48C	630	375	14	40	31	未热处理 241HBW 退火钢 207HBW	
		S50C							
		B20H	1250					24~27HRC	
		BPD25						25~30HRC	
		W35B						28~32HRC	
		B30PH						28~32HRC	
P20	28~32HRC								
718	30~35HRC								
3	卸料板座	P20M	1250						280~340HBW
		P20							28~32HRC
		NAK80							37~43HRC
		NIMAX							360~400HBW
		718							30~35HRC
		W35B							28~32HRC

(续)

序号	零件名称	材料牌号	机械性能					出厂硬度
			抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	伸长率 (%)	断面收缩率 (%)	冲击吸收能量 $A_{KV}/J$	
4	模座垫板	45	600	355	16	40	39	未热处理 229HBW
		S45C						退火钢 197HBW
		BM48C						$\geq 150$ HBW
		S50C	630	375	14	40	31	未热处理 241HBW
		P20M						退火钢 207HBW
		P20	1250					280~340HBW
		B30PH						28~32HRC

## (2) 凸模、凹模类零件 (见表 2-44)

表 2-44 凸模、凹模类零件的材料牌号与性能

序号	零件名称	材料牌号	机械性能	
			抗拉强度/MPa	硬度 HRA
5	小圆凸模	YG15	2059	87
6	转子圆凸模			
7	定子圆凸模			
8	大圆凸模			
9	小圆凸模	YG20	2060	85
10	圆凹模			
11	转子扭转凹模			
12	外形圆、内异形凹模			
13	收紧圆镶套	YG15	2059	87
14	凸模			
15	凸模镶条			
16	凹模			
17	凹模镶条	YG20	2060	85
18	切刀镶块			
19	转子扭转凹模			
20	异形大凹模			
21	台阶凸模	YG15	2059	87
22	扭转计数、叠铆凸模			
23	计数凸模			
24	叠铆凸模			
25	导料块			

## (3) 其他板、套类零件 (见表 2-45)

表 2-45 其他板、套类零件的材料牌号与性能

序号 <sup>①</sup>	零件名称	材料牌号	出厂硬度
26	凹模固定板	Cr12MoV	255~207HBW
27	凸模固定板		
28	卸料板		
29	上垫板		
30	下垫板	Cr12	217~269HBW
31	抽板		

(续)

序号 <sup>①</sup>	零件名称	材料牌号	出厂硬度
32	收紧圈垫片	Cr12	217~269HBW
33	抽板垫块		
34	压板		
35	凸模垫块		
36	废料切刀	45	未热处理 229HBW 退火钢 197HBW
37	侧导板	Cr12	217~269HBW
38	承料板		
39	压料舌		
40	压料导板		
41	固定座	45	未热处理 229HBW 退火钢 197HBW
42	转子收紧套	Cr12	217~269HBW
43	定子收紧套		
44	转子扭转套		
45	定子收紧套		
46	定子收紧套		
47	支撑套		
48	保持套(调质)	45	未热处理 229HBW 退火钢 197HBW
49	保持架(淬火)	Cr12MoV	255~207HBW
50	调整垫片	Cr12	217~269HBW

① 序号接表 2-44 中序号排。

## 2.5 精密电机铁心冲压件使用设备

电机铁心生产主要是硅钢片冲压(卷料的纵剪、高速冲裁)和散片的压装。冲压设备是纵剪机组和高速精密压力机组;压装设备是液压机和焊接机等。

### 2.5.1 纵剪开料与卷料堆放

#### 1. 纵剪机组

纵剪机组一般由开卷机、纵剪机、收卷机三部分组成。工作时,按开料图尺寸调整滚刀间距(为节约用料,有时多种规格一起开料),再将开卷机上的料架直径调小,以便卷料进入,然后用行车将整卷材料(料宽有 1M 和 1.2M 两种规格)吊套入开卷机料架上,调大料架直径,直至涨紧整卷材料。起动开卷机电源,将卷料引入纵剪机工作台上,起动纵剪机电源进入纵剪,当条料出滚道 200mm 时,关闭开卷机、纵剪机电源,用带表卡尺测量条料尺寸是否符合开料图尺寸要求,确认符合后再起动开卷机、纵剪机电源,直至纵剪条料经过渡坑到收卷机上料后,便可连续进行纵剪作业。

纵剪机是利用一对圆形的滚动刀刃来剪裁卷料的。一对滚动刀刃分别按装在两根轴上,借齿轮传动作反向转动,滚动刀刃间的距离  $b_1$ 、 $b_2$  可按不同条料的宽度要求进行调整,可同时剪出不同宽度规格的条料,并可连续送料纵剪,不受长度限制,便于组成自动流水生产线。图 2-31 所示为纵剪、滚刀轮示意图。轴上装有多对刀轮,一般均用高速钢制成

(W18Cr4V)。它们直径相同, 转速相同, 只是对应刀轮转向相反, 两刀轮之间有重叠部分  $c$ 。当材料插入滚刀间时, 刃口与材料间的摩擦力会把卷材拉入进行剪切。与此同时, 滚刀作用于板材的压力也会产生将板材推回的趋势。因此, 欲确保纵剪的顺利进行, 必须使摩擦力大于推回力。在生产实践中, 解决的方法是选择一个上下滚轮最合理的咬合角  $\alpha$ , 此角与材料的厚度及滚刀直径有关, 根据实际生产中得出经验, 当纵剪 0.5mm 硅钢片时: 咬合角  $\alpha = 6^\circ$ , 重叠高度  $c = 0.5\text{mm}$ , 滚动刀刃直径  $d = 181\text{mm}$ , 滚动刀刃厚度  $h = 40\text{mm}$ 。

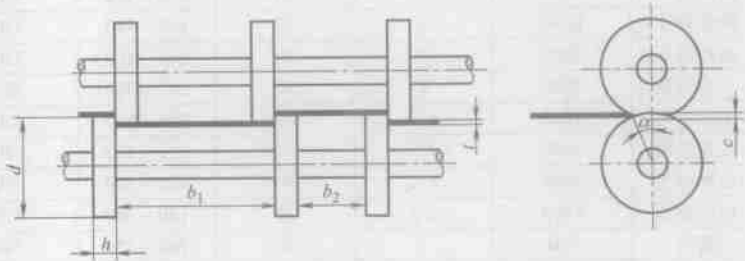


图 2-31 纵剪、滚刀轮示意图

2. 卷料堆放

精密电机铁心冲压生产的卷料需有一个专用堆放区域, 区域内有卷料置放架。置放架的排列位置, 需考虑便于行车吊运操作及查看卷料规格。从收卷机下来的卷料其内外料头均需 用胶带纸封牢, 并在外卷表面用记号笔标注材料牌号、厚度、开料尺寸。对于暂且不用的卷料需用防潮包装纸整卷包装, 以便防锈。

2.5.2 国内外高速精密压力机主要参数

高速压力机组是自动化生产精密电机铁心的专用设备。它由开卷料架、氩焊机、校平机、送料机、高速精密压力机组成。

高速精密压力机采用整体式铸造结构或钢板焊接结构, 具有高刚性和高精度。滑块为长形导轨, 配备平衡装置, 确保运行精密与稳定。所有运动副均以电子定时系统自动润滑, 如缺乏润滑油, 压力机将自动停止。压力机设有先进、简易的操控系统, 能确保滑块运转及停止的准确性。

高速精密多工位电机铁心级进模常用的高速精密压力机主要参数见表 2-46。

表 2-46 高速精密多工位电机铁心级进模高速精密压力机主要参数

型号	制造商	公称力/kN	公称力行程/mm	滑块行程/mm	行程次数/(次/min)	最大装模高度/mm	备注
JK31-80	徐锻集团	800	2'	30	80~120	330	半闭式
JK31-125	徐锻集团	1250	2'	30	80~120	350	
JK31-200	徐锻集团	2000	4	30	60~100	360	
JK31-315	徐锻集团	3150	6	50	30~50	360	
JK31-400	徐锻集团	4000	6	50	24~45	360	
JF75G-80A	徐锻集团	800	3	30	200~400	360	闭式双点
JF75G-125B	徐锻集团	1250	3	30	200~500	380	
JF75G-200A	徐锻集团	2000	3	30	150~300	420	
JF75G-300A	徐锻集团	3000	3	30	150~300	450	

(续)

型号	制造商	公称力/kN	公称力 行程/mm	滑块行程 /mm	行程次数 /(次/min)	最大装模 高度/mm	备注
J316-80	扬州锻压	800	2	30	160~280	360	闭式双点
J316-125	扬州锻压	1250	3	30	160~240	400	
J316-160	扬州锻压	1600	3	30	160~220	400	
J76-80	扬州锻压	800	3	30	200~600	410	
J76-125B	扬州锻压	1250	3	30	160~500	430	
J76-200B	扬州锻压	2000	3	30	160~450	480	
J76-300	扬州锻压	3000	3	30	160~400	520	
HD-80	山东金箭	800	2	30	200~500	380	
HD-125	山东金箭	1250	3.2	30	150~500	400	
HD-200	山东金箭	2000	3.2	30	150~400	420	
HD-300	山东金箭	3000	3.2	30	150~300	450	
HD-400	山东金箭	4000	3.2	30	150~300	470	
J75G-80	扬力	800	3	30	200~550	380	
J75G-125	扬力	1250	3	30	200~500	400	
J75G-200	扬力	2000	3	30	150~450	420	
J75G-300	扬力	3000	3	30	150~400	450	
GD-63	宁波精达	630	3	30	150~400	380	
GD-125	宁波精达	1250	3	30	150~400	410	
GD-200	宁波精达	2000	3	30	160~350	450	
GD-3000	宁波精达	3000	3	30	160~350	480	
IHD-30	台湾英瑜	300	2	30	900	245	
IHD-45	台湾英瑜	450	2	30	800	275	
IHD-60	台湾英瑜	600	2	30	800	320	
IHD-80	台湾英瑜	800	2	30	700	360	
IHD-125	台湾英瑜	1250	3.2	30	500	380	
IHD-200	台湾英瑜	2000	3.2	30	400	420	
IHD-300	台湾英瑜	3000	3.2	30	400	450	
HSD-125	台湾金丰	1250	3.2	30	200~500	380	
HSD-60	台湾金丰	600	3.2	20/30	200	320	
HSD-80	台湾金丰	800	3.2	20/30	200	340	
HSD-125	台湾金丰	1250	3.2	20/30	200	360	
HSD-200	台湾金丰	200	3.2	20/30	150	400	
HSD-300	台湾金丰	300	3.2	20/30	100	420	
CH-125	台湾高将	1250	3.2	30	150~700	410	
CH-200	台湾高将	2000	3.2	30	150~600	420	
CH-300	台湾高将	3000	3.2	30	150~400	450	
CSUP-125F	韩国昌信	1250	3.2	30	200~500	380	
CSUP-200F	韩国昌信	2000	3.2	30	150~500	420	
HMX-125	日本 AIDA	1250	3.2	30	200~500	400	
HMX-2000	日本 AIDA	2000	3.2	30	160~450	415	
HMX-3000	日本 AIDA	3000	3.2	30	100~500	500	
FPL-125SW	日本 DOBBY	1250	3.2	30	150~420	405	
FPL-200SW	日本 DOBBY	2000	3.2	30	120~420	420	
FPL-300SW	日本 DOBBY	3000	3.2	30	100~630	420	
A2-50	舒勒	500	3.2	25	600	300	
A2-80	舒勒	800	3.2	25	500	330	
A2-100	舒勒	1000	3.2	25	450	350	

(续)

型号	制造商	公称力/kN	公称力行程/mm	滑块行程/mm	行程次数/(次/min)	最大装模高度/mm	备注
A2-125	舒勒	1250	3.2	25	400	375	闭式双点
A2-160	舒勒	1600	3.2	30	375	375	
A2-200	舒勒	2000	3.2	30	350	400	
A2-250	舒勒	2500	3.2	30	300	400	
A2-315	舒勒	3150	3.2	35	275	450	
A2-400	舒勒	4000	3.2	35	250	475	

## 2.6 精密电机铁心级进冲压排样设计

### 2.6.1 精密电机铁心冲压件技术要求

精密电机铁心从模具中冲压出来不再进行切削加工,定子铁心直接进入定子绕嵌线,转子铁心进入铸铝加工或电枢绕嵌线。因此,铁心冲压件的尺寸精度和形位公差要求都很高。图2-32所示是常见的定转子冲片、铁心的产品图,对应的主要技术条件如下。

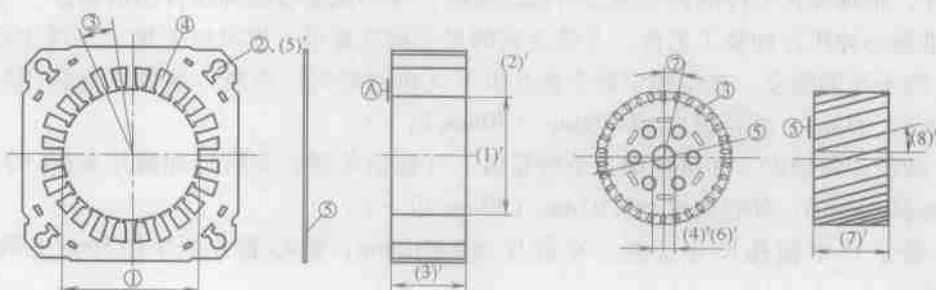


图 2-32 定转子冲片、铁心的产品图

#### (1) 冲片

- 1) 定子冲片内径尺寸精度: ①IT6 ~ IT7 级。
- 2) 定子冲片边上的4个圆按孔径精度: ②IT6 ~ IT7 级。
- 3) 定子冲片槽分度误差: ③不大于  $\pm 0.05\text{mm}$ 。
- 4) 定子冲片槽形尺寸公差: ④按 GB/T 1804-m 级。
- 5) 定子冲片平面度: ⑤按冲片尺寸的大小,一般在  $0.15 \sim 0.5\text{mm}$  之间(直径  $200\text{mm}$  以下)。
- 6) 转子冲片轴孔尺寸精度: ⑥IT6 ~ IT7 级。
- 7) 转子冲片槽分度误差: ⑦不大于  $\pm 0.03\text{mm}$ 。
- 8) 转子冲片槽形与轴孔同轴度: ⑧不大于  $\phi 0.05\text{mm}$ 。
- 9) 转子冲片槽形尺寸公差: ⑨按 GB/T 1804-m 级。
- 10) 定、转子冲片毛刺小于  $0.05\text{mm}$ 。

#### (2) 铁心

- 1) 定子铁心内径圆柱度: (1)'不大于  $0.05\text{mm}$  (内径  $150\text{mm}$  以下)。
- 2) 定子铁心内径轴线对 A 面的垂直度: (2)'按铁心厚度,一般在  $0.20 \sim 0.50\text{mm}$  之间。
- 3) 定子铁心上、下面平行度: (3)'不大于  $0.50\text{mm}$  (直径  $200\text{mm}$  以下)。

- 4) 转子铁心轴孔圆柱度: (4)' 不大于 0.02mm (直径 20mm 以下)。
- 5) 定子铁心 4 个圆按装孔与定子内径基准轴线的位置度: (5)' 不大于  $\phi 0.05\text{mm}$ 。
- 6) 转子铁心轴孔对 B 面垂直度: (6)' 按铁心厚度, 一般在 0.10~0.30mm 之间。
- 7) 转子铁心上、下面平行度: (7)' 不大于 0.30mm (直径 70mm 以下)。
- 8) 转子铁心扭槽斜度及方向: (8)' 扭槽斜度 0.8~1.5 槽之间; 扭槽方向有左旋、右旋。
- 9) 定子、转子铁心叠片扣紧力: 以 1×4 的矩形铆点, 每个铆点的扣紧力不小于 20N。
- 10) 定子、转子冲片 90°、180° 大回转自扣冲压, 解决条料厚薄差引起的铁心平行度误差。

### 2.6.2 精密电机铁心冲裁工艺性要求

级进模的设计基础与冲压工艺性, 主要来源于单工序模。但有的地方, 由于级进模可以将复杂形孔进行分形冲压, 不存在复合模的最小壁厚问题。所以在冲压工艺的可行性要求方面, 用多工位级进模比用单工序模反而更宽松一些, 往往是单工序模冲裁有困难, 而采用多工位级进模就能解决。但是, 多工位级进模冲裁定、转子冲片, 内外形常常在不同工位冲出, 由于存在级进模步距误差, 每次冲压都有一定的定位误差, 特别是工位较多的多列级进模冲压件, 很难保证工件的内外形相对位置精度, 达不到复合模冲压件的高精度。为此, 对精密电机铁心冲压件冲裁工艺性, 及能达到的尺寸精度要求, 作出以下规定 (鸿达标准)。

1) 转子片同轴度。在排样中两个轴孔以下 (包括单列、多列) 冲散片  $\geq \phi 0.02\text{mm}$ ; 铁心叠片  $\geq \phi 0.03\text{mm}$ ; 外径圆度  $\geq 0.02\text{mm}$  (70mm 以下)。

2) 转子片同轴度。在排样中 3 个轴孔以上 (包括单列、多列) 冲散片  $\geq \phi 0.03\text{mm}$ ; 铁心叠片  $\geq \phi 0.04\text{mm}$ ; 外径圆度  $\geq 0.02\text{mm}$  (70mm 以下)。

3) 转子片中轴孔尺寸公差。冲散片  $\geq 0.012\text{mm}$ ; 铁心叠片  $\geq 0.015\text{mm}$  (轴孔尺寸 < 20mm)。

4) 转子片外径尺寸公差。冲散片  $\geq 0.02\text{mm}$ 、叠片  $\geq 0.03\text{mm}$  (70mm 以下) (电动工具除外)。

5) 转子铁心垂直度公差。按铁心厚度累计 0.035mm/10mm; 最小垂直度从 0.1mm 开始。

6) 定子片同轴度。冲散片  $\geq 0.03\text{mm}$ ; 铁心叠片  $\geq 0.04\text{mm}$ 。

7) 定子片圆度。内孔散片  $\geq 0.02\text{mm}$ ; 铁心叠片  $\geq 0.035\text{mm}$ ; 外径散片  $\geq 0.02\text{mm}$ ; 叠片  $\geq 0.025\text{mm}$ 。

8) 定子片尺寸公差。内孔散片  $\geq 0.025$  (切气隙); 铁心叠片  $\geq 0.03$ ; 外径散片  $\geq 0.02$ ; 铁心叠片  $\geq 0.030$ 。

9) 定子铁心垂直度公差。按铁心厚度累计 0.05/10mm; 最小垂直度从 0.1 开始。

10) 冲片的最小 R 角。两直线角度  $\leq 90^\circ$  时倒角为 R0.5mm;  $90^\circ <$  两直线角度  $\leq 135^\circ$  时, 倒角为 R0.35~0.40mm; 如槽口直线边不够时, 允许倒角为 R0.3mm。

11) 普通的线形尺寸公差  $\geq 0.02\text{mm}$ 。

12) 定、转子铁心的铆点扣紧力每个  $\geq 20\text{N}$ 。

13) 转子冲片为闭口槽时, 其槽顶与外圆的最小壁厚要  $> 0.20\text{mm}$ , 否则后工序转子铸铝时会产生渗铝现象。

14) 条料中的各工步型孔相切冲裁时的夹角 $>45^\circ$ , 夹角小易产生毛刺。

15) 用于冲压冲片或铁心的材料, 应为冷轧电工钢卷料或冷轧钢带卷料, 厚度应在 $0.35 \sim 1.2\text{mm}$ 。

16) 在排样中对于料宽无搭边, 制件外形精度要求高的产品, 模具进料口设置条料分中机构。

### 2.6.3 精密电机冲片(铁心)级进模排样

精密电机冲片(铁心)级进模排样种类繁多。通常, 模具制造厂根据需方的电机冲片(铁心)产品图和相关技术协议书, 进行级进模排样设计。通过排样设计, 确定模具规格, 制件在模具中的冲压顺序, 制件上各部分哪些先冲, 哪些后冲, 共有几个工位及工位间的冲压工艺性论证, 每个工位的冲压内容, 冲压一次能出几件, 条料的载体形式与搭边, 冲裁力、工位步距、模具压力中心的确定, 材料利用率、铁心和废料输出方向等。排样设计很重要, 是模具结构设计的主要依据。排样图设计的好坏直接关系到模具制造的成败。如果排样图设计有错误, 会导致制造出来的模具无法冲出合格制件, 而使整副模具报废。因此, 在排样设计时一定要仔细, 反复思考, 可以确定几种不同的方案进行比较, 或套用生产过的典型排样图。总之, 需得出一个最优化的方案才能使用。

对于专业制造精密电机冲片(铁心)级进模的企业而言, 经过多年来对大量的各类模具的设计与制造, 已经积累了各类模具的排样图, 并可根据不同的电机铁心及各种排样特征, 选定出典型的精密电机冲片(铁心)排样图, 并编号入册, 这不仅加快了销售报价, 同时也传承了企业的实践经验和先进技术。

#### 1. 排样图编号方式(鸿达标准)

典型精密电机冲片(铁心)排样图的编号方式由冲片代号与排样参数编码两级组成, 排样参数编码排列顺序依次为: 列数、搭边、铁心、气隙。

(1) 排样图编号表示方式(见图2-33)

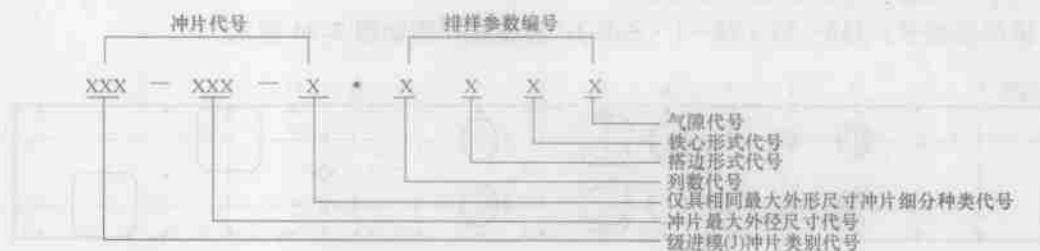


图 2-33 典型精密电机冲片(铁心)排样图编号方式

#### (2) 排样参数特征及编号

1) 列数(排数)。是材料利润率的关键要素, 列数的多少, 决定于冲件的生产量, 常见的有单列、双列、三列、四列、五列(三列以上称为多列)。

2) 搭边。是排样图中相邻冲压件轮廓间的最小距离(料距)或冲压件轮廓与条料边缘的最小距离(料宽), 它也影响材料利用率。搭边虽然是废料, 但在冲裁工艺中却有很大的作用: 补偿纵剪条料误差, 确保冲出合格制件; 增加条料的刚性, 方便条料送进; 有搭边的冲压件精度高。常见的搭边形式有料宽、料距全搭边; 料宽、料距全无搭边; 多排中的料宽

有搭边或不搭边。

3) 冲片形式。在精密电机冲片(铁心)级进模排样中,有定子、转子全散片;有定子散片、转子叠片;有定子叠片、转子散片;有定子叠片、转子叠片带扭槽;有定子大回转叠片、转子叠片带扭槽;有定子、转子全大回转叠片等。

4) 气隙。电机定子和转子间的气隙。在排样中有切气隙工位,将定子和转子间的部分气隙切去,减少转子铸铝后的金工切削量,提高生产效率。

(3) 排样参数、特征编号明细表(见表 2-47)

表 2-47 排样参数、特征编号明细表

排样参数	排样参数特征内容	排样参数编号
列数	单列	D
	双列	S
	多列	M
搭边	外形全搭边	1
	外形全无搭边	2
	料宽搭边、料距不搭边	3
	料宽两边搭边、料宽中不搭边、料距不搭边	4
	料宽两边不搭边、料宽中搭边、料距不搭边	5
	料宽两边搭边、料宽中搭边、料距不搭边	6
铁心形式	全叠片	K
	全散片	S
	转子散片、定子叠片	D
	转子叠片、定子散片	Z
	铁心大回转	H
气隙	切气隙	Q
	不切气隙	B

2. 典型排样示例

(1) 单相串励电机铁心 83mm×78mm 方形定子叠片、双列、料宽有搭边、料距不搭边、料中不搭边、转子直叠、切气隙。

排样图编号: JA3—83×78—1·S4KQ; 典型排样图如图 2-34 所示。

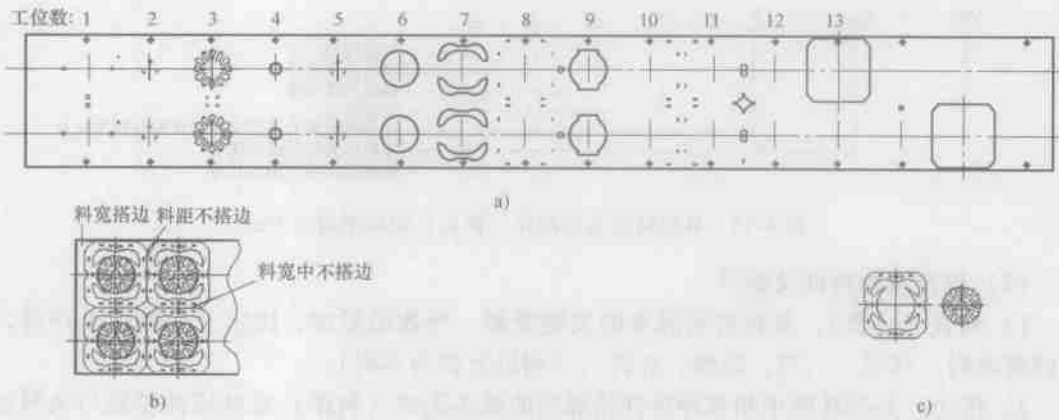


图 2-34 典型排样图—单相串励电机铁心

a) 排样图 b) 料带图 c) 零件示意图

工位说明:

第1工位: 冲导正钉孔及工艺孔。

第2工位: 冲转子铁心分离记数通孔 (设气缸抽板)。

第3工位: 冲转子槽形孔、定子按装孔。

第4工位: 冲转子轴孔。

第5工位: 冲转子叠片铆点。

第6工位: 转子片落料、叠压。

第7工位: 冲定子槽形孔。

第8工位: 定子铁心分离记数通孔 (设气缸抽板)。

第9工位: 冲定子气隙。

第10工位: 冲定子部分叠片铆点。

第11工位: 冲定子部分叠片铆点及料距、料中工艺孔。

第12工位: 空。

第13工位: 定子铁心落料、叠压。

(2) 单相家用电机铁心 定子圆形叠片、最大外径  $\phi 90.04\text{mm}$ 、双列, 料宽有搭边、料距不搭边、料中不搭边、转子叠片带扭槽、不切气隙。

排样图编号: JB1—90.04—1·S4KB; 典型排样图如图 2-35 所示。

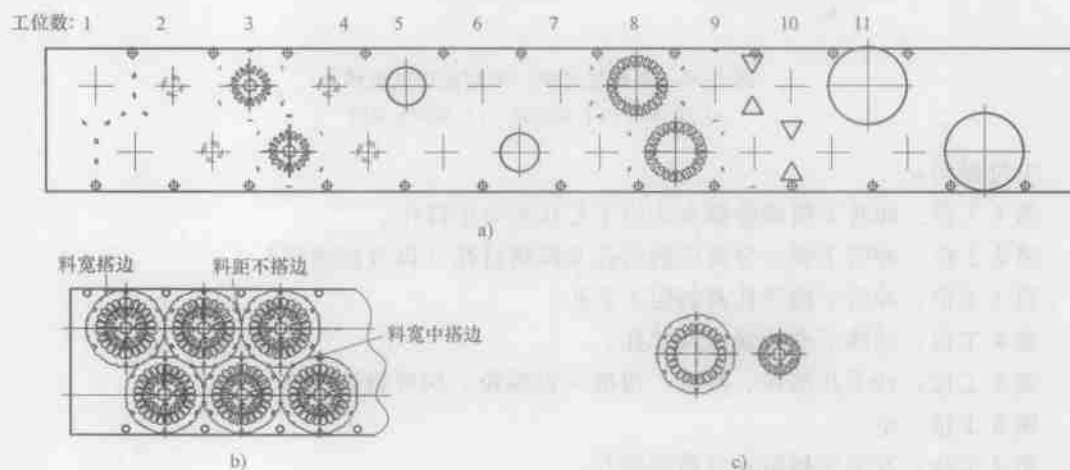


图 2-35 典型排样图—单相家用电机铁心

a) 排样图 b) 料带图 c) 零件示意图

工位说明:

第1工位: 冲转子扭槽叠铆点让位工艺孔、导正钉孔及工艺孔。

第2工位: 冲转子铁心分离记数通孔 (设气缸抽板)。

第3工位: 冲转子槽形孔、转子轴孔及定子铁心分离记数通孔 (设气缸抽板)。

第4工位: 冲转子叠片铆点。

第5工位: 转子片落料、叠压、扭槽 (设蜗轮、蜗杆扭转机构)。

第6工位: 空。

第7工位：空。

第8工位：冲定子槽形孔、部分叠片铆点。

第9工位：冲定子部分叠片铆点及三角搭边废料。

第10工位：空。

第11工位：定子铁心落料、叠压。

(3) 单相家用电机铁心 108mm × 108mm 方形定子散片、单列，料宽有搭边、料距不搭边、转子叠片带扭槽、不切气隙。

排样图编号：JB3—108 × 108—1·D3ZB；典型排样图如图 2-36 所示。

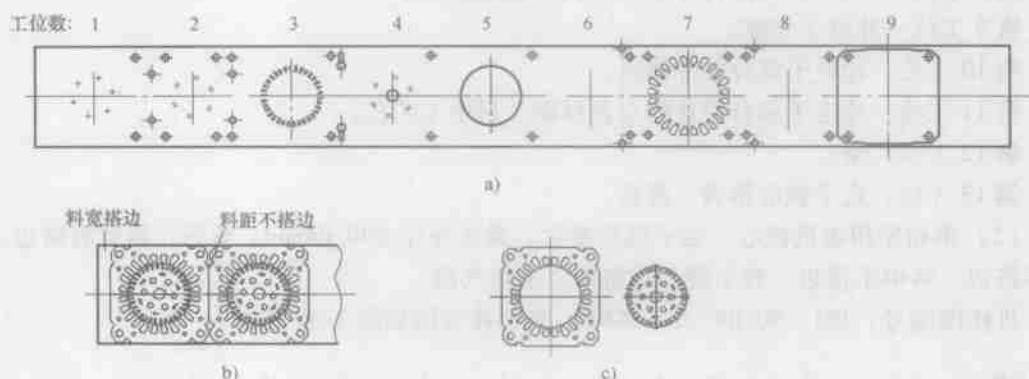


图 2-36 典型排样图—单相家用电机铁心

a) 排样图 b) 料带图 c) 零件示意图

#### 工位说明：

第1工位：冲转子扭槽叠铆点让位工艺孔及导正钉孔。

第2工位：冲转子铁心分离记数通孔及圆铆钉孔（设气缸抽板）。

第3工位：冲转子槽形孔及料距工艺孔。

第4工位：冲转子叠片铆点及轴孔。

第5工位：转子片落料、叠压、扭槽（设蜗轮、蜗杆扭转机构）。

第6工位：空。

第7工位：冲定子槽形孔及按装圆孔。

第8工位：空。

第9工位：方形定子铁心落料、叠压。

(4) 单相罩极电机铁心 定子圆形叠片、最大外径为  $\phi 62.88\text{mm}$ 、副定子异形叠片、双列、料宽有搭边、料距不搭边、料宽中有搭边、转子叠片带扭槽、不切气隙。

排样图编号：JC1—62.88—1·S6KB；典型排样图如图 2-37 所示

#### 工位说明：

第1工位：冲转子扭槽叠铆点让位工艺孔及导正钉孔。

第2工位：冲转子铁心分离记数通孔、副定子局部外形切口（设气缸抽板）。

第3工位：冲转子槽形孔。

第4工位：冲定子铁心分离记数通孔、副定子局部外形切口、转子轴孔。

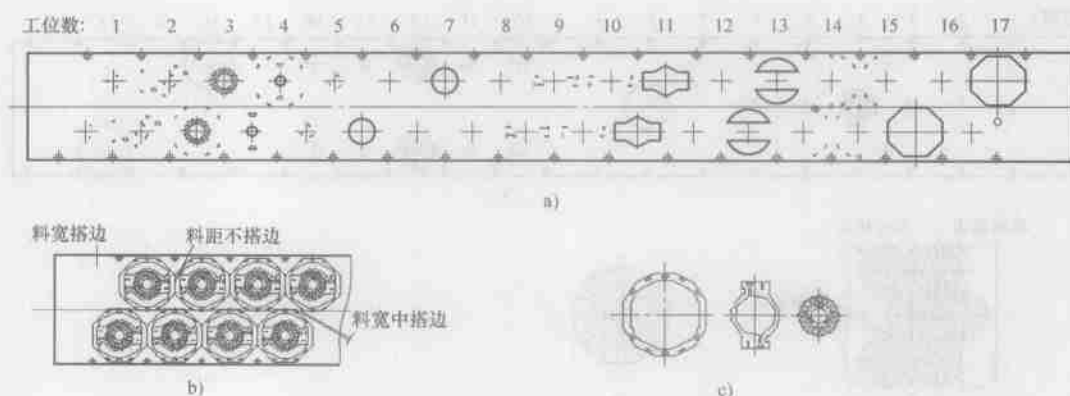


图 2-37 典型排样图—单相罩极电机铁心

a) 排样图 b) 料带图 c) 零件示意图

第5工位：冲转子叠片铆点。

第6工位：空。

第7工位：转子片落料、叠压、扭槽（设蜗轮、蜗杆扭转机构）。

第8工位：空。

第9工位：冲副定子铁心分离记数通孔、局部外形切口（设气缸抽板）。

第10工位：冲副定子叠片铆点。

第11工位：副定子铁心落料、叠压。

第12工位：空。

第13工位：冲定子槽孔。

第14工位：冲定子叠片铆点、按装圆孔。

第15工位：冲定子叠片铆点。

第16工位：空。

第17工位：定子铁心落料、叠压。

(5) 永磁电机铁心 转子外径为  $\phi 42.14\text{mm}$ 、三列、料宽有搭、料距有搭边、料宽中有搭边、转子直叠、不切气隙。

排样图编号：JD1—042.14—1·M1KB；典型排样图如图 2-38 所示。

工位说明：

第1工位：冲中排转子扭槽叠铆点让位工艺孔及导正钉孔。

第2工位：冲中排转子铁心分离记数通孔（设气缸抽板）。

第3工位：冲中排转子轴孔 A（设气缸抽板）。

第4工位：冲中排转子槽形孔。

第5工位：冲中排转子轴孔 B（设气缸抽板）。

第6工位：冲转子叠片铆点。

第7工位：空。

第8工位：冲中排转子片落料、叠压、扭槽（设蜗轮、蜗杆扭转机构）。

第9工位：空。

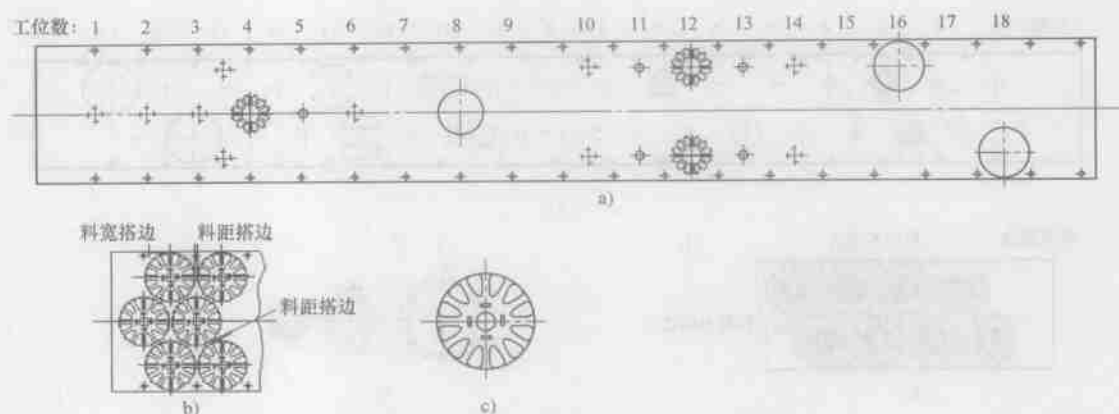


图 2-38 典型排样图—永磁电机铁心

a) 排样图 b) 料带图 c) 零件示意图

第10工位：开始是冲上、下两排铁心，工位作用与中排相同，只是转子扭槽叠铆点让位工艺孔，在冲中排时的3和4工位间已冲出。

(6) 工业电机铁心（发电机） 定子圆切边叠片、最大外径为 $\phi 198\text{mm}$ 、单列、料宽有搭边、料距有搭边、转子直叠不切气隙。

排样图编号：JE2—198—1·D1KB；典型排样图如图2-39所示。

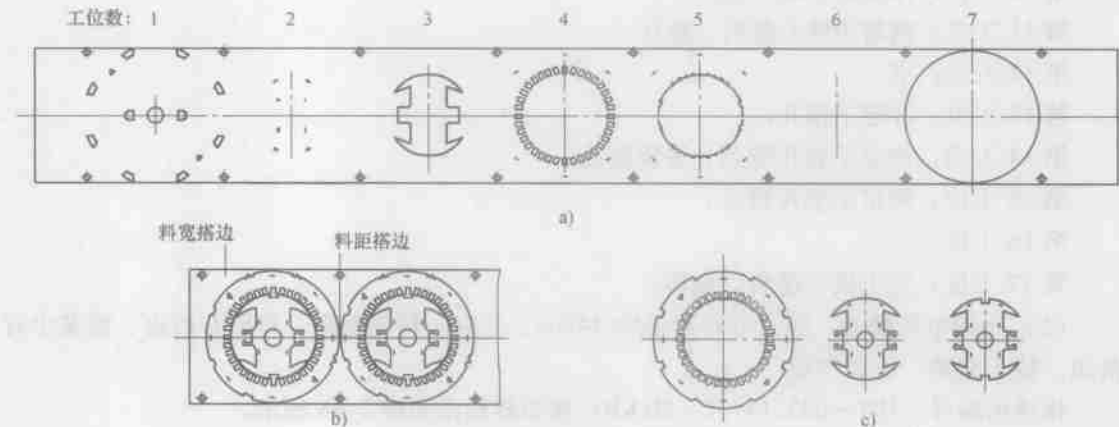


图 2-39 典型排样图—工业电机铁心

a) 排样图 b) 料带图 c) 零件示意图

工位说明：

第1工位：冲定子外形焊接槽，转子轴孔、局部切口及导正钉孔。

第2工位：冲转子铁心分离记数通孔和叠片铆点（设气缸抽板）。

第3工位：冲转子铁心落料、直叠。

第4工位：冲定子槽形孔、铁心分离记数通孔（设气缸抽板）。

第5工位：冲定子槽口及内径。

第6工位：空。

第7工位：定子铁心落料、叠压。

(7) 塑封电机铁心 半圆拼块叠片定子铁心、最大直径为 $\phi 78\text{mm}$ 、双列、料宽有搭边、料距有搭边、料中有搭边、转子叠片带扭槽、定子切气隙。

排样图编号：JF1—078—1·S1KQ；典型排样图如图2-40所示。

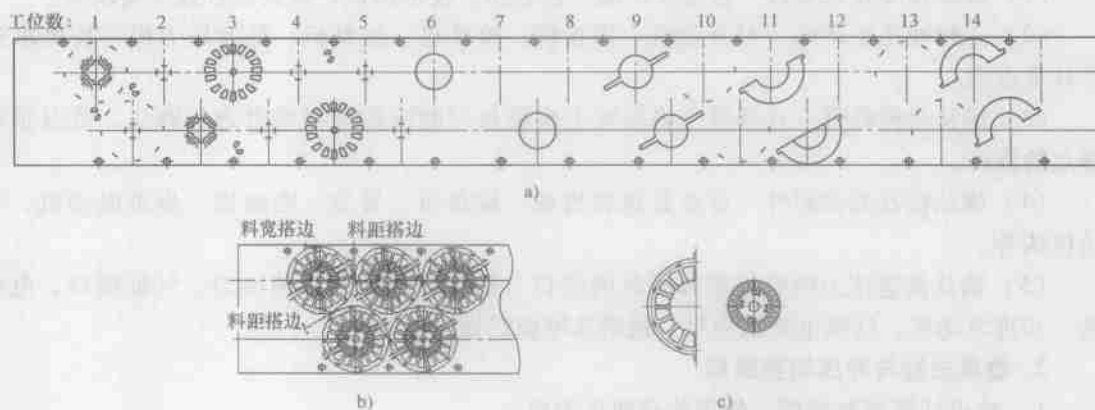


图2-40 典型排样图—塑封电机铁心

a) 排样图 b) 料带图 c) 零件示意图

工位说明：

第1工位：冲转子槽形孔、定子铁心分离记数通孔（设气缸抽板）、定子外形尖角切口及导正钉孔。

第2工位：冲转子铁心分离记数通孔（设气缸抽板）。

第3工位：冲定子槽形孔、转子轴孔。

第4工位：冲转子铁心分离记数通孔（设气缸抽板）。

第5工位：冲转子叠片铆点。

第6工位：转子片落料、叠压、扭槽（设蜗轮、蜗杆扭转机构）。

第7工位：空。

第8工位：空。

第9工位：冲定子槽口。

第10工位：半圆定子铁心记数通孔（设气缸抽板）。

第11工位：半圆定子铁心落料、叠压。

第12工位：空。

第13工位：冲定子叠片铆点。

第14工位：半圆定子铁心落料、叠压。

## 2.7 精密电机铁心冲压生产

### 2.7.1 铁心冲压工作流程

铁心冲压采用自动化生产线，生产线由开卷机、对焊机、校平机、送料机、高速压力

机、电机铁心多工位级进模等组成,自动化程度高,生产效率高,产品质量稳定。操作人员必须经过专业培训才能上岗。

一般铁心冲压生产线的工作流程(含试模)如下。

### 1. 准备阶段

(1) 确认相关技术资料 包括冲片图、铁心图、技术协议、模具设计技术要求等。

(2) 点检冲压生产线 对开卷机、焊接机、校平机、送料机、高速压力机等按要求进行日常点检。

(3) 确认排样料带 对试模合格后或上次模具刃磨时的排样料带进行确认,重点是叠铆点的高度。

(4) 确认模具配套附件 重点是送料齿轮、输送带、导笼、电磁铁、步进电动机、下顶机构等。

(5) 确认高速压力机电控柜和模具的接口 检查气源压力、油压力、气缸接口、电磁铁、步进电动机、伺服电动机型号、规格及电源线插头等。

### 2. 模具安装与冲压调整流程

1) 按设计资料选择模具使用的高速压力机。

2) 开启高速压力机空运转 3~5min。

3) 调整开卷机、对焊机、校平机与高速压力机的直线度位置。

4) 按工件排样图步距,调整、安装高速压力机的送料齿轮。

5) 测量卷料的宽度和厚度。上开卷机,按其厚度公差调整校平机,检查通过校平机的料带平整度,在带料开始的两端边倒角,引入送料装置。

6) 打开上、下模,检查下模刃口、各类导料装置、浮料销、各板件退磁、扭转机构传动等;检查上模导正销高出卸料板的高度,检查叠铆凸模、叠铆压杆、冲裁凸模的相对高度,检查抽板的灵活性,达到标准后合模,等待上机。

7) 调整高速压力机的闭合高度超过模具闭合高度为 20~30mm。

8) 清洁高速压力机上滑块和工作台面,用百分表测量机床精度。

9) 工作台面装举模器、定位块和台面外联模具滚动架。

10) 行车吊起模具 1.2m 高左右,清洁模具上下安装面,吊运模具至高速压力机滚动架上,人力将模具推入工作台,调整模具对准台面定位块。

11) 点动调整高速压力机,使滑块与上模面贴平,用塞尺测量其平行度,再用专用压板固定上模。

12) 点动高速压力机上下运行十余次,至滑块下死点时停机,用专用压板固定下模。

13) 点动滑块回到高速压力机上死点,安装抽板气缸,步进电动机接线,安装输送带或导笼等出件装置。

14) 调整高速压力机送料装置与模具送料线的高度。

15) 点动调整模具限位柱,使上、下限位柱间有 0.1mm 的间隙。

16) 按铁心产品叠厚和扭槽的技术要求,设置模具控制柜相关参数。

17) 在高速压力机工作台面的漏料孔下方,平放一张白纸,接模具掉下的废料,检验凹模型孔是否堵塞(新模试冲时)。

18) 在停机状态下,用手将料带通过模具承料板、侧导板等,引至最后工位直到模外,

从开卷机处目测料架、校平机、送料机、模具导料装置的直线度。

19) 收回料带至模具第一工位,用气枪清理上、下模,开动高速压力机,点动冲裁第一工位,查看废料在凹模内的深度,验证模具限位柱尺寸的合理性。

20) 用铁丝钩件工具送料,点动模具进行逐个工位冲裁,直到最后工位。

21) 停机,将冲完工位的料带剪断拉出模外,作为级进模手动送料冲裁排样条料的样品,做好(新模试冲)标记。

22) 用点动控制自动送料装置,检查是否误送,按模具工位逐个冲裁,直到最后工位。

23) 停机,将冲完的料带剪断拉出模外,作为级进模自动送料冲裁排样条料的样品,做好(新模试冲)标记。

24) 按设计要求对两种冲裁料带检测叠铆点高度与其平整度、导正孔、槽形孔的几何形状与尺寸精度、冲裁断面质量等。如发现异常,必须拆模检查和分析。

25) 用点动控制自动送料装置进行冲裁,注意压力机下白纸上的下废料是否齐全,正常情况下废料必须分散,一旦出现废料缺少,废料重叠现象,必须立即停机,认真查找原因,问题解决后才能继续下去。

26) 将选择旋钮调至全自动位置,进行自动冲裁,速度由慢到快至额定高速的60%,注意铁心在输送带上的出件状态,严防不分层铁心重叠堵塞(如是导笼出件应注意其弯曲半径处铁心是否畅通)。当模具运行正常,10min后将速度调至技术协议规定的最高速。

### 2.7.2 冲片、铁心的检测

冲片、铁心的检测,分新制模具试模检测和正常生产产品检测。

新制模具检测,范围广,测量方式、器具多,主要是确定新制模具冲出的产品,是否符合冲片、铁心图样的尺寸精度和相关技术要求。正常生产的产品检测是防止模具、材料、冲压设备等出现异常,而引起产品质量下降。必须严防产出不合格的产品。

#### 1. 新制模具试模冲片、铁心检测

在试模冲压过程中,先通过点动将冲完的料带剪断,拉出模外,操作者按设计图样的技术要求,检查铁心叠点高度和各型孔的冲裁断面质量。当模具冲速达到规定值时,将冲出的冲片、铁心送品质部门专检。

(1) 冲片检测项目与检测器具 检测定子冲片的内径尺寸精度、内径与外径的同轴度、边上4个安装孔的尺寸精度及其位置度、槽形的分度误差及其尺寸公差,以及定子冲片的平面度。

检测转子冲片的轴孔尺寸精度、槽形分度误差及其尺寸公差、槽形与轴孔的同轴度,以及转子冲片的平面度。

另外,还要检查定子、转子冲片是否带有毛刺。

冲片检测器具为内外径千分尺和自动影像测量仪。

(2) 铁心检测项目与检测器具 检测定子铁心的内径的圆柱度、内径与外径的同轴度、内径轴线对基面的垂直度、槽形与外径的同轴度、定子铁心上下面的平行度、4个安装圆孔与内径基准轴线的位置度,以及定子铁心叠片的扣紧力。

检测转子铁心的轴孔对基面的垂直度、轴孔的圆柱度、槽形与轴孔的同轴度、转子铁心上下面的平行度、扭槽的斜度及方向,以及转子铁心叠片的扣紧力。

铁心检测器具为专用量规、内外径千分尺、自动影像测量仪和三坐标测量机。

## 2. 正常生产冲片、铁心检测

在冲片、铁心冲压生产中, 操作者必须做好冲压件的首检与抽检。首检是测量上班或接班时的第一个冲压件, 合格后才能生产; 抽检是每 10 分钟对冲压件检查一次。在高速冲压生产中, 一旦出现模具或其他故障, 会直接影响冲压件的质量, 不定时抽检将会造成大量冲压件报废, 后果极为严重。

冲片、铁心冲压生产中的检测内容, 一般为定子和转子铁心的厚度, 定子铁心的内径及槽形分度, 转子铁心的斜槽角度和轴孔精度, 以及冲片毛刺等。正常生产时的检测器具一般是通用量具和专用量具相结合。常见的专用量具如图 2-41 所示。

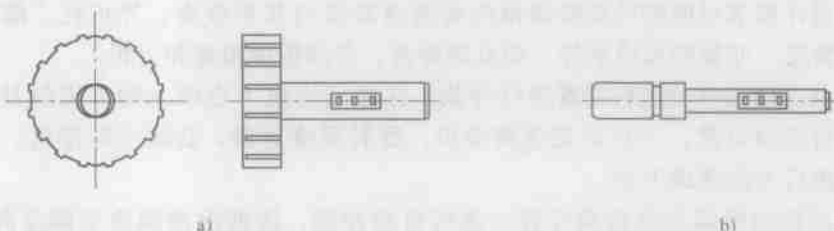


图 2-41 常见的专用量具

a) 定子铁心槽形等分度量规 b) 转子铁心轴孔通、止规

## 2.7.3 料头对焊

当卷料将要冲完时, 关闭高速压力机, 把该卷尾部的料头和新卷首部的料头同时夹在对焊机的工作台上, 用手动切刀沿横向将料头切齐并首尾对齐, 再用氩气保护焊进行自动对焊, 焊后用专用风动小砂轮将焊缝表面磨平, 方可继续生产。此工序在国内铁心冲件厂应用不多, 值得提倡, 以提高硅钢片的材料利用率。

## 2.7.4 模具刃磨工作流程

### 1. 拆下模具

多工位电机铁心级进模在使用一段时间后, 模具刃口的锋利程度不断降低, 使冲片毛刺逐渐增大, 冲片精度降低, 剪切力增大。当毛刺高度超过允许值时, 要对模具的凸模(上模), 凹模(下模)进行刃磨。刃磨模具需将模具从高速压力机上拆下, 拆模时应记好模具的实际闭合高度, 以便将刃磨后的模具调整到原来的闭合高度。

拆模在压力机点动状态下进行。先将料带从模具中拉出(放松校平机, 转动开卷机, 将料带收回), 用点动方式将滑块下降到高速压力机的下死点, 拆除抽板气缸、步进电动机的接口与线路以及输送带, 拆除固定上模、下模的压板, 用点动方式将滑块回至上死点(如是铁心或冲片导笼出件时, 整条导笼应装满铁心或冲片, 以防铁心或冲片滑移。在下模定子落料工位的模座底面, 应设铁心收紧装置, 以防拆模后铁心掉落, 造成模具与导笼的工件不连贯, 不利于刃磨后的模具安装), 通过举模器将模具抬高高速压力机工作台面, 再用吊车将模具运至刃磨作业处。

### 2. 上模刃磨流程

1) 图 2-42 所示为电机铁心多工位级进模。首先, 测量记录好刃磨前叠铆凸模和压杆与

各凸模的高度差值,拆下模具工作时的长导柱,即A型导柱11,换上图2-43中的刃磨专用短导柱,拆下上限位柱1、误送料检测销5和导正销、叠铆方凸模7、限位条10、限位衬套3、叠铆压杆6等妨碍刃磨的零件。

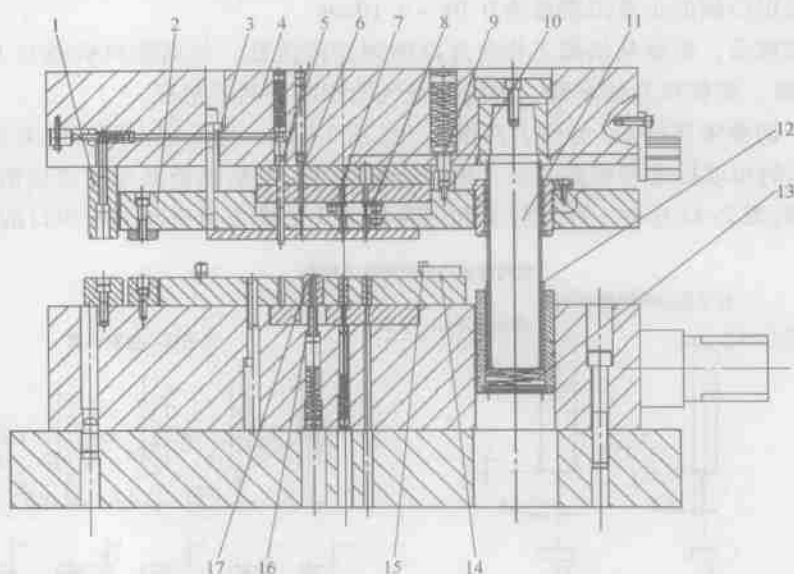


图 2-42 多工位电机铁心级进模具图

- 1—上限位柱 2—卸料板座 3—限位衬套 4—上模座 5—误送检测销 6—叠铆压杆  
7—叠铆方凸模 8—凸模压板 9—弹压销 10—限位条 11—A型导柱 12—钢球保持圈  
13—压簧 14—侧导板 15—导向浮料销 16—调节套 17—螺孔浮料销

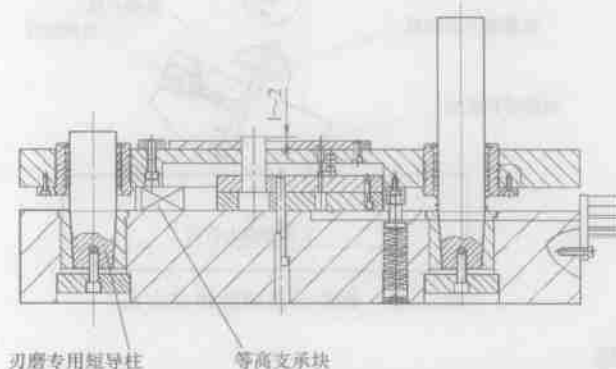


图 2-43 上模倒置换短导柱加等高块示意图

2) 图2-43所示为上模倒置换短导柱加等高块示意图。在卸料板座与上模座之间放置平行等高块,使卸料板高度下降,露出凸模1~2mm。

3) 去除上模座顶面的所有毛刺及污垢,将上模吊放在磨床工作台上,保证上模座基准面紧密接触磨床的磁力台面。

4) 采用金刚石砂轮刃磨,刃磨前应先用修整器或纯铜对金刚石砂轮进行修整,使金刚石砂轮刃磨表面的颜色一致、露出锋利的金刚石颗粒。

5) 在刃磨前应调整金钢石砂轮对上模的前后、左右工作行程 (应避开上模的单边长导柱)。在刃磨过程中需加切削液, 分粗磨和精磨, 粗磨时砂轮每次向下进给量为  $0.01\text{mm}$ , 精磨时砂轮每次向下进给量不超过  $0.005\text{mm}$ , 精磨结束前砂轮不进给来回走两次空行程。

6) 一般规定凸模的正常刃磨量为  $0.08 \sim 0.10\text{mm}$ 。

7) 刃磨结束后, 将模具吊离工作台外面的规定清洗处, 分离卸料板座与上模, 用洗涤剂去除所有磨屑、磨粒和其他杂物, 用压缩空气枪吹净, 然后退磁。

8) 被拆下的叠铆压杆 6、叠铆方凸模 7 (见图 2-42), 应采用专用刃磨夹具, 按图 2-44 和图 2-45 所示的角度标准和装夹方法, 单独研磨角度, 磨后重新装配复位应满足图 2-46 所示的要求。同时图 2-43 中的上限位柱 1 和限位衬套 3 的磨去量应与上模刃口的磨去量相等。

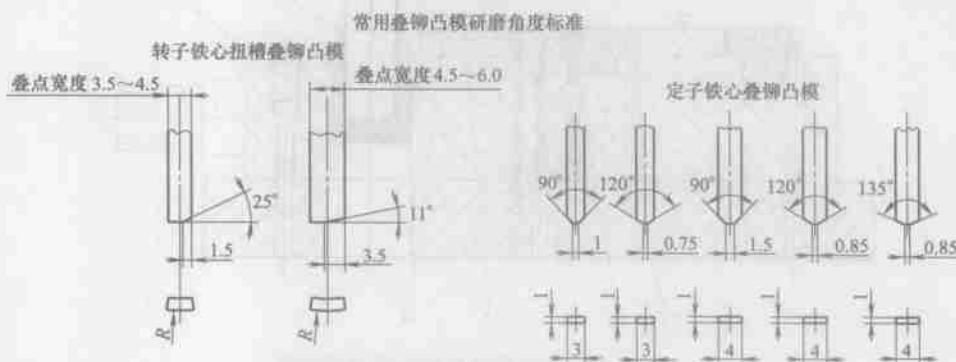


图 2-44 常用叠铆凸模研磨角度标准



图 2-45 叠铆凸模研磨角度方法

### 3. 下模刃磨流程

1) 拆除图 2-42 所示中的钢球保持圈 12、侧导板 14、导向浮料销 15、螺孔浮料销 17 等妨碍刃磨的零件。

2) 用专用器具敲出模具型腔内的废料 (落料工位的定子、转子铁心不需要敲出), 防止模具在刃磨或以后安装时, 废料下掉在磨床磁力台或高速压力机台面上, 而影响模具的平行精度, 带来意想不到的模具或铁心质量问题。

3) 去除下模座底面的所有毛刺与污垢, 将下模吊放在磨床工作台上, 保证下模座基准面紧贴磨床的磁力台面。

4) 在刃磨过程中, 需加切削液, 分粗磨和精磨, 粗磨时砂轮每次向下进给量为

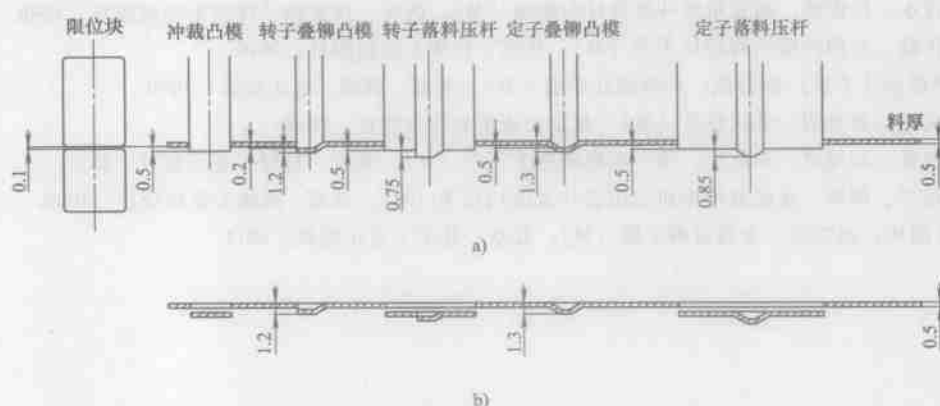


图 2-46 电机铁心级进模叠铆点组装尺寸图

a) 电机铁心级进模叠铆点组装尺寸图 b) 电机铁心级进模料带叠铆点尺寸图

0.01mm, 精磨时每次砂轮向下进给量不超过 0.005mm, 精磨结束前砂轮不进给来回走两次空行程。

5) 一般规定凹模的正常刃磨量为 0.06 ~ 0.08mm。

6) 刃磨结束后, 将模具吊离工作台外面的规定清洗处, 用洗涤剂去除所有磨屑、磨粒和其他杂物, 用压缩空气枪吹净, 然后退磁。

7) 将原拆下的零件经清洗、上油后组装复位 (注意导柱的垂直度, 导向浮料销、螺孔浮料销与凹固板的相对高度)。

8) 由于凹模刃磨后, 刃口锋利容易引起废料上跳, 对易跳废料的型孔 (槽形孔、工艺孔、小孔) 可用旧金刚锉对凹模刃口进行修整 (见图 2-47)。

### 2.7.5 刃磨试模后续要求

1) 试模后, 记录模具的实际闭合高度和冲裁次数。

2) 经检测合格的冲片、铁心样品由公司品质部门保存。

3) 保存试模最后排样条料的样品 (与模具一起入库)。

4) 记录试模中出现的问题和解决的方法。

5) 入库前对模具进行一次清洁和防锈工作。

6) 对试模生产线各种设备进行清理、清扫, 保持试模现场整洁。

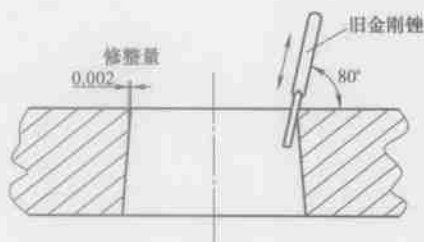


图 2-47 用旧金刚锉对凹模刃口进行修整

### 参考文献

- [1] 陈炎嗣. 多工位级进模设计与制造 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [2] 陈旭明, 肖小亭. 高速冲压及模具技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [3] 邱永成. 多工位级进模设计 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1987.

- [4] 张春水, 祝俊昶. 高效精密冲模设计与制造 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1989.
- [5] 张正修. 实用冲模结构设计手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [6] 《冲模设计手册》编写组. 冲模设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [7] 戴文进, 张景明. 电机设计 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [8] 胡志强, 刘端增, 李红军, 等. 电机制造工艺学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [9] 邱国平, 邱明. 永磁直流电机实用设计及应用技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [10] 才鸿年, 赵宝荣. 金属材料手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.

## 第3章 换热器翅片高速精密冲压技术

### 3.1 概述

换热器翅片生产是高速精密冲压技术在家电业产品制造上的典型应用之一，翅片产品生产具有批量大、品种多、精度高、材料薄、冲压条件受限制等特点。根据规模化生产要求，多采用卷料（铝箔、铜箔等），通过开卷、过油、周边设备，进入专用高速压力机内，经高速精密级进模冲压成形，再送至吸风、接料装置，组成翅片冲压生产线，其中最关键设备是专用高速压力机和高速精密级进模。

一般根据翅片制品的批量要求，定制合适规格大小的连续模，即确定模具列数、步进度，从几列到几十列，从1步进到4步进不等，并配置相应的专用翅片高速压力机，冲次在200~280次/min左右，简单的小型开式翅片冲压生产线如图3-1所示。

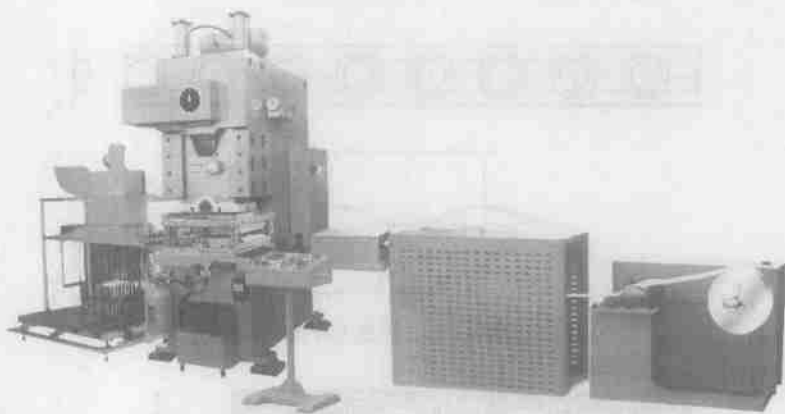


图 3-1 小型开式翅片冲压生产线

### 3.2 换热器翅片冲压件

#### 3.2.1 换热器翅片的基本形状与技术要求

翅片又称散热片，是空调机中的一种热交换用零件，广泛用于空调的冷凝器和蒸发器中，每台空调机需要成百片不等，批量很大。

翅片的基本形状极大多数是长方形薄片，上面有多个有一定高度经二次翻边的通孔，这些通孔在翅片叠装后供穿铜管用。二次翻边又称翻孔，是指在拉深的底部冲出孔，翻边后在翻孔直边的相反方向再进行一次翻孔，使直孔的边缘也变成圆弧状。二次翻边过程如图 3-2 所示。



图 3-2 二次翻边过程

根据空调机型号的不同，翅片有单排孔、多排孔和不等长度等不同规格。翅片的表面根据需有不同的形状：如 V 形波（见图 3-3）、正弦波（见图 3-4）、凹凸麻点（见图 3-5）、百叶窗（见图 3-6）、桥片（见图 3-7）、异性切（见图 3-8）。

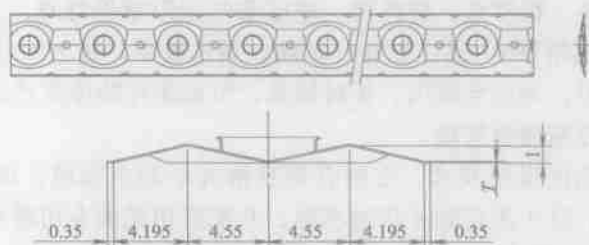


图 3-3 V 形波形状翅片

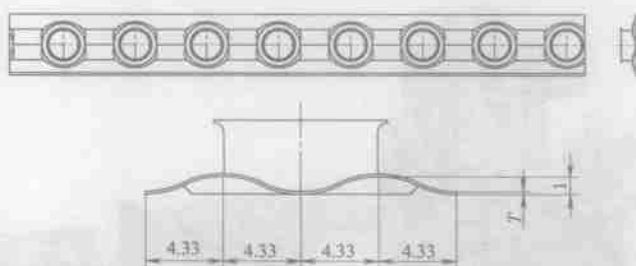


图 3-4 正弦波形状翅片

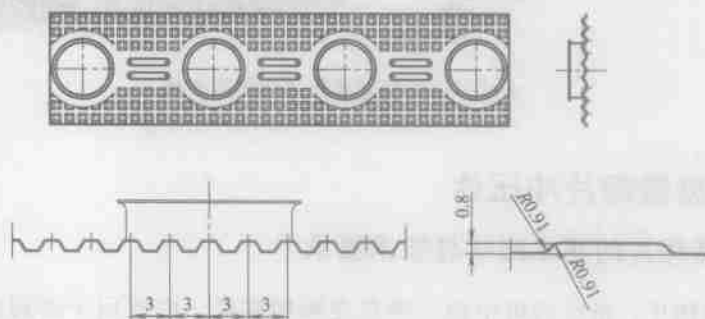


图 3-5 凹凸麻点形状翅片

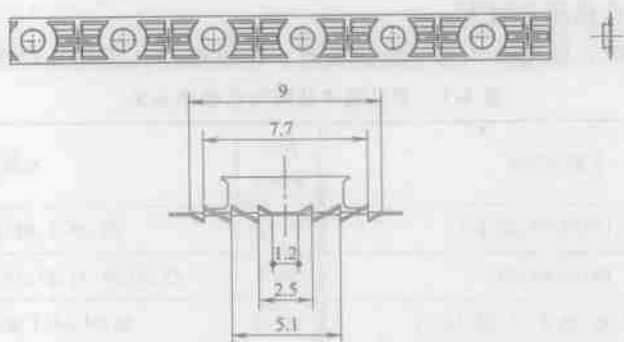


图 3-6 百叶窗形状翅片

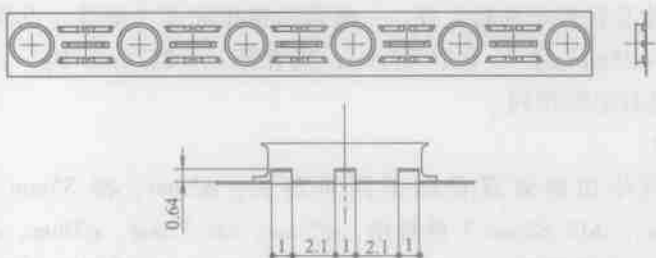


图 3-7 桥片形状翅片

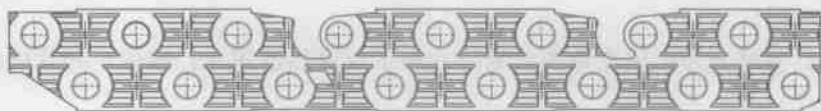


图 3-8 异性切形状翅片

使用百叶窗、桥片形状可以提高换热器的换热效果，异性切形状是为了方便散热器二次加工，便于折弯，其主要用于室内机。

对翅片的技术要求应满足以下几点。

- 1) 翅片保持平直、不扭曲、外形尺寸一致性好。
- 2) 孔径、孔距、排局应严格控制一致。
- 3) 二次翻边后，孔的高度尺寸应控制在规定的范围内，孔口不允许有开裂等缺陷。
- 4) 分条刀分条后翅片左右应对称，无毛边、毛刺现象。

### 3.2.2 换热器翅片的主要规格及分类

#### 1. 翅片的主要规格

翅片的主要规格是指孔的直径  $d$ 、孔距  $e$ 、排距  $s$ 。这些数值直接关系到模具的设计和结构的考虑。

(1) 孔径  $d$  孔径是根据其所插铜管的直径决定的，翅片插入的铜管直径一般有 5mm、6.35mm、7mm、7.94mm、9.52mm、12.7mm、15.88mm 7 种常见规格。常说的翅片孔径实际指的是名义直径，也就是指铜管直径。翅片的实际孔径要比铜管直径要大一些，这样铜管才能插入孔内，当将许许多多的翅片叠装插入铜管后，铜管还需要胀管，胀形量在 0.3 ~

0.4mm, 胀管后翅片孔径还会增大。

(2) 孔距  $c$  孔距  $c$  与孔径  $d$  有一定的关系, 常见翅片孔距与孔径的关系见表 3-1。

表 3-1 常见翅片孔距与孔径的关系

孔径 $d/\text{mm}$	孔距 $c/\text{mm}$	孔径 $d/\text{mm}$	孔距 $c/\text{mm}$
5	14.6, 18, 19.05, 20.4, 21	9.52	25, 25.4, 30, 31.75, 50, 76.2
6.35	18, 19.05, 20	12.7	25, 30, 31.75, 32, 38.1, 40, 45, 50, 55, 72.8
7	17.6, 19.05, 20.4, 21, 22, 25, 27	15.88	32, 34, 38.1, 40, 50, 50.8, 55, 60
7.94	20, 20.4, 21, 22, 25.4, 25, 38.1		

(3) 排径  $s$  除孔径较小和特大外, 一般都是错排成正三角形 (也称千鸟排列), 则  $s = c \sin 60^\circ$ 。当孔距  $c = 25\text{mm}$  时,  $s = 21.65\text{mm}$ ; 当孔距  $c = 25.4\text{mm}$  时,  $s = 21.99\text{mm}$  约等于  $22\text{mm}$ 。但特殊的也有矩形排列。

## 2. 翅片的分类

换热器翅片按使用铜管管径的不同可分为:  $\phi 5\text{mm}$ 、 $\phi 6.35\text{mm}$ 、 $\phi 7\text{mm}$ 、 $\phi 7.94\text{mm}$ 、 $\phi 9.52\text{mm}$ 、 $\phi 12.7\text{mm}$ 、 $\phi 15.88\text{mm}$  7 种规格,  $\phi 5\text{mm}$ 、 $\phi 6.35\text{mm}$ 、 $\phi 7\text{mm}$ 、 $\phi 7.94\text{mm}$ 、 $\phi 9.52\text{mm}$  在家用空调换热器上使用得较多,  $\phi 12.7\text{mm}$ 、 $\phi 15.88\text{mm}$  一般在工业换热器上使用。

按表面形状不同可分为: V 形波片型、正弦波片型、蜂窝片型、百叶窗片型、桥片片型、异性切片型。

按产品类型可分为家用空调换热器翅片和工业换热器翅片; 按生产翅片材料可分为铝翅片和铜翅片。

## 3.2.3 换热器翅片的结构特点

1) 使用薄料, 大多数使用料厚  $0.095 \sim 0.15\text{mm}$ , 较厚的使用  $0.35 \sim 0.4\text{mm}$ 。具体情况是在  $\phi 9.52\text{mm}$  孔径以下的, 常用料厚为  $0.095\text{mm}$ 、 $0.1\text{mm}$ 、 $0.105\text{mm}$ 、 $0.11\text{mm}$ 、 $0.115\text{mm}$ 、 $0.12\text{mm}$ 、 $0.13\text{mm}$ 、 $0.15\text{mm}$ ;  $\phi 12.7\text{mm}$  孔径以上的大孔径用料厚  $0.2\text{mm}$ 、 $0.25\text{mm}$ 、 $0.3\text{mm}$ 、 $0.35\text{mm}$ 、 $0.4\text{mm}$ ; 但小孔径翻边高度较高时, 也会使用厚料。

2) 大多数使用软铝, 也有使用纯铜的, 个别使用不锈钢等制成。薄料、软料对拉深送料不利。

3) 翅片的基本形状为片状, 上有多个带有二次翻边的孔, 翻边后的孔高度要一致, 孔口光滑无裂口。

在板材上冲孔后翻孔或在拉伸件底部冲孔翻边, 这是常见的一种翻孔直边高度不大的冲压加工, 以获得具有一定高度的翻边孔, 如果在已翻边孔的顶端向相反方向再翻边, 即为二次翻边, 其目的是保持孔口圆滑无裂口。二次翻边是空调翅片结构的一大特点。

4) 孔多、孔距精度要求高。所有翅片外形都不是太大, 但翅片上的孔少则几个, 多则几十个, 孔距精度要求一致, 图样上标注公差为  $\pm 0.05\text{mm}$ , 实际上要求孔与孔之间的中心距完全一致, 为了达到这一要求, 零件上与孔距有关的位置精度常用  $\pm 0.01\text{mm}$  来控制。

### 3.2.4 冲压工艺分析与难点

加工的难点之处是翅片孔的特殊翻边，即二次翻边要好，保证孔口圆滑不开裂。采用平板上直接冲孔→翻孔→二次翻边，还是采用平板整料拉深→再拉深→冲底孔→翻孔→二次翻边，要进行具体分析。前者会在翻直边时出现开裂，而且翻边高度有限。根据翻边高度和考虑翻边质量，尤其是二次翻边后孔口不允许出现裂口，故采用拉深、冲孔翻边、二次翻边比较可靠。对于少数材料硬、片距小，又要求翅片非常平整的情况，可采用第一种方法。

根据翅片的结构特点、技术要求及生产的大批量，采用高效的自动化连续冲压生产方式是最合适的选择。其工艺流程为：拉深（含多次拉深）→成形→冲孔翻直边→二次翻边→切两侧废料→切窗（切桥）→分条（包括成形压花）→拉料→切断（含斜切）等，如图3-9所示。

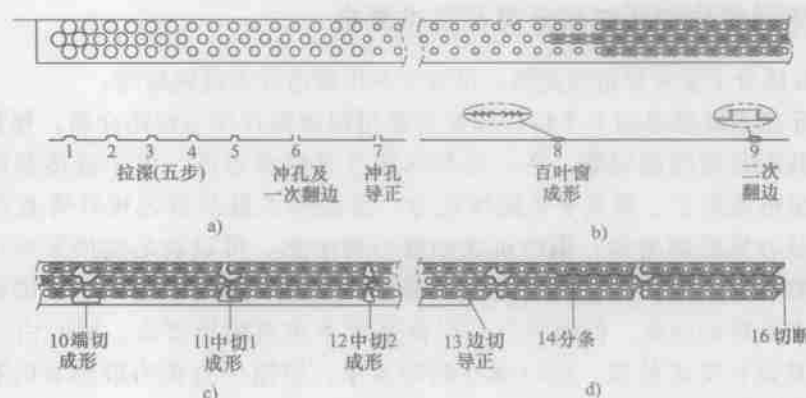


图 3-9 某翅片产品的冲压工艺流程

因翅片产品一般要求大规模化生产，故多采用较宽的箔材卷料，一次成形几十列产品，并要求送料 1~4 步步进不等，翅片孔不仅要满足产品的精度要求，还作为控制送料步距定位孔，且材料一般都在 0.1mm 左右，图 3-10 所示为典型的翅片成形片头，能反映出翅片生产对多模具要求高，难度大。

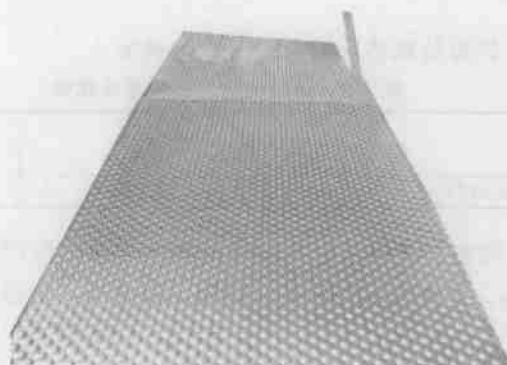


图 3-10 典型的翅片成形片头

### 3.3 换热器翅片冲压材料

#### 3.3.1 换热器翅片冲压材料特点

换热器翅片主要用于空调的冷凝器与蒸发器,其交换效果直接影响到空调的整体性能的好坏,为了提高制冷(制热)效率,在选材上要求材料热传导性能好、重量轻、化学性质稳定,同时要具有一定的耐腐蚀性,由于空调使用场合与人密切接触,还要求其具有较高的安全卫生、环保性能。此外,由于翅片成形的特点,要求材料必须具有良好的塑性加工性能,因此,一般除要求抗拉强度、伸长率常规机械性能指标外,还特别要求杯突实验值指标。

目前用于制作翅片的材料主要有铜箔和铝箔,由于铜材价格昂贵,一般用于工业或特殊场合,普遍使用的是铝箔,高速精密冲压翅片用的铝箔主要合金牌号有 8011、1030B、1100、8006 等铝合金,状态主要是 O 态、H22 和 H26 等状态。

#### 3.3.2 换热器翅片冲压材料分类及技术要求

材料按材质分主要有铝箔和铜箔,也有工业用普通或不锈钢材质。

铜材的导热系数是铝的 1.7 倍,因此若采用铜制翅片作为传热介质,换热器的性能会明显提高。其次是耐腐蚀问题,在一些特殊场合及沿海地区,由于散热器周围的空气中可能含有大量的硫离子、氯离子等腐蚀成分,这就要求散热器的构件要有很强的耐腐蚀性,而铝制品容易受到腐蚀,铜的抗腐蚀能力高于铝,可以满足使用要求。由于铜、铝冷热收缩系数不同,翅片与散热管之间容易产生松动,引起噪声,而使用铜管铜翅片散热器则不存在这样的问题。但铜制产品因价格成本相对铝箔要高,同时由于铜的塑性低于铝,对模具设计要求较高,所以现在制冷业中,铝箔一直作为散热器的首选材料,在空调器占据主导地位。

铝箔常见又分为光箔和涂层箔。由于铝箔具有密度小、导热性好、易于加工、无味、环保、价格低廉等优点被广泛使用。本节主要介绍铝箔的分类及技术要求。

##### 1. 基材(俗称光箔)

基材是指经轧制退火,表面未经过任何形式处理的空调散热片用铝箔。基材分类及基本技术要求包括:牌号、状态、规格、化学成分、尺寸偏差、力学性能和工艺性能、外观质量。

(1) 铝箔的牌号、状态及规格应符合表 3-2 的规定

表 3-2 铝箔的牌号、状态及规格

牌 号	状 态	规格/mm	
		厚度	宽度
1050、1100、1200、3102、8006、8011	O、H22、H24、H26、H18	0.080~0.200	≤1400

产品标记按牌号、状态、规格及标准编号的顺序标示。标记示例如下:8011 牌号、H22 状态、厚度为 0.105mm、宽度为 1052mm 的铝箔,标记为:铝箔 8011-H22 0.105×1052 YS/T95.1-2009。

(2) 化学成分 3102、8006 合金的化学成分应符合表 3-3 的规定,其他牌号的铝箔的化学成分应符合 GB/T 3190 的规定。

表 3-3 3102、8006 合金的化学成分 (质量分数,%)

牌号	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	其他杂质		Alb
								单个	合计	
3102	≤0.40	≤0.7	≤0.10	0.05~0.40	—	≤0.10	≤0.10	≤0.05	≤0.15	余量
8006	≤0.40	1.2~2.0	≤0.30	0.30~1.0	≤0.10	≤0.10	≤0.05	≤0.05	≤0.15	余量

注: 1. 其他杂质指表中未列出或未规定数值的元素。

2. 铝的质量分数为 100% 与等于或大于 0.010% 的所有元素总和的差值, 求和前各元素数值要表示到 0.0X%。

空调铝箔中有害元素按表 3-4 限量。

表 3-4 空调铝箔中有害元素

有害元素	有害元素限量/(mg/kg)	有害元素	有害元素限量/(mg/kg)
Cd	≤100	Hg	≤1000
Pb	≤1000	Cu <sup>2+</sup>	≤1000

(3) 尺寸偏差 尺寸偏差应符合表 3-5 的规定。

表 3-5 尺寸偏差

(单位: mm)

厚度	厚度允许偏差	宽度	宽度允许偏差
0.080~0.115	±0.005	≤500	±0.5
>0.115~0.200	±0.008	>500	±1.0

在任意 2m 长度上的侧边弯曲度不大于 2mm; 错层不大于 1mm, 塔形不大于 5mm, 管芯比铝箔端面长出不得超过 5mm, 管芯不允许凹入铝箔卷。

每批铝箔, 允许不多于 10% 的卷有接头, 每卷接头数不多于 1 处, 接头处应有明显标记。

(4) 外观质量 铝箔表面为轧制表面, 应平整、洁净, 不允许有划伤、孔洞、腐蚀和黄褐色油斑等影响使用的缺陷。铝箔应缠紧, 端面应平整洁净, 不允许有滑层现象及压陷和脏污, 但允许有轻微毛边。

## 2. 涂层铝箔

所谓涂层铝箔就是对非涂层铝箔进行表面再处理, 使其具有某种特殊功能的空调散热片用铝箔。按照常用涂层铝箔表面所具有的特性, 可以分亲水铝箔、耐腐蚀铝箔、憎水性铝箔、自润滑铝箔和防霉铝箔等, 其中亲水箔应用最为广泛。

(1) 亲水性铝箔 亲水铝箔是对铝箔进行亲水处理, 通过特殊工艺处理, 在其表面覆膜一层亲水层, 冷凝水在亲水铝箔上会迅速散开, 不会凝结成水珠, 增大热交换面积, 加快制冷制热速度, 还有效避免冷凝水阻碍空气流动而产生的噪声。亲水涂层铝箔是原空调器用铝箔的更新换代产品, 适用于不同类型空调器热交换器的散热片, 该铝箔是在原空调器铝箔的基础上, 涂上一层厚度 1~2μm 即有极强抗腐蚀能力又有极好亲水性的薄膜。

亲水铝箔的亲水涂层一般分为有机亲水涂层和无机亲水涂层两种。无机亲水涂层的性能要稍微好一些, 但价格较为昂贵。因此一般空调器的热交换器使用的亲水涂层均为有机亲水涂层, 常见的有机亲水涂层颜色有蓝色和金色。

亲水铝箔是目前换热器翅片普遍采用的材料, 其产品特性为: ①优良的亲水性和耐腐蚀性。②良好的成形性和对模具的不磨损性。③极强的耐冲压油性、耐溶性、抗热性。④气流阻力小, 热交换率一般可提高 10%~15%。

亲水箔与普通光箔相比,具有以下优点。

①可以增加防腐性、防霉性、无异味的功能。②换热器翅片积聚表面的冷凝水均匀地分布在表面上,不会因为水珠形成后造成换热器翅片间的集聚堵塞,影响热交换条件,从而提高了热交换率。③由于无水珠,相应也减少了震动造成的噪声。④可防止空气氧化粉末吹入室内对人体产生不利影响,符合环保要求。

(2) 涂层铝箔基本分类及技术要求 包括涂层箔的型号、涂层结构、化学成分、力学性能、工艺性能、尺寸偏差、粘附性、涂料中的有害元素限量、涂层性能、外观质量。

1) 涂层箔型号。T——\*#: T——表示涂层箔; \*——表示涂层的结构代号(见表3-6)。#——表示涂层的功能代号(见表3-7)。

表 3-6 涂层结构代号

代号	代号说明	代号	代号说明
1	基材+有机防腐蚀层+有机亲水层	4	基材+无机防腐蚀层+无机亲水层(+润滑层)
2	基材+有机防腐蚀层+无机亲水层(+润滑层)	5	基材+有机防腐蚀层
3	基材+无机防腐蚀层+有机亲水层	6	基材+无机防腐蚀层+有机防腐蚀层

表 3-7 涂层功能代号

代号	涂层的功能	代号	涂层的功能
1	普通涂层箔	3	普通防腐蚀层+抗菌亲水层
2	高防腐蚀涂层箔	4	高防腐蚀层+抗菌亲水层

2) 涂层结构。涂层结构示意图如图3-11所示。

例如:用8011牌号、H22状态、厚度为0.115mm、宽度为811mm的普通有机防腐铝箔,标记为:T51 8011-H22 0.115×811。

3) 铝箔的化学成分、力学性能、工艺性能应符合YS/T 95.1的规定。

4) 尺寸偏差要求每批涂层箔,允许不多于15%的卷有接头,每卷接头数不多于1处,接头处应有明显标记。

5) 黏附性要求涂层箔在整卷长度范围内应易于展开,展开时无粘接或撕裂现象。

6) 涂层中的有害元素按表3-8限量。

表 3-8 涂层有害元素限量

有害元素	有害元素限量/(mg/kg)	有害元素	有害元素限量/(mg/kg)
Cd	≤100	Cr VI	≤1000
Pb	≤1000	PBB <sub>9</sub>	≤1000
Hg	≤1000	PBDE <sub>9</sub>	≤1000



图 3-11 涂层结构示意图

7) 涂层性能应符合表3-9的规定。

8) 外观质量。铝箔涂层色泽、厚度应均匀,无缺涂现象,涂层箔应缠紧,端面应平齐洁净,不允许有滑层现象或压陷、脏污,但允许有轻微毛刺。

表 3-9 涂层性能

项目		P51 P61	P52 P62	P11	P12	P13	P33	P14	P21 P41	P22	P23 P43	P24 P44
涂层表面 密度(单面)/ (g/m <sup>2</sup> )	底漆	1.0 ~ 1.5	1.5 ~ 5.0	0.8 ~ 1.2	1.5 ~ 2.0	0.8 ~ 1.2	0.05 ~ 0.1	1.5 ~ 2.0	0.05 ~ 0.1			
	面漆			0.20 ~ 0.30					0.3 ~ 0.7			
亲水性	初期亲水性			≤10°					≤10°			
	工艺亲水性			≤20°					≤15°			
	流水浸渍			≤28°					≤20°			
	干湿循环			≤30°					≤25°			
抗杯突性		无剥落										
附着性		0 级										
耐盐雾 (中性盐雾) 腐蚀性	保护等级 R. NO	≥9.8	≥9.5	≥9.5	≥9.5	≥9.5		≥9.5	≥9.5	≥9.5	≥9.5	≥9.5
	试验时间/h	500	1500	500	1000	500		1000	500	1000	500	1000
耐湿热型	保护等级 R. NO	≥9.8	≥9.5	≥9.5	≥9.5	≥9.5		≥9.5	≥9.5	≥9.5	≥9.5	≥9.5
	试验时间/h	500	1500	500	1000	500		1000	500	1000	500	1000
耐碱性		应无黑点、白点或气泡、脱落等现象										
耐热性	200℃	颜色不变										
	5min											
	300℃	涂层微黄	涂层微黄									
	5min	或失光										
耐油性		涂层不气泡										
涂层气味		无异味										
耐清洗剂(中性)性		涂层不气泡										
耐溶剂(丁酮)性		无露底现象										
抗菌(大肠埃希氏菌、金黄色葡萄球菌)性					—				抗细菌率 > 99.0%			
					抗细菌率 > 99.0%				—			

### 3.3.3 换热器翅片典型材料的性能

#### 1. 非涂层铝箔的主要技术性能指标

(1) 化学性能 换热器翅片常用铝箔的合金牌号主要有 1100、1200、8011 等。就使用角度而言,空调对铝制换热器翅片的化学成分没有严格要求。选用哪种合金主要取决于材料的机械性能在模具冲压过程中的影响。

(2) 机械性能 机械性能主要指材料的抗拉强度、伸长率杯突值。从使用角度而言,希望这三个指标越高越好,而就材质本身而言,这三个指标又相互矛盾,即当铝箔的抗拉强度相对较高时,伸长率指标会下降;而提高铝箔的伸长率时,又会引起抗拉强度的下降。因此在实际应用中,一般取机械性能的中间值,而具体强度和塑性值又与换热器翅片加工时的冲压模具有关。一般换热器翅片的冲压加工分为拉深型和无拉深型两种。拉深型冲压加工的

模具要求铝箔的塑性好些,即伸长率较高,相对强度值可以略低一点;而无拉深型模具同要求铝箔的强度较高,塑性属于次要指标。影响铝箔机械性能的因素较多,主要是铝箔的化学成分和加工工艺。就铝箔的强度和塑性来说,通过调整化学成分或改变加工工艺流程及参数可以在一定范围内使材料的塑性或强度在保持一方不变的情况下使另一方有所改变。也就是说,通过化学成分和加工工艺的调整可以有限地改变铝箔强度和塑性的搭配值。

根据换热器翅片对机械性能要求的不同,目前铝箔的使用状态(退火)主要有:O、H18、H22、H24、H26等。每种状态都对应一定的强度和塑性范围。从目前国内铝加工行业的现状来看,对于每种状态机械性能的范围还没有一个统一的标准。同时在实际应用中每一状态的机械性能范围也太宽,不能很好地控制产品的机械性能,以达到令使用者满意的程度。

(3) 力学性能和工艺性能 常用规格铝箔的纵向室温拉伸试验和杯突试验结果应符合表3-10的规定。

表 3-10 常用规格铝箔的纵向室温拉伸试验和杯突试验结果

牌号	状态	厚度/mm	抗拉强度 $R_m$ / ( $N/mm^2$ )	规定非比例延伸强度 $R_p$ /( $N/mm^2$ )	断后伸长率 $A_{50}$ (%)	杯突值 1, E/mm
1050	O	0.08 ~ 0.10	70 ~ 100	$\geq 40$	$\geq 10$	$\geq 5.0$
		>0.10 ~ 0.20	70 ~ 100	$\geq 40$	$\geq 15$	$\geq 5.5$
	H18	0.08 ~ 0.20	$\geq 135$	—	$\geq 1$	—
1100 1200	O	0.08 ~ 0.10	80 ~ 110	$\geq 50$	$\geq 18$	$\geq 6.0$
		>0.10 ~ 0.20	80 ~ 110	$\geq 50$	$\geq 20$	$\geq 6.5$
	H22	0.08 ~ 0.10	100 ~ 130	$\geq 60$	$\geq 18$	$\geq 5.5$
		>0.10 ~ 0.20	100 ~ 130	$\geq 60$	$\geq 20$	$\geq 6.0$
	H24	0.08 ~ 0.10	115 ~ 145	$\geq 70$	$\geq 15$	$\geq 5.0$
		>0.10 ~ 0.20	115 ~ 145	$\geq 70$	$\geq 18$	$\geq 5.5$
	H26	0.08 ~ 0.10	130 ~ 160	$\geq 90$	$\geq 8$	$\geq 4.0$
		>0.10 ~ 0.20	130 ~ 160	$\geq 90$	$\geq 10$	$\geq 4.5$
	H18	0.08 ~ 0.20	$\geq 160$	—	$\geq 1$	—
3102	H24	0.08 ~ 0.10	120 ~ 145	$\geq 90$	$\geq 10$	$\geq 4.5$
		>0.10 ~ 0.20	120 ~ 145	$\geq 100$	$\geq 12$	$\geq 5.0$
	H26	0.08 ~ 0.10	125 ~ 160	$\geq 100$	$\geq 8$	$\geq 4.0$
		>0.10 ~ 0.20	125 ~ 160	$\geq 100$	$\geq 10$	$\geq 4.5$
8006	O	0.08 ~ 0.10	110 ~ 140	$\geq 50$	$\geq 15$	$\geq 6.0$
		>0.10 ~ 0.20	110 ~ 140	$\geq 50$	$\geq 20$	$\geq 6.5$
	H22	0.08 ~ 0.10	120 ~ 150	$\geq 60$	$\geq 15$	$\geq 5.5$
		>0.10 ~ 0.20	120 ~ 150	$\geq 60$	$\geq 20$	$\geq 6.0$
	H24	0.08 ~ 0.10	125 ~ 155	$\geq 80$	$\geq 15$	$\geq 5.0$
		>0.10 ~ 0.20	125 ~ 155	$\geq 80$	$\geq 18$	$\geq 5.5$
	H26	0.08 ~ 0.10	130 ~ 160	$\geq 100$	$\geq 10$	$\geq 4.5$
		>0.10 ~ 0.20	130 ~ 160	$\geq 100$	$\geq 12$	$\geq 5.0$
8011	O	0.08 ~ 0.10	80 ~ 110	$\geq 50$	$\geq 20$	$\geq 6.0$
		>0.10 ~ 0.20	80 ~ 110	$\geq 50$	$\geq 20$	$\geq 6.5$
	H22	0.08 ~ 0.10	100 ~ 130	$\geq 60$	$\geq 18$	$\geq 5.5$
		>0.10 ~ 0.20	100 ~ 130	$\geq 60$	$\geq 20$	$\geq 6.0$
	H24	0.08 ~ 0.10	120 ~ 145	$\geq 80$	$\geq 15$	$\geq 5.0$
		>0.10 ~ 0.20	120 ~ 145	$\geq 80$	$\geq 18$	$\geq 5.5$
	H26	0.08 ~ 0.10	130 ~ 160	$\geq 100$	$\geq 8$	$\geq 4.0$
		>0.10 ~ 0.20	130 ~ 160	$\geq 100$	$\geq 10$	$\geq 4.5$
	H18	0.08 ~ 0.20	$\geq 160$	—	$\geq 1$	—

## 2. 涂层铝箔的主要技术指标

涂层铝箔是在非涂层铝箔的基础上进行表面处理后形成的,除了需要具备上述非涂层铝箔要求的化学成分、机械性能和几何尺寸等性能指标外,还应具备良好的板型和涂层性能。

(1) 铝箔的板型 首先,涂层铝箔的生产工艺要求铝箔要有良好的板型,这是涂层铝箔生产的先决条件。衡量板型指标的单位是 I。一般的涂层生产设备对板型的要求都在 20 ~ 40I 以内,如果大于此值,则需在涂层设备前加一套张力矫直系统。一般涂层设备的铝带运行路线都较长,处理工序及导辊也较多。因此,如果不配备张力矫直系统,一旦出现板型不好就很容易在运行中起折,导致无法生产。空调生产过程对铝箔的板型也有较高的要求。一般的换热器翅片冲压生产线都使用真空吸盘方式进行铝箔传送,如果铝箔的板型不好,表面不平整,就会导致铝箔的真空吸送方式无法正常进行。因此,板型不仅是涂层铝箔,也是非涂层铝箔的一个重要技术指标。

(2) 涂层性能 前面说过换热器翅片用涂层铝箔有许多种,目前市场上使用的涂层铝箔主要是亲水性铝箔,因此这里仅就亲水性铝箔的涂层性能指标进行讨论。

(3) 涂层厚度 铝箔表面的涂膜厚度没有硬性规定,一般都在 3/1m 以下。因涂料的价格通常都较贵,所以在满足性能要求的前提下,涂膜厚度控制得越薄,生产成本就越低。涂层厚度直接影响到涂层的各项性能指标,因此要求铝箔表面的涂层厚度要均匀一致。

(4) 涂层附着力 涂层附着力是铝箔与其表面涂层粘合牢度的指标。如果涂层附着力过小,则涂层铝箔在进一步加工和使用中,表面涂膜就容易脱落,进而严重影响涂层铝箔的重量,因此要求涂层附着力越强越好。涂层附着力一般只能定性地进行检测,主要检测方法有耐磨擦试验、划格试验和杯突法等。

(5) 亲水性能 亲水铝箔在使用一段时间后,会因为受各种环境因素的作用而使表面的亲水性能受到影响。因此,亲水性能一般分为初期亲水性与耐环境试验后的亲水性能。亲水性能的好坏主要是以  $\alpha$  角的大小来衡量。一般产品的初期亲水性要求  $\alpha < 100$ ,耐环境试验后亲水性要求  $\alpha < 250$ 。接触角  $\alpha$  的测量可以选用专门的接触角测量仪;也可以通过一定量体积的水滴在铝箔表面所占面积的大小进行计算得出。

### 3.3.4 换热器翅片冲压材料国产化情况

随着我国经济的快速发展和人民生活质量水平的不断提高,空调的普及率逐年提高,我国已成为名符其实的空调生产、消费大国,相应的翅片用材的供应需求也越来越大。自 20 世纪 80 年代换热器翅片开始实现国产化,现在国内各大铝业集团都能生产常用牌号的基材和涂层铝箔,并大量出口海外,但特殊涂层铝箔与国外尚有一定差距。

### 3.3.5 换热器翅片冲压材料的发展趋势

随着有色金属材料的稀缺矛盾日益显现,空调换热器翅片用铝箔的规格和种类也在发生相应变化。20 世纪 80 年代开始,换热器翅片的厚度在 0.15 ~ 0.2mm 之间,随着目前空调市场逐步向小型化、高效能、高寿命发展,空调换热器翅片也相应向超薄及高强度发展。同时为降低成本,铝箔厚度由原来的 0.15 ~ 0.2mm 逐步向 0.095 ~ 0.115mm 过渡,今后有可能达到 0.08mm 以下。使用宽度由原来的 500mm 增加了近 1 倍。宽度的增加无疑提高了生产效率,对铝箔生产厂家也提出了更高要求,相当一部分小型设备也无法满足生产。

为了提高空调通风质量和提高制冷效果、降低耗电量,涂层铝箔使用的比例逐年增加,同时涂层种类也趋于多样化。目前国内主要是亲水箱,随着市场的不断变化及技术要求的提高,今后憎水性铝箔、自润滑性铝箔等多功能的涂层铝箔会逐年增加。

### 3.4 换热器翅片高速精密冲压典型工艺

换热器翅片生产基本是在高速冲压生产线上完成,通过:开卷机送入材料(铝箔)→过油箱过油→进入模具→压力机冲压→送料拉出成品→定长切断→接料装置接料,连续高速冲裁,实现大规模生产制造,如图3-12所示。

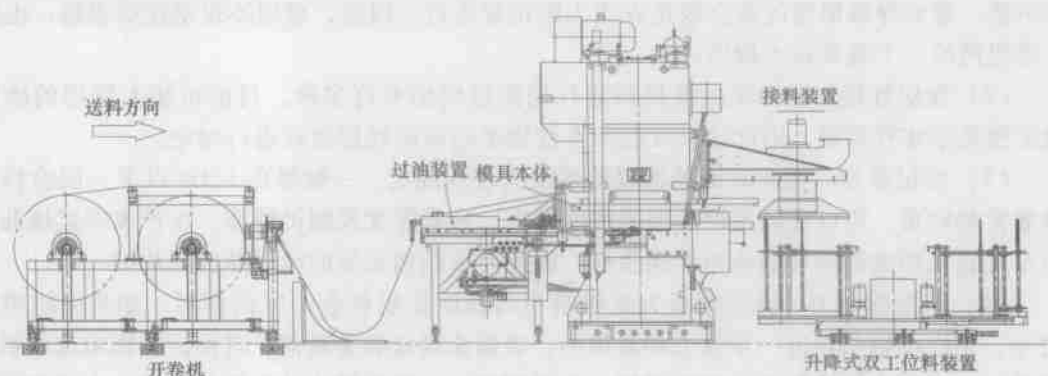


图 3-12 换热器翅片高速冲压生产线

翅片冲压级进模一般包含拉深、冲裁、翻边、弯曲等冲压工艺。根据制品的结构,上述冲压工艺在模具中得到不同的组合应用,这几种冲裁工序的排列顺序及各工序成形尺寸大小的确定不仅决定了产品的质量,而且决定了产品能否被连续冲压成形。

翻边孔不仅是翅片制件产品的主要组成部分,还是级进模工作时带料传递的定位孔,直接影响送料精度和翅片热交换的效果。因此,为了保证翅片的加工质量和铜管外侧散热效率,确保翻边孔直边部分的有效长度  $L$  和形状精度是十分重要的,如图3-13所示。

下面就对翅片冲压级进模的拉深、冲裁、翻边等冲压工艺作一些介绍。

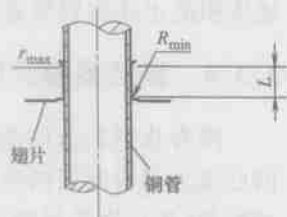


图 3-13 翻边孔直边部分的有效长度  $L$  和形状

#### 3.4.1 换热器翅片拉深工艺

拉深是翅片冲压成形的首道工序和关键工序。在翅片加工过程中为了获得一定的翻边高度,需先在平整的薄带料进行拉深变形,获得一定的鼓包高度,再进行冲孔翻边。翅片在成形拉深过程中,各成形孔之间相互制约,且务必切除压边圈废料,因此可将其可近似看成超大凸缘半径拉深件。

##### 1. 换热器翅片件拉深分析

根据实际生产经验,在宽凸缘各次拉深中,常采用以下几种方法。

(1) 改变拉深高度或改变拉深直径(见图3-14) 改变拉深高度的方法是指凸、凹模圆角半径基本不变或逐次减小,同时缩小筒形直径来达到增加高度的方法,它适用于材料较

薄,拉深深度比直径大的中小型零件。改变拉深直径的方法是指高度基本保持不变,而仅减小圆角半径、逐步减小筒形直径的方法,有两种情况:①当毛坯相对厚度较大时,第一次拉深后得到根部与底部圆角半径很大的中间毛坯,在以后各道拉深工序中高度基本保持不变,不断缩小圆筒部分的直径和圆角半径。②当毛坯厚度较小时,可先采用胀形成形得到图面深度,以后各道工序保持高度不变,每道工序都采用较大的凹模圆角半径 $rd$ ,且前一道 $rd$ 保留在凸缘上,不参与下一道工序的拉深。当凸缘过大而圆角半径过小时,先以适当的圆角半径成形,再根据图样尺寸整形。当凸缘过大时,材料边缘已不再参与拉深变形,可采用胀形方法成形。

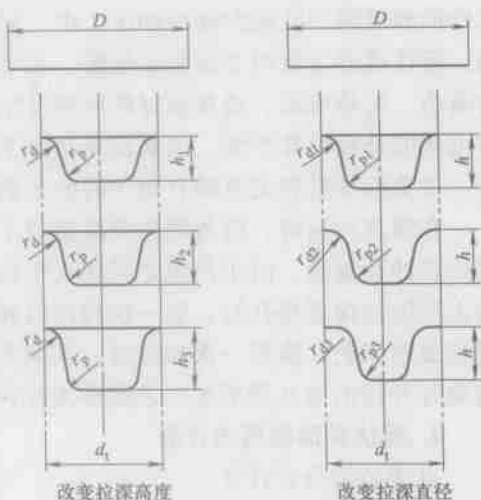


图 3-14 改变拉深高度或改变拉深直径

(2) 先胀形后拉深 翅片冲压变形时,因多排孔拉深凸模之间相互牵制,在拉深过程中,片料的外形宽度基本保持不变,相当于大凸缘的情况,因此先用胀形方式将变形所需材料拉入凹模,然后再按拉深高度基本保持不变,逐步减小筒形直径的拉深方法,达到要求的高度和形状。工序图如图 3-15 所示,片头图如图 3-16 所示。

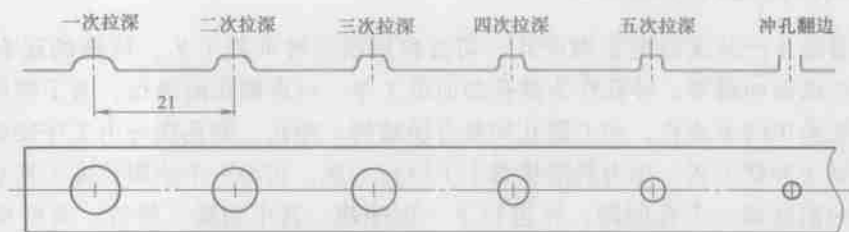


图 3-15 先胀形后拉深工序图

## 2. 拉深力计算

除第一次拉深外,其余拉深变形属于宽凸缘桶形的后序拉深过程。在拉深时,根据给定毛坯的材质、直径 $D$ 和板材的厚度 $t$ ,拉深模的直径 $d$ 以及凹模的圆角半径 $r$ 等,则最大拉深力可按下式计算

$$p = k_2 \pi d_n t R_m \quad (3-1)$$

式中  $p$ ——拉深力 (N);

$k_2$ ——系数,对于翅片薄带料,一般取 1.0;

$d_n$ ——各次拉深的直径 (mm);

$t$ ——材料厚度 (mm);

$R_m$ ——抗拉强度 (MPa)。

## 3. 起伏成形工艺

起伏成形是指依靠材料的延伸使工序件或

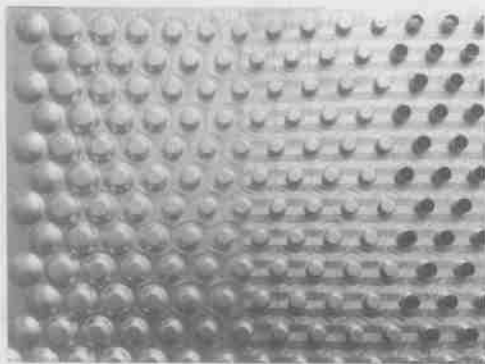


图 3-16 先胀形后拉深片头图

工件形成局部凹陷或突起的冲压工序。起伏成形中材料厚度的改变是变形过程中自然形成的。起伏成形主要用于压制加强筋、文字图案、敞开或半敞开件,以及波浪形膜片等,也称为鼓凸、局部成形,是在板材的局部发生胀形而形成突起或凹进的冲压工艺方法。起伏成形时毛坯的外形尺寸不变,主要依靠凸模下方及附近的材料拉深获得相应的形状;而拉深变形时,主要依靠材料的流动获得所需的形状,毛坯的外形尺寸有减小现象。

在翅片冲压时,因为翻边高度超过了极限翻边高度,应先拉深出一定高度的圆形凹坑,然后再冲孔翻边。由于凸模之间相互牵连、制约,加之铝、铜材塑性较好,所以在同一块片料上同时拉深多排孔时,第一次拉深时材料宽度未发生明显的变化,第一次拉深应属于局部起伏成形工艺,除第一次拉深外,其余拉深变形属于宽凸缘桶形的后序拉深过程,但习惯上将翅片冲压的前几道成形工艺都称为拉深。

#### 4. 起伏成形的压力计算

可按经验公式计算

$$p = KA\epsilon^2 \quad (3-2)$$

式中  $p$ ——起伏成形力 (N);

$A$ ——起伏成形的面积 ( $\text{mm}^2$ );

$K$ ——系数,钢为  $200 \sim 300 \text{ N/mm}^4$ ,铜、铝为  $150 \sim 250 \text{ N/mm}^4$ ;

$t$ ——材料厚度 (mm)。

### 3.4.2 换热器翅片冲裁工艺

换热器翅片产品成形主要用冲孔、切边和切断三种冲裁工艺,特殊的还有桥片、百叶窗、异形切成形冲裁等。冲孔作为翻孔的前道工序,应在翻孔前进行,为了使模具结构尺寸降低,一般采用向下冲孔,向上翻孔的复合模结构,冲孔、翻孔在一个工序完成。切边和纵切分条也属于冲裁工艺,压力机滑块每上下运行一次,切出一个步距长度,然后由送料机构带动片料向前移动一个孔间距,再进行下一次冲裁。其中切断、桥片、百叶窗、异形切成形,并非每个滑块循环都冲裁一次,而是通过 PLC 控制动作的间隔,来满足翅片产品的要求。

在冲裁时,冲裁间隙的大小对冲裁件质量、模具寿命、冲裁力的大小影响很大,它是模具设计中的一个重要的工艺参数。对换热器翅片铝料来,厚度基本小于  $0.2 \text{ mm}$ ,考虑到生产过程中的磨损使间隙加大,故在设计时通常采用最小合理间隙 ( $Z_{\min}$ ),常用翅片料厚都在  $0.09 \sim 0.15 \text{ mm}$  之间,因此模具设计中一般确定的冲裁间隙基本为  $0.01 \text{ mm}$  左右。

### 3.4.3 换热器翅片翻边工艺

翻边是使平面或曲面的板坯料,沿一定的曲线翻成竖立边缘的成形方法。根据翻转曲线封闭与否,可分为内孔翻边和外缘翻边两类。翅片上用的翻边是内孔翻边,内孔翻边是在预先加工了孔的半成品上或预先制孔的板料上,冲压出竖立孔边缘的成形过程。

#### 1. 变形过程

圆孔翻边如图 3-17 所示,设坯料预冲孔直径为  $d_0$ 。翻边时,坯料在凸模作用下,孔径  $d_0$  不断扩大,最后变成直径为  $d$  的竖边。翻边变形区为外径  $d_1$ 、内径  $d_0$  的环形部分,变形区为双向拉应力状态,且切向拉应力一般为最大主应力。孔边缘仅受切向拉应力的作用,为

单向应力状态。坯料变形区切向发生伸长变形,属伸长变形。变形坯料厚度变薄,孔边缘切向伸长变形最大,厚度变薄最严重。翻边后,孔边缘厚度 $t$ 近似按公式3-3确定。

$$t = t_0 \sqrt{d_0/d_1} \quad (3-3)$$

式中  $t_0$ ——坯料的原始厚度。

当变形程度过大时,孔的边缘首先产生裂纹。翻边过程中,变形区在径向略有收缩,因此翻边后,零件的翻边高度较原变形区的环形部分宽度略有减小。

## 2. 翻边系数 $k$ 的确定

圆孔翻边变形程度的大小可用翻边系数 $k$ 来判断。

$$k = d_0/d_1 \quad (3-4)$$

式中  $d_0$ ——毛坯预制孔直径;

$d_1$ ——翻边直径(根据中线,对薄壁件可直接取外轮廓尺寸)。

$k$ 值越大,翻边变形程度越小;反之, $k$ 值越小,变形程度越大。翻孔时边缘不破裂所能达到的最大变形程度时的 $k$ 值,称为极限翻边系数 $k_{\min}$ 。若翻边系数过小,低于极限翻边系数 $k_{\min}$ 时,不能直接翻孔,而应采取其他措施(如拉深后翻边、减薄翻边等)。

影响翻孔系数的因素有材料种类和力学性能。塑性好的材料, $k_{\min}$ 可以小。另外,材料的厚向异性指数 $r$ 值与材料的硬化指数 $n$ 值越大, $k_{\min}$ 则越小,即翻边的极限变形程度越大。

孔边缘情况对 $k_{\min}$ 也有影响。翻孔时,孔表面质量高(无撕裂、无毛刺)并且无加工硬化层时,有利于翻边成形, $k_{\min}$ 可小些。冲裁时采用锋利刃口和大于料厚的间隙,可使剪切面近似拉伸断裂,因加工硬化与损伤都较小,也有利于翻边,但由于采用大间隙,孔的直壁部分将有所减小。

材料相对厚度大时,允许的极限翻边系数 $k_{\min}$ 可以小一些。翻孔凸模工作部分的形状也是影响因素,虽然弧面凸模的加工行程较大,但弧面(球形、抛物线以及锥形)比平底凸模对翻边更有利。

在翅片冲压时,由于零件相对厚度太小,翻孔边缘要求质量又高(若冲孔翻边时孔口部产生开裂,在装配散热管时翅片会从裂口处撕开),因此一定要保证翻边质量。综合以上分析,翅片翻孔时,翻边系数 $k$ 只能取大一点的值。

## 3. 预加工小孔孔径及翻边高度

在设计拉深后再冲孔翻边的方案时,预加工小孔可由极限翻边系数确定,孔径与翻边高度之间的关系,按板料中性层长度不变的原则进行计算。

翻边高度 $h_1$ 、拉深高度 $h_2$ 可按下式计算

$$h_1 = (d_1 - d_0)/2 + \pi/2(r + t_0/2) - (r + t_0/2) \approx (d_1 - d_0)/2 + 0.57r \quad (3-5)$$

$$h_2 = H - h_1 + r + t_0 \quad (3-6)$$

式中  $H$ ——制件要求达到的翻边高度;

$r$ ——翻边凸模的圆角半径。

## 4. 翻边凸凹模尺寸的确定

由前面翻边系数 $k$ 的确定一节的分析可知,翻边凸模的圆角半径 $r$ 增大,不仅能降低翻

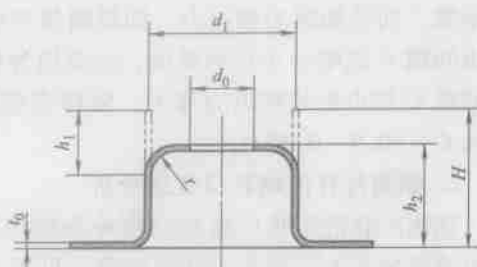


图 3-17 圆孔翻边

边系数,而且能减小翻边力。凹模圆角半径可直接按工件要求的大小设计,避免形成尖角。翻边间隙  $C$  应略小于材料厚度,这是因为在切向拉引力的作用下,变形区材料被拉伸变薄。但间隙  $C$  过小会使翻边力增大,零件直壁变形严重,翻边间隙一般取  $C = (0.9 \sim 0.95)t_0$ 。

### 5. 翻翘片孔的喇叭口变形分析

翻翘片孔的喇叭口是在凸模冲头的作用下,将已翻成直壁孔的边缘沿冲头曲面弯曲成形的过程(见图 3-18)。

翻翘片孔喇叭口实质上是弯曲变形的一种特殊形式,兼有伸长变形和压缩变形的特点,喇叭口边缘部分以伸长变形为主。变形极限主要表现为边缘开裂,开裂原因是切向拉伸应变过大,应变力超出了材料的强度极限造成的。另外,为了对冲压条料进行精确定位,提高翘片的冲压质量,翻喇叭口用的冲头在模具中兼起对条料的导正作用,冲头圆角半径越大越好,并尽可能用抛物线形、锥形或球形冲头,这样有利于使冲头顺利地进入翻边孔。

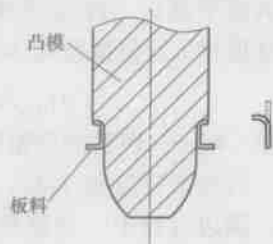


图 3-18 翻翘片孔的喇叭口

### 3.4.4 压波形及压花边弯曲工艺

为了提高空调器的散热效果,除了增大散热面积、更换散热材料的方法外,还可通过改变片型而改变空气在翅片周围的对流效果来解决问题。试验表明:采用波纹片时,空气侧表面传热系数较平面增大 20%。为了增加整体片料的强度,零件边缘设有 1~1.5mm 宽的花边。压波形时,片料在 V 形凸、凹模之间做接触弯曲成形。

## 3.5 换热器翅片高速精密冲压模具

换热器翅片高速精密级进模具有精密、大型、高效、长寿命特点。模具结构复杂、工位较多、设计制造难度都较大。图 3-19 所示为一套典型的翅片级进模的上模,图 3-20 所示为其下模。

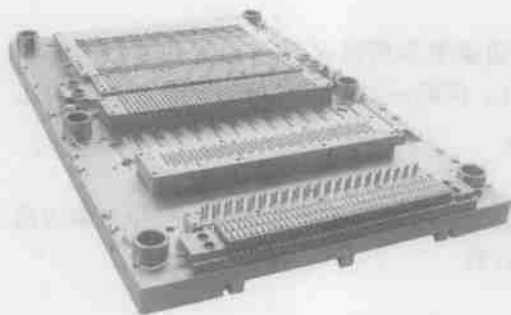


图 3-19 翅片级进模的上模

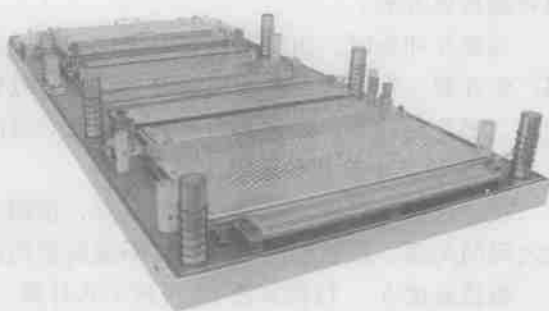


图 3-20 翅片级进模的下模

### 3.5.1 换热器翅片对模具的要求

#### 1. 冲压件对模具的要求

(1) 产品批量大,要求模具效率高 因每台空调机需要翅片成百片不等,使用批量大,

采用冲压加工是最适合的选择。为提高生产效率,翅片采用高效的自动化连续冲压生产方式,所用的模具为多功能级进模,要求模具排数多、步进多、冲次高,一般从十几列到几十列,从1步进到4步进不等,冲次普遍在每分钟200次以上。同时要求模具使用寿命长,刃口修磨寿命为3000万次以上,模具总寿命15年以上。

(2) 模具冲压润滑条件受产品要求所限 冲压工作时,模具因受热而升温,随着温度的上升,模具的刚度下降,易产生塑性变形。同时,模具同工件接触的表面与非接触表面温度有差别,在模具中造成温度应力。润滑模具与坯料的相对运动表面可减少模具与坯料的直接接触,减少磨损,降低成形力。同时,润滑剂还能在一定程度上阻碍坯料向模具传热,降低模具温度,对提高模具寿命都是有利的。

但翅片使用场所为空调换热器内,要求必须达到国家规定的安全标准,对翅片冲压过程中润滑油的要求较高,必须无毒,无异味,挥发快,对人体不造成任何损伤,这就要求模具内相应的也只能使用安全的挥发快的专用挥发油,粘度较低,冲压条件受限。

(3) 对模具精度、面色度的要求高 因翅片要求精度高、材料薄,翻边后孔的高度要一致,孔口光滑无裂口,这就要求模具配合间隙要有很高的精度,冲孔要求精度保证在0.002mm以内,送料步距精度控制在0.01mm内。对模具成形直接影响产品质量的部位,如成形拉深处的面色度,一般要求进行抛光处理。

(4) 翅片品种规格多,导致模具结构复杂 随空调机型号的不同,翅片规格也不同,即使同一片型往往也有不同的翻边高度要求。此外,还有一些特别形状,如有的翅片的两端不是平口,而是要求加工成一定的形状,这就要求模具横切子模的设计必须与之匹配;有的翅片表面上还要求波纹、凸凹麻点、百叶窗等,这就决定了模具是否增加特殊工位来完成。

## 2. 冲压材料对模具的要求

1) 冲压材料的厚度决定了模具刃口间隙小、精度要求高,因翅片箔材基本在0.1mm左右,要求冲裁间隙必须控制在0.01mm范围内。

2) 翅片普遍采用涂层材料,要求模具成形过程中不得对涂层有破坏,造成涂层脱落,此外,涂层还会加速模具零件的磨损,因此,模具零件的面色度、耐磨性都有较高要求。

3) 冲压材料的规格和机械性能不一,要求模具适应性广。翅片冲压材料的机械性能主要指材料的伸长率、抗拉强度和杯突值。冲压材料厚度为0.076~0.15mm,材质、规格品种频繁,一般都要求模具能适用一定的范围。然而,材料的伸长率直接决定了模具的拉深系数和拉深步数,材料的杯突值则决定了材料在拉深成形时的塑性变形,影响到模具拉深高度。

## 3. 模具与设备的关系

模具通常是在高速压力机上配套使用,构成翅片模具生产线。模具与压力机配合直接关系到整体设备的合理使用、安全、产品质量、模具寿命、生产效率和成本等一系列重要问题。

压力机主要由开卷机、过油箱、换模装置、主机、吸风、接料装置及相应的电控系统组成。由开卷机供给的翅片材料,经过压力机材料入口处的过油箱装置,给材料两面涂上加工油,送进模具内。压力机台板和滑块间搭载的翅片模具,由顺送方法将翅片材料加工成翅片样品,同时,由压力机滑块动作和连杆连接着的步距送料机构,将加工成形的翅片按照所定送料量送出。加工成形的翅片,经过模具最终工位的横切机构,按照所定的段数切断。模具最终工位之后的翅片吸风装置,将吸住由模具设定段数送出的翅片。设定好段数的翅片经过

横切装置,被横切切断的翅片平行落下,接料装置接料。

模具与压力机配合主要从5个方面考虑,即模具与压力机形式的配合;模具与压力机吨位的配合关系;模具与压力机尺寸的配合,以及模具与控制信号、压力机油气的配合。

(1) 模具与压力机形式的配合 空调翅片模具所配压力机现主要有开式和闭式之分。开式压力机一般没有快换模装置,同时滑块提升量小,适合小型模具;闭式压力机具有液压提升功能,提升高度大,配备快换模装置,更换模具方便快捷,同时工作台面积大,适合匹配大型超长模具。

(2) 模具与压力机吨位的配合 模具的成形力需小于压力机的公称力,通常在压力机吨位的选择上考虑为模具总成形力的1.3倍。

(3) 模具与压力机尺寸的配合

1) 平面尺寸的配合:上模的受力部分一般不应该超过滑块的下平面尺寸。下模的宽度一般小于或等于工作台面积,要留有模具与压力机固定螺栓孔的位置,对于落料部分需充分考虑台板的强度。

2) 高度尺寸的配合:与装模高度和滑块行程有关。装模高度指当滑块在行程的下死点时,工作台面到滑块下平面之间的距离。通常装模高度会有一定的调节量。模具设计的闭合高度通常以最小装模高度+10mm设计,这样方便模具的更换。滑块行程在保证完成冲压工序的前提下,力求保持模具导向部分不相互脱离,同时需考虑工件的送料。对于拉深型模具,要求行程 $>2h$  ( $h$ 指翻边高度)。对于非拉深型和DOF型模具,要求行程 $>3h$ 。

(4) 模具内工位与压力机控制信号的配合 因模具内的工位有些是间歇性选择成形的,如异形切、百叶窗、横切等,所以模具内部分子模要求设计成可控性的,这就要求压力机的给气信号可单独控制。

(5) 模具与压力机油气的配合 因模具在生产时需要油的润滑,在排出废料时需要气压,所以模具在与压力机连接时,必须与压力机的给油、气量及其时间控制相匹配。模具内每个工位对油量要求的大小不一样,要求压力机在控制时进行定量给油。给气时间角度也不一样,通常在模具成形前、后的一定时间内压力机对其进行信号输出。

### 3.5.2 换热器翅片冲压模具的分类与结构

#### 1. 换热器翅片模具分类

模具根据成形工艺总体分为拉深型、非拉深型和DOF型(混合型)。三种类型模具的对比如下。

(1) 加工工位

1) 拉深型,如图3-21所示。



图 3-21 拉深型工位

2) 非拉深型,如图3-22所示。

3) DOF型,如图3-23所示。



图 3-22 非拉深型工位



图 3-23 DOF 型工位

## (2) 特征

### 1) 被加工材料。

① 拉深型：一般使用材质比较软的铝材，O 材、H22、H24；可以使用广泛的材料厚度，一台模具可以使用不同种厚度材料，0.10~0.15mm；中国产的铝料也可广泛使用。

② 非拉深型：一般使用材质硬的铝材 H26；材料厚度只能一种。

③ DOF 型：一般使用比较硬的铝材 H42、H26；材料厚度的范围较小，0.1~0.13mm；铝材的使用范围较小。

### 2) 翻边高度。

① 拉深型：根据拉深工位的调整，翻边高度比非拉深型高，但比 DOF 型模具低些。

② 非拉深型：翻边高度低。

③ DOF 型：翻边高度高。

### 3) 翅片形状。

① 拉深型：翅片表面有拉深工位多次成形时留下的较多皱纹。

② 非拉深型：片子很漂亮，没有皱纹。

③ DOF 型：翅片翻边的直线部比拉深型的直线部长，同等高度的情况下，表面皱纹较少。

4) 维护、保养。拉深型和 DOF 型模具保养比较容易，非拉深型模具保养难。

5) 热交换率。非拉深型模具生产的翅片热交换率最高，其次是 DOF 型，拉深型模具生产的翅片热交换率要低。三种模具形式的对比详见表 3-11。

表 3-11 三种模具形式的对比

模具形式	使用料厚范围	翻边高度	翅片形状	维护保养	热交换率
拉深型	大(0.05mm 以内)	较高	有较多皱纹,较差	容易	一般
非拉深型	较大(0.03mm 以内)	低	无皱纹,美观	难	高
DOF 型	只能使用一种	高	有少许皱纹,较美观	较难	较高

## 2. 换热器翅片模具结构

模具结构由上下大模板以及各个工位（压料、拉深、冲孔、翻边、边切、导正、纵切、送料、横切工位等）组成，如图 3-24 所示。

(1) 上下大模板 通过导柱导套的定位，可使上模板能稳定、精确地上下滑动，如图 3-25 所示。

(2) 压料工位 压料工位是防止翅片传送过度的工位（见图 3-26）。使用气压使压料销压住羊毛毡，从而使之压住材料，防止送料过度。羊毛毡容易磨损，需定期更换。材料在羊

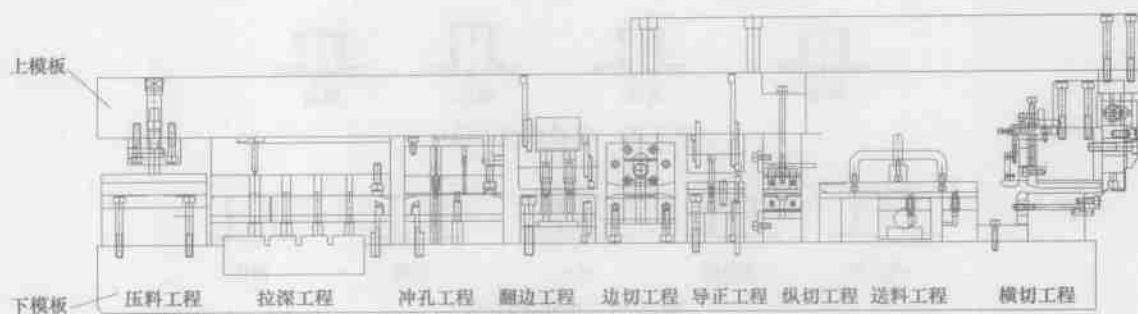


图 3-24 模具结构图

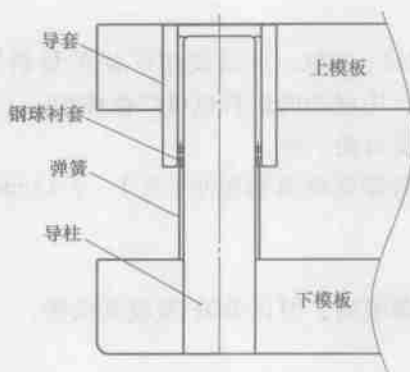


图 3-25 上下大模

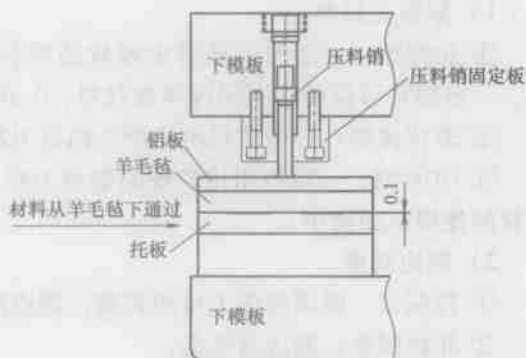


图 3-26 压料工位

毛毡与托板之间通过，在托板上磨出 0.1mm 深的通气槽，防止材料因油吸住而无法送料。

(3) 拉深工位 为了保证翅片高度的预备工程，通过改变拉深凸模的高度来调整突起的高度（见图 3-27）。滑块下行时，上模压杆将卸料板压到底，滑块继续下行，拉深凸模和凹模板接触后完成翅片突起；滑块回程时，通过凹模弹簧使卸料板弹出凸模，完成卸料过程。

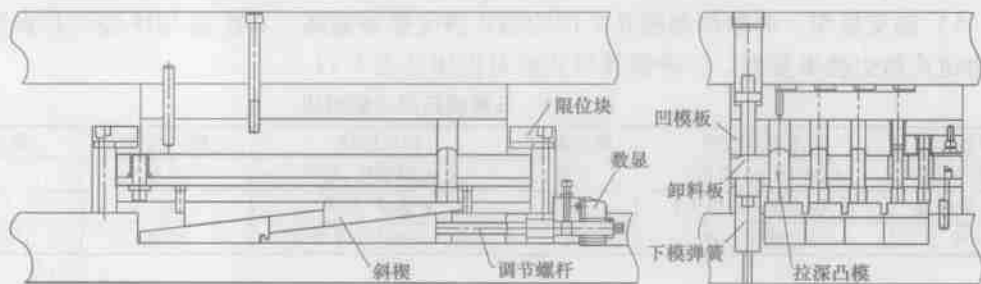


图 3-27 拉深工位

为使每步凸模高度能够调节，通过调节螺杆的旋转，实现斜楔的上升和下降，完成凸模的高度调节。为防止第一步拉深出现皱纹，可将第一步和第二步拉深的卸料板分开设计，通过增大凹模的弹簧力，增大压边力。

大多数模具都配有数显装置，用于调节打包参数设置。这些装置便于拉深凸模的上升和下降。

在凸模和凹模成形时,为减少材料与模具间的摩擦,降低变形阻力,保护工件表面不被拉毛或少拉毛,提高工件的表面质量,在上模垫板上设计有油气槽,模具工作时进行间歇给油气。

如果翅片上有V形、正弦波、蜂窝、加强筋成形部分,通常在拉深最后一步打包成形。

(4) 冲孔翻边工位 冲孔翻边是指进行翅片材料的基础冲孔,并对冲出的孔进行一次翻边。结构如图3-28所示。

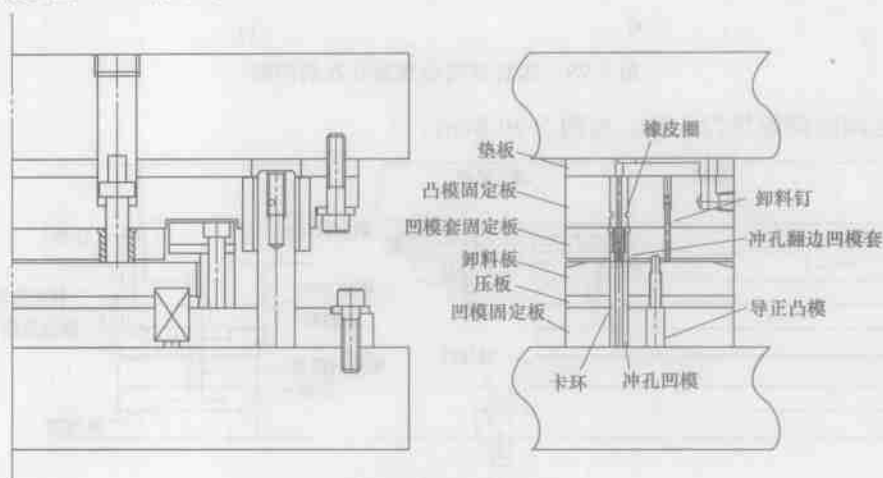


图 3-28 冲孔翻边工位

冲孔工位一般包括冲孔翻边和导正两部分,图3-28所示为上下模闭合时的情况。滑块在下行时,上模压杆将卸料板压到底,使已打包的翅片套到冲孔凹模上,滑块继续下行,冲孔凸模和凹模接触,完成冲孔;滑块继续下行,冲孔翻边凹模套与冲孔凹模完成一次翻边。冲孔凹模的内径起冲孔凹模作用,外径起翻孔凸模的作用。

由于需将冲出的废料顺畅的落到废料箱,冲孔凹模的落料孔不能太小,同时必须孔壁光滑。冲孔凸模上开有直通的气孔,在垫板上开有气槽,通过气压从垂直的气孔内将冲下的废铝不断排出。凸模侧边的孔有助于清理凸模和冲孔翻边凹模套之间的空隙,从而防止废料堆积。

冲孔凹模上套有卡环,压板压住卡环,防止凹模被拔出。冲孔凸模上有橡皮圈,起到自由矫正作用。

在冲孔凸凹模切孔时,导正凸模对已成形的孔进行定位,保证在冲孔时翅片不会窜动。

模具完成冲孔翻边后,滑块上升,卸料钉压住翅片,将翅片从冲孔翻边凹模套内推出,保证正常送料;卸料钉的位置通常涉及在两孔之间,对于高翻边模具,为减少开模高度,也会将卸料钉的位置改在孔的两侧,如图3-29所示。翅片从冲孔凹模内卸出,下模卸料板弹簧将卸料板弹出,使翅片从冲孔凹模卸出。

由于冲孔凹模壁薄,成为易损件,需经常更换,冲孔凸模由于间隙小亦需配套更换。为使凹模更换方便,通常设计成单独子模,通过导柱导套,保持其定位精度。

冲孔工位是翅片模具上最重要的工位,如使用或处置不当,会造成模具功能不良。此工位凸凹模的对准极为重要,精度要求最高。

(5) 翻边工位 该工位是对一次翻边的翅片肩部上端进行翻边,使翅片重叠时保证翅

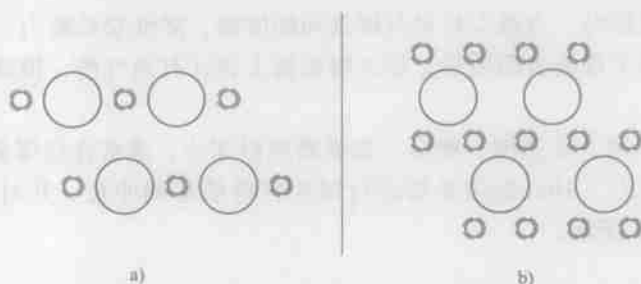


图 3-29 卸料钉的位置改在孔的两侧

片与翅片之间的间隙均匀一致,如图 3-30 所示。

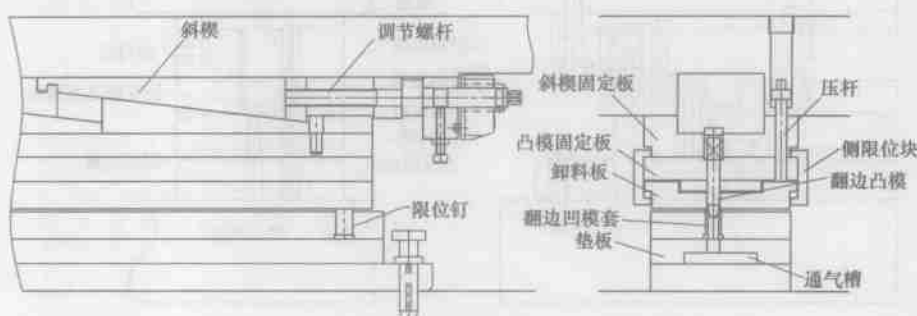


图 3-30 翻边工位

为实现翻边高度的变化,通过调节螺杆实现斜楔的上升和下降,完成凸模高度调节。翻边高度要求一致,在同一列翻边高度偏差 $\leq 0.03\text{mm}$ ,任意两列翻边高度 $\leq 0.03\text{mm}$ ,斜楔的平面度和平行度要求在 $0.01\text{mm}$ 以内。同时,要求翻边凸模成形的高度一致性保证在 $0.002\text{mm}$ 以内。

为防止翅片翻边后粘在凸模上,上模设有卸料板,通过压杆作用使卸料板卸料,同时翻边凸模头部有一定角度,保证卸料顺畅。

在翻边之前,翻边凸模还需起到导向定位作用,使翻边子模可以替代导正子模。在翻边凹模套固定板上有限位钉,来限定卸料板的高度,使卸料板与凹模套之间留有间隙,保证材料在模具内不会被压住,并起到导正的作用。

(6) 边切工位 该工位是切除材料两边废料,保证翅片宽度的工位,如图 3-31 所示。

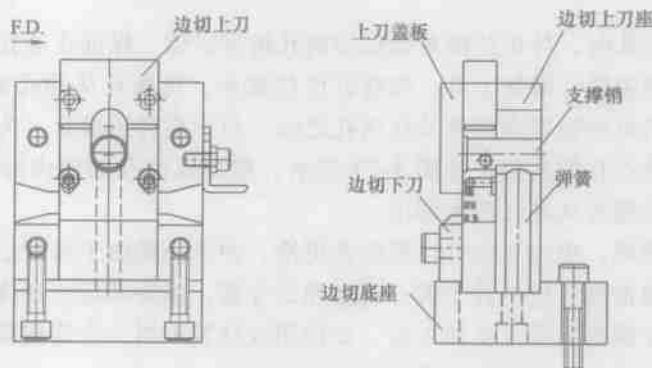


图 3-31 边切工位

通过上下刀的重合切除翅片两边的废料，上刀通过模具上模板下降直接将上刀往下切，完成切料过程。已下降的上刀，在上模板上升时，通过内部弹簧复位。

在边切上刀座上有润滑油接口和气压接口，上刀上有一周油气槽，压缩空气通过上刀将废料吹出模具本体落料穴。上刀的活动面，经由上刀座提供润滑油，以减小摩擦。

(7) 导正工位 为使材料在模具内定位，防止材料移动，一般在冲孔、纵切等位置都设导正工位。在已成形翅片的垫块之间，通过将导正凸模插入已成形的翅片孔使整个翅片定位。垫块高度随着翻边高度不同而不同。卸料板直接固定在垫块上，通过卸料板防止翅片材料被挂在导正凸模上，如图3-32所示。

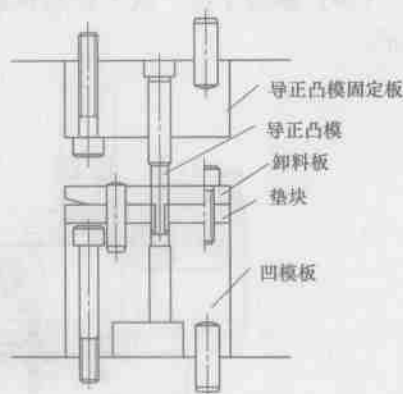


图 3-32 导正工位

(8) 纵切工位 对翅片列数分段的工位。其模具结构可任意实现切与不切的替换。如图3-33所示。

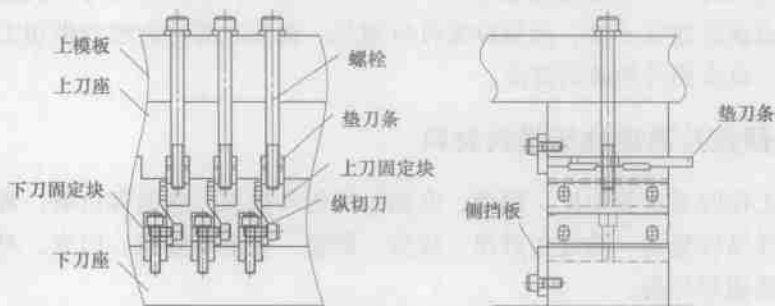


图 3-33 纵切工位

滑块下降到下死点位置时，通过上下刀重合，将翅片材料切断。纵切子模在组装时通过侧挡板保证固定块的位置前后位置一致，通过对刀块来保证所有刀的高度一致，使切深一致。

通过台阶式垫刀条的抽拔，实现纵切的切与不切。将上刀固定块的固定螺栓松开，并抽出台阶式垫刀条，然后固定上刀固定块，使上下刀分离，实现不切状态。

(9) 送料工位 该工位是将成形的翅片孔挂在送料指上，按相等的步距间隔把材料送出的工位。模具内没有调整拉料量的部件，所有的调节工作都是通过压力机上的曲柄、转换连接杆、步进转换器（如果使用了步进转换器）来完成的（见图3-34）。

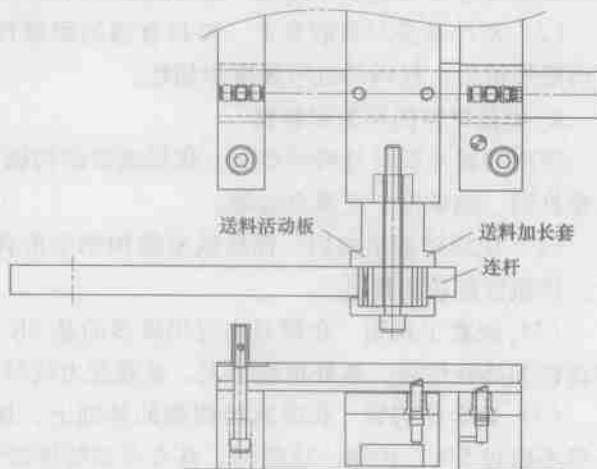


图 3-34 送料工位

通过连杆将活动送料板和压力机送料机构相连并驱动,送料量由压力机送料机构调整。

(10) 横切工位 该工位是将送出的翅片按任意长度(孔数)切断的工位,如图 3-35 所示。

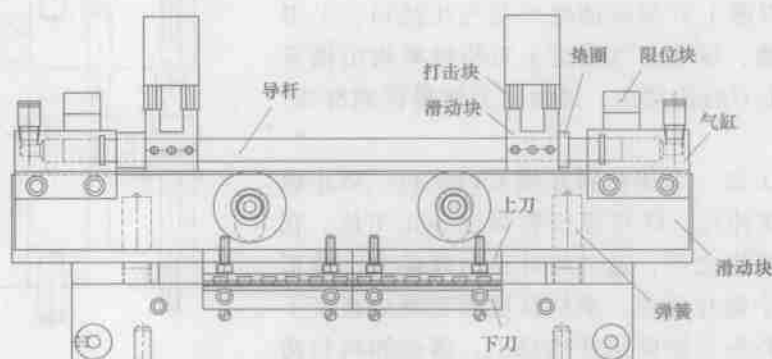


图 3-35 横切工位

横切工位由气缸控制,空气进入气缸,将导杆推向另一边,装在导杆上的滑动块撞击到打击块上。当合模时,打击块驱动横切上刀下移,开模时,弹簧将上刀弹回到起始位置。

横切工位通常是独立子模,前后位置可以调节。调节之后将会改变横切工位与翅片孔的相对位置,但不改变翅片模具的宽度。

### 3.5.3 换热器翅片高速冲压模具材料

冲压模具工作时要承受冲压、振动、摩擦、高压和拉深、弯曲等负荷,甚至在较高的温度下工作,工作条件复杂,易发生磨损、疲劳、断裂、变形等现象。因此,对模具工作零件材料的要求比普通零件高。

翅片模具同时具有拉深、冲裁的功能,应根据不同的工作条件选用不同的模具材料。

#### 1. 不同工作条件对模具材料的要求

(1) 对拉深模具材料的要求 要具有良好的抗黏附性、高的耐磨性和硬度、一定的强韧性以及较好的切削加工性能,而且热处理时变形要小。

(2) 对冲裁模材料的要求 要具有高的耐磨性和硬度,为防止断裂和崩刃,还应具有高的断裂抗力、较高的抗弯强度和韧性。

#### 2. 模具材料的种类和特性

常用的翅片模具材料种类有:优质碳素结构钢、碳素工具钢、合金结构钢、高速钢、冷作模具钢、轴承钢、硬质合金等。

(1) 优质碳素结构钢 优质碳素结构钢中所含的硫、磷及非金属夹杂物比碳素结构钢少,机械性能较为优良。

(2) 碳素工具钢 在模具中应用较多的是 SK-3,优点为加工性能良好,价格便宜。但淬透性和热硬性差,热处理变形大,承载能力较低。

(3) 合金结构钢 在碳素结构钢的基础上,加入适量的一种或数种合金元素(总含量一般不超过 5%)的钢。这类钢,具有合适的淬透性,经适宜的金属热处理后,显微组织为均匀的索氏体、贝氏体或极细的珠光体,因而具有较高的抗拉强度和屈服比(一般在 0.85

左右),较高的韧性和疲劳强度。在模具中应用较多的是 35CrMo,日本牌号为 SCM435,用在翅片拉深凸模上。

(4) 高速钢 高速钢一种具有高硬度、高耐磨性和高耐热性的工具钢。高速钢的工艺性能好,强度和韧性配合好,主要用来制造模具中不是每次冲切的切口件。在翅片模具中主要选用含钨量较少的 W6Mo5Cr4V2。后来又出现了粉末冶金高速钢,其优点是避免了熔炼法生产所造成的碳化物偏析而引起机械性能降低和热处理变形,更加适用于切口件。翅片模具中主要选用 HAP-40。

(5) 冷作模具钢 在翅片模具中主要选用 9CrWMn、Cr12MoV 等。它们具有较好的淬透性、淬硬性和耐磨性,热处理变形小,为高耐磨变形模具钢,承载能力仅次于高速钢。

(6) 轴承钢 主要用于制造滚动轴承的滚动体和套圈,此类零件需具备长寿命、高精度、低发热量、高速性、高刚性、低噪声和高耐磨性等特点。翅片模具中常选用 GCr15。

(7) 硬质合金 硬质合金的硬度和耐磨性高于其他任何种类的模具钢,但抗弯强度和韧性差。在模具中主要应用于变薄拉深凸模。

### 3. 翅片模具零件选材和要求

翅片模具各子模中常用零件选材及热处理要求具体见表 3-12。

表 3-12 翅片模具各子模中常用零件选材及热处理要求

零件名称		国内材料	硬度 HRC	国外材料	硬度 HRC
本 体	上下大模板	45	24~28	P20	30~33
	导柱	20Cr GCr15	60~64(渗碳) 60~64	SUJ-2	60~62
	导套	20Cr GCr15	58~62(渗碳) 58~62(渗碳)	SUJ-2	58~60
	导料板	45	28~32	SK-3	30~33
	挡料销	T10A	54~58	SUJ-2	58~60
	垫板	45	28~32	SK-3	30~33
	螺钉	45	43~48 头部	SCM435	43~48
	销钉	T10A	54~58	SUJ-2	58~60
	推杆、顶杆	T10A	54~58	SKS-3	54~56
	拉深模压边圈	T10A	54~58	SKS-3	54~56
	螺母、垫圈、螺塞	45	28~32	SK-3	30~33
	侧刃挡块	45	28~32	SK-3	30~33
	镶块和滑块	45	28~32	SK-3	30~33
	弹簧	50CrVA, 55CrSi, 65Mn	44~48	SWOSC-V	44~48
拉 深	拉深凸模	T10A	56~60	SKH51, SKD11	60~62
	拉深凹模板	45	28~32	PX-5	30~33
	拉深凹模套	Cr12MoV, Cr4W2MoV	58~62	SKH51, SKD11	62~64
	拉深卸料板	45	28~32	PX-5	30~33
冲 孔	冲孔凸模	9SiCr, Cr4W2MoV Cr12, Cr12MoV W6Mo5Cr4V2	58~62	DEX40 HAP-40 SKH51, SKD11	60~62
	冲孔凹模	9SiCr, Cr4W2MoV Cr12, Cr12MoV W6Mo5Cr4V2	60~64	DEX40 HAP-40 SKH51, SKD11	62~64
	凸凹模固定板	45	28~32	PX-5	30~33
	冲孔卸料板	45	28~32	PX-5	30~33

(续)

零件名称		国内材料	硬度 HRC	国外材料	硬度 HRC
变薄	变薄拉深凸模	Cr12MoV、Cr4W2MoV YG10、YG15 超细硬质合金	58~62 ≥86HRA —	HAP-40 SKH51、SKD11 超细硬质合金	60~62 60~62 —
	变薄拉深凹模	Cr12MoV、Cr4W2MoV YG10、YG15 超细硬质合金	60~64 ≥84HRA —	HAP-40 SKH51、SKD11 超细硬质合金	62~64 62~64 —
	凸凹模固定板	45	28~32	PX-5	30~33
翻边	翻边凸模	Cr12MoV、Cr4W2MoV YG10、YG15	60~64 ≥84HRA	HAP-40 SKH51、SKD11	62~64 62~64
	翻边凹模板	45	28~32	SK-3	30~33
边切	边切上下刀	9SiCr、CrWMn Cr12、Cr12MoV W6Mo5Cr4V2	58~62	DEX40 HAP-40 SKH51、SKD11	60~62
	边切刀座	45	48~54	SKS-3	54~56
导正	导正凸模	9SiCr、CrWMn Cr12、Cr12MoV W6Mo5Cr4V2	58~62	DEX40 HAP-40 SKH51、SKD11	60~62
	导正凹模板	45	28~32	SK-3	30~33
纵切	纵切上下刀	9SiCr、CrWMn Cr12、Cr12MoV W6Mo5Cr4V2	58~62	DEX40 HAP-40 SKH51、SKD11	60~62
百叶窗	百叶窗凸凹模	9SiCr、CrWMn Cr12、Cr12MoV W6Mo5Cr4V2	58~62	DEX40 HAP-40 SKH51、SKD11	60~62
桥片	桥片凸模、桥片凹模板	9SiCr、CrWMn Cr12、Cr12MoV W6Mo5Cr4V2	58~62	DEX40 HAP-40 SKH51、SKD11	60~62
异形切	异形切凸模、异形切凹模板	9SiCr、CrWMn Cr12、Cr12MoV W6Mo5Cr4V2	58~62	DEX40 HAP-40 SKH51、SKD11	60~62
送料	送料指	45	48~54	SUJ-2 SKS-3	43~48 54~56
横切	横切上下刀	9SiCr、CrWMn Cr12、Cr12MoV W6Mo5Cr4V2	58~62	DEX40 HAP-40 SKH51、SKD11	60~62

### 3.5.4 换热器翅片高速冲压模具的设计

翅片模具设计与其他精密级进模设计类似。首先在分析制品要求包括产能的基础上，确定合理的模具类型和冲压成形工艺，作出排样图，计算冲裁力及压力中心，选择高速压力机，再进行模具总装图结构设计。

一般在产品图上都体现相关技术参数和要求，如表面形状、步距大小、孔径大小、翻边高度，使用材料的厚度，以及产量要求等，由此来初步确定模具大小，分多少列、分几步进等。

1. 翅片冲压工艺分析

1) 根据材料性能、料厚、翅片图成形尺寸、翻边高度等，确定模具类型。图 3-36 所示为 V 形波纹翅片产品图，其技术要求为：翅片表面形状是波纹片，翅片边缘设有 1mm 宽的波纹压花，列距为 22mm，孔距为 25.4mm，孔径为  $\phi 9.83$ ，有 0.25 高的双眼皮，料厚度 0.105 时要求翻边高度为 1.2~2.0mm，料厚度 0.115 时要求翻边高度为 1.3~2.4mm。

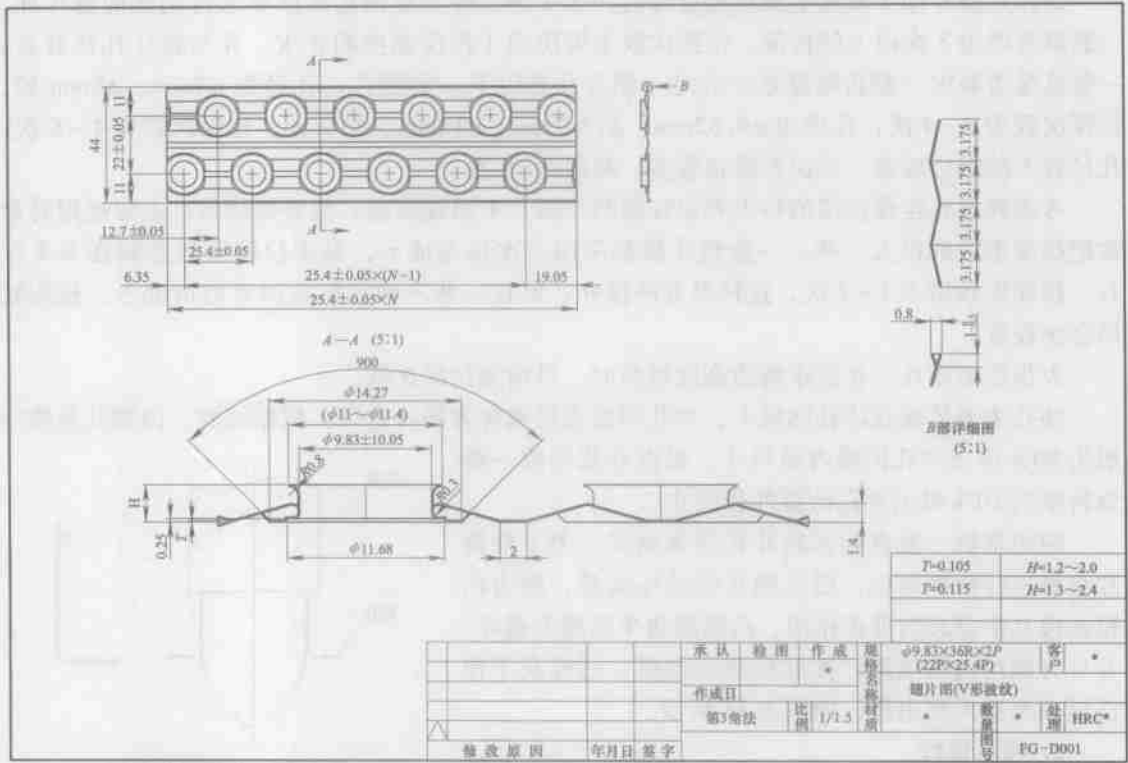


图 3-36 V 形波纹翅片产品图

在料厚度确定的情况下，由于翻边高度要求不同，选择的成形方式也不同。总体来说，翅片成形主要是拉深和变薄拉深两种方式，以及在此基础上的兼用。翻边高度要求较高时，普通拉深型模具难以满足，通常采用混合型模具。通过拉深将材料拉高后再经过变薄拉深，将高度提高。翻边高度太低也不利于产品质量，翻边过低后没有直线部，翅片堆料后经过胀管容易叠片，影响换热器的换热率。通常此时模具也会设计成混合型，通过变薄拉深子模的挤压，使翅片强度增加，胀管时不容易叠片。

在翅片冲压成形过程中，铝箔的机械性能对模具设计影响很大。铝箔的机械性能主要是硬度、伸长率、抗拉强度、杯凸值。如果铝箔的硬度不够、强度低，在冲孔过程中容易粘料，堆料时容易弯曲，但过高会降低模具的使用寿命。伸长率决定了翅片拉深所能达到的变形程度和拉深次数。

总之，要根据产品要求、料厚、材料的机械性能等综合因素，确定成形方式，选择模具结构是拉深型、非拉深型、还是混合型（DOF 型）。

根据图 3-36 所示的产品要求，初步确定采用拉深型，成形工艺为拉深—冲孔翻孔—翻边—边切—导正—纵切—送料—横切。

2) 成形系数的确定。模具类型确定后, 计算模具的拉深步数和成形系数, 如拉深系数、翻孔系数、变薄系数等。根据模具规格, 可计算出拉深第 1 步最大可使用起伏成形的材料面积, 根据料厚计算得出第 1 步拉深的打包直径。最后 1 步拉深打包直径根据冲孔翻边子模的成形系数来确定。一旦拉深第 1 步和最后 1 步的直径确定后, 即可根据材料的伸长率, 计算拉深系数、调整后得出拉深的步数和每步拉深凸模的直径。

拉深是翅片加工最基本和最先进的冲压工序。除少数翻孔高度要求特别低的翅片外, 一般都要经过 3 次以上的拉深。拉深次数主要决定于拉深高度的要求, 并与翅片孔径有关。一般低翻边要求 (翻边高度在三分之一翅片孔径以下) 的翅片, 孔径为  $\phi 7\text{mm}$ 、 $\phi 8\text{mm}$  的, 拉深次数为 3~4 次; 孔径为  $\phi 9.52\text{mm}$ 、 $\phi 12.7\text{mm}$ 、 $\phi 13\text{mm}$ 、 $\phi 16\text{mm}$ , 拉深次数为 4~6 次, 孔径较大的翻边较高, 拉深次数也较多, 高的达 10 次。

考虑到整料连续拉深的特点和保证顺利拉深, 不出现拉破、拉裂等缺陷, 实际运用时常常把拉深系数取得大一些。一般翅片模都采用多次拉深成形, 每步拉深系数控制在 0.8 左右, 拉深次数增多 1~2 次, 这样虽有些保守, 但在一些不确定影响因素的情况下, 拉深效果会比较好。

大步距的翅片, 在要求翻边高度较高时, 可增加拉深次数。

冲孔主要体现在冲孔凹模上, 冲孔凹模直径通常为翅片直径。根据经验, 由翻孔系数一般为 80% 得出冲孔凹模内径尺寸。根据冲裁间隙一般为料厚的 10% 得出冲孔凸模外径尺寸。

翻边系数一般直接按翅片孔径来确定。为了对翅片材料进行精确定位, 提高翅片的冲压质量, 翻边凸模在模具中兼起到导正作用, 凸模圆角半径越大越好, 并尽可能用抛物线形、锥形后球形凸模, 这样利于使凸模顺利进入翻边孔, 如图 3-37 所示。

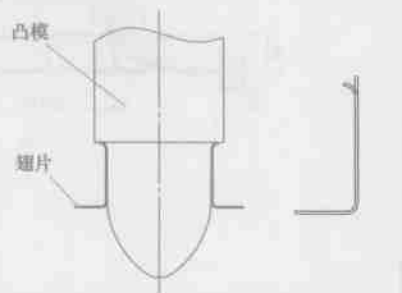


图 3-37 凸模圆角半径

## 2. 模具排样

工件排样是冲压工件及模具设计的重要环节, 将直接影响到模具大小、材料利用率、工件质量、生产率、模具制造难易程度、模具寿命等。

排样图设计是关键的一步, 根据翅片图所示的步距和技术协议确定的列数, 先将步距孔排样。排样要综合考虑以下因素: ①各道冲压工序在排样设计中的顺序。②工位的确定和空工位的位置。③送料方式及位置。④送料过程的精确定位。⑤压力中心的合理布局。⑥模具总体的结构和位置。

图 3-38 所示为  $\phi 9.52\text{mm} \times 12\text{R} \times 2\text{P}$  ( $21.65\text{P} \times 25\text{P}$ ) 模具工位排样图。

先将步距  $21.65\text{P} \times 25\text{P}$  和  $12\text{R}$  确定好后, 通过计算得出模具的工序为拉深 (6 步)—冲孔—翻边—空位—边切—导正—纵切—送料—横切。

拉深 6 步可为 2 个子模, 波纹成形在后一步拉深时同步完成。在翻边与边切子模之间预留百叶窗空位。

根据模具所配压力机的装模高度和滑块行程, 确定模具的总闭合高度, 根据压力机工作台的大小和翅片零部件的大小确定模具上下大模板的宽度。

上述因素定好后可进行模具的单个子模的结构设计。

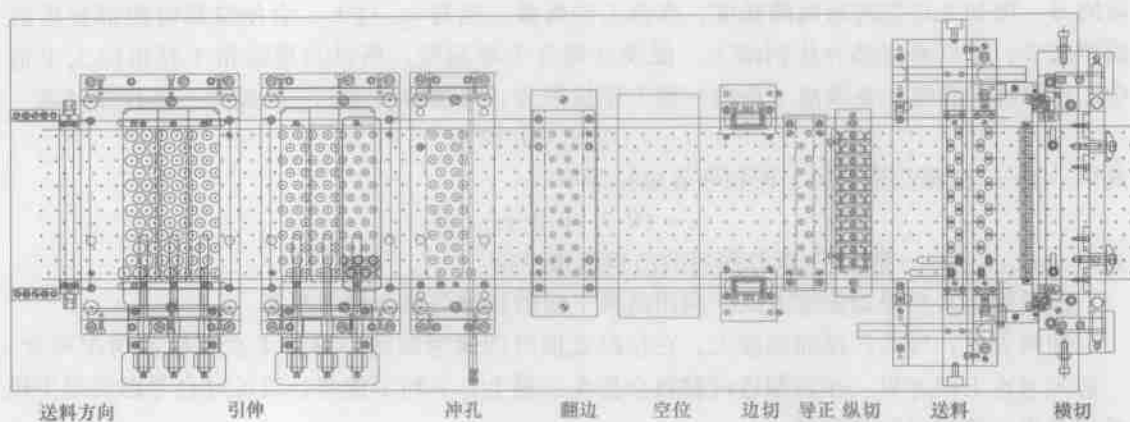


图 3-38 模具工位排样图

### 3. 结构设计

(1) 拉深工序 首先确定拉深子模的整体结构。

为了便于送料和避免翅片表面划伤，通常采用圆筒朝上设计。在上模上安装垫板、凹模板，下模上依次安装凸模固定板、压板和卸料板，如图 3-39 所示。

为使凸凹模在成形时降低其摩擦力，抑制工件破裂，提高成形极限和产品质量，延长模具寿命，在上模有自动喷油装置，在垫板上开有油气槽，通过垫板直接喷到凹模板内。

因翅片要求翻边高度可调，所以在拉深子模设计时凸模高度是可调整的，通过凸模下面的斜楔来实现拉深高度的可调性。

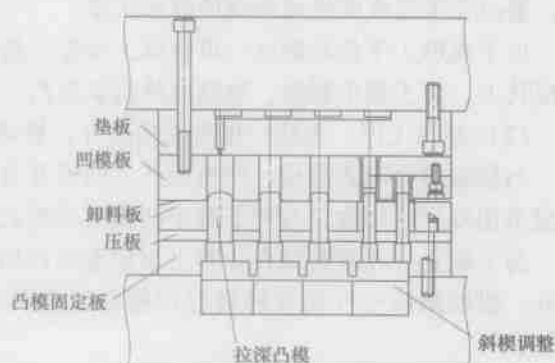


图 3-39 拉深工位

凸凹模的间隙：间隙值应合理选取，间隙过小会增加摩擦力，使拉深件容易破裂，且易擦伤表面和降低模具寿命；间隙过大，又易使拉深件起皱，影响工件精度。

凸凹模直径和圆弧尺寸的确定：对铝箔进行拉深时，拉深凹模圆角半径的大小对于拉深过程有很大影响，因为坯料被拉深时，是在凹模圆角部位滑动，并产生较大弯曲变形后，又进入凹模的直壁部被重新拉直。如果凹模圆角半径  $r_{凹}$  太小，那么在该处的变形阻力、摩擦阻力和反复弯曲阻力都要增大，模具磨损也增大。另外，如果  $r_{凹}$  减小，则极限拉深系数  $m$  也会增大，材料的允许变形程度会减小。为减小拉深力，使变形更容易，应取大圆角。但若取圆角太大，压边圈压料面积减小，易于起皱，也不利于拉深顺利进行。根据经验，对铝、黄铜、纯铜等材料，在料厚小于 3mm 时，圆角半径可按料厚的 5~8 倍选取，对第一次拉深和薄料尽量取大值，以后拉深凹模圆角半径按公式  $r_{凹n} = (0.6 \sim 0.9)r_{凹(n-1)}$  选取。

凸模圆角半径  $r_{凸}$  太小时，同样会使材料在这个部位弯曲程度增加，且局部变薄现象加重，这种弯曲和变薄的痕迹，还会在以后的工序中留在零件的侧壁上，影响零件的质量。过小的  $r_{凸}$  还会增加修改工序，及以后工序的成形难度。增大凸模圆角半径则可以降低拉深所

需的力,增加毛坯危险断面的强度,改善工件质量。但若 $r_{\text{凸}}$ 过大,会使拉深时底部被压的面积减少,材料悬空部分比例增大,促使这部分毛坯起皱,所以凸模圆角半径也应大小适中。拉深件的精度主要取决于最后一道工序拉深凸、凹模的尺寸,一般最后一步拉深时取

$$r_{\text{凸}} = (0.08 \sim 0.12)d$$

式中  $d$ ——拉深凸模直径,而相邻各级拉深取

$$r_{\text{凸}} = (0.7 \sim 0.8)r_{\text{凸}(n-1)}$$

式中  $r_{\text{凸}(n-1)}$ ——第 $n-1$ 次拉深后的凸模圆角半径。

凸模固定采用浮动固定方式,利用凸模下面的斜楔调整凸模的高度。

卸料方式:因凸凹模间隙较大,在拉深成形时凹模为圆角,材料卡在凹模的情况很少,一般不考虑上模卸料。在高翻边时材料会挂在凸模上,不利于送料,设计时会考虑通过下模的卸料板,将材料卸出凸模。

对于高翻边模具,为了保证孔的周边不产生过多的皱纹,边料在拉深时不致被拉深成材料重叠,必须增大料宽,这样会增大用料成本。因此对于较深的拉深,需对首次拉深采取单独分开、单独压边的拉深方式,在压边时其动作不受以后各次拉深的影响,或在拉深卸料板两侧装上防皱条,使其材料在成形时被拉住后两侧,以减少皱纹。

有的翅片要求平面上有波纹或蜂窝,这时一般与最后一道拉深工序放在一起,设有成形板,通过它来完成波纹或蜂窝的成形工序。

由于成形工序是和最后一道拉深工序在一起完成的,成形部分全做在最后一道拉深工序的模具上,为了便于制造,波纹或蜂窝成型凸、凹模通常采用镶拼结构。

(2) 冲孔工序 为减小模具结构尺寸,将冲孔和翻边工位复合,由一个子模完成。

凸模采用台阶式结构,凹模为凸、凹模复合结构,凹模既是冲孔凹模,又是翻边凸模,凹模采用双直壁结构,有利于减小凸模与凹模之间的磨损(见图3-40)。

为了防止冲孔废料粘在片料上出现重叠冲压,在冲孔凸模上设有气孔,借助高压空气使废料通过凹模和工作台上的落料孔,进入废料箱。

冲孔凸凹模间隙对冲裁件质量、冲裁力、模具寿命等都有很大影响。通常翅片料厚在0.1mm左右,冲裁间隙取为料厚的10%,约0.01mm。

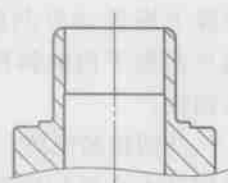


图 3-40 凹模采用双直壁结构

冲孔凸凹模尺寸确定:冲孔凹模为翅片孔内径尺寸,凸模尺寸决定了翻孔系数,根据经验为凹模的80%左右,这样工件不容易开裂。

为保证翅片坯料从上模卸下,保证正常送料,上模设有卸料钉。通过卸料板将翅片从凹模卸出。

为保证翻孔凸缘的挺直,凸凹模之间的间隙一般取单边扣除料厚+0.05,凸模采用平顶圆弧过渡结构,翻边凹模圆角半径一般直接按翅片图样要求。

(3) 翻边(喇叭口)工序 翻边由斜楔固定板、凸模固定板、卸料板、凹模板、垫板组成。凹模板和垫板采用插销定位、螺栓连接方式固定在下大模板上。其余通过定位销钉和螺栓装在上大模板上,如图3-41所示。

卸料板采用侧限位板扣在凸模固定板上,运动时靠凸模导向,卸料板与凸模固定板的相对位置通过导柱来保证。凸模固定板上模有块斜楔固定板,通过斜楔的调整来对翻边高度进

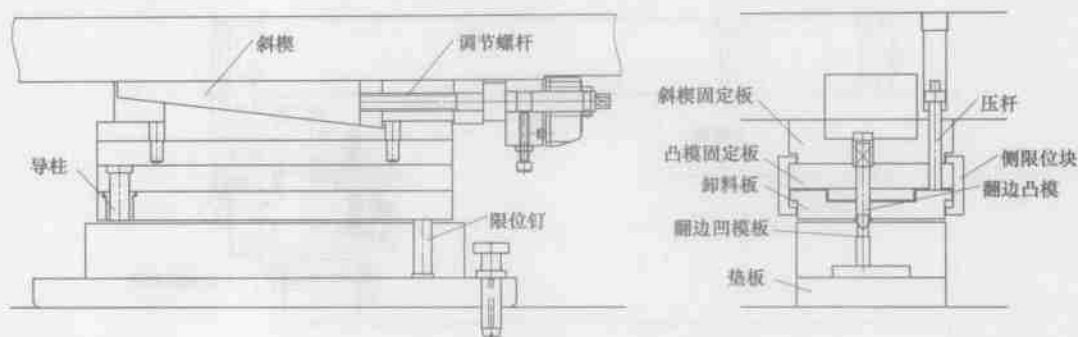


图 3-41 翻边（喇叭口）工位

行调整。

在翅片图上虽然对喇叭口未做严格的尺寸要求，但喇叭口不能出现开裂，否则在胀管后会露铜，造成产品报废。

翻边凸模在设计时前端采用近似椭圆头结构，并设有一段直径为翅片孔的圆柱部分，从而对成形后的翅片进行导正、定位。

翻边时，凸模前端椭圆头首先进入翅片上已有的孔内，对翅片进行导正定位，由圆柱部分进行精确定位，然后借助台阶圆角向下翻喇叭口。所以该凸模具有导正和翻边双重作用。具体结构如图 3-42 所示。

(4) 边切、纵切分条工序 边切是将翅片两侧多余的废料剪切掉，以达到翅片图样要求。分条是将翅片在列数上按热交换所需进行分割的工序。

边切常采用浮动凸模的独立结构，凸模的定位通过上刀座来实现，通过上模的上、下运动完成凸模与凹模的重合相切。

纵切上、下刀固定在固定块上，固定块利用螺钉及定位槽按规律分别定位在上、下模板之间，通过上、下模运动完成分条工作。在上固定块与上刀座之间有 6mm 的垫条，通过垫条的抽拔来实现不同列数的产品。

如有压花边的产品，在边切凸凹模和纵切到上做成压花形状，上、下模之间对应刃形应相吻合，上模、下模任意列之间的刃口高度差需相等，从而保证分条两侧一致。

(5) 横切工序 横切是整套模具的最后一个工序。由于翅片长度由每排孔的数量决定，压力机滑块运行一次只能完成一次冲孔，这就需要压力机完成多次冲压后才能切断一次。因此，为了能够实现自动控制切断动作，保证翅片级进模的正常运行，在单台压力机上，必须借助滑块机构之外的其他动力（气动），同时这个动力还得受压力机滑块运动的控制，这样，自动控制技术的应用在该套翅片级进模的设计中是必不可少的。

为保证上、下刀切断刀配合精度，子模上下运动采用无油润滑块配磨后对滑动板进行导向。如图 3-43 所示。

(6) 送料工序的设计 送料机构的传动是由两个分机构实现的，即曲柄摇杆机构和曲

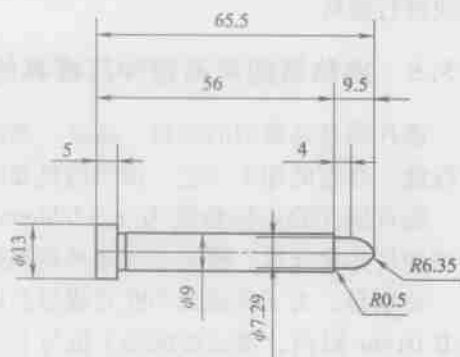


图 3-42 凸模具有导正和翻边双重作用

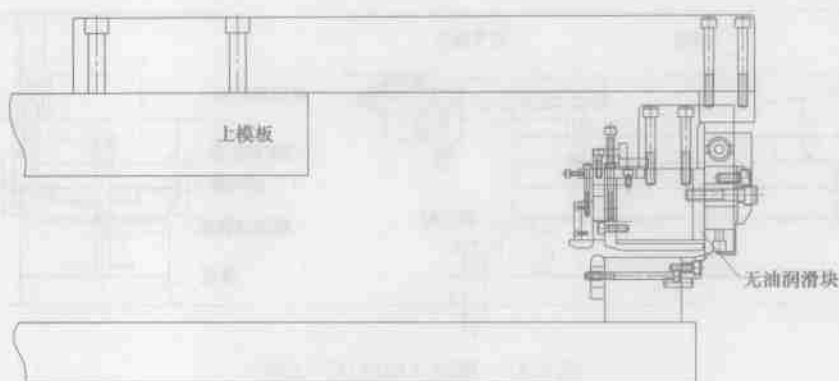


图 3-43 无油润滑块结构

柄滑块结构联合作用。

级进模的送料装置主要由活动板、固定板和导杆组成。活动板与导杆时过盈配合，不产生相对运动，送料时，活动送料板上的送料指挂住翻边孔将翅片送一个步距，返回时，固定送料板上的送料指挂在翅片孔支撑，防止翅片后移，保证步距不变。为了保证滑块往复运动的稳定性，滑块利用两根导向杆进行导向，通过送料传动轴同时驱动左右两套曲柄连杆带动滑块进行送料。

### 3.5.5 换热器翅片高速冲压模具的制造

翅片模具是典型的大型、高速、高精度、长寿命级进模具，其制造品质须依靠良好的材料性能、合理的加工工艺、恰当的热处理、精密的加工设备和检测手段，来共同加以保证。

模具镶件的几何精度为  $\pm 0.002\text{mm}$ ，垂直度、对称度等形位精度在  $\pm 0.003\text{mm}$  以内，同类镶件完全互换，模具的高速冲压次数达  $250 \sim 300$  次/min。

特别是，为了保证近 700 对成形凸凹模的成形间隙以及保证 400 对切口件单边冲裁间隙在  $0.01\text{mm}$  以内，保证各成形工位与上、下大模板的精确定位，上、下大模板销钉孔在大型精密加工中心上一次加工完成，确保了模具的定位精度控制在  $\pm 0.005\text{mm}$  以内，平行度在  $\pm 0.02\text{mm}$  以内。

如冲孔、异形切、百叶窗等，各独立成形工位的子模板要求更高，平行度在  $\pm 0.01\text{mm}$  内，任意定位孔和凸凹模固定孔的尺寸精度和位置度都必须控制在  $\pm 0.002\text{mm}$  以内，否则就会出现凸凹模“啃刀”现象，一般必须在恒温车间用坐标磨床保证其加工精度。

要达到此目标，零部件材料一般要求选择优质模具钢。模具零件的制造难点和重点主要是模架部分，针对精密成形子模板部分、成形及特殊要求零件部分、镜面加工部分等，分别制定了不同的工艺路线，并由高精度加工设备及高素质高技能人员进行制造加工，确保产品质量。

主要零件的加工工艺流程如下：

模架加工：预备材料→粗加工六面→龙门加工中心钻孔攻丝、倒角→热处理→龙门磨精加工→龙门式加工中心精加工→检验→入库总装。

成形子模板加工：预备材料→铣床粗加工六面→平面磨半精加工→数控铣粗加工→热处理→加工中心半精加工→精密平面磨半精加工→坐标磨精加工→总检→入库总装。

成形及特殊要求零件加工：预备材料→铣床粗加工→磨床半精加工→数控成形半精加工→热处理（真空淬火、液氮深冷（冰冻处理）、回火等）→精密磨床半精加工→EDM加工、电火花慢走丝加工→数控成形磨加工或光学曲线磨加工→精密平面磨精加工→总检→入库总装。

镜面加工：预备材料（含钢材类、超硬材料类）→半精磨→电加工（EDM、慢丝等）→精密磨床半精加工→光学曲线磨→超精密镜面磨削加工（部分零件手工镜面抛光）→总检→入库总装。

翅片模具的装配一般也是要求在恒温、无尘车间内完成，以减少装配过程中的热变形应力残留。所有零件在装配过程中，首先都必须进行清洁、去毛刺处理，否则装配精度将无法保证。特殊零件如导柱等基本采用液氮冷装，既保证足够的过盈配合，又不得有装配应力残留。冲孔凸凹模等零件在固定板上的配合基本控制在零间隙滑动状态，既要保证精度，又要方便零件更换；斜楔、凸凹模等零件装配还必须用千分表检测成形面高度的一致性。

### 3.5.6 模具监测和保护装置

多工位级进模一般都是自动送料，冲次很高，在冲压过程中难免发生如材料误送、送料不到位、叠片、材料起拱、材料厚度和宽度有误差、废料不能顺利下落等故障，从而导致模具不能正常工作，甚至造成模具和压力机损坏。

设置安全保护装置就是为了代替操作人员监视冲压过程（包括原材料监视、给进监视、出件监视），有了故障及时发出信号，停止压力机运转，以保证模具和压力机不受损坏。

通常模具在设计时会有保护的限位柱，常规限位柱高度会高出模具闭合 0.1mm，即模具在闭合时限位柱受力，以保护模具内部零件在冲压过程中免受冲击。

常见的故障还有材料送料后拱起，为检测此故障，在模具送料工位上加设材料堵塞报警装置，如图 3-44 所示。

当材料在送料过程中拱起时，碰到固定在绝缘套上的导电杆，导电板会通过电线与压力机电器连接，将堵塞信号传递到操作盘，使压力机自动停止运转。

另一种是送料末端检测器，用于控制卷料冲压完毕而停机的装置。其方法是将微动开关安装在自动送料轴的后端，当卷料通过时，将滚轮抬起，这时微动开关电源接通，压力机便可连续冲压；当卷料冲压完毕，微动开关的触头自动下降，将电源关闭，压力机便停止生产。

模具还附带提供安全柱。安全柱是当提升滑块进行模具检修时，防止滑块突然下降造成人员伤亡的一种安全装置。在生产线上检修模具时，把滑块提升到最高，按下【紧急停止】按钮，将电源开关置【关】位置上，观察飞轮已停止转动，在主电控箱上拔出安全柱，插入上、下模板之间。

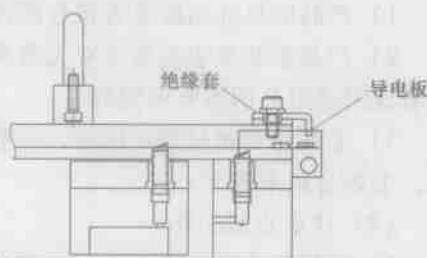


图 3-44 材料堵塞报警装置

### 3.5.7 翅片高速冲压模具的使用与维护

#### 1. 模具的安装与调试

翅片冲压级进模属于精密模具，安全使用很关键，稍有不慎就可能造成事故，严重的会

使整套模具报废。在安装、调试模具时应注意以下问题:

- 1) 清洁压力机滑块下平面和工作台板上平面。
- 2) 调整压力机闭合高度,使其近似接近模具闭合高度。
- 3) 将模具放置在压力机工作台板上,将模具落料孔与压力机工作台板落料孔重合,安装下模定位销及固定螺栓。
- 4) 使用压力机的寸动功能,将压力机滑块逐渐降至接近闭合高度,微调压力机闭合高度使其与模具闭合高度一致。
- 5) 将压力机运行至下死点状态,安装上模固定螺栓。
- 6) 检查压力机润滑系统及高压气路系统,确保润滑油路、高压气路畅通。
- 7) 冲裁模部分先用铝料单冲冲切剪裁,观察检查毛刺情况,判断冲裁间隙是否正常。
- 8) 安装调试开卷、送料及切断模的工作情况。
- 9) 使用规定的材料,试冲压若干零件,检查冲件质量和冲模工作情况。

## 2. 模具的使用与维护

任何精密多工位级进模,经过试冲验证合格后,若保持其最佳使用效果,除了应有高精度的冲压设备外,还必须做到合理使用、保养和维护,这样才能保证冲出合格的制件和达到最高的使用寿命,取得最理想的技术与经济效益。

模具的维护保养工作贯穿于从使用到保管的整个过程,现从4个方面来分析模具的保养和维护。

(1) 产品的检查 由于产品的质量直接由模具的制造和装配质量所决定,因此通过检查产品的质量,会了解模具的使用性能,知道存在的问题,该不该进行修理。产品质量的检查内容至少有如下几点。

- 1) 产品的尺寸精度是否符合图样要求,是否超差,一般若超差则说明刃口有磨损。
- 2) 产品形状及表面质量有无各种成形缺陷,如果孔位偏移说明模具定位有问题,表面起皱说明成形凸凹模有磨损等。
- 3) 毛刺是否超过规定标准,一般情况下毛刺变大说明刃口变钝了,如果刃口不进行修磨,毛刺会越来越大。

### (2) 作业点检工作

1) 做好压力机点检工作,一般1个季度(或更换模具前)要点检1次,具体的点检方法严格参照压力机说明书,确保安全防护装置是否处于完好可靠状态。

2) 在安装模具前,必须确认压力机的滑块与工作台面的平行度、垂直度,否则会对模具精度造成损害。生产前,应点动压力机冲至下死点,查看限位柱的上下间隙,限位柱有4~6个,保证在无料状态下其间隙不超过0.10mm。

3) 模具与压力机连接的定位销和固定螺钉,要确认是否有松动;应2~3个月检查1次,生产旺季时要增加检查频率。

4) 半个月检查1次各保持架和导柱、导套的磨损情况。为延长模具导柱导套的使用寿命,建议每8小时或是在运行一段时间后,提升压力机,使保持架脱离导套,手动抬升每一个保持架并将其旋转。这样可以防止保持架在导套中的同一位置持续运转,导致导套内壁及导柱外壁出现滑痕。

5) 确认润滑油的情况(参照压力机供油手册)。

6) 确认边切和异形切排废料是否正常;及时清理废料不然会造成众多事故发生;检查冲孔和其他有废料排出的子模排废料是否顺畅。其中特别是冲孔子模,很容易发生堵料现象,尤其是小孔径的模具(7mm及以下),在冲孔堵料时要按照以下顺序来逐一排除。

用镜子及手电来检查冲孔工位,看是否存在因破孔而产生废料堆积现象。如果废料堆积,会出现吹气阻塞并会妨碍到清理工作,若未能被及时发现,则后果将会很严重。当压力集聚到一定程度,会损坏冲孔的凸凹模,也会损坏冲孔翻边凹模套。

具体检查要求如下:①吹废料气压是否符合要求(气压应为0.6~0.8MPa),特别注意吹废料的压力机角度值(150°~240°)是否正确。②冲孔凸、凹模刃口是否磨损严重,此时可以更换刃口好的凸凹模对比确认。③检查堵料的凹模落料孔内壁是否光滑或落料孔与切口是否同心等。④如以上问题都已确认但还是堵料,应向模具供应商咨询。

(3) 模具各子模的保养要求(见表3-13)

表3-13 模具各子模的保养要求

工位	保养零件	保养时间及内容	翅片呈现现象
压料	羊毛毡	羊毛毡磨损2mm时或者每三个月更换	翅片孔变形、翅片烂孔
成形	成形凸模	每年抛光	喇叭口开裂、喇叭口破孔
	成形凹模套	每年抛光	
	弹簧	每六个月更换	
	缓冲块	每六个月更换	
冲孔	冲孔凸模	每2000万冲次再研磨	喇叭口开裂
	冲孔凹模	每2000万冲次再研磨	
	冲孔凹模套	每年抛光	
	弹簧	每六个月更换	
	缓冲块	每六个月更换	
变薄	变薄凸模	每3000万冲次再抛光	喇叭口开裂、喇叭口破孔、反凸、孔内面伤痕
	变薄凹模	每3000万冲次再抛光	
	弹簧	每六个月更换	
	缓冲块	每六个月更换	
翻边	翻边凸模	每6000万冲次再抛光	喇叭口变形、带料
	弹簧	每六个月更换	
导正	导正凸模	每6000万冲次再抛光	喇叭口变形、带料
	弹簧	每六个月更换	
边切	边切上刀	每2000万冲次再研磨	毛刺 段差
	边切下刀	每2000万冲次再研磨	
	弹簧	每六个月更换	
纵切	纵切上刀	每2000万冲次再研磨	毛刺 段差
	纵切下刀	每2000万冲次再研磨	
送料	弹簧	每六个月更换	送料错误 孔变形
横切	横切上刀	每6000万冲次再研磨	毛刺 切断不良
	横切下刀	每6000万冲次再研磨	
	弹簧	每六个月更换	
	无油润滑块	每年调整间隙	
上桥	桥片凸模	每2000万冲次再研磨	毛刺 塌桥
	桥片凹模	每2000万冲次再研磨	
	弹簧	每六个月更换	

(续)

工位	保养零件	保养时间及内容	翅片呈现现象
异型切	异型切凸模	每 2000 万冲次再研磨	毛刺
	异型切凹模	每 2000 万冲次再研磨	
	弹簧	每六个月更换	
	缓冲块	每年更换	

### 3.5.8 翅片高速冲压模具的发展趋势

翅片高速精密冲压模具目前朝着更大型化、更高冲裁速度、更长使用寿命、更智能化控制、更符合柔性化制造要求的方向发展。

4 步进模具普遍使用,最大列数达 72 列,并已出现最高 600 次/min 的换热器翅片精密级进模具,横向切断独立伺服控制、连续冲裁不间断接料等设计走向实用化。

随着换热器翅片产品规格多样化,要求一套翅片模具不至于生产一种片型,而是要求功能模块化设计,通过简单的选择组合,在一套模具上可以生产出不同规格的翅片产品;更有甚者,还要求两种片型在同一套模具上同时生产,对模具的设计要求越来越高。

随着翅片产品的多样化及产品性能要求,现在已出现椭圆孔、矩形方孔等异形孔翅片,其模具设计制造难度都远远超过常规的圆孔翅片模具。图 3-45 所示就是一套一模双片型的新型翅片模具。

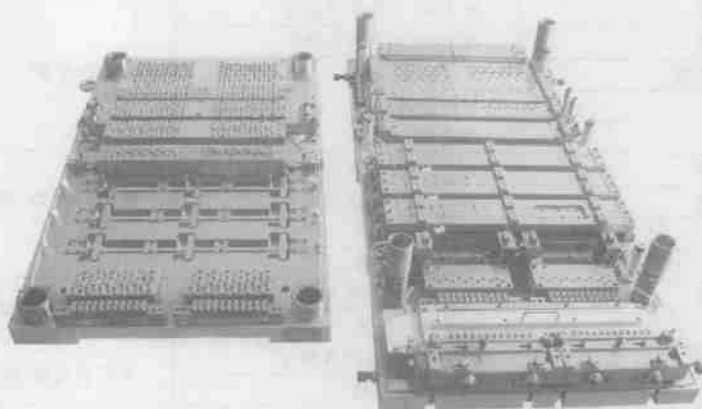


图 3-45 一模双片型新型翅片模具

## 3.6 翅片专用高速精密冲压设备

随着国内空调翅片模由小型化向大型化发展,普通压力机已无法满足使用要求,因此已开发出专供空调翅片冲压用的自动生产线。国外主要生产厂家有美国的 OAK 公司、日本的 HIDAKI 公司;国内生产厂家主要有扬州锻压机床集团有限公司、宁波精达机电科技有限公司。空调翅片冲压自动生产线均已系列化,有开式(见图 3-46)和闭式(见图 3-47)两种形式,都具有自动化高速冲压生产的特点,其公称力规格为 450kN、630kN、1000kN、1250kN,技术参数见表 3-14 和表 3-15。

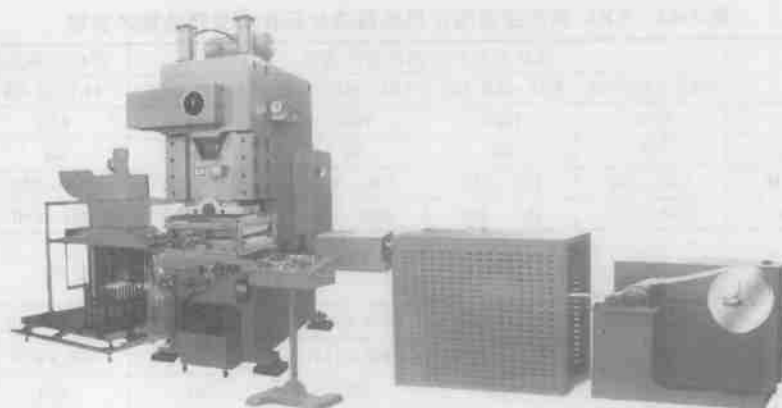


图 3-46 空调翅片开式高速冲压自动生产线

表 3-14 JL21 系列空调翅片开式高速冲压自动生产线技术参数

名 称	普通系列			高速系列	
	JL21-45B	JL21-63B	JL21-80B	JL21-45C	JL21-63C
公称力/kN	450	630	800	450	630
滑块行程/mm	40	40	40	40	40
行程次数/S. P. M	100 ~ 180	100 ~ 150	90 ~ 120	150 ~ 250	150 ~ 250
装模高度/mm	200 ~ 270	210 ~ 290	220 ~ 300	200 ~ 270	210 ~ 290
工作台板尺寸 (左右×前后)/mm	800×580	850×580	900×600	800×580	850×580
滑块底板尺寸 (左右×前后)/mm	500×300	600×350	600×350	500×300	600×350
材料宽度/mm	300	300	300	300	300
吸料长度/mm	1000	1000	1000	1000	1000
集料高度/mm	600	600	600	600	600
卷料内径/mm	φ75	φ75	φ75	φ75	φ75
卷料外径/mm	φ850	φ850	φ850	φ850	φ850
主电动机功率/kW	5.5	7.5	11	5.5	7.5
外形尺寸 (前后×左右×高)/mm	6500×2500× 2500	6500×2500× 2800	6600×2500× 2500	6500×2500× 2330	6500×2500× 2500

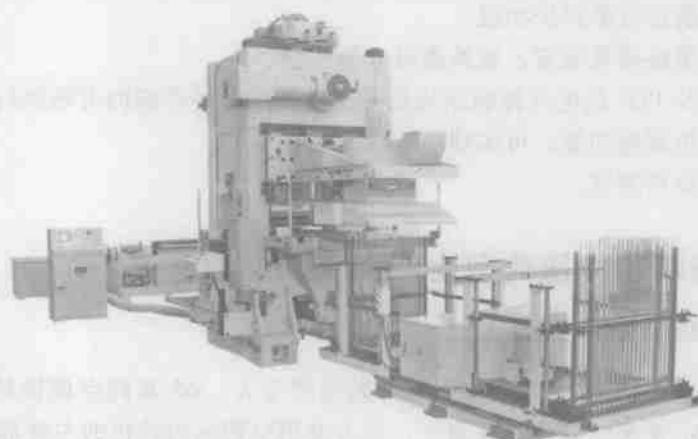


图 3-47 空调翅片闭式高速冲压自动生产线

表 3-15 YKC 系列空调翅片闭式高速冲压自动生产线技术参数

名 称	四柱式双点高速精密压力机				四柱式单点高速精密压力机	
	YKC-48A-125	YKC-36B-100	YKC-36A-100	YKC-24A-63	YKC-24-63	YKC-18-45
公称力/kN	1250	1000	1000	630	630	450
滑块行程/mm	40	40	40	40	40	40
行程次数/S. P. M	150~250	150~250	150~250	150~250	150~250	150~250
装模高度/mm	280~330	280~330	280~330	280~330	280~330	280~330
滑块提升量 (最小装模高度)/mm	100	100	100	80	80	80
工作台板尺寸/mm	2000×1400	2000×1200	1800×1200	1600×900	1350×900	1300×770
滑块底面尺寸/mm	1300×1350	1300×1150	1300×1170	1100×800	800×800	720×670
材料宽度/mm	1080	820	820	550	550	400
吸料长度/mm	900	900	900	1000	1000	1000
集料高度/mm	720	720	720	720	720	720
卷料内径/mm	φ150	φ150	φ150	φ150	φ150	φ150
卷料外径/mm	φ1200	φ1200	φ1200	φ1000	φ1000	φ1000
主电动机功率/kW	22	18.5	18.5	11	7.5	7.5
外形尺寸 (长×宽×高)/mm	10000×4500× 3800	10000×4500× 3800	10000×4000× 3500	7500×3500× 3500	7500×3500× 3500	7500×3000× 3200
质量/kg	26000	22000	20000	13000	12000	9000
备注	曲轴纵放, 两连杆前后 置,适合于 三、四步进长 模具生产	曲轴纵放, 两连杆前后 置,适合于 三、四步进长 模具生产	曲轴纵放, 两连杆前后 置,适合于双 步进及较短 模具生产	曲轴纵放, 两连杆前后 置,适合于 三、四步进翅 片生产	曲轴纵放, 采用单连杆 机构,适合两 步进翅片 生产	曲轴纵放, 采用单 连杆机构, 适合两步进 翅片生产

空调翅片高速冲压自动生产线,主要由展料架、过油装置、气动送料装置、高速精密压力机、吸料装置、集料装置、电器控制系统、气动系统、液压系统等组成。其主要功能和特点有:

- 1) 具有滑块提升功能,方便模具调试。
- 2) 主机调速及真空吸盘采用变频控制。
- 3) 具有集料错误、无油报警、无料检测等保护功能。
- 4) 主机具有液压过载保护功能。
- 5) 配备快速更换模具装置,更换模具方便快捷。
- 6) 人机界面及 PLC 的电气控制系统能确保生产线各种功能的可靠执行。
- 7) 有动态步进调整功能,可实现单双跳调整。
- 8) 有自动吹废料装置。

## 3.7 高速精密冲压典型生产实例

### 3.7.1 空调换热器翅片生产实例

在原材料价格普遍上涨,产品竞争异常激烈的今天,φ5 系列空调换热器翅片作为新兴产品已逐步取代 φ7 系列空调换热器翅片,成为家用空调室内挂机的主要部件。φ5 系列空调换热器翅片与 φ7 系列空调换热器翅片相比有如下优点:①所使用的铜管直径变小,具有大

的原材料成本压缩空间。②加大了翅片表面的换热面积,提高了翅片的换热效率。由于家用空调市场竞争日益激烈,空调生产厂家对空调换热器翅片生产线提出了更高的要求:大批量生产、高速度冲压、片形复杂、板料变薄。该实例中采用 $\phi 5 \times 72R \times 2P(10.9 \times 21)$ 大型高速精密级进模。

### 1. 制品尺寸及对模具性能要求

(1) 产品片形复杂 为了提高翅片的热交换率、缩小空调室内挂机的体积,在翅片上同时成形了百叶窗、端切、中切;成形工序多、复杂,要求同时完成12个工位的成形。图3-48所示为其制品尺寸图。

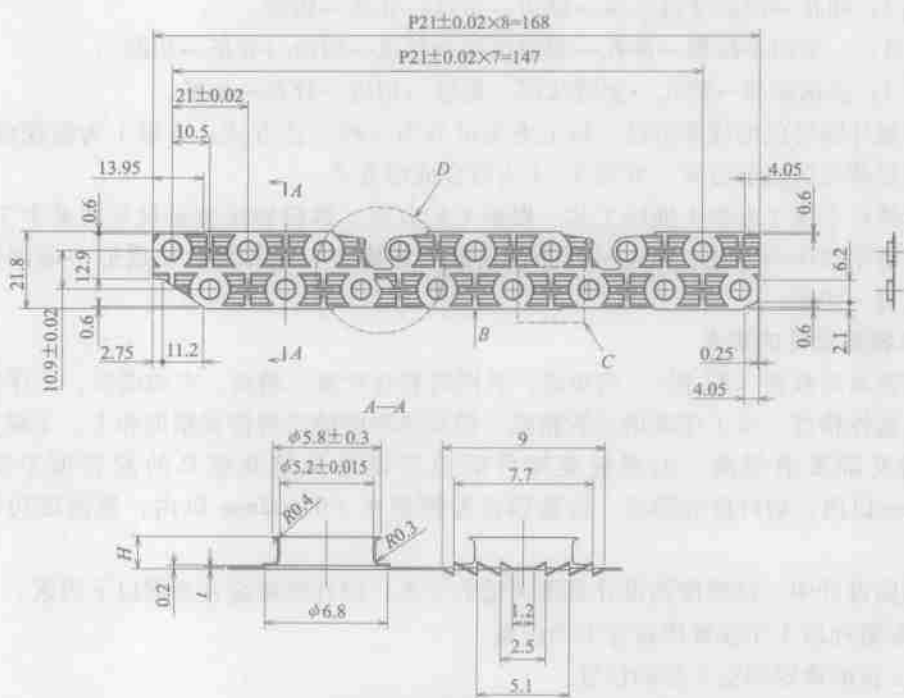


图 3-48 翅片制品尺寸图

(2) 精度要求高 使用薄铝料、铝料厚度为0.105mm,要求单边冲裁间隙在0.01mm以内;模具的定位偏差控制在 $\pm 0.005\text{mm}$ 以内。

(3) 产品要求高 要求产品表面光洁、平整、无刮伤、无毛刺、卷边不开裂。

(4) 冲压次数高 为满足年产量100万套以上的要求,模具设计要达到72列两步进,压力机滑块行程次数要达到240次/min以上。

(5) 模具主要零件可互换。

(6) 模具寿命长 要求模具切口件达到3亿冲次以上;模具本体使用寿命达到15年。

### 2. 翅片冲压模具设计的要点

(1) 排样图的确定 根据产品图及冲压成形理论,确定合理的排样,使各冲压工序分布合理。通过对各冲压工序的变形特征进行分析和计算,保证制品顺利冲压生产,满足制品的精度及材料利用率最大化要求。

(2) 确定合理的送料方案 送料误差是影响制品质量和导致模具损坏的主要原因。级

进模的工序较多,采用分步冲压方式,必须保证送料位置正确。如何确定送料方式和消除送料误差是一个重要问题。

(3) 确定模具精度 一要保证凸凹模的互换性精度;二要保证模具各工序间的位置精度;三要保证模具的送料位置精度;四要保证上、下模架运动时的运动精度。

### 3. 冲压工艺路线的确定

翅片通常由铝箔通过安装在压力机上的级进模连续经过各成形工序冲压而成。主要有以下几种冲压工艺方案可供选择。

方案 1: 多次拉深→冲孔→翻边→切边→分条→切断。

方案 2: 冲孔→两次变薄拉深→翻边→切边→分条→切断。

方案 3: 一至两步拉深→冲孔→变薄拉深→翻边→切边→分条→切断。

方案 4: 多次拉深→冲孔→变薄拉深→翻边→切边→分条→切断。

根据翅片圆部位的成形方法,以上方案可分为三种工艺方式:方案 1 为拉深成形方式,方案 2 为变薄拉深成形方式,方案 3、4 为混合成形方式。

本套模具采用了方案 1 冲压工艺。根据工艺分析,最终确定该套模具的基本工序为:4 次拉深→整形拉深→冲孔、翻边→百叶窗成形→翻横边→中部异形切成形→端部异形切成形→切侧边→切断。

### 4. 本模具设计的难点

此套模具列数多(72 列),两步进,且同时有百叶窗、端切、中切成形,工序复杂。凸凹模的互换性精度、各工序间的位置精度、模具送料时的送料位置精度和上、下模架运动时的运动精度都要求很高。大型板类零件的位置偏差及整套模具的配合偏差要控制在  $\pm 0.005\text{mm}$  以内;切口件的形状、位置偏差要控制在  $\pm 0.002\text{mm}$  以内,须保证切口件可以互换。

排样的设计中,排样图的设计是最关键的一步,设计时要综合考虑以下因素。

1) 各道冲压工序在排样设计中的位置。

2) 工位的确定和空工位的位置。

3) 高速压力机工作台面的大小、落废料孔的位置。

4) 送料方式及位置。

5) 送料过程的精确定位。

6) 模具的具体结构与位置。

综合以上因素,针对具体产品,初步安排翅片的冲压工步如下:

拉深 1→拉深 2→拉深 3→拉深 4→拉深 5→空位→空位→冲孔翻直边→冲孔导正→空位→空位→空位→百叶窗成形→空位→空位→翻横边→空位→空位→空位→中部异形切成形→空位→空位→空位→端部异形切成形→空位→两侧切边→空位→导正→空位→分条 1→分条 2→空位→拉料→空位→切断,共计 35 步。

具体排样图如图 3-49 所示。

### 5. 压力中心的计算

(1) 模具压力中心 在冲压生产过程中,模具上的模座平面受到来自模芯、多个垂直于该平面的、方向向上的集中力的作用。这些方向上的力构成了一个平行力系,通常将该力系的合力作用点称为模具的压力中心。当压力中心偏离滑块中心线时,压力机滑块由于受到

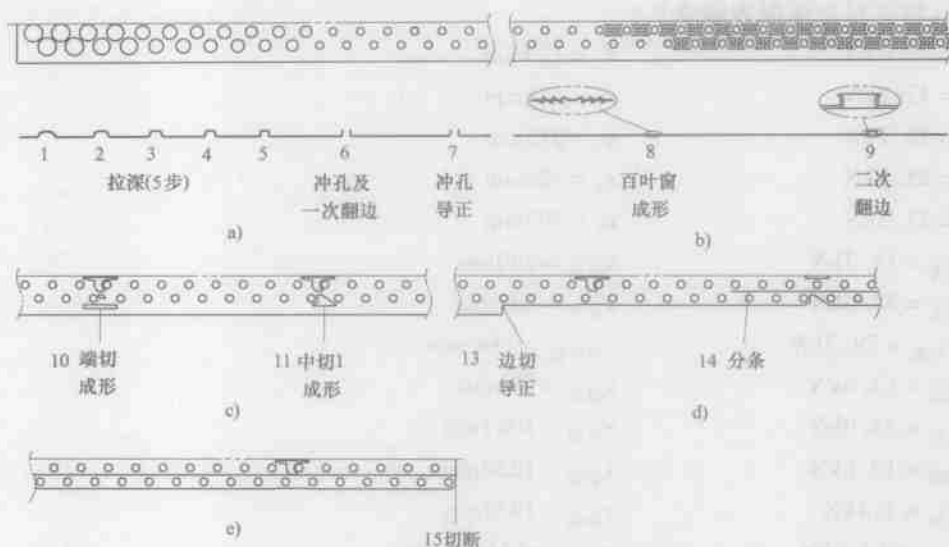


图 3-49 翅片片排样图

偏心力的作用，会加速与导轨之间的磨损，降低滑块的导向精度和压力机运动的平稳性，进而影响模具寿命和冲压件的质量。因此，在设计模具时，不仅要正确估算模具的受力大小，而且要计算出模具的压力中心。

### (2) 压力中心的计算方法

- 1) 设上模受到来自模芯的  $n$  个向上的集中力  $p_1$ 、 $p_2$ 、 $\dots$ 、 $p_n$  的作用。
- 2) 所有集中力的合力为  $R$ ，即

$$R = \sum_{i=1}^n p_i \quad (3-7)$$

- 3) 选定与集中力垂直的  $oxy$  平面。

4) 在  $oxy$  坐标系中，各集中力的作用点分别为  $(x_1, y_1)$ 、 $(x_2, y_2)$ 、 $\dots$ 、 $(x_n, y_n)$ ，合力的作用点（即压力中心）为  $(x, y)$ 。根据空间平行力系的合力矩定理，模具的压力中心为

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i p_i}{R} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad (3-8)$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i p_i}{R} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad (3-9)$$

在本实例中，被加工翅片在宽度方向上，各排孔的情况是相同的，设计模具时将冲压部分在宽度方向上对称分布，则各作用力压力中心即在模具的对称位置上，所以只需计算模具在长度方向上单排孔冲压时压力中心是否在模架中央即可。

(3) 单排孔冲压受力的作用位置 根据排样图，可以推出单排孔冲压时主要受力的作

用位置（取下模左端面为零点）。

$p_1 = 75.4\text{kN}$	$x_1 = 229\text{mm}$
$p_2 = 37.2\text{kN}$	$x_2 = 271\text{mm}$
$p_3 = 30.7\text{kN}$	$x_3 = 313\text{mm}$
$p_4 = 25.5\text{kN}$	$x_4 = 355\text{mm}$
$p_5 = 21.3\text{kN}$	$x_5 = 397\text{mm}$
$F_{\text{压边}} = 15.7\text{kN}$	$x_{\text{压边}} = 290\text{mm}$
$F_{\text{冲孔}} = 35.6\text{kN}$	$x_{\text{冲孔}} = 521\text{mm}$
$F_{\text{百叶窗}} = 79.2\text{kN}$	$x_{\text{百叶窗}} = 744\text{mm}$
$F_{\text{翻边}} = 13.6\text{kN}$	$x_{\text{翻边}} = 901\text{mm}$
$F_{\text{中切}} = 35.9\text{kN}$	$x_{\text{中切}} = 1047\text{mm}$
$F_{\text{端切}} = 19.6\text{kN}$	$x_{\text{端切}} = 1220\text{mm}$
$F_{\text{边切}} = 1.4\text{kN}$	$x_{\text{边切}} = 1337\text{mm}$
$F_{\text{分条1}} = 17.5\text{kN}$	$x_{\text{分条1}} = 1515.5\text{mm}$
$F_{\text{分条2}} = 17\text{kN}$	$x_{\text{分条2}} = 1578.5\text{mm}$
$F_{\text{切断}} = 9\text{kN}$	$x_{\text{切断}} = 1951\text{mm}$

根据计算，总合力为 434.6kN，模具的压力中心为  $x = 630\text{mm}$ 。

## 6. 模具所配高速压力机的确定

此套模具的总合力为 434.6kN，根据高速压力机的选配原则  $P_{\text{压力机}} = (2 \sim 3)R$ ，所需压力机公称力应在 900kN 左右，最终选定的压力机为扬州锻压机床股份有限公司生产的 YKC-36A-100，其主要技术参数为：

公称力：	1000kN。
滑块行程：	40mm。
滑块行程次数：	150 ~ 250 次/min。
装模高度：	270 ~ 330mm。
滑块提升量（最小装模高度）：	100mm。
工作台板尺寸：	1800mm × 1200mm。
滑块底面尺寸：	1300mm × 1170mm。

## 7. 模具的整体结构设计

本套多工位级进模与扬州锻压机床股份有限公司生产的 YKC-36A-100 压力机配套，压力机的装模高度为 270 ~ 330mm，翅片模具的合模高度设计为 270mm，子模的空间高度 128mm。模具设计时，需要注意以下几个方面：确定模具的安装结构；选择恰当的定位形式；选择合理的导向方式。

为了降低模架制造难度，便于模具的安装、调整和维护，按照各工位的功能，整套模具采用分块式设计，共分为 13 个分模块。压料装置为第 1 模块，5 步拉深为第 2 模块，冲孔翻边模为第 3 模块，百叶窗模为第 4 模块，二次翻边（即翻横边）模为第 5 模块，中切模为第 6 模块，端切模为第 7 模块，边切（及两侧切边）为第 8 模块，导正模为第 9 模块，分条 1 模为第 10 模块，分条 2 模为第 11 模块，送料模为第 12 模块，切断模为第 13 模块。前 11 个模块由压力机滑块统一提供动力，滑块上下运行一次，模具开合一次。切断模只有在零件

长度达到要求时才进行动作,其动力由压力机 PLC 控制系统,根据冲孔次数控制电动机提供。模具整体结构示意图如图 3-50 所示。

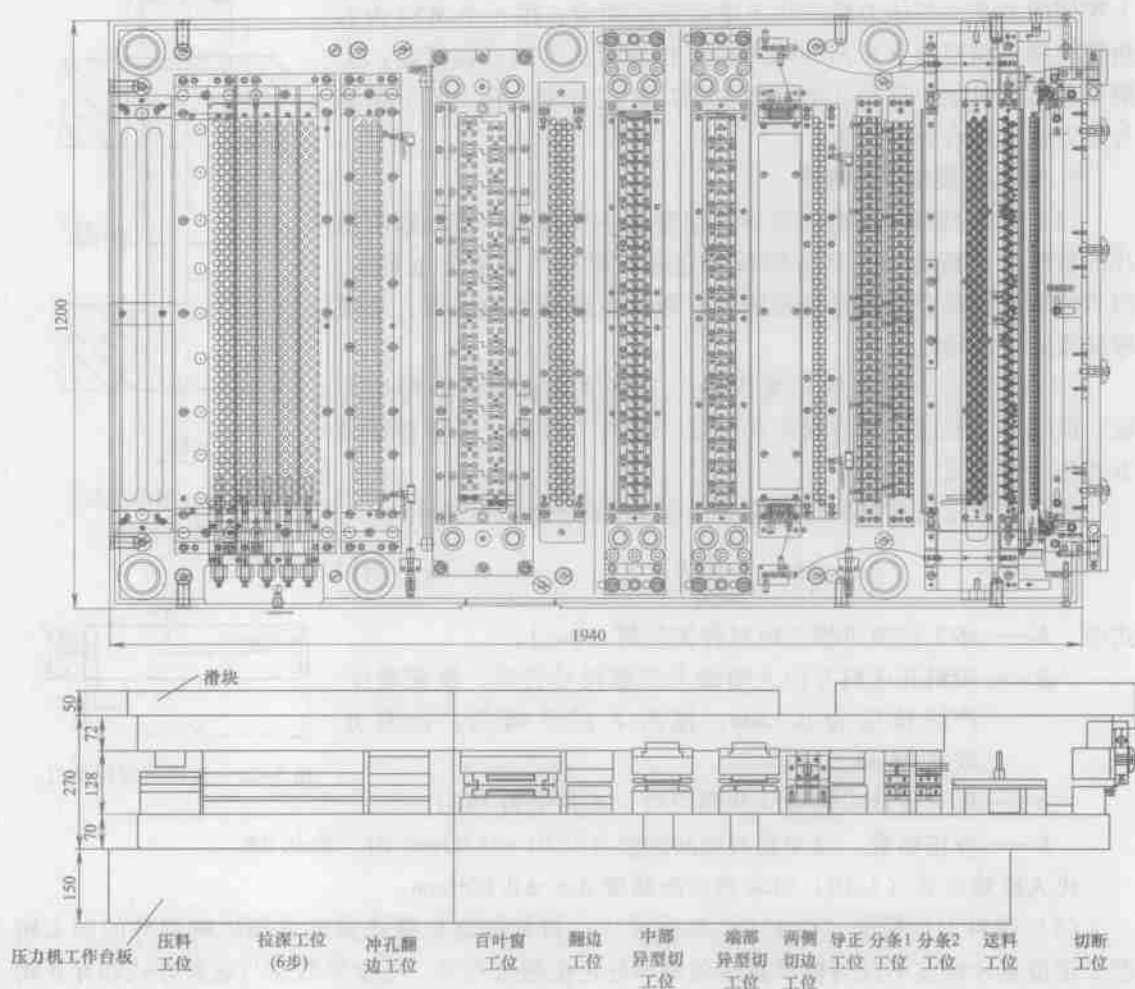


图 3-50 模具整体结构示意图

注: 1. 第1~第5步拉深高度可调。2. 翻边高度可调。3. 分条可根据产品需要进行切换调整。

4. 中部、端部异形切模、切断模动作由压力机 PLC 控制气缸完成。

### 8. 大模架的结构设计

根据排样图,大模架的长度为 1940mm,宽度为 1200mm。为了保证大模具的整体导向精度,采用六导柱滚珠模架结构。下模架厚度取 70mm,上模架厚度取 70mm,模架材质选用 P20 钢,导向部分采用标准结构设计。

(1) 导正部分设计 空调换热器翅片多工位级进模重复运动精度是靠滚珠导柱、导套来保证的。大模架的导向部分采用国家标准的导柱、导套结构,由专业生产厂家生产,设计时,只需按标准设计相应安装尺寸即可。图 3-51 所示为滚珠导柱、导套结构图。

为保证模具的导向精度,除大模架采用 6 副大的滚珠导柱、导套导向外,每套分模架也分别采用 4 副小滚动导柱、导套导向。同时,各套分模采用直杆型定位销钉,与上、下大模

架实现精确定位,以保证高的步进精度,如图 3-52 所示。

(2) 大模架与压力机的固定方式 用 8 个 M20 内六角螺栓将上模架的上平面与压力机滑块下平面连接固定;用 6 个 M20 内六角螺栓将下模架的下平面与压力机工作台板上平面连接固定;大模架与压力机定位采用 2 对  $\phi 19.05H7/8$  定位销、孔,将下模架与压力机工作台板面固定。

### 9. 模具主要精度的确定

(1) 步距精度 是确定级进模精度的主要参数,直接影响翅片的最终尺寸精度。模具步距精度愈高,翅片尺寸精度也愈高,但步距精度过高会使模具制造困难,所以步距精度的确定,必须根据实际要求确定。

(2) 影响步距精度的主要因素 主要因素有制件的精度等级、形状复杂程度、制件材质和厚度,模具工位数、V 带料送进方式和定距形式。

精密多工位级进模的步距精度,可用下面经验公式表示

$$\Delta = \pm \frac{\beta}{2\sqrt{n}} K \quad (3-10)$$

式中  $\Delta$ ——多工位级进模步距对称偏差值 (mm);

$\beta$ ——带料在送料方向上的最大轮廓尺寸公差,根据翅片产品长度为 0.1mm,提高 2 或 3 级后,公差  $\beta$  取 0.05mm;

$n$ ——模具设计工位数 (包括空位,本例中为 35);

$K$ ——修正系数,当冲裁双面间隙值在 0.01~0.03mm 时,取 0.85。

代入经验公式 (3-10) 可求得步距精度  $\Delta \approx \pm 0.006\text{mm}$ 。

(3) 带料定位精度 在多工位级进模中,带料的定位累计误差直接影响制件的加工精度。定位累计误差不仅与模具制造公差和导正销精度有关,更重要的是与送料方式和导正销数量有关。因此在模具加工设备精度一定的条件下,可以通过设计不同的送料方式和不同数量的导正销,达到带料所要求的定位精度。

带料的定位累计误差可按下面经验公式计算

$$\Delta \Sigma = K \Delta \times \sqrt{n} \quad (3-11)$$

式中  $\Delta \Sigma$ ——带料的定位累计误差 (mm);

$K$ ——修正系数 (一般隔两工位有导正销时取 1.4),本实例中带料定位精度主要取决于 33 号送料工位的送料精度和 9 号冲孔导正工位的冲孔导正销的数量,故这里精度系数取 2.8。

$\Delta$ ——步距对称偏差 (mm);

$n$ ——模具设计工位数 (包括空位,本例中为 35)。

由式 (3-11) 可求出带料定位累计误差为 0.10mm。

### 10. 拉深子模设计

(1) 拉深子模整体结构 (见图 3-53) 的确定 从工艺分析及排样图可知,首先进行的

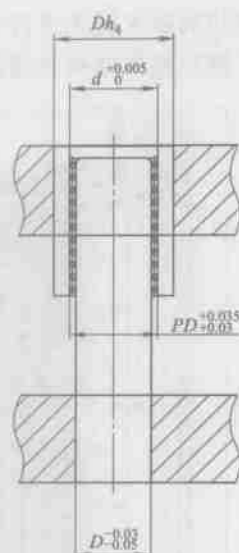


图 3-51 滚珠导柱、导套结构图



图 3-52 直杆型定位销钉

是拉深成形,拉深部分的拉深孔基本形由球形逐渐向柱形过渡。采用直径小的凸模顶入直径大的桶形凹模,形成拉深。

为便于坯料送进,避免零件表面划伤,拉深子模采用倒装模设计。倒装拉深子模装在上、下大模板之间:在上模架上安装凹模垫板、凹模固定板,凹模固定板利用吊装螺钉吊装在上模架上;在下模架上依次为拉深凸模高度调整装置、凸模固定板、压板、卸料板。

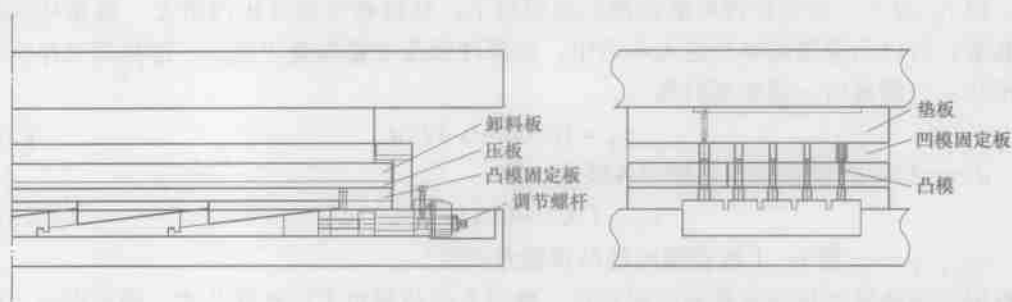


图 3-53 拉深子模整体结构

对于拉深凸模而言,由于使用中的磨损和不同毛坯特性的微小差异,要求拉深高度可以调整。采用斜楔机构来实现拉深、翻边的高度调节,其工作原理如图 3-54 所示。

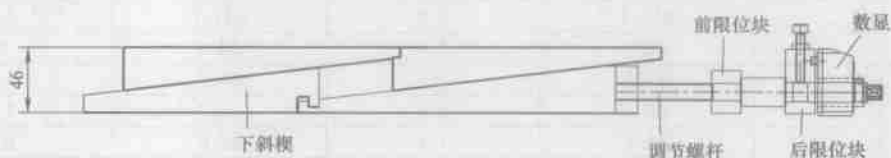


图 3-54 斜楔机构工作原理

在调整时,通过左、右旋转调节螺杆,使下斜楔前后移动,从而使总高( $H$ )变化,达到调整凸模高度的目的。在调节螺杆上设有高度调节的数据显示,以便记录拉深凸模的拉深高度数据。

(2) 拉深凸、凹模的结构设计 本实例中的拉深是为了提高翅片的翻边高度,采用图 3-55 所示的柱-柱结构,由球形拉深过渡到圆筒形拉深,柱形凸、凹模之间存在一定的间隙,其单边间隙一般为毛坯料厚  $+0.15\text{mm}$ 。

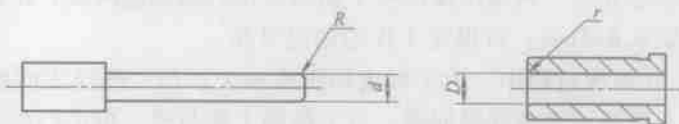


图 3-55 拉深凸、凹模的结构

1) 凸、凹模直径及圆角尺寸的确定。根据经验,对铝、黄铜、纯铜等材料,在料厚小于  $3\text{mm}$  时,圆角半径可按料厚的  $5 \sim 8$  倍选取,对第一次拉深和薄料尽量取大值,以后拉深凹模圆角半径可按下面经验公式选取。

$$r_{\text{凹}n} = (0.6 \sim 0.9) r_{\text{凹}(n-1)} \quad (3-12)$$

式中  $r_{\text{凹}n}$ ——第  $n$  次拉深的凹模圆角半径;

$r_{\text{凹}(n-1)}$ ——第  $n-1$  次拉深的凹模圆角半径。

为了节约模具材料,凹模板厚度取 20mm,内部拉深孔有效深度取 8mm,凹模板采用吊装螺栓固定。

凸模圆角太小时,会使材料在这个部位弯曲程度增加,且局部变薄现象加重,这种弯曲和变薄的痕迹会留在零件侧壁上,影响零件的质量,过小的  $r_{\text{凸}}$  还会增加该工序及后序的成形难度。增大凸模圆角半径则,可降低所需的拉深力,增加毛坯危险断面的强度,改善工件质量。但  $r_{\text{凸}}$  过大,会使拉深时底部被压面积减小,材料悬空部分比例增大,容易使这部分毛坯起皱,所以凸模圆角半径应大小适中。拉深件精度主要取决于最后一道拉深工序凸、凹模的尺寸。一般最后一道拉深时取

$$r_{\text{凸}} = (0.08 \sim 0.12)d \quad (3-13)$$

式中  $d$ ——拉深凸模直径,而相邻各级拉深取

$$r_{\text{凸}} = (0.7 \sim 0.8)r_{\text{凸}(n-1)} \quad (3-14)$$

式中  $r_{\text{凸}(n-1)}$ ——第  $n-1$  次拉深时的凸模圆角半径。

根据前述确定的拉深系数和拉深直径,参照上面的圆角半径计算公式,确定出凸、凹模的主要结构尺寸和圆角半径,见表 3-16。

表 3-16 凸、凹模的主要结构尺寸和圆角半径

(单位: mm)

结构尺寸 拉深次数	凸 模		凹 模	
	外径 $d$	圆角 $R$	内径 $D$	圆角 $r$
1	$\phi 11.1$	2.8	$\phi 11.7$	1.5
2	$\phi 8.9$	2.4	$\phi 9.5$	2
3	$\phi 7.4$	1.9	$\phi 8.0$	1.6
4	$\phi 6.1$	1.5	$\phi 6.7$	1.2
5	$\phi 5.1$	1.1	$\phi 5.6$	0.8

拉深凸模的材料取 SKD-11, 热处理硬度为 60HRC, 凹模材料取 PX-5。

2) 凸、凹模的制造公差。在没有严格尺寸要求的前提下,凸模及凹模的制造公差  $\delta_d$  及  $\delta_p$  一般按 IT6 ~ IT9 级选取,或根据经验表选取,当被拉深板料厚度小于 0.5mm,拉深直径小于 20mm 时,一般取凸模直径的极限偏差为  $\pm 0.02\text{mm}$ ,凹模直径的极限偏差为  $\pm 0.01\text{mm}$ 。

3) 拉深凸凹模的固定方式及导向精度。凸模的垂直度必须在凸凹模间隙值的允许范围内,在本实例中,拉深凸模的垂直度公差等级取 8 级。

凸模采用浮动固定方式,利用拉深凸模下面的斜楔机构调整高度,拉深凸模与固定板之间的双边配合间隙取 0.015mm,以保证工作的稳定可靠。

4) 卸料方式。在拉深过程中,由于形成的锥度较大,凸、凹模之间的间隙也较大,在拉深子模设计中,上模不用考虑卸料问题,对下模架上的凸模,借助凸模外侧的卸料板进行卸料。

## 11. 冲孔翻边子模设计

冲孔翻边子模(见图 3-56)在加工和产品成形中都占有重要位置。片料通过该子模时完成拉深整形、冲孔、翻边三道工序。将冲孔、翻边工序放在一个子模中来完成,减少了一个工位和模具的结构尺寸,降低了模具的制造成本。

(1) 拉深整形的设计 这是个典型的筒形拉深,必须考虑凸、凹模之间的间隙。根据经验,拉深凸、凹模之间的单边间隙,一般按  $C = (1.0 \sim 1.05)t_{\text{max}}$  选取。由于在前面的多道

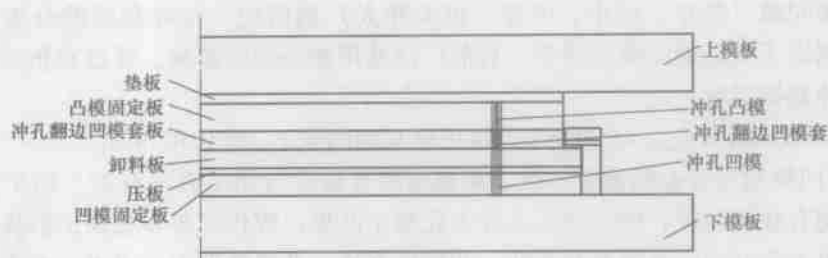


图 3-56 冲孔翻边子模

拉深中材料有所减薄，所以可确定单边间隙  $C$  取  $t_{\max} + 0.05\text{mm}$ 。拉深间隙值确定后，对内形尺寸一定的工件，以凸模为准，凹模尺寸按凸模直径放大，以取得合理间隙。

整形凹、凸模的圆角半径，要依据翅片的结构尺寸来定：取  $r_{\text{凹}} = 0.4\text{mm}$ ， $R_{\text{凸}} = 0.55\text{mm}$ ，凸模外径  $D = 5.2\text{mm}$ ，凹模内径  $d = 5.5\text{mm}$ 。

(2) 冲孔翻边模的设计 为防止冲孔废料粘在片料上，出现重叠冲压现象，在冲孔凸模设计时，在凸模上设计有通气孔，借助高压气孔的吹料作用，使冲下的废料能顺利通过凹模和压力机下工作台板的落料孔，进入废料箱，以免废料粘在凸模上影响加工的顺利进行。

在冲孔翻边工序中，上模为台阶式结构，下模为凸、凹模复合结构（见图 3-57），既是落料凹模，又是翻边凸模。下模作为冲孔凹模，里面为双直壁结构（见图 3-58），这有利于减小凸模与凹模之间的磨损，双直壁间的半径差为  $0.5 \sim 1\text{mm}$ ，高度差为  $2 \sim 3\text{mm}$ 。

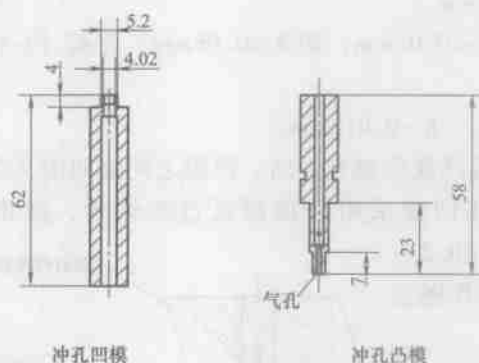


图 3-57 凸、凹模复合结构

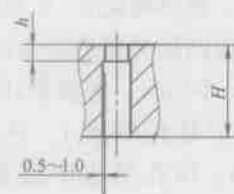


图 3-58 冲孔凹模里面为双直壁结构

1) 冲孔模具加工方式的确定。对于圆形等形状简单的工件冲裁，为了保证互换性，凸模和凹模刃口尺寸和公差将分别标注，分别加工，其优点是凸、凹模具有互换性，便于模具重复制造，加工成本低。但凸、凹模分开加工时必须满足以下前提条件

$$\delta_p + \delta_d = Z_{\max} - Z_{\min} \quad (3-15)$$

式中  $\delta_p$ 、 $\delta_d$ ——凸、凹模的制造公差；

$Z_{\max}$ 、 $Z_{\min}$ ——冲裁最大和最小间隙。

2) 冲孔模具冲孔间隙的确定。冲孔凸、凹模间隙对冲裁件质量、冲裁力、模具寿命等都有很大影响。因此，在设计和制造模具时，要选取一个合理的间隙值。考虑到模具制造中的偏差及使用中的磨损，生产中通常选择一个适当的范围作为合理间隙。设计与制造新模具时，采用最小合理间隙值。由于理论计算间隙的方法在生产中不便于应用，国内有关专家经

过对国外五种间隙（即小、较小、中等、较大和大）的研究，将冲裁间隙分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ三种类型，制定了自己的间隙选用表。目前广泛使用的是经验数据。通过查相关冲模设计手册可知，在冲裁铝箔时：

$2C_{\min} = 0.01\text{mm}$ ， $2C_{\max} = 0.03\text{mm}$ ，这里取双面间隙 $z_{\min}$ 为 $0.02\text{mm}$ 。

3) 凸、凹模制造公差的确立。凸、凹模的尺寸设计与加工方法有关，加工方法可分为分开加工和配合加工两种，配合加工又分为先加工凸模，配作凹模和先加工凹模，配作凸模两种方式。由于分开加工方案有利于凸、凹模的互换，并可降低加工成本，本实例采用分开加工的方案。

冲裁件的尺寸精度是由模具精度决定的，并随着凸、凹模工作部分尺寸公差等级的提高而提高，但低于后者2或3级。在本实例中，孔径公差根据产品要求为 $\phi 5.2\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$ 。

实践证明，冲裁凸模的工作部分尺寸决定冲孔件的内孔尺寸，凹模的工作部分尺寸决定着落料件的外形尺寸。凸、凹模与冲裁断面间的摩擦，使冲孔凸模工作部分尺寸因磨损而变小，导致冲孔件内孔尺寸随之变小。所以冲孔时，应先确定凸模工作部分尺寸，其大小应取接近于或等于孔的最大极限尺寸，保证凸模磨损到一定尺寸范围内，仍能冲出合格的冲孔件。凹模直径的公称尺寸应比凸模直径的公称尺寸大一个最小合理间隙值。

凸、凹模的制造公差一般取 $\Delta$ 的 $1/4 \sim 1/3$ （ $\Delta$ 为工件的尺寸公差），若采用分开加工方法，由相关冲模设计手册可知，凸模制造公差 $\delta$ 必须满足以下两式

$$\delta \leq 0.4(2C_{\max} - 2C_{\min}) = 0.008\text{mm} \quad (3-16)$$

$$\delta \leq \Delta - m_s \quad (3-17)$$

其中 $\Delta = 0.1\text{mm}$ ，根据冲模设计手册取 $m_s = 0.05\text{mm}$ ，即 $\delta \leq 0.05\text{mm}$ ，与式（3-16）结果比较，最终确定 $\delta = 0.008\text{mm}$ 。

对应凹模的制造公差可取 $\delta' = 2C_{\max} - 2C_{\min} - \delta = 0.012\text{mm}$ 。

4) 冲孔凸、凹模设计要点。为了保证翻孔凸缘的挺直，凸、凹模之间的间隙 $Z/2$ 一般取略大于材料厚度 $t$ ，这里取 $0.15\text{mm}$ 。冲孔凹模采用平顶圆弧过渡结构，圆角 $R$ 取 $0.55\text{mm}$ 。冲孔翻边凹模套圆角半径一般取 $(0.2 \sim 0.5)t$ ，但不能小于 $0.2\text{mm}$ ，本实例直接取零件图要求的半径 $R0.4\text{mm}$ ，结构与拉深凹模相同。

(3) 卸料方式的确定 在整形工序及翻边工序中，拉深形成的筒壁逐渐变成直壁，为了防止坯料卡在凸模或凹模上，需要考虑卸料问题。下模架上的冲孔凹模，通过卸料板进行卸料；对上模架凹模中的坯料，由于卸料力小，采用卸料钉结构（见图3-59）进行卸料。

## 12. 二次翻边模设计

(1) 整体结构 二次翻边模上模由斜楔固定板、翻边凸模固定板、卸料板组成；下模由凹模板、下垫板组成（见图3-60）。卸料板通过钩板扣在翻边凸模板上，运动时通过导柱、导套进行导向及定位。卸料板在冲压过程中起卸料作用，还对铝箔起压紧作用。

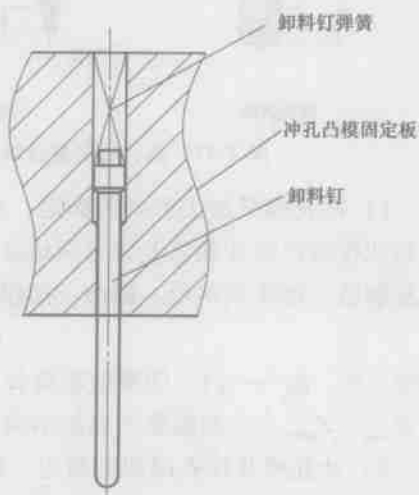


图 3-59 上模卸料钉结构

斜楔固定板和翻边凸模固定板与上模板之间的相对位置,通过 $\phi 10\text{mm}$ 销钉来定位。在上模板与斜楔固定板之间设有斜楔调整机构,可对二次翻边高度进行调整。下模为可拆卸结构,与下模板之间的相对位置由插销来定位。

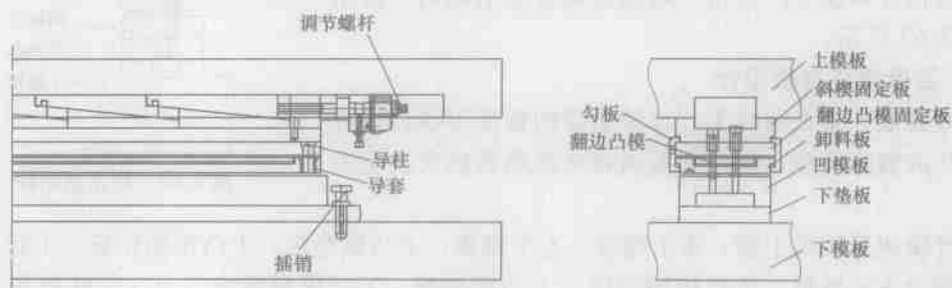


图 3-60 二次翻边模

(2) 二次翻边模的设计 在产品图中虽对翻边未做严格的尺寸要求,但翻边后的边缘不能出现裂口缺陷,否则产品有可能报废。翻边凸模对翅片冲压还具有导正功能。

翻边凸模前端近似椭圆头结构,并有一段直径为 $\phi 5.2\text{mm}$ 的圆柱部分,可对冲压中的翅片进行导正和定位。

翻边时,翻边凸模前端椭圆头先进入片料孔内,对片料进行导向定位,再由圆柱部分进行精确定位,然后通过台阶圆角向下翻横边,翻边凸模具有导正翻边双重作用。翻边凸模结构如图 3-61 所示。

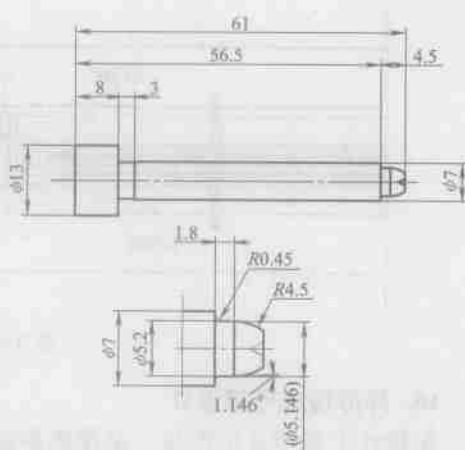


图 3-61 翻边凸模结构

### 13. 切边模设计

切边模的作用是将翅片带料两侧边多余的边料冲剪去,以达到图样的尺寸要求,切边模通过 M8 螺钉固定在下模板上,其结构如图 3-62 所示。

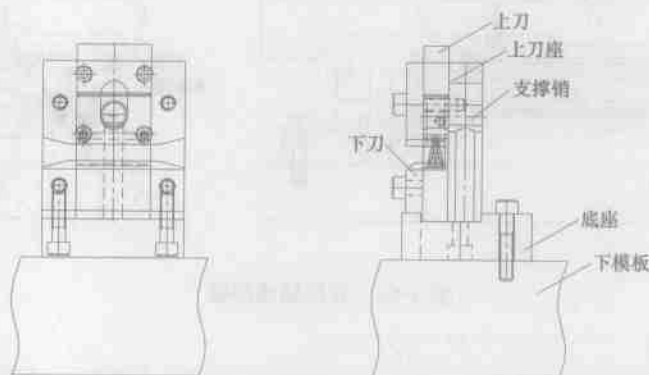


图 3-62 切边模结构

#### 14. 导正模设计

导正模在整个模具中起到稳定材料、保证送料步距精确的作用。导正模置于在分条模之前，通过导正模的精确定位，可使分条模对产品按一定宽度切分更加均匀。其结构如图 3-63 所示。

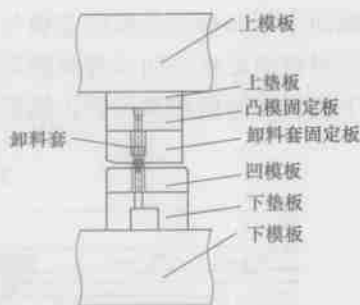


图 3-63 导正模结构

#### 15. 百叶窗成形模设计

百叶窗成形是在翅片上开出带角度的窗形形状，通过扩大翅片的散热面积，来达到提高翅片换热器热交换率的目的。

百叶窗成形模的上模，由上垫板、上子模板、上凸模垫板、上凸模固定板、上卸料板组成；下模由下卸料板、下凸模固定板、下凸模垫板、下子模板组成。上、下卸料板通过钩板，分别扣在上、下子模板上，运动时通过导柱、导套进行导向与定位。如图 3-64 所示。

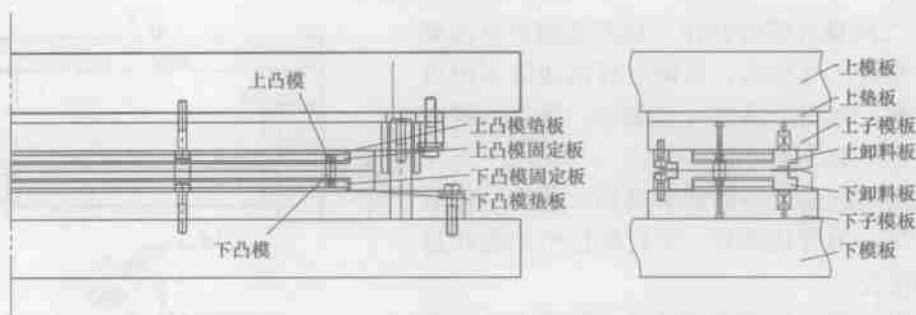


图 3-64 百叶窗成形模

#### 16. 异形切成形模设计

在翅片上成形异形形状，是使换热器翅片在胀管后可在一定幅度内进行折弯，或满足换热器翅片工艺让位的需要，以满足缩小换热器翅片产品体积的需求。

异形切成形模由滑动板、上子模板、凸模固定板、卸料板、下凹模板、下子模板组成。异形切成形模切与不切的切换，是通过气缸推动滑动板来实现的（见图 3-65）。

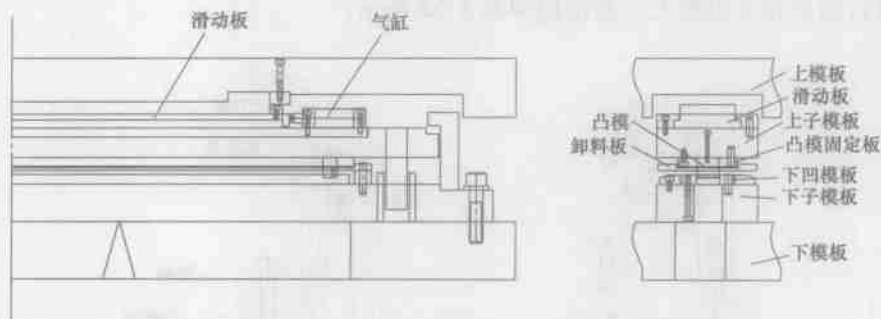


图 3-65 异形切成形模

#### 17. 分条模设计

分条模是对带料按热交换器所需的装配孔排数进行分割，其结构如图 3-66 所示。

在上、下刀座之间均匀分布了 71 套切边分条模。上刀、下刀分别安装在上、下刀固定

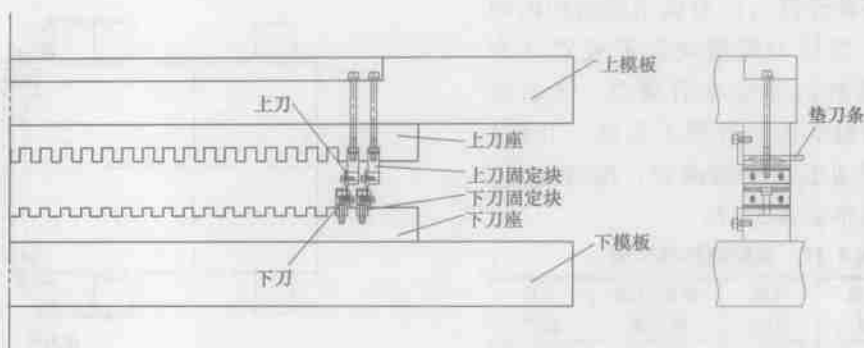


图 3-66 分条模结构图

块上。在上刀座的定位槽与上刀固定块间, 设有为 6mm 厚的垫刀条。在相应位置装上垫刀条, 当上刀位置下降时, 则相应的分条刀起作用, 通过拆装垫刀条, 来控制分条刀是否起作用, 从而得到不同宽度的产品。

### 18. 切断模设计

切断模是整套模具的最后一个分模, 是唯一一个装在上模架之外的一套子模, 如图 3-67 所示。

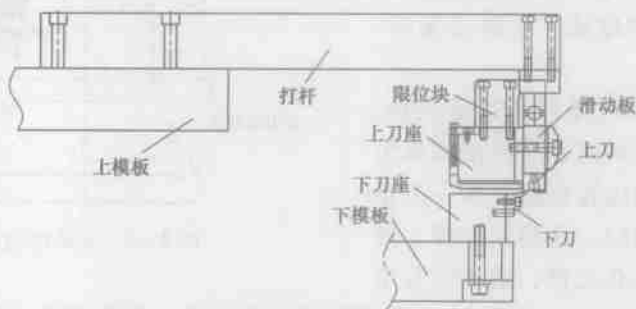


图 3-67 切断模

由于翅片长度由零件上每排孔的数量决定, 压力机滑块运行一次只能完成一列孔, 完成一定长度的翅片长度, 需要压力机完成多次冲压后才能切断一次。因此, 为了实现自动控制切断动作, 保证翅片级进模的正常运行, 在压力机上必须借助滑块机构之外的其他动力(气动), 同时这个动力还需受压力机滑块运动的控制。因此, 在该套级进模的设计中, 应用自动控制技术是必不可少的。

由于压力机上已具有 PLC 控制装置, 子模上只需要设计相应的控制模块, 直接借用压力机上的 PLC 控制装置来实现动力的控制。

### 19. 送料结构设计

(1) 传动结构设计 送料机构的传动是由两部分机构实现的, 即压力机曲柄摇杆机构和送料滑块机构联合作用, 传动结构示意图如图 3-68 所示。

在压力机输出轴上装有偏心盘(送料曲柄), 通过调节拉杆带动送料滑块机构(带动送料连杆、曲柄、送料活动板)做往复运动进行送料。通过调整偏心盘(送料曲柄)可以控制摇杆摆动的角度, 从而控制送料的送料步距。

送料传动连杆与压力机主轴曲柄的相位应一致，当压力机滑块在下死点（合模）时，送料活动板在后端点，送料结束；当压力机滑块上行到上死点（开模）时，送料活动板处于前端点，准备送料。送料动作顺序见表 3-17。

表 3-17 送料动作顺序表

动作顺序	压力机滑块	冲模状态	送料活动板位置	工作状态
1	上死点	开模结束	前 endpoint	送料结束
2	上死点→下死点	合模	前 endpoint→后 endpoint	退回
3	下死点	合模结束	后 endpoint	准备送料
4	下死点→上死点	开模	后 endpoint→前 endpoint	送料

(2) 送料子模的基本结构设计 级进模的步进是靠送料子模来完成的，其基本结构如图 3-69 所示。主要由送料活动板、送料活动指、送料固定板、送料固定指、送料导杆组成。

送料活动板与送料导杆为过盈配合，不产生相对运动。送料时，送料活动板上的送料活动指挂住翻边孔将翅片送一个步距。送料活动板返回时，送料固定板上的送料固定指挂住翻边孔支撑，防止翅片带料后移，保证步距不变。为了保证滑块往复移动的稳定性，滑块利用两根导向杆进行导向，通过送料传动轴，同时驱动左右两套曲柄连杆，带动滑块进行送料。

(3) 送料起始位置的确定 由于冲压的带料是厚度为 0.095mm 的箔料，较软，易折弯，同时加上模具的各种冲压作用，有可能产生一定的变形，因此在送料活动板送料之前，实际带料位置与理论位置将会存在一定随即误差  $\Delta$ ，而送料指与翅片翻边孔的间隙在 0.02 ~ 0.03mm 之间，如果随即误差  $\Delta$  超过这一间隙值，那么送料指就不能套进翻边孔内，无法完成送料功能。因此需调节送料起始位置，将实际位置后移理论位置 2 ~ 3mm，利用送料指的弹性功能，前移时自动套入翻边孔内，补偿由于带料铝箔变形而产生的随即误差，实现精确送料。

(4) 吸风接料装置 包括接料架和基座。接料架固定在可移动推车上，接料架上有若干接料针，接料针穿过集料板和接料针座，并与接料底座连接。接料针座可沿接料底座上的

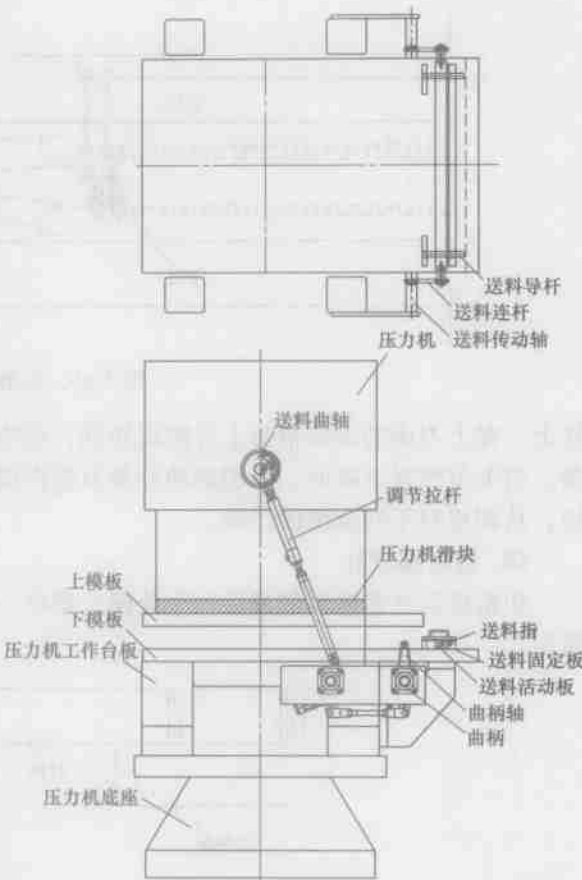


图 3-68 传动结构示意图

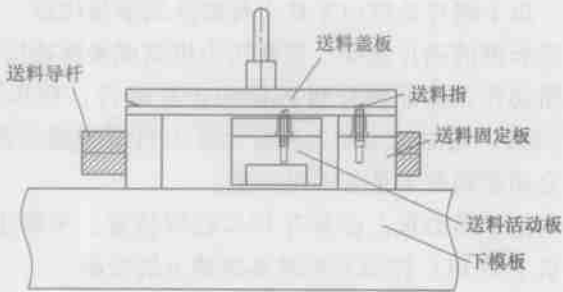


图 3-69 送料子模的基本结构

导轨移动,以适应不同片长翅片接料的需要。托架通过直线滑动轴承可沿托架运动导轨升降。推车与基座有定位装置,初定位通过导向板与卡槽实现,精定位通过推车定位块及基座定位块、推车上的限位块及基座上的限位块来实现,经过二次定位可使接料架与压力机定位精确。接料高度的设定可通过电动机、动力传递系统以及丝杆和直线导轨来实现。

### 3.7.2 工业换热器翅片生产实例 ( $\phi 15.3 \times 12R \times 2P$ 铜翅片高速精密级进模具)

空调器质量的优劣由制冷量、能效比、噪声等技术指标决定,而空调器中换热器(蒸发器和冷凝器)的热交换效果,直接影响到空调器整体性能的好坏。为了提高热交换率,目前应用较多的散热器为铜铝结构散热器(内部为纯铜散热管、外为复合铝合金型材翅片,利用安装在盘旋的铜管上的翅片来增加散热面积)。由于铝的导热性能好、重量轻、化学性质稳定,具有一定的耐腐蚀性,价格比铜便宜,并且铝的可塑性好,可以加工成各种复杂的形状,能满足散热器的诸多要求,因此在制冷业中,铝箔一直被作为散热器的首选材料,铜管铝翅片空调器占据市场主导地位。

然而采用铝翅片也存在一些缺陷。首先是空调器的制冷效率问题,由于管外侧的换热热阻是约束换热器换热能力的瓶颈问题,应设法增加管外翅片的导热系数、减小管外侧的换热热阻。从散热材料的导热性能来看,银的散热效果最好、铜、金次之,然后才是铝,可金、银的价格较昂贵,不适宜大量使用,铜的导热系数是铝的1.7倍,因此若采用铜翅片作为传热介质,换热器的性能会明显提高,只是价格比铝翅片结构稍微高一点。其次是耐腐蚀问题,在一些特殊的环境中,如果采用铜管串铝翅片结构,用于冲压翅片的铝箔必须特殊处理(如进行涂层防腐处理),这样就会增加成本。而铜的抗腐蚀能力高于铝,可以满足使用要求。此外还有噪声问题,由于铜、铝冷热收缩系数不同,翅片与散热管之间容易产生松动,引起噪声,使用铜管铜翅片散热器则不存在这样的问题,因此工业用翅片中仍大量采用铜箔,如船用柴油机空冷器中均采用铜箔翅片。

#### 1. 铜翅片空调器的优缺点

采用铜箔冲压翅片,具有显著的优点。

1) 铜的导电和导热性居所有金属材料之首。研究表明,铜管铜翅片换热器比铜管铝翅片换热器的翅片效率约提高0.938%~29.865%、总传热系数约提高9.88%~23.276%;铜还对大气、海水、土壤以及许多化学介质有很强的耐腐蚀性。

2) 与散热铜管进行组装后使用,不会因热收缩系数不一致而形成间隙,相对来说噪声较低。

3) 铜的强度较高,用稍薄一点的普通铜箔代替涂层铝箔,无论是价格方面,还是美观方面都具有显著的优越性。

当然,铜材也存在一定的不足:铜的相对密度、价格都比铝高,另外铜的可塑性不如铝,一般只能冲压一些相对简单的翅片形状。本案列就是用铜箔冲压船用柴油机空冷器翅片。

#### 2. 制品尺寸及模具性能要求

1) 使用铜材厚度为0.14mm,要求单边冲裁间隙在0.01mm以内;模具的定位精度控制在 $\pm 0.005\text{mm}$ 以内,产品图如图3-70所示。

2) 冲压的产品要求表面光洁、平整、无刮伤、无毛刺、卷边不开裂。

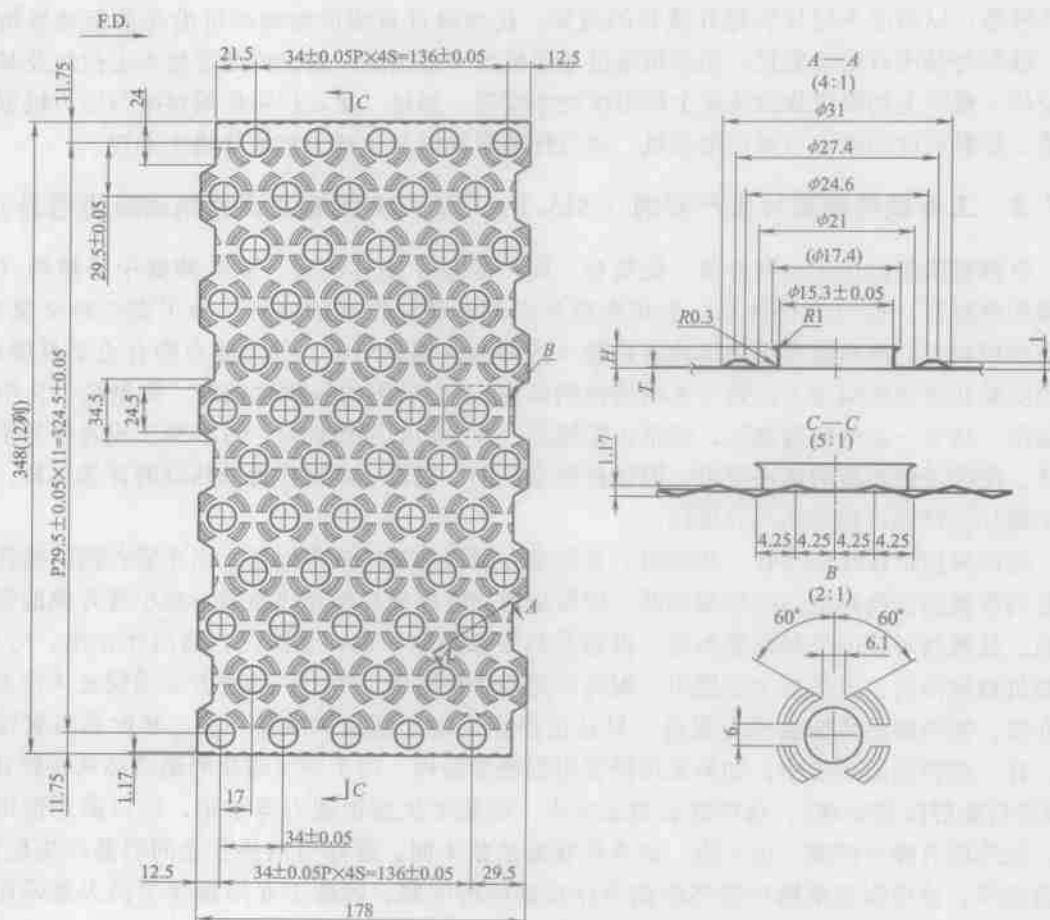


图 3-70 船用柴油机空冷器翅片图

3) 模具主要零件可互换。

4) 模具寿命指标: 切口件达到 3 亿冲次以上, 模具本体达到 15 年。

### 3. 冲压工艺路线的确定

根据工艺分析,采用拉深型翅片成形模具工艺,基本工序为:4次拉深→整形拉深→圆桥成形→冲孔、翻边→翻横边→小桥成形→切侧边→切断。

#### 4. 排样的设计

排样图要综合考虑以下因素。

- 1) 各道冲压工序在排样设计中的位置。
- 2) 工位的确定和空工位的位置。
- 3) 高速压力机的工作台面大小、落废料孔的位置。
- 4) 送料方式及位置。
- 5) 走料过程的精确定位。
- 6) 模具的具体结构与位置。

综合以上因素,针对具体产品,初步安排翅片的冲压工步如下。

拉深 1→拉深 2→拉深 3→拉深 4→拉深 5→空位→圓橋成形→空位→冲孔翻直边→冲孔

导正→空位→空位→翻横边→空位→空位→小桥成形→空位→两侧切边→导正→空位→分条→空位→拉料→空位→切断。共 25 步。

具体排样如图 3-71 所示。

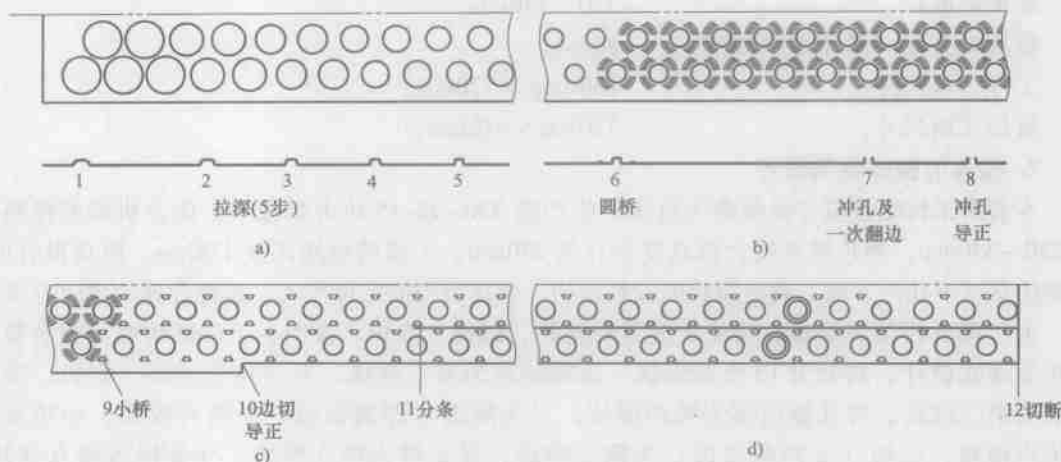


图 3-71 船用柴油机空冷器翅片排样图

### 5. 压力中心的计算

在本案列中，被加工翅片在宽度方向上各排孔形状是相同的，设计模具时将冲压部分在宽度方向上对称分布，各作用力的压力中心均在模具的对称位置上。所以，只需计算模具在长度方向上单排孔冲压时的压力中心是否在模架中央。

根据排样图，可以推出单排孔冲压时主要受力的作用位置（取下模左端面为零点）。

$p_1 = 41 \text{ kN}$	$x_1 = 245.5 \text{ mm}$
$p_2 = 23.3 \text{ kN}$	$x_2 = 313.5 \text{ mm}$
$p_3 = 20 \text{ kN}$	$x_3 = 381.5 \text{ mm}$
$p_4 = 17.5 \text{ kN}$	$x_4 = 449.5 \text{ mm}$
$p_5 = 15.4 \text{ kN}$	$x_5 = 517.5 \text{ mm}$
$F_{\text{压边}} = 14.9 \text{ kN}$	$x_{\text{压边}} = 341.5 \text{ mm}$
$F_{\text{圆桥}} = 17.3 \text{ kN}$	$x_{\text{圆桥}} = 670.5 \text{ mm}$
$F_{\text{冲孔}} = 15.7 \text{ kN}$	$x_{\text{冲孔}} = 838 \text{ mm}$
$F_{\text{翻边}} = 15.5 \text{ kN}$	$x_{\text{翻边}} = 1010.5 \text{ mm}$
$F_{\text{小桥}} = 9.8 \text{ kN}$	$x_{\text{小桥}} = 1163.5 \text{ mm}$
$F_{\text{边切}} = 2.3 \text{ kN}$	$x_{\text{边切}} = 1291 \text{ mm}$
$F_{\text{分条}} = 10 \text{ kN}$	$x_{\text{分条}} = 1427 \text{ mm}$
$F_{\text{切断}} = 4.8 \text{ kN}$	$x_{\text{切断}} = 1903 \text{ mm}$

根据计算，总合力为 207.5kN，模具的压力中心为 600mm。

### 6. 模具配套压力机确定

此套模具的总冲裁合力为 207.5kN，根据高速压力机的选配原则， $p_{\text{压力机}} = (2 \sim 3)p$ ，所需压力机吨位应在 415kN 左右，最终选定的压力机为扬州锻压机床厂生产的 YKC-18-45 压力机，主要技术参数为

公称力:	450kN。
滑块行程:	40mm。
行程次数:	150 ~ 250 次/min。
装模高度:	270 ~ 330mm。
滑块提升量 (最小装模高度):	80mm。
工作台板尺寸:	1300mm × 770mm。
滑块底面尺寸:	720mm × 670mm。

### 7. 模具的整体结构设计

本套多工位级进模与扬州锻压机床厂生产的 YKC-18-45 压力机配套, 压力机的装模高度为 280 ~ 330mm, 翅片模具的合模高度设计为 270mm, 子模的空间高度 128mm。模具设计时, 需要注意以下几个方面: 确定模具的安装结构、选择恰当的定位形式、选择合理的导向方式。

为了降低模架制造难度及便于模具的安装、调整、维护, 按照各工位的功能, 整套模具采用分块式设计, 共分为 13 个分模块: 压料装置为第一模块, 五步拉深为第二模块, 圆桥成形为第三模块, 冲孔翻边模为第四模块, 二次翻边 (即翻横边) 为第五模块, 小桥成形为第六模块, 边切 (及两侧切边) 为第七模块, 导正模为第八模块, 分条模为第九模块, 送料模为第十模块, 切断模为第十一模块。前九个模块由压力机滑块统一提供动力, 滑块上下运行一次, 模具开合一次。切断模只有在零件长度达到要求时才进行动作, 其动力由压力机 PLC 控制系统, 根据冲孔次数控制电机提供。整体结构如图 3-72 所示。

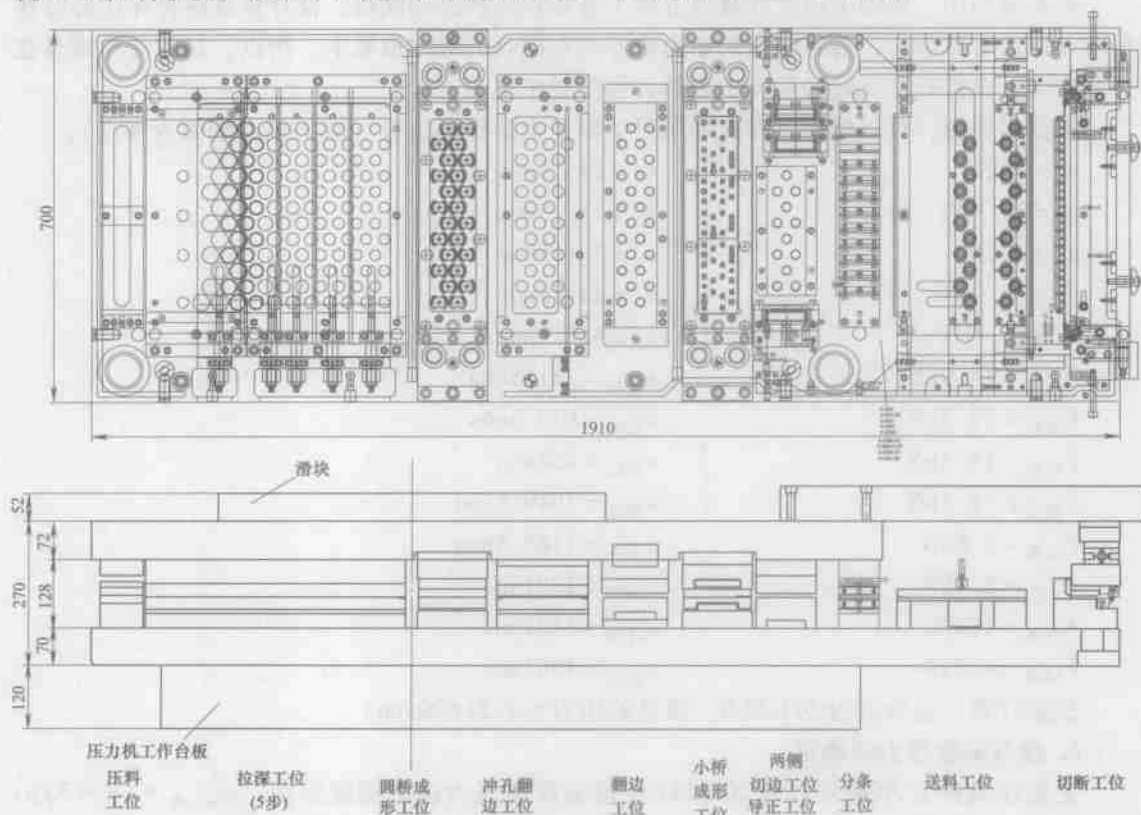


图 3-72 模具的整体结构

注: 1. 第 1 ~ 5 步拉深高度可调。2. 翻边高度可调。3. 分条可根据产品需要进行切换调整。

工业空调换热器模具的整体结构设计同家用空调换热器模具的设计,此节将不再复述,仅对此案列中桥片成形模设计进行介绍。

### 8. 桥片成形模设计

桥片成形的功能与百叶窗成形一样,也是通过扩大翅片的散热面积,来达到提高翅片换热器热交换率的目的。

桥片成形模的上模由上垫板、上子模板、推板、凹模固定板、凹模板组成;下模由下卸料板、下子模板组成。下卸料板通过勾板扣在下子模板上,运动时通过导柱、导套进行导向与定位,如图3-73所示。

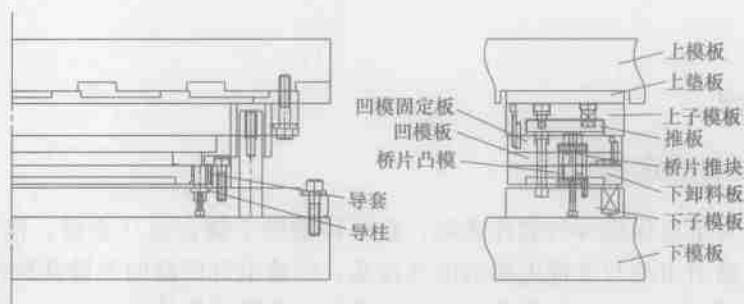


图 3-73 桥片成形模

### 参 考 文 献

- [1] 《冲模设计手册》编写组. 冲模设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- [2] 王孝培. 实用冲压技术手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [3] 陈炎嗣. 多工位级进模设计与制造 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [4] 张荣清. 模具设计与制造 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [5] 王俊彪. 多工位级进模设计 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1999.
- [6] 杨玉英. 实用冲压工艺及模具设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [7] 陈剑鹤. 模具设计基础 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [8] 涂更生, 朱建敏. 空调翅片模具切口模块的设计制造 [J]. 模具工业, 2001 (12): 15-17.
- [9] 模具设计与制造技术教育丛书编委会. 模具制造工艺与装备 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.

## 第4章 引线框架高速精密冲压技术

### 4.1 概述

#### 4.1.1 引线框架的定义

引线框架作为半导体器件的芯片载体,是一种借助于键合丝(金丝、铜丝、硅铝丝等)实现芯片内部电路引出端与外部电路的电气连接,形成电气回路的关键结构件。它起到了和外部导线连接的桥梁作用,绝大部分的半导体器件中都需要使用引线框架,它是电子信息产业中重要的基础零件。典型的集成电路引线框架如图4-1所示。

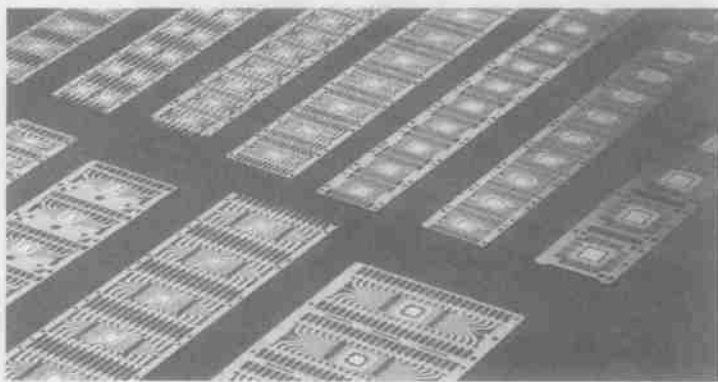


图4-1 典型集成电路引线框架

#### 4.1.2 引线框架的技术特点和生产模式

引线框架是半导体芯片上的零件,用做半导体器件与印刷电路板之间的接口。其最基本的技术指标包括:表面质量、成形形状精度、成形位置精度、积累误差、外观特性等。引线框架制造属金属精密加工,其优良率高低取决于模具设计和制作的能力,而这些能力依赖于多年经验的积累。引线框架通常采用两种方式实现量产,一是模具冲压方式,二是化学蚀刻方式。图4-2所示为引线框架的生产过程。

模具冲压方式是将合金料材放在模具内,经由压力机冲压成形,是最常用的量产方式,生产率高、成本低,多采用60~80t的高速精密压力机生产,一般冲压次数在300~800次/min之间。技术水准较高的厂家,生产常规复杂程度的引线框,冲压次数达到600~1000次/min。

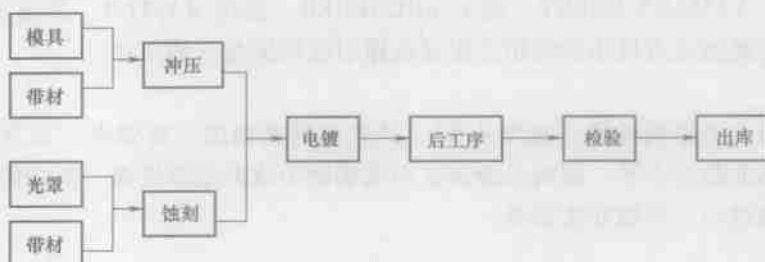


图 4-2 引线框架生产过程

图 4-3 所示为引线框架的冲压流程图。



图 4-3 引线框架冲压生产流程图

模具冲压方式生产成本低（约占蚀刻方式成本的  $1/4 \sim 1/3$ ），但开发新产品的制模时间长，约 3~4 个月，不能适应变化较快的电子新产品的需求。鉴于高脚数引线框模具开发成本极高，如引线脚距 0.2mm 的模具，制作费约需 60 多万美元，所以模具冲压方式主要定位在 100 条腿以下的产品上。

化学蚀刻方式优点是制作时间短，一般只要 5~7 个工作日（含电镀）即可交货，因此对快速交货（如 DRAM、SRAM）、小批量多样化、高脚数或脚距要求严格的产品是最佳选择。

从市场情况来看，模具冲压产品虽然单价低利润薄，但有稳定的市场需求，前景仍然看好；化学蚀刻产品的单价和利润都比较高，也有一定市场份额。就整体产业而言，两者的市场是互补共容的，制造厂商应两者具备，以向客户提供更完整的服务

#### 4.1.3 引线框架冲压生产的主要装备

从事引线框架冲压制造，以下装备是必需的。

##### 1. 高速压力机

用于冲压集成电路引线框架的高速压力机（见图 4-4）是最顶级的高速精密压力机，不仅要具有很高的静态精度，在高速冲压时还要具有很高的动态精度，最重要也是最基本的是要有很高的下死点精度。一般 60t 高速精密压力机的下死点精度要求在  $5\mu\text{m}$  以内。截至目前，用于集成电路引线框架冲压的高速精密压力机，主要是



图 4-4 高速精密压力机

由日本 KOYRI、YAMADA DOBBY、瑞士 BRUDERER、德国 RASTER、美国 MINSTER 等公司制造, 国产的高速压力机还没有用于集成电路引线框架量产的实例。

## 2. 模具

集成电路引线框架级进模(见图 4-5), 是典型的高精度、高效率、长寿命模具, 代表了精密冲压模具的最高水平。国内只能制作中低端的引线框架级进模, 高端的引线框架级进模主要还是依赖进口, 价格非常昂贵。

## 3. 送料机

送料机(见图 4-6)通常在购置高速压力机时配置, 无论是配置轧辊式送料还是夹钳式送料机, 都要求在送料速度为 30m/min 时, 送料精度在  $\pm 0.05\text{mm}$  以内。



图 4-5 引线框架级进模



图 4-6 送料机

## 4. 放料机(见图 4-7)

一般选用卧式转盘式送料, 承载量大, 可达 2t, 卷料积材可重叠放置, 减少装料次数, 节省换料时间, 放料速度分段可调。

## 5. 校平机(见图 4-8)

由于集成电路引线框架的带材都很薄, 通常在 0.25mm 以下, 因此配备的校平机必须是精密校平机, 校平的滚轴直径在  $\phi 12\text{mm}$  左右, 校平速度在 15m/min 左右。



图 4-7 放料机



图 4-8 校平机

## 6. 收料机(见图 4-9)

收料机没有特殊要求, 主要是速度可调, 能适合不同料宽的收料盘, 料层间可自动夹纸。

### 7. 引线框架检测仪器

引线框架冲压生产必备的检测仪器如图 4-10 所示。分别为影像检测仪、投影仪和工具显微镜。

#### 4.1.4 引线框架的特点和分类

##### 1. 引线框架的特点

引线框架具有种类繁多、批量特大、精度极高、形状细小、材料很薄、表面需要局部电镀等特点。

(1) 品种繁多 由于半导体器件种类很多, 形状和封装形式五花八门, 因而所用引线框架也是千差万别, 各不相同。

(2) 批量特大 据统计, 2010 年我国分立器件的封装总量为 3400 亿只, 集成电路封装总量为 650 亿块, 根据这个数据, 按 95% 的器件需要引线框架, 器件和引线框架的成品率均为 90%, 那么 2010 年我国需要的分立器件引线框架约为 3900 亿只, 需要的集成电路引线框架约为 750 亿只。



图 4-9 收料机

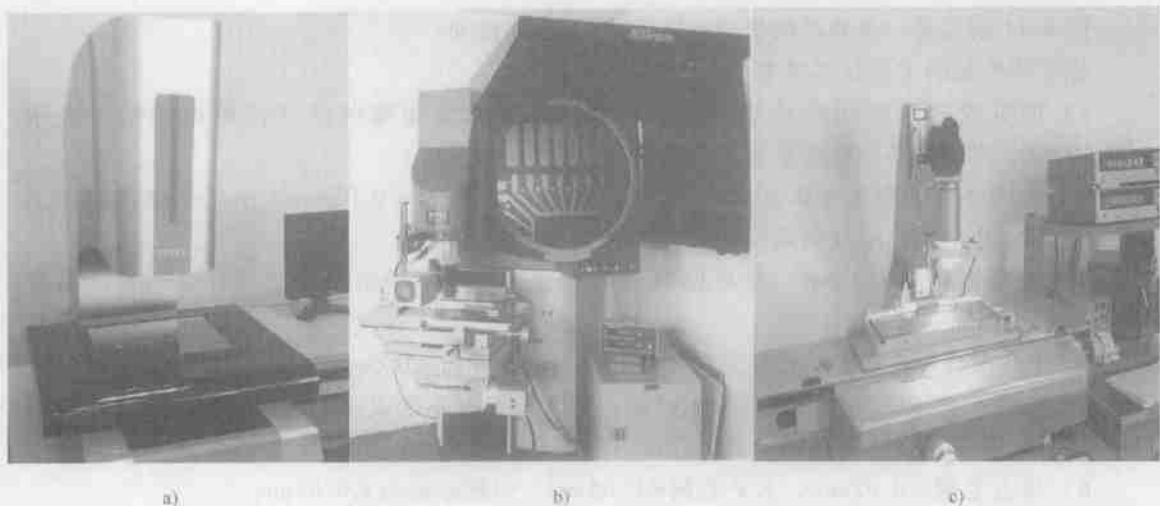


图 4-10 检测仪器

a) 影像检测仪 b) 投影仪 c) 工具显微镜

(3) 精度极高 由于现在的装片、键合、封装都是高速自动化生产, 先将引线框架的机械位置等输入到设备里, 然后设备认准该数据进行快速自动化生产。如果机械位置不一致, 则会造成经常停机, 并且会产生大量不合格品, 因此对引线框架的位置精度要求极高。对整条引线框架的长度要求控制在  $\pm 0.08\text{mm}$  以内, 每个引线框架的间距要求在  $\pm 0.025\text{mm}$  以内, 引线脚的共面性要求在  $\pm 0.08\text{mm}$  以内。

(4) 形状细小 随着电子设备向小型化发展, 半导体器件越来越微型化。原先主流的引线脚中心距为  $2.54\text{mm}$ , 现在主流中心距都是  $1.27\text{mm}$ 、 $1.0\text{mm}$ 、 $0.8\text{mm}$ 、 $0.65\text{mm}$ , QFP 封装的引线脚中心距只有  $0.5\text{mm}$ 、 $0.4\text{mm}$ 、 $0.3\text{mm}$ 。同时为了提高封装的可靠性, 通常每个引线框架的小岛都要进行打凹, 打凹的深度一般是一个芯片的厚度, 还需要在内引线上加

锁定孔和潮气隔离结构。

(5) 材料很薄 20 世纪 90 年代, 集成电路引线框架材料的主流厚度在 0.25mm 以上, 而目前材料的主流厚度都在 0.25mm 以下, 最薄的引线框架材料厚度在 0.10mm 以下。

(6) 局部电镀 为了提高键合的焊接性, 几乎所有的引线框架都需要电镀, 最常用的是镀铜打底后在装片和键合区进行高速局部镀银, 有的引线框架要求镀镍钯金。

## 2. 引线框架的分类

引线框架的种类按半导体器件可分成两大类: 一类是分立器件引线框架, 另一类是集成电路引线框架。分立器件引线框架按其封装形式又可细分为 TO-92、TO-126、TO-220、TO-247、TO-251、TO-252、TO-263、TO-264、TO-3P、SOT 系列、SOD 系列等引线框架, 集成电路引线框架按集成电路的封装形式可细分为 DIP、SDIP、FDIP 系列、SIP、FSIP 系列、SOP、SSOP、TSOP 系列、QFP 系列、PLCC 系列等集成电路引线框架。其中每个系列按引脚的多少又分很多品种, 同样的封装形式, 同样的引线脚腿数, 根据小岛的大小不同又有多多个品种。

### 4.1.5 典型的冲压引线框架分析

图 4-11 所示是一条典型的集成电路 SOP 16 引线框架。

该引线框架的主要技术要求是:

- 1) 内引线之间的间隙最小为 0.120mm、内引线顶端部沉浮 (相对连接筋) 要求  $\pm 0.08\text{mm}$ 、内引线共面性要求最大误差为 0.152mm。
- 2) 精压面有效宽度  $\geq 0.20\text{mm}$ 、精压区平面度公差为  $\pm 0.08\text{mm}$ 、小岛平面度公差为  $\pm 0.05\text{mm}$ 、小岛与内引线的高度差  $\leq 0.05\text{mm}$ 。
- 3) 横弯偏差  $\leq 0.1\text{mm}$ 、卷弯偏差  $\leq 0.25\text{mm}$ 、翘曲和扭曲偏差  $\leq 0.25\text{mm}$ 、侧弯偏差  $\leq 0.10\text{mm}$ 。
- 4) 100 条叠积高度差: 长度方向  $\leq 1.0\text{mm}$ 、宽度方向  $\leq 0.5\text{mm}$ 。
- 5) 打痕、精压区及外引线部分无打痕, 其余位置以不造成引线框的尺寸、形状、位置不合格为极限, 一般打痕直径小于 0.1mm, 深度小于 0.05mm。
- 6) 垂直毛刺  $\leq 0.02\text{mm}$ 、水平毛刺  $\leq 0.05\text{mm}$ 、引线框偏心  $\leq 0.05\text{mm}$ 。

### 4.1.6 引线框架发展趋势

半导体器件有许多封装形式, 从 TO、DIP、SOP、QFP、PGA、BGA 到 CSP, 技术指标一代比一代先进, 这些都是前人根据当时的组装技术和市场需求而研制的。总体说来, 它们大概有三次重大的革新: 第一次是在 20 世纪 80 年代从引脚插入式封装到表面贴片封装, 极大地提高了印制电路板上的组装密度; 第二次是在 20 世纪 90 年代球型矩阵封装的出现, 不但满足了市场高引脚的需求, 而且大大地改善了半导体器件的性能; 晶片级封装、系统封装、芯片级封装是现在第三次革新的产物, 其目的就是封装减到最小。每一种封装都有其独特的地方, 有优点也有不足, 而所用的封装材料、封装设备和封装技术, 都是根据封装需要而有所不同。

图 4-12 所示描述了整个半导体封装的发展历程。

随着芯片输入/输出密度不断加大、运算速度不断加快的发展趋势, 封装技术难度不断

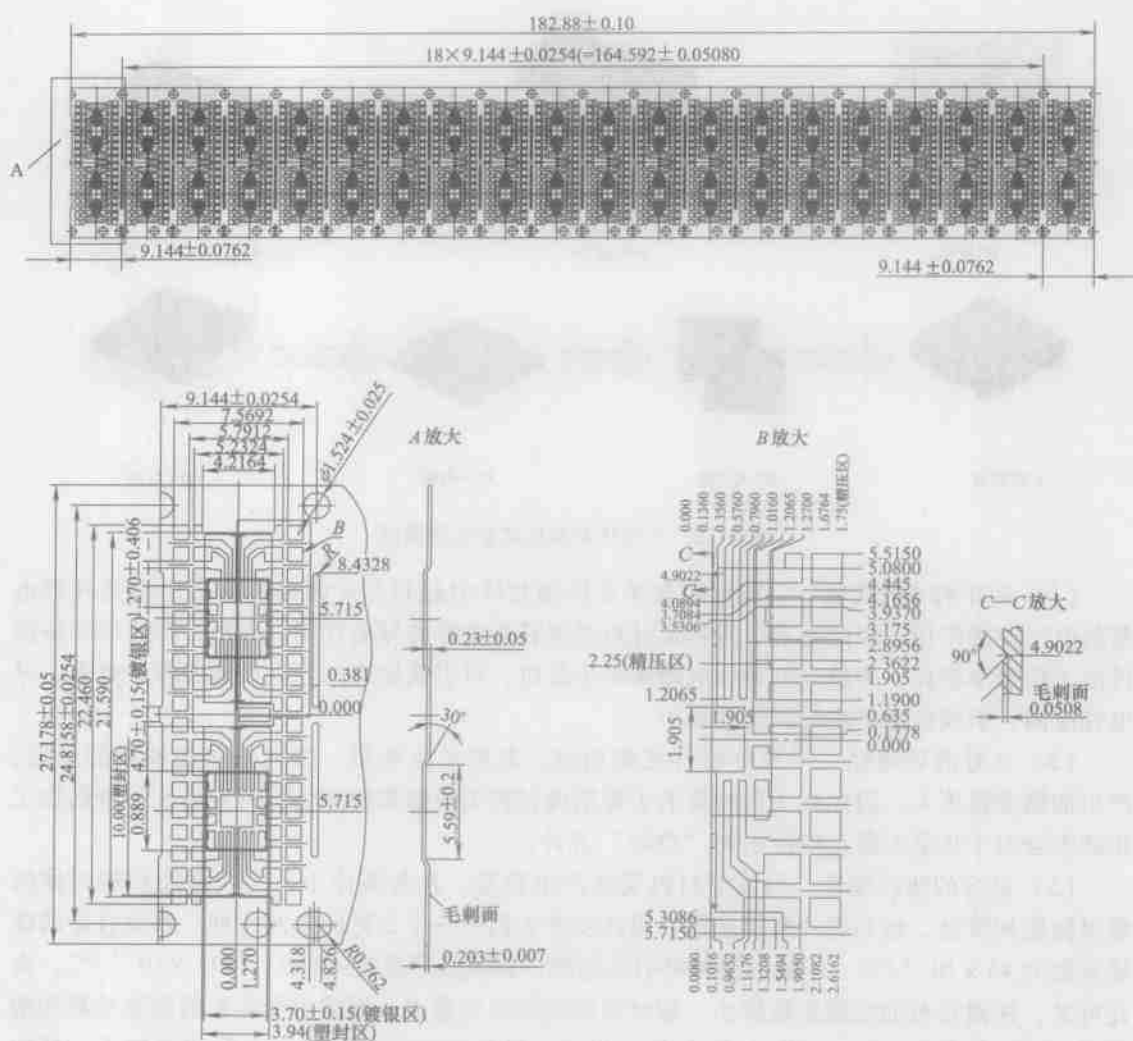


图 4-11 SOP16 引线框架

提高,在半导体制造成本中所占的比例也在逐渐增加。因此,虽然集成电路采用 BGA、CSP 封装方式发展速度很快,是未来的发展趋势,但是由于市场的多样性,所有这些封装形式将长期共存。尤其是目前国内集成电路封装 90% 以上仍采用引线键合方式,引线框架需求仍然快速增长,特别是 SOP/TSOP、QFP 等产品。未来十年引线框架的发展主要是追求环保、低成本和高封装效率。

## 4.2 引线框架材料

### 4.2.1 引线框架材料的特点

通俗地讲引线框架的作用,是把芯片的信息传出去,将产生的热量散发出去。因此引线框架材料须具有二次特性和二次特性等几十项。一次特性是指材料的物理、化学和机械性能;二次特性是指冲压、蚀刻、电镀、封装等性能。但主要的特性是以下几个。

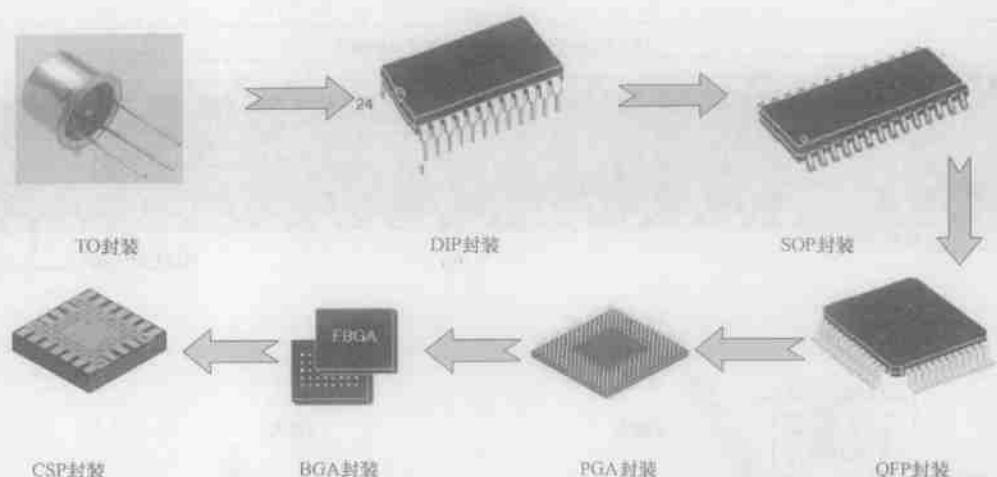


图 4-12 半导体封装形式变化发展图

(1) 良好的导电性能 引线框架在半导体塑封体中起到芯片内部电路引出端与外部电路的电气连接作用，因此要求引线框架材料必须具有良好的导电性能。此外，有的半导体器件的工作频率较高，为减少电容和电感等寄生效应，对引线框架的导电性能要求就更高，导电性越高，引线框架产生的阻抗就越小。

(2) 良好的导热性 半导体器件在使用时，总要产生热量，尤其是功耗较大的电路，产生的热量就更大，因此在工作时要求主要结构材料引线框架能有很好的导热性，否则在工作状态会由于热量不能及时散去而“烧坏”芯片。

(3) 良好的热匹配性 引线框材料受热产生膨胀，在封装体中，引线框架和塑封体的塑封树脂相接触，也和芯片间接接触，因此要求它们有一个良好的热匹配性。铁镍合金的线胀系数为  $43 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ ，一般的铜材料引线框架，其线胀系数为  $(160 \sim 180) \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ ，由此可见，铁镍材料的线胀系数较小，铜材料的线胀系数较大。铜质引线框架的膨胀系数和塑封树脂的线胀系数（ $200 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$  左右）相近，但是和硅芯片的线胀系数相差较大，硅的线胀系数为  $26 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 。不过，现在采用的树脂导电胶作为粘片材料，它们的柔韧性强，足以吸收芯片和铜材之间所出现的应力形变。但如果是共晶装片，那么就不宜采用线胀系数大的铁系材料做引线框架。

(4) 一定的抗拉强度 引线框架无论是在封装过程中，还是在随后的测试及半导体器件的使用过程中，都要求其有良好的抗拉强度。铁镍合金的抗拉强度为 700MPa 左右，而铜合金材料的抗拉强度一般为 500MPa 左右，因此铜合金材料的抗拉强度要稍差一些，但它可以通过掺杂来改善抗拉强度，现在国外的超强铜合金其抗拉强度已经能做到大于 800MPa。

(5) 一定的硬度和伸长率 引线框架在使用过程中要经过许多道工序，都要在不同工序的导轨中传送，如果引线框架太软，极易变形，引起产品报废，甚至损坏设备，一般要求引线框架材料的硬度应大于 130HV。由于大部分集成电路封装后不仅需要引线脚打弯，而且要求引线脚的反复弯曲次数大于等于 3 次，因此，引线框架材料要求伸长率大于 5%。

(6) 耐热性和抗氧化性 耐热性要求将材料 400℃ 加热 5min 后, 其硬度值变化到大于最初始硬度值的 80% 以上。材料的抗氧化性对产品的可靠性有很大的影响, 要求由于加热而生成的氧化膜尽可能少。

(7) 良好的冲裁性能 引线框架是一种批量极大的产品, 通常采用模具冲裁的方法制造。为了延长模具的寿命, 要求引线框架材料具有良好的冲裁性能。

(8) 较小的内应力 对于集成电路引线框架要求内引线的沉浮控制在  $\pm 0.08\text{mm}$  以内, 否则会影响键合, 甚至会造成电路的断路和短路。尤其是高线位的 DIP 系列引线框架, 它的内引线十分细长, 只要材料的内应力稍大, 内引线脚的沉浮就无法控制。

(9) 材料表面光洁 引线框架对材料的表面要求相当高, 国外基本上后道工序都是在清洁厂房内生产的。如果材料的表面有些划伤或者凹坑、凸点、杂质, 对键合质量都是致命的。因此材料的表面必须光滑且有金属光泽, 无划伤、裂纹、夹杂、分层、折痕、锈蚀等缺陷。

(10) 适应高速冲压 为了适应高速冲压, 引线框架材料除了具有良好的冲裁性能外, 还要求材料宽度方向的横弯偏差  $\leq 0.05\text{mm}$ , 长度方向的侧弯偏差  $\leq 0.8/1000\text{mm}$ , 且不允许有 S 弯, 长度方向卷弯  $\leq 100/1000\text{mm}$ , 剪切毛刺  $\leq 0.01\text{mm}$ 。

#### 4.2.2 引线框架材料的分类

20 世纪 60 年代, 采用陶瓷做集成电路的外围组件进行保护, 以免集成电路受到外部环境的影响。其相应的引线框架, 选用了线胀系数既与陶瓷又与硅芯片接近的 Kovar (Fe-Ni29Co17 合金)。20 世纪 70 年代, 随着封装方法的改进, 代之以廉价的 FeNi42 合金。此后, 随着封装技术的进步, 为降低集成电路的制造成本和提高散热性, 越来越多地采用高强度的铜合金作为引线框架材料。到 1984 年, 铜合金材料的用量已是 FeNi42 合金的 3 倍, 目前除了材料厚度在 0.1mm 以下的引线框架还使用一些 FeNi42 合金材料外, 其他基本上使用铜合金和铁系材料, 铁系材料主要应用在晶体管和二极管上。

引线框架材料的种类和分类详见表 4-1。

表 4-1 引线框架材料的种类和分类

类型	特性	材料名称	化学成分(质量分数,%)	屈服强度 /MPa	电导率 (% IACS)	备注
Ni 系	高强度	Alloy 42	Fe58/Ni42	680	3	
		Kovar	Fe46/Ni29/Co17	760	3	
Cu 系	高导电率	C155	CuAg99.8/P0.06/Ag0.07/Mg0.11	450	86	
		C151	Cu99.9/Zn0.1	480	90	Olin
		C1020	Cu99.96/O210PPM	380	101	
		KFC	Cu99.87/Fe0.1/P0.03	420	90	Kobe
		EFTEC-3	Cu99.84/Sn0.15/P0.01	420	90	Furukawa
		CCZ	Cu99.2/Cr0.55/Zn0.25	500	85	
		PMC90	Cu99.87/Fe0.1/P0.03	420	90	Poongsan
		Tamac-2	Cu99.84/Sn0.15/P0.006	450	85	Mitsubishi
		Tamac-4	Cu99.85/Fe0.07/Zn0.05/P0.03	490	85	Mitsubishi
		SLF-3	Cu99.08/Cr0.8/Sn0.12	500	80	Sumitomo
		C19700	Cu99.15/Fe0.6/P0.3/Mg0.05	510	80	Olin

(续)

类型	特性	材料名称	化学成分(质量分数,%)	屈服强度 /MPa	电导率 (% IACS)	备注
Cu 系	中强 中导	C194	Cu97.5/Fe2.35/P0.03/Zn0.12	460	65	Olin
		C195	Cu97/Fe1.5/P0.1/Cd0.8/Sn0.6	630	50	Olin
		C505	Cu98.7/Sn1.3	460	40	
		KLF-1	Cu96.3/Ni3.0/Si0.7	620	55	Kobe
		KLF-5	Cu97.87/Sn2.0/Fe0.1/P0.03	600	35	Kobe
		MF202	Cu97.8/Sn2.0/Ni0.2	550	30	Mitsubishi
		Tamac-5	Cu97.97/Sn1.25/Fe0.75/P0.03	520	40	Mitsubishi
		EFTEC-5	Cu98/Fe1.0/Sn0.5/Zn0.5			Furukawa
		EFTEC-4S	Cu97.1/Fe2.4/Zn0.5	480	65	Furukawa
		C19750	Cu98.92/Fe0.6/Sn0.23/P0.2/Mg0.05	580	65	
		K-75	Cu99.53/Cr0.3/Ti0.15/Si0.02	580	78	Wieland
		KLF-125	Cu96.5/Ni1.6/Si0.35/Zn0.3/Sn1.25	680	70	Kobe
		PMC102	Cu98.77/Ni1.0/Si0.2/P0.03	530	69	Poongsan
	高强 高导	C510	Cu94.9/Sn5.0/P0.1	560	15	
		C654	Cu95.38/Si3.05/Sn1.5/Cr0.07	600	7	
		Al-35	Cu98.95/Al0.35/Al2030.7	600	85	
		C7025	Cu94.77/Fe0.2/Zn1.0/Ni3.2/Si0.73/Mn0.1	880	40	Olin
		EFTEC-64T	Cu99.65/Zn0.10/Sn0.25	780	75	Furukawa
		PMC26	Cu99.4/Ni2.0/Si0.3/Sn0.3	600	45	Poongsan
		C725	Cu89/Ni9/Sn2	650	11	
		KLF-125	Cu96.5/Ni1.6/Sn1.25/Si0.35/Zn0.3	850	30	Kobe
Fe 系	价格低	SPCC	Fe-C	450	5	Nissin

引线框架材料中,最普遍最典型的是美国合金奥林公司在1964年开发的C194合金。C194具有良好的电气结合性、导电性和导热性,焊接性好。这些特性使C194合金可代替纯铜和黄铜来增强性能。

(1) 化学成分和冶炼 C194合金主要化学成分(质量分数)为2.4%的铁,0.03%的磷,0.1%的锌,其余为铜。表4-2和表4-3提供了C194合金的化学成分范围与物理性质。

表4-2 OLIN C194合金化学成分和物理性质

化学成分	铜	最少97.4%	熔点	1083℃
	铁	2.1%~2.6%	密度	8.92g/cm <sup>3</sup>
	磷	0.015%~0.15%	热导率	261.688W/(m·K)@20℃
	锌	0.05%~0.2%	热胀系数	0.0000174/℃(20~300℃)
	铅	最多0.03%	电阻率	287/(Ω·m)@20℃
	其他	最多0.1%	电导率	60% IACS @20℃
物理性质			弹性模量	121GPa

C194合金是一种弥散强化合金,在铜的冶炼过程中加入铁和磷,形成优良的第二相粒子。一旦弥散析出物形成,合金的强度就可以通过冷轧控制。热处理C194不会增加强度,但弥散析出颗粒使C194变硬比纯铜更为迅速。同时也限制了退火过程中晶粒的生长,从而产生一种细腻、均匀的晶粒结构。

(2) 强度和成形性 大多数铜合金可以通过冷轧增加强度,但对于一个特定的合金,强度增大,必然会导致成形性下降。因此C194合金是在冷轧前加强析出颗粒的弥散,减少冷轧时的弥散,从而既达到了强度要求,又保持了成形性不下降。

表 4-3 OLIN C194 合金机械性能

状 态	抗拉强度		屈服强度		伸长率(%) $A_{5l}$
	ksi <sup>①</sup>	kgf/mm <sup>②</sup>	ksi	N/mm <sup>2</sup>	
退火状态					
软退火	40 ~ 50	275 ~ 345	22Max.	152Max.	29Min.
轻退火	45 ~ 55				
特殊轻退火	53 ~ 63	310 ~ 380	23	160	26
轧制状态	53 ~ 63	365 ~ 435	45	310	17
半硬态(1-102)					
硬态(1-104)	60 ~ 70	413 ~ 483	60	413	7
超硬态(1-106)	67 ~ 73	460 ~ 503	67	460	2
弹簧态(1-108)	70 ~ 76	483 ~ 525	70	483	2
超弹簧态(1-110)	73 ~ 80	503 ~ 552	73	503	2Max.

① 1ksi=6.895MPa。

② 1kgf/mm<sup>2</sup>≈9.8MPa。

(3) 奥林公司目前的引线框架材料 C194 合金 C194 合金是目前用量最大的引线框架材料, 以前一直是半硬态 (HH), 其屈服强度约为 317MPa, 现在标准的冲压引线框架材料改进为弹簧态, 经过应力释放退火 (SPR-RA), 屈服强度最小达到 434MPa。这个改进增加了 C194 合金的强度, 更好地满足了半导体器件引线脚的强度要求, 减少了整机制造中半导体器件安装过程的损坏, 拓展了 C194 合金的使用范围。

另外美国奥林公司还开发了特别弹簧态经过应力释放退火 (Ex SPR-RA) 的 C194 合金, 这是在 SPR-RA 态基础上的改善, 它使材料的屈服强度从最小 434MPa 提高到最小 469MPa, 同时电导率、引线弯曲疲劳和抗软化能力都没有变化。C194 Ex SPR-RA 成形性, 不仅完全满足一个标准的双列直插封装 (DIP) 引线弯曲成形要求, 而且也能满足如四面出脚扁平封装 (QFP) 等高端封装的引线弯曲成形要求。

表 4-4 为 C194 引线框材料状态表。

表 4-4 OLIN C194 引线框材料状态表

	C194 EX SPR(RA)	C194 SPR(RA)		C194 EX SPR(RA)	C194 SPR(RA)
抗拉强度/ksi	77 ~ 83	70 ~ 76	电导率(% IACS)	60Min.	60Min.
屈服强度/ksi	68Min.	63Min.	引线弯曲疲劳次数	5Min.	4Min.
伸长率(%)	5Min.	4 ~ 8	成形性-R/t(1-060"宽)	0.6	Sharp

(4) 耐腐蚀性和焊接性 C194 合金具有良好的耐腐蚀性, 是高铜合金中的贵族。黄铜容易引起应力腐蚀, 而 C194 合金不会出现应力腐蚀。大气腐蚀测试表明, C194 略优于 C122 铜的耐腐蚀性。由于 C194 合金其氧化物的良性性质, 因此 C194 表现出良好的焊接性和电镀性, C194 表面容易清洗, 焊剂及钎焊合金易于浸润和焊接, C194 的焊接能力与 C110, C197, C510 相当, 优于 C260 黄铜。表 4-5 是 C194 合金的浸焊能力和焊接性与其他铜合金的比较。

表 4-5 C194 合金的浸焊能力和焊接性与其他铜合金的比较

合金名称	暴露时间/h				合金名称	暴露时间/h			
	0	100	1000	5000		0	100	1000	5000
C110	I	II	II	III	C425	II	III	IV	IV
C194	I	II	III	IV					
C260	IV	IV	IV	IV	C510	I	—	III	III

- 注：1. 未用松香助焊剂
2. I——涂层理想、明亮、光滑，均匀没有缺陷。
- II——连续涂层，有 1% 或更少的针孔，焊料厚度不够均匀。
- III——有 50% 未浸润区域，有 10% 的针孔。
- IV——有超过 50% 未浸润区域，超过 10% 的针孔。

(5) 抗软化性 铜合金在冷加工、低温退火时，晶粒再结晶的速度会加快，会导致软化温度的降低和强度的损失。引线框架在塑封过程中，要经受几分钟 350℃ 的高温，可能会导致引线脚软化，从而造成半导体器件报废。图 4-13 所示是 C194 合金抗软化能力和其他一些铜合金引线框架材料的比较。C194 合金在 350℃ 温度下表现出良好的抗软化能力，保证了半导体器件在封装各工序和安装到印制电路板变形过程中，引线脚有足够的抗变形能力。

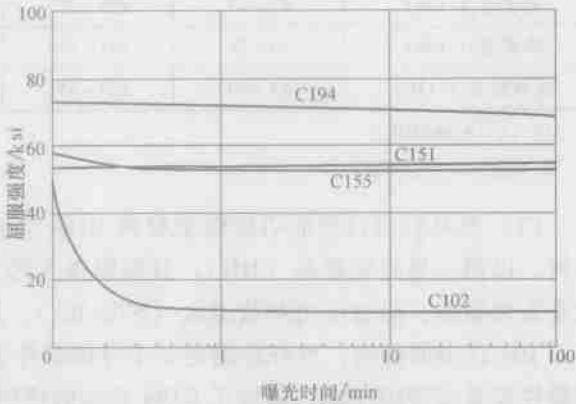


图 4-13 引线框架材料的抗软化能力比较

(6) 尺寸精度 表 4-6、表 4-7 和表 4-8 分别列出了 C194 合金材料的厚度、宽度和形状的允许公差。

表 4-6 厚度允许公差

(单位：mm)

材料厚度	公差
0.051 ~ 0.254	±0.005
0.254 ~ 0.381	±0.008
0.381 ~ 0.508	±0.01
0.508 ~ 1.0	±0.015

表 4-7 宽度允许公差

(单位：mm)

材料宽度	公差
5 ~ 50	±0.005
50 ~ 200	±0.10
200 ~ 600	±0.15

表 4-8 形状允许公差

横弯/mm/1000mm	毛刺/(%材料厚度)	卷弯/(mm/1000mm)	表面粗糙度 $Ra_{max}/\mu m$
≤2.0mm	≤5	≤40mm	≤0.8

4.2.3 引线框架材料的国产化

我国引线框架材料的研究和开发起步较晚。20 世纪 80 年代，我国的铜加工企业基本上生产纯铜、黄铜、锡磷青铜等低档次的铜合金材料，引线框架也局限于分立器件使用一些国产材料，集成电路引线框架全部依赖进口。在“八五”期间，国家计委、电子工业部下

达了“IC 引线框架材料研究课题”。其中“IC 引线框架铁镍合金材料”的研究课题主要有陕西钢铁研究所承担,“IC 引线框架铜合金材料”的研究课题主要有洛阳铜加工厂承担。经过“八五”攻关,铁镍合金和 TP0 (C1220)、TFe0.1 (KFC)、QFe2.5 (C194) 引线框架材料取得了突破性的进展,满足了国内部分引线框架材料的需求,摆脱了 IC 引线框架材料完全依赖进口的局面。“十五”期间,科技部又将“集成电路引线框架用铜带的研制和开发”列为微电子配套材料重大专项研究课题。北京有色金属研究总院、中国科学院金属研究所、清华大学、浙江大学、中南大学等研究机构开展了相关的研究工作。洛阳铜业集团、上海有色金属总公司、宁波兴业、北京金鹰、中铝大冶等铜加工企业相继引进国际先进装备水平的铜板带材生产线。在他们的不懈努力下,我国中低端引线框架材料基本实现国产化。但目前国内 IC 封装用铜合金引线框架材料与国外同类产品相比,生产上存在品种规格少、性能不稳定、铜带成品率低(国内在 40%~50%,国外在 75% 以上)、产业化规模小等一系列问题。在板型状况、残余内应力、表面粗糙度、剪切毛刺、宽度与厚度公差、外观等各方面很不稳定,经常会出现不合格,与国外产品仍存在较大差距。在集成电路用高端引线框架铜材的研究和生产方面,还存在着较大的差距。主要表现为:一是合金材料的种类少,高强高导的引线框材料几乎是空白;二是产品性能的均匀一致性及稳定性差,严重影响集成电路的性能可靠性;三是对高精带材产品的应用性能缺乏系统的研究,缺乏系统的评价体系,影响其后序冲裁、蚀刻、电镀、封装和使用。这些也正是制约我国高性能铜带整体水平提升的关键因素。

#### 4.2.4 引线框架材料的发展趋势

随着电子产品向小型化、薄型化、轻量化、高速化、多功能化、智能化和节能环保化发展,促使引线框架向短、轻、薄,高精细度多引脚,小间距及多排方向发展。虽然集成电路采用 BGA、CSP 封装方式发展速度很快,是未来发展趋势,但是由于市场的多样性,目前国内集成电路封装 90% 以上仍采用引线键合方式,引线框架需求仍然快速增长,尤其是 SOP/TSOP、QFP 等产品,仍是未来 5~10 年需求最大的产品。铜合金以其高导电、高导热、价格适中等特点,已成为引线框架的主要材料,至今世界已开发的铜合金牌号有 100 多个品种,其中日本就有 80 种左右,已陆续形成了自己的中强中导、高强中导、高强高导铜合金系列。

目前引线框架材料向以下几个方向发展。

(1) 超强型引线框架材料 20 世纪 90 年代前,集成电路引线框架材料的主流厚度是 0.25mm 以上,而目前材料的主流厚度都在 0.20mm 以下,最薄的引线框架材料厚度在 0.10mm 以下。为了实现引线框架的薄型化,就必须提高材料的强度,抗拉强度要求达到 800MPa 以上。

(2) 低膨胀系数型引线框架材料 有些集成电路的可靠性要求特别高,如军品。这些产品要求引线框架的线胀系数接近硅芯片,同时与封装材料又具有很好的密着性和良好的导热性。

(3) 高强高导型引线框材料 随着集成电路集成度和功能的提高,要求引线框架具备大于 600MPa 的抗拉强度,电导率大于 80% IACS,90°弯曲试验大于 4 次以上。

(4) 价格低廉型引线框架材料 民用产品很重要的一点就是价格要低,因此民品集成

电路最重要的发展方向是降低成本,近年来世界各个发达国家都在开发比铜系更为低廉的铁系引线框架材料。

## 4.3 引线框架高速精密冲压工艺

### 4.3.1 引线框架冲裁工艺

引线框的冲裁工艺性是指引线框在冲裁加工中的难易程度。良好的冲裁工艺性应保证材料消耗少、工序少、模具结构简单、维修方便,并且模具寿命长、操作简单、冲压的产品质量稳定。这就要求模具设计人员充分理解引线框的技术要求和使用要求,对引线框的结构形状、尺寸精度等进行分析优化,使其符合冲裁工艺要求。同时合理地选择冲压引线框材料的宽度,合理地安排各道冲裁、精压及校正工序,使产品的冲压过程不仅在技术上可行,而且制造成本最经济,冲压的产品质量稳定可靠。

冲裁工艺主要从工艺性分析和工艺方案两个方面考虑。

#### 1. 引线框架冲压工艺性分析

引线框架与普通冲压件在冲压工艺性上有很大区别。由于引线框架结构的特殊性,教科书上所讲的对普通冲压件工艺性的要求,有些并不适合冲压引线框架。对于引线框架冲压的工艺性,我们通常考虑如下几点:

1) 对于普通冲压件,我们希望形状越简单越好,但引线框架冲压遇到最多的问题就是废料上跳,尤其是形状简单、对称的图形。因此,在不影响引线框使用要求的情况下,对矩形等简单的几何形状应适当增加变化。

实例分析:图4-14所示为对矩形形状冲裁的更改。

2) 在普通冲压件设计中应尽量避免悬臂,但在引线框架产品设计上则是必需的,尤其是集成电路引线框架的内引线,它的形状基本上都如螃蟹脚,是细而长的悬臂。因此,在内引线的各直线连接处应设计较大的圆角过渡。

实例分析:图4-15所示是SOP28-A引线框架内引线图,引线脚细长、悬臂,直线连接的地方选用大圆弧过渡。

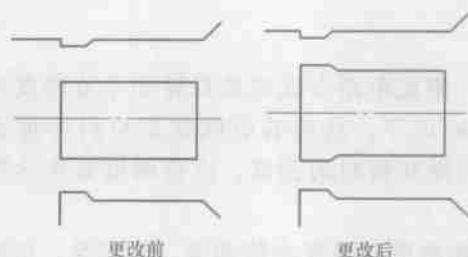


图4-14 对矩形形状冲裁的更改

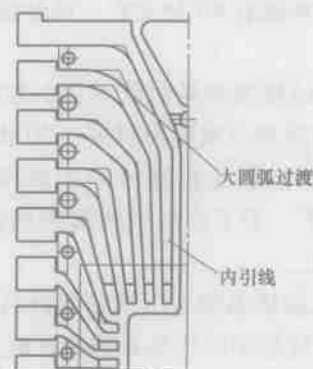


图4-15 SOP28-A 引线框架内引线采用大圆弧过渡

3) 工艺孔间距、边距不能太小,一般应大于一个材料厚度。

实例分析:图4-16所示是SOP14L引线框架,该框架料厚 $(0.203 \pm 0.008) \text{ mm}$ ,  $2 \times$



### 4.3.2 引线框架压印工艺

集成电路封装工艺要求,在引线框架内引线前端,压印一个光滑致密的表面,以获得高质量的镀层,同时提供了一个充足平坦的键合点区域,便于金丝压焊,其深度为 $0.02 \sim 0.04\text{mm}$ 。根据客户图样要求,在卸料板拼块或凹模拼块中,镶入一个高出拼块表面 $0.05\text{mm}$ 的镶件,利用矩形弹簧产生的弹压力,通过卸料板进行压印,方便修模。

## 4.4 引线框架冲压生产对模具的要求

### 4.4.1 引线框架对模具的要求

引线框是一种批量极大的产品,普通冲压生产是无法满足这类产品的大批量生产要求的。引线框架一般都是在精密高速压力机上,通过多工位级进模进行冲压生产。对高速压力机上使用的多工位级进模主要有如下要求。

#### 1. 模架要有足够的强度和刚度

模架足够的刚度,可以保证在高速冲压过程中,凸模和凹模相对位置的精确度。如果模架刚度不足,会在高速冲压过程中逐步发生变形,使其导向系统和凸凹模间隙发生变化,从而使导柱导套、冲裁刃口都出现不规则的磨损,最终导致模具提前失效。通常,上模座和下模座的厚度是常规设计的两倍左右,上下模座的平行度控制在 $0.004\text{mm}$ 以内,模座应选择稳定性较高的材料,如 $40\text{Cr}$ 、 $20\text{CrNi3Al}$ 等,而且要经过调质处理。

#### 2. 导向要稳固、可靠,有足够的刚度

高速压力机用引线框级进模一般均需要双重导向,模架导向通常采用四导柱以上的滚动导柱导套导向模式,这种导向装置的导套内装有钢球保持圈,以保证精确的导向。导套内的钢球保持圈内孔与导柱相配合,导套压入模座的长度及导套外径 $D$ 不得小于导柱直径的2倍,导套导向长度应为导柱直径的3~4倍。导柱直径 $d$ 应根据强度和刚度来确定,通常 $d \geq 30\text{mm}$ ,导柱压入模座的长度也不得小于直径 $d$ 的2倍。由于导柱、导套是在相互摩擦的条件下工作,因此其配合面要求硬而耐磨,通常导柱导套的材料采用 $\text{GCr15}$ 制造,淬火硬度为 $60 \sim 64\text{HRC}$ ,钢球保持圈用 $\text{LY3}$ 铝合金。导柱、导套、钢球的表面粗糙度值 $R_a$ 为 $0.2\text{mm}$ 以下。此外,在凹模座板、卸料座板、凸模固定板之间还需要设计辅助导向,辅助导向装置也应采用滚珠导柱导套导向,以确保凸凹模的位置精度。

#### 3. 凹模座板、卸料座板需要有良好的稳定性

凹模座板、卸料座板是工作零件的固定基础。由于是高速冲裁,不仅要保证凹模座板、卸料座板耐高速冲击,而且要保证凹模座板、卸料座板在高速冲压下具有良好的稳定性,以保证凸凹模之间的冲裁间隙稳定。为此,凹模座板、卸料座板的材料通常选择优质的高碳高铬合金工具钢。最常用的材料是日本的 $\text{SKD11}$ ,该材料具有良好的切削性能和抛光性能,热处理后具有很高的硬度和耐磨性,并具有淬透性强、尺寸稳定性好的特点,以及良好的韧性与抗高温疲劳性能,能承受温度聚变,适宜在高温下长期工作。凹模座板、卸料座板需淬火处理,硬度 $58 \sim 60\text{HRC}$ ,淬火处理后还应进行 $-80^\circ\text{C}$ 的深冷处理,保持3~4h,然后再进行回火处理,以获得最高硬度和尺寸稳定性。

#### 4. 工作零件应具有极高的精度和耐磨性

引线框架级进模一般都有几十个工步,几十工步的累积误差必须控制在 $0.002\text{mm}$ 以内,因此对每块凹模拼块、卸料拼块的尺寸精度都应达到 $\pm 0.001\text{mm}$ 左右,目标是零位。同时要求凹模拼块、凸模具有很高的耐磨性,以保证每次刃磨后能达到100万冲次左右的使用寿命。凸模、凹模拼块通常选用硬质合金,常用的硬质合金为进口KD20、CD650等。这类硬质合金疲劳强度高,不容易产生应力集中,裂纹的发生及扩展时间延迟,抗电加工腐蚀能力强,寿命稳定性好。卸料拼块可选用Cr12、Cr12Mo等耐磨合金工具钢,经热处理及深冷处理,使其具有较高的耐磨性和尺寸稳定性。

#### 5. 条料送进必须顺畅

因为是高速冲裁,一旦送料不顺畅,必然会导致频繁停机,甚至损坏模具,故在料条送进过程中应尽可能减少阻力。通常的做法是设计浮动托料装置,使条料在送进过程中顶离凹模表面,送料时条料只在托料块上运动,这样就大大减少了条料在送进过程中与模具的接触面积,从而减少了条料送进过程的阻力,保证了条料送进的顺畅。

#### 6. 模具须有误送料检测机构

在高速冲压作业时,送料机构可能发生送料精度不稳定等意外情况,如果模具不能检测到这些意外情况而连续工作,不仅会出现大量不合格引线框架,同时还有可能造成模具的重大损坏。为此,在模具上必须设置误送料检测装置,当送料不准确时,误送料检测装置就会发出信号,让压力机紧急停机,不仅避免出现大批不合格品,更重要的是保护了模具。

#### 7. 模具必须有限位装置

通常的做法是根据模具的大小,在模架上设置4组以上限位柱。限位柱有三个作用,一是保证高速冲裁时,凸模进入凹模的深度维持不变,特别是可以使模具上压印工位的压印深度得到稳定控制;二是可以维持模板的平衡,防止因条料偏离中心,尤其是初次送料而产生的卸料板倾斜趋势,保护导向精度,缓解导向磨损;三是可以防止压力机闭合高度的误操作,保护设备和模具。

#### 8. 模具应有防废料上跳措施

引线框架冲裁过程中碰到最多的问题就是废料上跳。废料上跳会造成引线框架产生大量的废品,由于高速冲裁中条料与凸模表面的真空吸附作用,还会出现废料上跳叠合,引起模具的损坏。通常的做法是,对形状简单的较大凸模在中心开孔,通过压缩空气吹废料,或者设置柔性弹压装置打废料。现在更有效的做法是,在凹模漏料孔的侧壁加工出细小的凹槽,使废料下冲后部分被挤入凹槽,牢牢地卡在凹模型腔内,达到防止废料上跳的目的。

#### 9. 模具应设置切断机构

引线框架冲压完成后还需要局部电镀,电镀有卷式电镀和片式电镀两种方式。对于片式电镀,就需要在引线框高速冲压时切成一定长度,为此需要在级进模上设计切断机构,冲压时在压力机的计数器上设置切断的冲次数,当冲压次数达到设定的冲次时,高速压力机的计数器就会给切断机构发出切断信号,实现模具自动完成切断。另外,即便是冲压卷式电镀引线框,有了切断机构也可以随时切一段引线框,以方便检查引线框的冲压质量。

### 4.4.2 引线框架材料对模具的要求

目前引线框广泛使用的材料主要有两类,一类是铜系合金,另一类是铁系合金。对于不

同的引线框材料,除了对引线框级进模要求选择不同的冲裁间隙外,其他没有什么特别要求。引线框级进模的冲裁间隙,一般都是根据经验确定,铜系材料的冲裁间隙通常选择为3%~5%的材料厚度,铁系材料的冲裁间隙通常选择为5%~8%的材料厚度。

### 1. 引线框架冲压工艺对模具的要求

合理的冲压工艺是保证产品质量、降低模具生产成本以及提高生产效率的前提。以 TO-220 引线框级进模为例:TO-220 引线框材料为厚薄料,对于厚料部分考虑分两次冲裁,粗冲和精冲,以减少冲裁毛刺,同时获得较小的冲裁塌角。为了提高效率和材料的利用率,零件冲压采用双排设计,一工步冲四个产品,在模具上设计侧刃,以满足冲切后引线框条的侧弯要求。由于冲压采用双排设计,料宽增至 66mm。如果凹模座板拼块采用直槽镶拼式结构,拼块宽度至少在 80mm 以上,增加了制造成本,故改用框套式结构。在需要冲切的部位,将凹模拼块植入凹模座板的方孔内,这样不仅减少了硬质合金用量,还使拼块的内形加工变为外形加工,提高零件表面加工质量,单组拼块在一起减少了干涉,便于调节。卸料板拼块不容易磨损,采用慢走丝线切割工艺,利用销钉与卸料座板精确定位,降低了镶拼式结构对直槽加工的要求。由于 TO-220 的压防水槽、压印和压台阶要求,模具需考虑足够的弹压力,模具中心两侧尽可能多布置矩形螺旋弹簧。零件厚薄料切开处容易产生碎屑,凹模拼块考虑增大凸凹模间隙。

### 2. 引线框架高速精密冲压模具典型结构

冲压模具加工的零件各式各样,但是模具的基本结构大体相似。其组成部分按功用可分为六个部分。

(1) 工作零件 对材料直接冲裁的零件,是冲裁模的主要零件,也称为刃口件。冲裁凸模和凹模的刃口要求锋利,间隙适当且分布均匀,这是保证冲裁的关键。

(2) 基础零件 是固定凸模与凹模,使之与压力机连接的零件。比如上模部分的上模座、上垫板、凸模固定板;下模部分的凹模座板、下模座都属于基础件。

(3) 卸料零件 由于冲裁后材料的弹性恢复现象,工件往往卡在凹模内,条料箍在凸模上,卸料零件就是把工件从凹模内脱卸下来,把条料从凸模上脱卸下来的零件。卸料板主要起两方面的作用,一是冲裁前压料使材料不位移;二是卸料。同时对小凸模导向,保护小凸模不易折断。

(4) 定位零件 确定条料在冲模中正确位置的零件。如侧导板和导正销。

(5) 导向零件 保证模具各部分相对运动良好的零件,如模具的导柱、导套,保证在冲裁过程中凸模与凹模间隙均匀。为了提高卸料板对凸模的导向效果,还装有小导柱。

(6) 紧固零件 把模具零件连结起来加以固定的零件,如销钉、螺钉等。

一般冲裁模由以上六部分组成,各部分的结构千变万化。冲裁模的结构取决于工件要求、生产批量和制模条件等因素。

图 4-18 所示是一副典型的集成电路引线

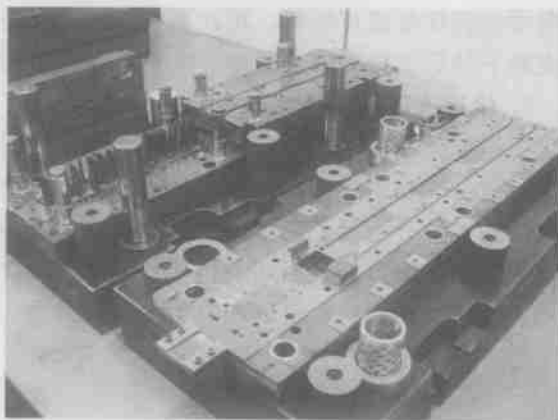


图 4-18 典型的集成电路引线框级进模

框级进模。

## 4.5 引线框架高速精密冲压模具材料

### 4.5.1 对高速精密冲压模具材料的要求

高速冲压模具用的材料基本上是钢材，对其主要有以下几项基本要求。

#### 1. 有足够的强度和耐磨性

模具工作部分材料的硬度，经热处理后必须高于被冲压材料的硬度，一般要求高于被冲压材料硬度的二倍以上。冷冲模在使用时因磨损而使工作部分尺寸变化，降低模具的精度和冲压性能。所以模具材料除了要求高硬度以外，还要有良好的耐磨性，以保证模具的使用寿命。

#### 2. 具有一定的强度和韧性

冲模在工作时往往承受较大的冲击力，因此模具材料要有足够的强度和韧性，具有良好的耐冲击能力。

#### 3. 有良好的热处理性能

大部分模具材料都要经过热处理，要求淬透性好、淬火变形小。模具材料有良好的淬透性，是保证模具工作部分硬度和提高模具使用寿命的重要条件。淬火变形的大小直接影响模具的制造精度。

#### 4. 其他要求

线切割加工零件往往因材料的内应力，在加工后发生材料开裂现象，因此要求材料淬火后内部组织均匀。

### 4.5.2 高速精密冲压模具的材料与性能

#### 1. 模具刃口材料

高速冲压精密模具的刃口材料一般选用进口的硬质合金，如KD20等。KD20是钨钢的一种，具有较好的韧性和相适的耐磨性。主要有4个特点。

- 1) 模具寿命的延长（疲劳强度高，不容易产生应力集中）。
- 2) 寿命稳定性好（裂纹的发生及扩展时间延迟）。
- 3) 黏附、啃伤大幅度减少（润滑剂产生的腐蚀极其轻微）。
- 4) 线切割电火花加工过程中的耐腐蚀性大大改良（抗电加工腐蚀能力强）。

#### 2. 模板材料

模具的模架一般采用45钢，45钢为优质碳素结构用钢，硬度不高易切削加工，经调质处理后有较好的强度和塑性。

#### 3. 垫板、卸料板、凹模座板

需要有良好的稳定性，一般采用高碳高铬工具钢，如SKD11或Cr12MoV。日本产SKD11，具有良好的切削、抛光性能，热处理后具有很高的硬度和耐磨性，淬透性强，尺寸稳定性好，具有良好的韧性与抗高温疲劳性能，能承受温度聚变，适宜在高温下长期工作。Cr12MoV具有较好的淬透性、淬硬性和耐磨性，热处理变形很小，为高耐磨微变形模具钢，承载能力仅次于高速钢，但其碳化物偏析严重，必须进行反复墩拔（轴向墩、径向拔）改

锻,以降低碳化物的不均匀性,提高使用性能。凹模座板、卸料座板需进行淬火处理,硬度为58~60HRC,淬火处理后还应进行-80℃的深冷处理,保持3~4h,然后再进行回火处理,以获得最高硬度和尺寸稳定性。

## 4.6 引线框架高速精密冲压模具的设计与制造

### 4.6.1 引线框架高速精密冲压模具设计

引线框架多工位精密级进模是“精密、高效、长寿命”的模具。其结构比较复杂、制造技术和制造要求较高,模具的成本相对也高。同时,对冲压设备和原材料(卷料)也有相应的要求,对模具设计的合理性也提出了较高的要求。在模具设计前必须对制件进行全面分析,结合模具结构特点和冲裁工艺性,来决定冲压成形工艺过程,以获得最佳的经济效益。

以图4-11所示的SOP16引线框为例,介绍该引线框级进模的设计。

#### 1. 排样设计

在级进模设计中,排样是设计构思的第一步,也是最关键的一步。条料的工序排样,具体反映了零件在整个冲压过程中的工位设置和工位间的相互协调及定位方式,直接关系到制件精度、加工效率、模具寿命和材料的利用率。图4-19所示为SOP16引线框排样图。

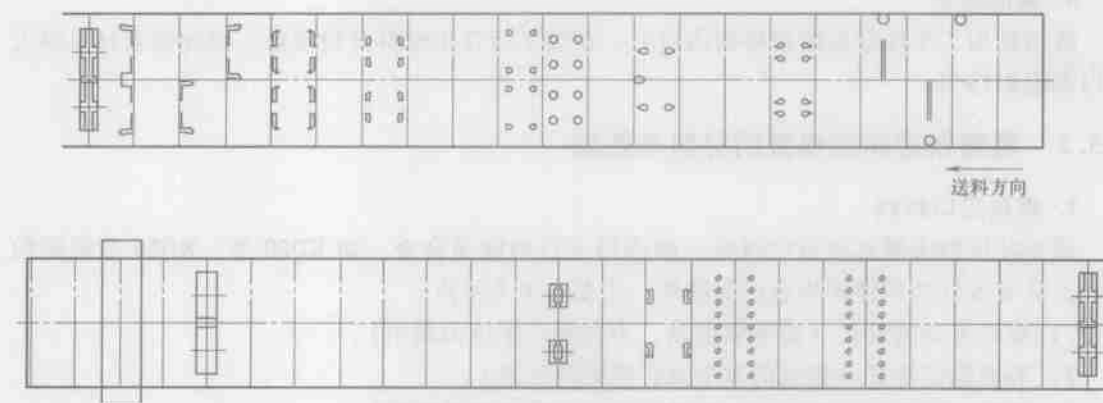


图4-19 SOP16 引线框排样图

#### 2. 计算冲裁力

凸模作用在板料上使板料产生分离的剪切力称为冲裁力,冲裁力也等于板料反作用于凸模上的抗力。冲裁力的大小与材料的机械性能、厚度、冲裁件的周边长度、冲裁间隙大小、刃口锋利程度有关。用平刃冲裁时,冲裁力可用下式进行计算

$$p_{\text{冲}} = 1.3Lrt \text{ (MN)}$$

式中  $p_{\text{冲}}$ ——冲裁力 (MN);

$L$ ——冲裁件周边长度 (m);

$t$ ——板料厚度 (m);

$\tau$ ——被冲材料的剪切强度 (MPa);

1.3——考虑到刃口钝化、间隙不均匀等因素，使冲裁力增加的系数。

SOP16 冲裁力计算：

$$t = 0.203 \text{ mm} = 0.000203 \text{ m}; L = 519.703 \text{ mm} = 0.519703 \text{ m};$$

$$P_{\text{冲}} = 1.3Lrt = 1.3 \times 0.519703 \times 325 \times 0.000203 \approx 0.046 \text{ (MN)}$$

冲裁力的大小是选择压力机规格、核算模具强度的主要依据。冲裁力的单位是 MN，压力机的规格是 t，选择时应该进行换算。1 MN = 100 t；0.046 MN = 4.6 t。

压力机的吨位即压力机的公称力，是指压力机滑块离下死点前处于公称力行程时所允许的最大作用力。选择压力机吨位，冲裁力只是其中的一个因素，还要考虑模具的弹压力、卸料力、压印力，模具刃口是否锋利，间隙是否均匀等因素，冲压行程中的压力变化也是重要的因素。选择高速精密压力机，一般按 5 倍以上的冲裁力来选择最为合适。另外还要考虑模具的外形尺寸、漏料孔尺寸是否与压力机匹配。

### 3. 整体结构设计

引线框架级进模主要由上模架、下模架、凹模固定座板、卸料固定座板、凸模固定板、垫板、硬质合金凸模、硬质合金凹模拼块、卸料板拼块、大小滚珠导向，柔性援助导正销、润滑系统、切断机构等组成。

模具设计应考虑以下几点。

- 1) 保持模具的整体平衡，模具的压力中心尽可能靠近压力机的滑块中心。
- 2) 工位 1 一般先冲出导正工艺孔，工位 2 用导正销插入材料进行导正，以保证条料步距精度。SOP16 引线框架上有防潮气侵蚀凹槽，可以安排在冲孔前完成。
- 3) 压印和切断工位一般设置在模具的最后工位，以免影响冲压工艺的连续性、稳定性及准确性。
- 4) 相同形状冲压一般就近放在一起，以对称冲为宜，这样做能使零件各部分之间受力均匀，同时便于拼块相拼结构。
- 5) 采用适当的冲切顺序，先冲内脚，再冲外脚；先冲长脚，再冲短脚，好的冲切加工顺序能减小引线脚冲切后的偏移和扭曲倾向。
- 6) 为保证模具的强度，降低材料冲压产生的内应力，以及给出导正和检测装置位置，模具上要预留一部分空位，还要预留矫正引线框架冲压产生的扭曲和变形的工艺位置。
- 7) 引线框架级进模的冲裁间隙一般都是根据经验确定，对于铜系材料，通常选择 3% ~ 5% 材料厚度的冲裁间隙，对于铁系材料，通常选择 5% ~ 8% 材料厚度的冲裁间隙。
- 8) 由于采用级进模冲裁的方式，引线框架的扭曲或位移在所难免，同时由于材料内应力和冲裁时的塑性变形，整个引线框架会不平整。因此，在模具上要考虑滑块式校平装置，其原理是利用螺杆使斜滑块水平移动，来调节校正块的深度，达到矫正量的变化，滑块单独设置互不干涉。
- 9) 在模具中心布置弹压卸料组件。强力载荷、平稳弹压和座板刚性，是设计引线框模具弹压卸料组件的三要素。设计师要充分利用空间，将强力矩形弹簧布置在紧靠座板中心线的两侧位置，以保证高速冲裁时的强弹压力，减小卸料板的动态内凹变形量。在卸料板两端增加 4 个可调式缓冲橡胶垫柱，给一个预紧压力，可减少起始工作时的抖动，有效保护凸模。

图 4-20 所示为 SOP16 引线框级进模总装结构图。

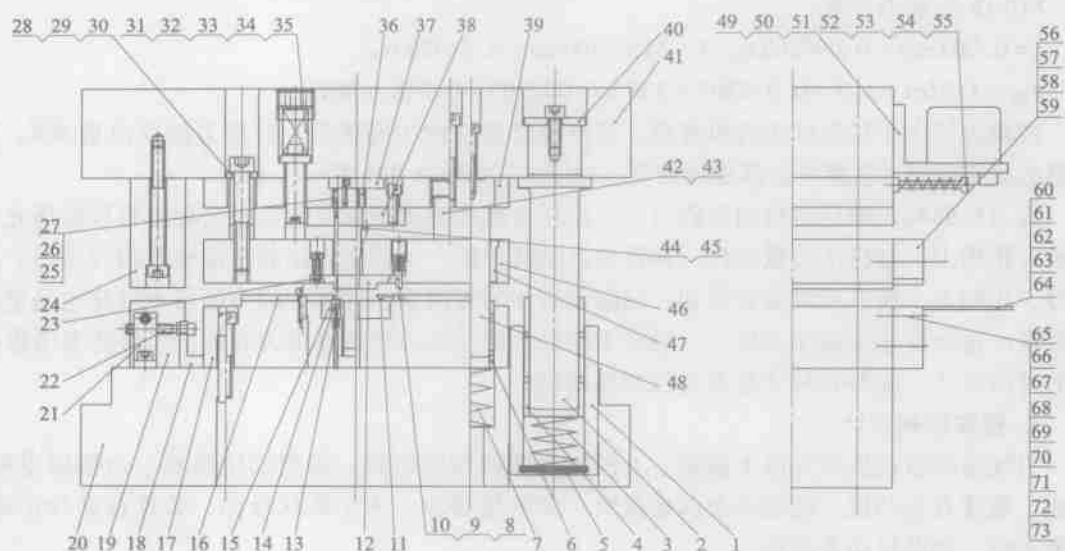


图 4-20 SOP16 引线框级进模总装结构图

#### 4. 工作单元设计要点

(1) 凹模拼块的设计 引线框级进模的凹模通常采用镶拼结构，以便进行磨削加工，制造出高精度的模块。图 4-21 所示为该模具的一块典型凹模拼块。在设计凹模拼块时应遵循以下原则。

1) 应尽量采用竖拼，以减少拼块数量，又便于加工。

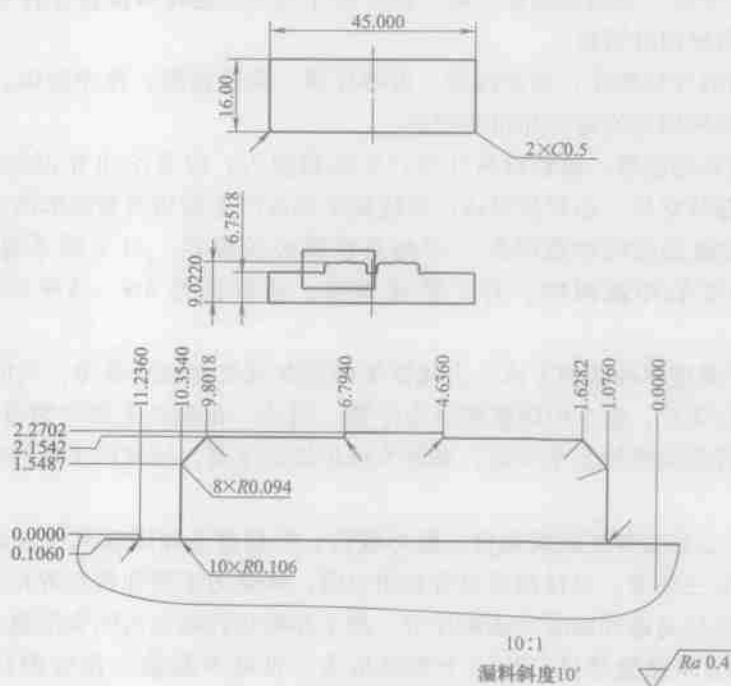


图 4-21 典型凹模拼块

2) 为使冲裁废料顺利漏下,凹模拼块应设计 $10^\circ$ 的漏料斜度。

3) 凹模型腔的拼合,应尽量选择型腔的对称中心拼合,或带有直角的圆角半径中心部位拼合,有多处圆角的则宜选择在小圆角处拼合。

4) 拼块以少为好,以便装配,减少积累误差。

5) 凹模拼块的固定方式如图4-22所示。

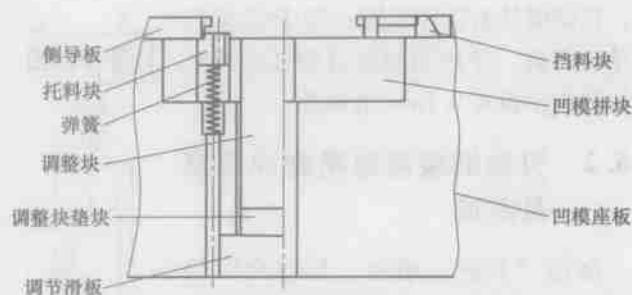


图 4-22 凹模拼块的固定方式

(2) 卸料机构的设计 该模具采用套筒式弹压卸料结构,如图4-23所示。弹压卸料板在冲压时起到卸料和压料作用。由于引线框引线面宽度较小,合理的压料力可以保证引线框在冲压时保持较强的拉应力,以防止引线冲压变形,弹压力大小可通过螺塞调节。该引线框的材料厚度为 $0.203\text{mm}$ ,模具的压料力过盈量为 $0.03\text{mm}$ 。卸料拼块的设计原则和凹模拼块相同,卸料板与凸模的配合采用高精度滑配,该模具卸料板与凸模的配合间隙为单面 $0.002\text{mm}$ 。

卸料拼块与卸料板的固定方式如图4-24所示。

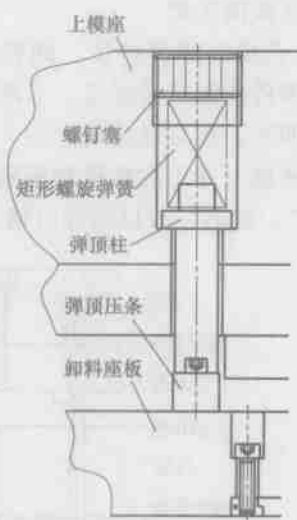


图 4-23 套筒式弹压卸料结构

(3) 凸模的设计及其固定 凸模采用进口硬质合金材料KD20。为防止崩刃,在刃口的锐角处均设计自然 $R$ 圆角,平滑连接。在刃口与固定部分连接处,设计大圆弧连接,圆弧的半径为曲线磨砂轮半径,以增加凸模刚性,如图4-25所示。凸模固定在凸模固定板上,如图4-26所示。凸模固定板的型腔采用慢走丝线切割加工,型腔与凸模的配合呈浮动状态,间隙为单边 $0.005\text{mm}$ ,以保证凸模顺利穿过卸料板。

(4) 导正机构设计 多工位级进模送料步距要精准,送料步距精度直接反映出引线框架的精度。高速压力机带有自动送料装置,送料精度在 $0.1\text{mm}$ 以内,在料条送进时已得到初步定位,因此在模具上只要考虑精确定位。该模具设计23个柔性导头进行精确定位冲压,一般情况下导头应两边对称分布,且越多越好。导头的直径比冲孔凸模小 $0.01\text{mm}$ ,导头的头部与卸料板之间为高精度滑动配合,配合间隙为 $0.002\text{mm}$ ,尾部用弹簧定紧,如图4-27所示。导头导正部分的长度露出卸料板 $0.5\text{mm}$ 。

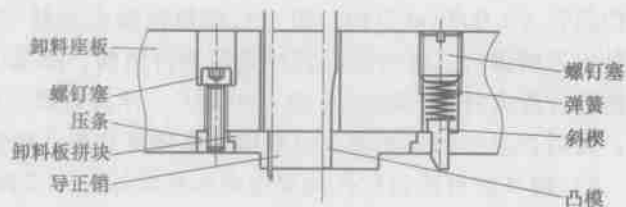


图 4-24 卸料拼块与卸料板的固定方式

(5) 托料及导料装置的设计 为了减少条料送进阻力,该模具设计23块弹性托料块,如图4-20所示,以保证条料在送进时被托离凹模表面,使送料顺畅。为了确保料带送进的直线

度,在该模具上设计了图 4-22 所示的导板导向装置。导板的厚度应保证在冲压时与卸料座板有 0.1mm 的间隙。

#### 4.6.2 引线框架高速精密冲压模具制造

制造“高速、精密、长寿命”级进模具,一靠先进的模具加工设备和精密的测量工具,二靠编制合理的加工工艺,三靠操作工人精湛的技术素质。零件的加工质量是确保模具质量和同类零件完全互换的关键。

1) 凸模、凹模拼块、卸料板拼块等工作零件的制造流程是,毛坯经线切割后先回火,然后经过粗、中、精多次磨削和研磨,并用测量仪和精密块规比较,制造误差严格控制在  $\pm 0.001\text{mm}$  以内,目标值为“零”。成形、刃口部分由精密光学曲线磨床完成。

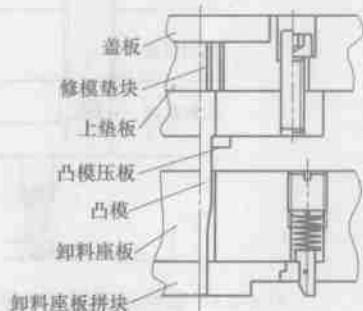


图 4-26 凸模固定在凸模固定板上

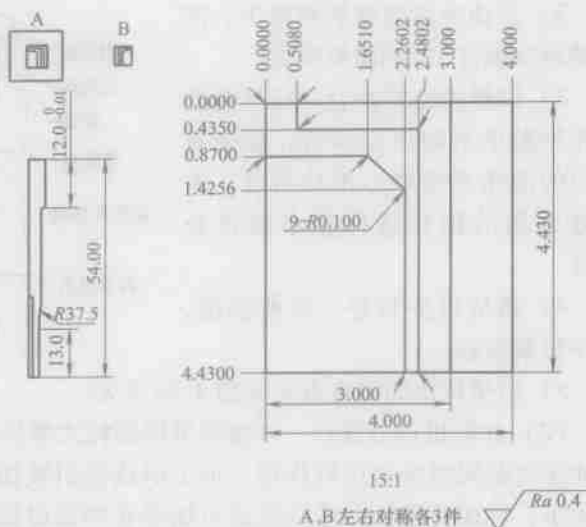


图 4-25 刃口与固定部分连接处

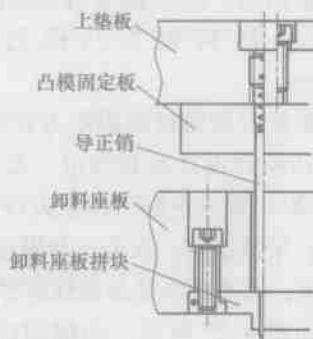


图 4-27 导正机构

2) 凸模固定板经过精密平面磨后,再利用慢走丝线切割再加工出所有固定孔,孔位公差控制在  $\pm 0.005\text{mm}$  以内。由于目前数控慢走丝线切割技术发展水平已相当高,引线框架模具由直槽镶拼式改为框套式的局部镶拼结构,降低了座板对槽的要求。凹模座板、卸料座板需进行淬火处理,硬度为 58~60HRC,淬火处理后还应进行  $-80^{\circ}\text{C}$  的深冷处理,保持 3~4h,然后再进行回火处理,以获得最高硬度和尺寸稳定性。

3) 模具所有的定位孔均要由坐标磨床加工,以保证相对的位置精度要求。

4) 模架是全套模具的基础部分,上、下模座的平行度控制在  $\pm 0.004\text{mm}$  以内,导柱与上模座相应孔采用 H6/h5 配合,导套与下模座相应孔按 0.01mm 间隙配制,并用厌氧胶固定,组装后模具的平行度在 0.005~0.010mm 以内。

## 4.7 模具监测和保护装置

引线框级进模都是在高速压力机上使用,在高速冲压过程中,任何一些细小的故障都可

能引起模具损坏和冲压产品报废。因此,为保证模具安全运行,避免发生意外,在模具上设计检测装置是非常必要的。通常在引线框架级进模上设置材料误送检测装置,其功能主要是:

### 1. 保证合格制件的批量生产

凡是不属于模具本身质量问题而影响制件合格的因素,如送料装置因送料不准造成送料过位或不到位,凸模折断,材料不平整产生的波形等,检测装置都应起作用而发出信号,使压力机滑块停止下行,从而避免产生制件废品。

### 2. 保证模具及设备的安全

当某种原因造成叠料时,如废料的回升,制件未能排走等,检测装置都应发出使压力机滑块停止下行的信号,以免模具损坏和压力机过载。

引线框架级进模具一般利用条料上的导正孔进行检测。在条料送进过程中,检测导正销可以测出因送料不准所造成的过位或不到位现象,同时又可以测出叠料现象。在图 4-28 所示的检测装置中,检测导头的直径比导头小 0.2mm。当送料不准确时,该检测装置就会发出信号,使压力机停机。

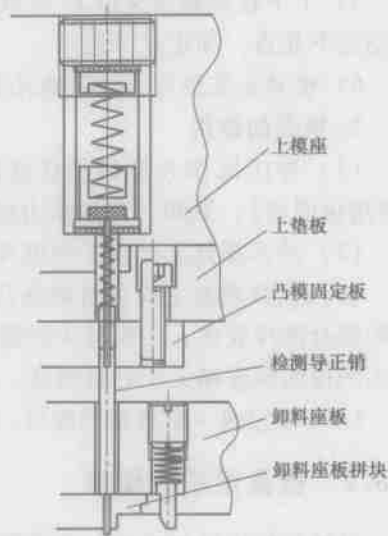


图 4-28 检测装置

## 4.8 高速精密冲压模具的使用与维护

模具的使用寿命,除了取决于合理的模具结构,极高的制造精度,良好的热处理效果以及正确选用压力机等因素以外,正确的使用和维护保养模具是不可忽视的环节。这直接关系到产品质量、生产效率、人身与设备安全和企业的发展。

### 4.8.1 模具的安装与使用

#### 1. 模具的安装

##### (1) 安装前的准备

1) 用油石、揩布清除干净压力机台面和模具上下表面的毛刺、固体黏着物等,抹上防锈润滑油。

2) 调整压力机下死点,使压力机闭合高度大于模具闭合高度,然后把压力机滑块停在上死点位置。

##### (2) 模具的安装

1) 用带有托板的铲车把模具运至压力机前,调整位置将模具完全推入压力机,移动模具,使模具送料方向与压力机送料方向一致。

2) 移动模具,用游标卡尺对模具外边与压力机台面外边进行相对测量,使模具 X 方向中心线与压力机台面 X 向中心线的位置度控制在 0.05mm 以内,并尽可能使模具中心与压力机的压力中心重合一致。

3) 尽量使用手动,调整压力机滑块到下死点位置。

4) 调整压力机滑块,使其紧贴模具,并用螺栓、压板把上模固定在压力机滑块上。

5) 上下往复移动滑块 2~3 次,使上、下模处于良好的对合模位置,将压力机滑块移动至下死点,固定好下模。

6) 模具安装结束,空运转几分钟,无异常后再进入生产。

## 2. 模具的使用

(1) 冲压操作人员必须认真阅读放料机、校平机、送料机、高速压力机、收料机的《使用说明书》,熟知《高速压力机操作维护规程》,并能熟练操作。

(2) 冲压操作工必须了解模具的结构和特点,并能熟练安装、调整、使用和拆卸。

(3) 模具调整主要是指调整凸模进入凹模的深度和压印的深度。调整的原则是,各处压印符合图样要求,凸模进入凹模的深度以能冲下材料即可。有时为了防止废料上跳,凸模进入凹模的深度略大于材料厚度。

(4) 每完成一定数量冲次后,应清除吸尘器中的废料。

## 4.8.2 模具维护的要领

引线框级进模的维修,必须做到细致耐心、按部就班,详细询问故障过程,根据故障性质及模具结构决定如何修理,切忌盲目从事。

### 1. 拆卸模具

(1) 因故障拆模时,须附有料带,以便问题查询。

(2) 由于上模板与卸料板之间布置卸料弹簧,装拆卸料板时,用力要均匀,以防卸料板倾斜造成模具内的凸模折断。

(3) 打开模具,对照料带,检查模具状况,找出故障位置,分析故障原因,确定维修方案,然后清理模具,清洗掉料屑,再拆开模具。

### 2. 凸、凹模的维护

1) 引线框架级进模一次刃磨使用寿命为 80 万冲次左右,至此应对凸模、凹模、拼块刃口进行刃磨,应避免模具刃口零件过度使用,过度使用反而缩短模具寿命。

2) 当凸、凹模单件损坏时,应单独刃磨。

3) 凸、凹模拆卸时,应留意其在模具中的原始位置,以便后续装配复原。

4) 更换已断凸模时,应查明原因,同时检查凹模拼块和型腔内是否有废料堵塞,凹模是否已经出现崩刃,是否需要磨削刃口。使用新凸模或凹模拼块时,要注意间隙是否合适,尤其是转角部位。

5) 更换凸模时,应对照排样图,看清位置、方向,注意凸模通过卸料板是否顺畅,同时检查固定部位与固定孔的尺寸是否相配;当凸模维修后长度变短时需加垫片,达到需要长度时应检查凸模有效长度是否足够。

6) 组装凹模拼块,应水平置入凹模座板,再用较平的铁块置于拼块上面,用铜棒将其轻轻敲到位,切不可斜置而强力敲入;凹模拼块下面加设垫片应平整,一般不应超过两片,且尽可能使用钢垫片,否则容易引发凹模拼块断裂,或成形尺寸不稳定(特别是弯曲成形);垫片的漏料孔不能影响废料下漏。

7) 凸模、凹模拼块组装完毕,应对照条料进行必要检查,各部位是否装错或装反;检查凹模拼块是否倒装,最后将卸料板置于凹模面上,用所更换或拆卸凹模拼块所对应的凸

模,以手工切纸方式判断所装凸凹模间隙是否合适,确认无误后才能合模。

### 3. 模具间隙的调整

凸、凹模间隙不合适或不均匀,会造成冲断面形状变差,凸模易断,产生毛刺等,可通过对冲切后断面状况检查,作适当的间隙调整。间隙适当时,断裂面光亮带均匀,冲裁毛刺小,冲压的引线框质量高;间隙过小时,断面光亮带增加,毛刺也会加大,冲压的引线框质量降低;间隙过大时,断面圆角带增加,光亮带变窄,毛刺较大,冲压的引线框质量降低。如果通过移位仍不能调整至合适的间隙,则应对相关件进行研磨,调整好以后作好记录。

### 4. 卸料板的维护

1) 注意做好卸料板螺钉的锁紧确认,以便获得足够的锁紧力。锁紧时应从内到外,平衡用力、交叉锁紧,不可一次锁紧某一个螺钉,再一次锁紧另一个螺钉,否则会造成凸模断裂或降低模具精度。

2) 卸料板的拆卸,可用两把螺钉旋具平衡撬起,再用双手平衡使力将其取出。遇拆卸困难时,应检查模具是否清理干净,锁紧螺钉是否全部拆除,是否因卡料等引起模具损伤。须查明原因,再做相应处理,切不可盲目。

3) 组合卸料板时,先将凸模及卸料板清理干净,在内导柱及凸模的导入处加润滑脂,将其平稳放入,使用橡胶锤或铜棒平衡敲入至适当位置,再用双手压到位,并反复几次。如果太紧,应查其原因,导柱和导套的导向是否正常,各部位有否损伤,新换件是否已做适当的处理(如凸模是否能通过卸料板,卸料板入口处是否倒角等),查出原因,再作适当的处理。

4) 卸料板与凹模之间的材料接触面,长时间冲压会产生压痕(卸料板与凹模间容料间隙一般为料厚减 $0.03 \sim 0.05\text{mm}$ ),当压痕严重时,会影响材料的冲压精度,造成产品尺寸异常、不稳定等,需要对卸料板拼块和卸料固定座板进行维修或重新研磨。

5) 限位套筒应作精度检查,不等高会导致卸料板倾斜,其精密导向、平稳弹压功能将遭到破坏,必须加以维护。

### 5. 导向部位的检查

1) 导柱、导套配合间隙如何,是否有烧伤或磨损痕迹,模具导向的给油状态是否正常,应作检查。导向件磨损及精度降低,会使模具的精度降低,模具各个部位出现问题,因此必须作适当保养和定期维护。

2) 检查导料件的精度,若侧挡料块磨损,条料的基准导向精度破坏,必须进行更换。

3) 检查弹簧情况,是否断裂,或长时间使用虽未断裂但已疲劳失效,必须进行定期的维护或更换,否则会对模具造成损伤或致生产不顺畅。

日常生产中,应注意封存模具正常生产时所用的料带,如遇到后续生产中发生问题无法确认是模具原因还是原材料问题时,可作为模具检修的参考。

## 4.8.3 模具常见故障的排除

### 1. 打痕

碎屑黏附在模具表面或模具与材料接触表面不平整,在引线框上造成的压痕,俗称“打痕”。这是引线框冲压过程中的普遍现象,一般情况下是用压缩空气吹掉或用金刚石油

石研磨即可消除。

## 2. 废料上跳

在冲压生产中,废料上跳至凹模表面,使产品产生印痕、碎屑、乃至叠料和错位等缺陷,严重者导致凸、凹模受力不平衡而折断或崩裂,该现象尤其在新模具试冲阶段和接近模具寿命终了阶段出现比较频繁。常见的废料上跳原因及解决方法有以下几种:

1) 简单形状的凸模,如圆形和方形,改善凸模形状,将凸模刃口面尽量做成不易跳屑的形状。

2) 冲裁间隙大,材料拉应力增大,分离后应力恢复,造成废料形状尺寸小于凹模型孔尺寸,应当重新制作凹模并调整冲裁间隙。如果只是偶尔产生废料上跳,可以在凹模腔内“开小槽”,增加废料与漏料孔的摩擦力。

3) 凸模与材料的接触一直处于真空状态,冲压结束,凸模回程,废料被真空吸附带出,可考虑用真空泵吸废料,大的凸模可以加吹气孔。

4) 单侧冲裁产生废料上浮,在不冲裁的一侧增加尖角挤住废料。

5) 凸模磨损后,料屑附着于凸模上引发跳屑,需研磨凸模刃口。

6) 凸模进入凹模刃口太浅,产生跳屑,可将凸模增长,增加进入凹模的长度。

另外,材质的影响(如硬性、脆性),刃磨后没有充分退磁,冲压油过黏或油滴太快造成的附着作用,及冲压振动产生料屑发散等,这些都应尽量避免。

## 3. 冲切面毛刺异常

刃口磨损或崩刃,应重新研磨。刃口的研磨量应以开出新的刃口(磨损部分已全部去除)为准。刃磨后给凸模或凹模垫上相应厚度的垫片,凹模拼块的垫片不能影响落料。凸模应注意工作部位的有效长度,凹模经过多次刃磨后,应当检查刃口直壁是否已被磨去,如没有刃口直壁则更换凹模拼块。

模具间隙不合适或不均匀,即使重新研磨刃口,效果也不佳,很快又出现毛刺,须检查冲切断面形状,确认后作出适当的模具间隙调整。针对一些清角或细小突出部位将间隙适量放大。

## 4. 废料堵塞

在冲压生产中,如果出现漏料孔堵塞,一旦堆积过多而造成废料上跳,很容易造成凸模折断或凹模胀裂,要防止漏料孔堵塞,保证漏料顺畅,一定要控制好漏料孔的尺寸大小。

1) 对于一些细小突出部位,漏料孔可适当放大。

2) 对于废料翻滚造成的漏料孔堵塞,要减小漏料孔尺寸,或在凹模座板强度允许的条件下放大漏料孔尺寸。

3) 料面滴油太多,有的黏度过高,可控制滴油量或更换油的种类(降低黏度)。

4) 刃口磨损,废料毛刺相互勾挂,落料时发生挤屑,有可能胀裂凹模,需及时研磨刃口或更换凹模拼块。

5) 凹模拼块刃口表面不良,如表面粗糙或模具过热时,粉末烧结于直刃部分表面,使料屑排除时摩擦阻力增大,需对凹模直刃部分表面进行处理。

6) 凸模形状及凹模漏料斜度不利于排屑,应进行相应地改善。

7) 性质黏、软的材料也会造成排屑困难。

在模具设计时,应给予漏料孔足够的重视,凹模座板漏料轮廓应比凹模拼块漏料轮廓

大,下模板漏料孔应比凹模拼块漏料孔轮廓大,比压力机的漏料孔小,以保证废料最终滑入压力机漏料孔。

#### 5. 卡料(侧弯)

严重的卡料会导致模具损坏、断裂、崩刃,使模具工作失去平衡,精度严重受损。主要有以下几种原因和措施:

- 1) 送料方式及送料步距和材料放松位置未调整好,需作正确调整。
- 2) 生产过程中送料步距发生变异,须重新调整。
- 3) 材料的宽度尺寸或材料侧弯超差,毛刺过大,应更换材料。
- 4) 模具安装不当,与送料机构垂直度偏差较大,需重新调整模具。
- 5) 模具与送料机构相距较长,材料较薄,材料在送进过程中翘曲,使送料步距不准,可在空挡位置加设上、下压板,材料上、下加设弓料安全检测开关,当送料异常时能及时停止冲压。

6) 模具顶料、卸料不佳,检查是否顶出弹力不足,顶出过长,顶出处理不佳,仔细观察再采取相应的对策。

#### 6. 凸模断裂

- 1) 凸模强度差,缩短工作部分有效长度,卸料板拼块开让位槽来保护导向,提高凸模抗弯、抗折性能。
- 2) 各种因素引起的跳屑(模具内有异物)、废料阻塞及卡料均导致凸模断裂。
- 3) 开始送料时,模具导向不准或卸料拼块导向部位磨损,需作定期维护。
- 4) 凸模所选用的材质不恰当。
- 5) 大、小凸模相距较近,受材料牵引引发凸模断裂,须加强引导保护,或适当缩短小凸模进入凹模深度。
- 6) 冲压间隙偏小,需加大。
- 7) 冲压油选用不当(挥发性强)或无冲压油进行冲压,导致刃口磨损加剧或凸模崩刃、断裂等,需要换油品种类并控制冲压滴油量。

#### 7. 加工零件变形

1) 引线框架的横向弓弯、水平偏摆,应在设计中予以考虑,根据零件的实际情况加以矫正。

2) 刃口磨损,使废料尺寸变化,毛刺太大时可能引发后续折弯发生变异,需研磨或更换。

3) 送料及导料不准,料带未及时放松,或导正销尺寸小而无法准确导正,需要重新调整送料长度及放松时间,或更换导正销。

4) 模具成形定位尺寸不准,精度较差或磨损,造成冲压件尺寸变化,需重新研磨或更换。

5) 材料滑移造成折弯或冲裁时变化(翻料、偏心、形状不对称等),需注意调整压料,且前段下料毛边不可大,否则对后续成形产生不利影响。

6) 卸料板与材料的接触面在冲压中产生压损、磨损,导致成形尺寸变化及形状不良,需重新研磨。

7) 材料机械性能的变异,宽度厚度尺寸误差,引发成形件尺寸变化,需对进料状况进

行适当的控制。

另外, 模具让位孔过小, 顶出不佳等, 均会导致加工成形变异, 视具体情况克服。

#### 8. 模具维护保养不当

该换的不换, 该修的不修, 螺钉未拧紧, 组装错误或未按原状复原, 将会导致严重的模具损坏, 必须加以注意防范。暂时不用的模具须涂防锈油。

总之, 在模具维修过程中, 应多注意细节, 以防损伤模具, 针对引线框级进模在冲压生产中出现的故障, 需做到具体情况具体分析。模具维修中常被忽视的地方, 如模具的导向精度、导料精度及模具内弹簧使用情况, 会影响到模具的其他各个部位, 必须进行定期的检查与维护。在生产中积累和制定合理的模具维修数据, 实施定期的维护保养, 把模具事故消灭于萌芽状态, 从而达到延长模具使用寿命, 降低生产成本的目的。

## 4.9 引线框架高速精密冲压模具的发展趋势

引线框是微电子产业中的基础件, 而引线框冲压模具制造是整个环节中最基础的要素之一, 引线框级进模是“三高”模具的典型代表, 引线框级进模的制造技术现已成为衡量一个国家产品制造水平和发展程度的重要标志之一。我国从 20 世纪 80 年代初期通过引进、消化、吸收, 开始研制高速度、高精度、长寿命的引线框架级进模, 经过近 30 年的努力, 目前已具备大部分中低档引线框架级进模的制造能力, 但与发达国家相比还有相当大的差距, 尤其是高端引线框架级进模还依赖进口。目前, 引线框架向短、轻、薄, 高精细度多引脚、小间距及多排方向发展, 促使冲压引线框架的级进模正在向更长寿命、超精密、大型化方向发展, 具体体现在以下几个方面。

#### 1. 向超精密方向发展

十年前用量最大的 DIP、SIP 封装引线框架, 引线脚间距为 2.54mm, 材料厚度为 0.254mm。如今主流产品为 SOP、QFP 封装, 引线框架的引线脚间距为 1.27mm、0.8mm, 最小的间距只有 0.3mm, 材料厚度为 0.2 ~ 0.08mm, 对于冲压引线框架的级进模来说, 凸凹模之间只有双面间隙 0.006 ~ 0.003mm, 凸模的宽度在 0.1 ~ 0.2mm 左右, 因此整副模具必须具有极高的精度, 才能保证冲压出合格的引线框架。

#### 2. 向更长寿命发展

高速压力机用引线框级进模本身就是长寿命模具, 一般刃磨一次的使用寿命为 100 万冲次左右, 总寿命在 3000 万冲次左右。由于模具越来越复杂, 精度越来越高, 模具的制造费用相当高, 而引线框架的价格却越来越低, 刃磨一次 100 万冲次左右的使用寿命, 对于引线框架制造企业已经难以接受。超精密引线框架级进模不仅对工作零件的加工精度提出了更高要求, 同时对模具的导向精度和导向件的寿命也提出了更高要求, 期待开发比硬质合金更耐磨、更稳定的模具材料。

#### 3. 向大型化发展

一方面, 由于封装向高效率、低成本发展, 几年前的引线框基本上是单排, 最多是双排, 目前上规模的封装企业基本上使用 5 排、8 排甚至 12 排、16 排的引线框架, 因此制造引线框架级进模需要越来越大, 前几年大部分引线框架级进模的长度都在 700mm 左右, 如今大部分集成电路引线框模具都要超过 1000mm。另一方面, 由于引线框架的腿数越来越

多,引线脚越来越精细,而对引线框架内引线的位置度、共面性要求越来越高,仅凭单纯的冲裁已经无法达到引线框架的技术要求,因此在模具上都必须设计相应的矫正工步,从而也使模具越来越大型化。

#### 4. 模具的工作零件加工向精密电加工和精密磨削相结合方向发展

过去引线框架级进模都必须采用直槽全镶拼结构,通过精密磨削加工来达到零件的加工精度。目前数控慢走丝线切割技术发展水平已相当高,功能相当完善,自动化程度已达到无人看管运行的程度,最大切割速度已达  $300\text{mm}^2/\text{min}$ ,加工精度可达到  $\pm 1.5\mu\text{m}$ ,加工表面粗糙度  $Ra$  为  $0.1 \sim 0.2\mu\text{m}$ ,尤其是直径为  $0.03 \sim 0.1\text{mm}$  的细丝线切割技术的开发,可实现凹凸模的一次切割完成,并可进行  $0.04\text{mm}$  的窄槽及半径  $0.02\text{mm}$  内圆角的切割加工,另外锥度切割技术已能进行  $30^\circ$  以上锥度的精密加工。因此,现在大部分引线框架级进模的设计都采用框式的局部镶拼结构,精密加工的方式从单一的精密磨削加工,转变为精密线切割和精密磨削相结合的精密加工。这样不仅可以密集排样,缩短冲裁工步数,腾出更多的工步用于引线框架的矫正,而且可以缩短模具制造周期,降低模具的制造费用。

### 4.10 引线框架高速精密冲压典型生产实例

以 TO-220 为例,介绍 TO-220 引线框的级进模设计和冲压过程。

图 4-29 所示为 TO-220 引线框产品图。

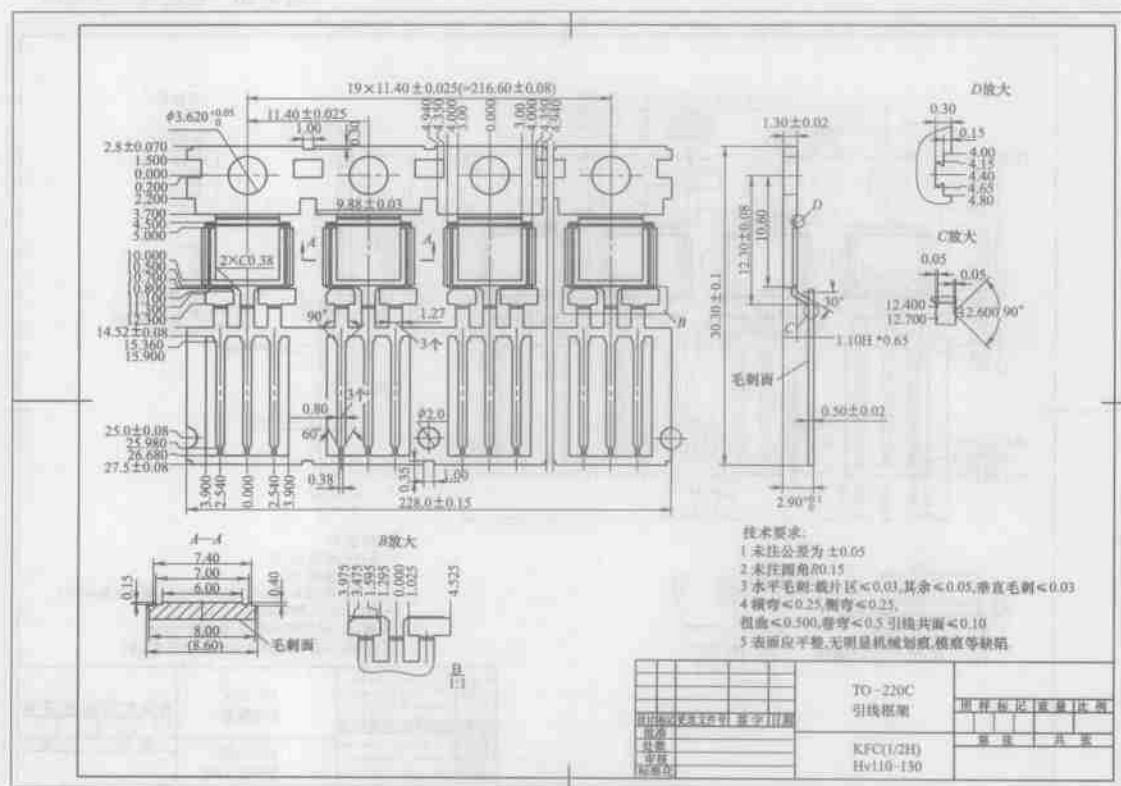


图 4-29 TO-220 引线框产品图

## 1. 模具设计

模具设计的流程如图 4-30 所示。

(1) 分析产品图 该产品为成熟冲压产品, 完全符合冲压工艺要求, 可直接进入工序分解。

(2) 工序分解 该产品主要由冲裁、压防水槽、散热片压台阶、内引线精压和打弯工序组成。该引线框需要局部镀银, 打弯后的引线框电镀难以掩膜, 故在级进模设计时不考虑打弯, 而在电镀完以后再进行切断打弯。

(3) 确定工艺方案 首先安排压防水槽工序, 以保证冲裁后引线的尺寸要求和位置要求。其次安排冲裁、内引线精压、压台阶各工序。该引线框材料为厚薄料, 对厚料部分两次冲裁, 粗冲和精冲, 以减少冲裁毛刺, 获得较小的冲裁塌角。为了提高效率和材料利用率, 零件冲压采用双排设计, 一工步冲四个产品。此外, 在模具上设计侧刃, 以满足冲切后引线框条侧弯的要求。

(4) 绘制产品展开图 根据展开尺寸计算, 结合经验, 确定产品的展开图 (见图 4-31)。

(5) 绘制排样图 根据确定的工艺方案, 最后确定冲压排样图 (见图 4-32)。

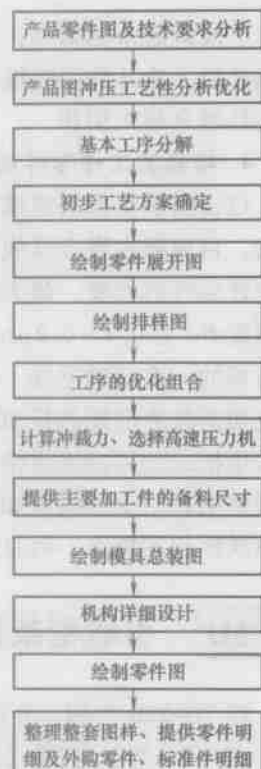


图 4-30 模具设计流程图

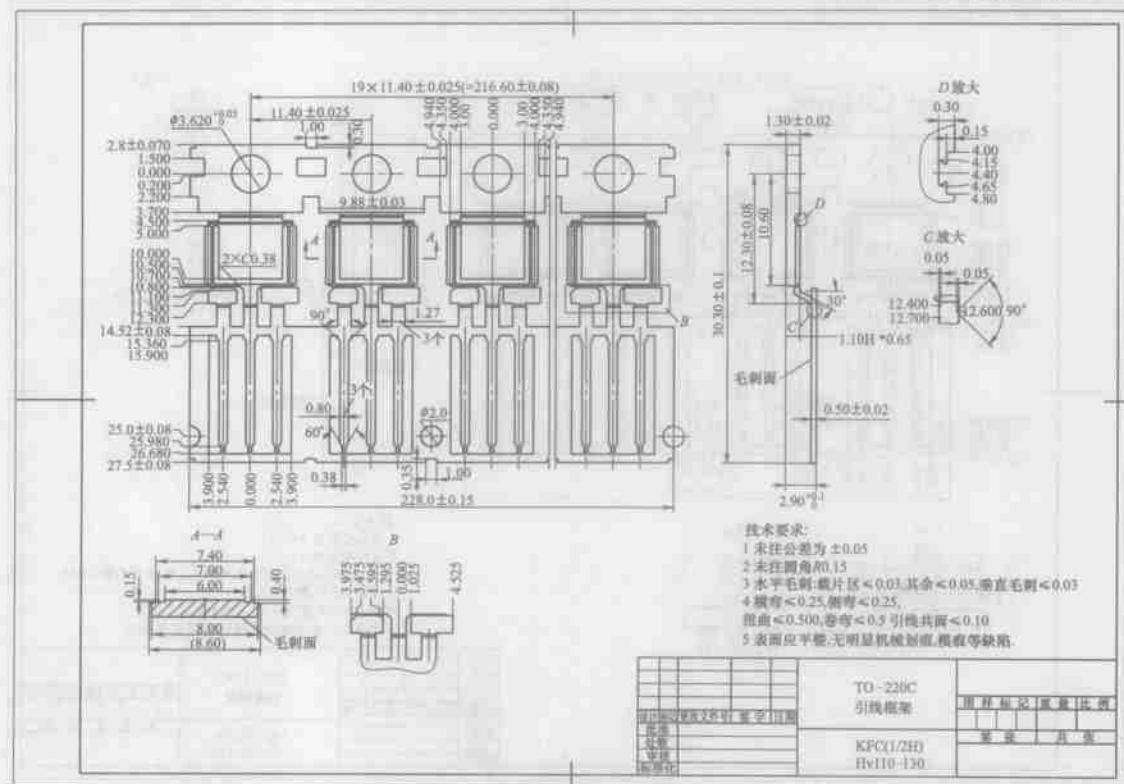


图 4-31 TO-220 引线框展开图

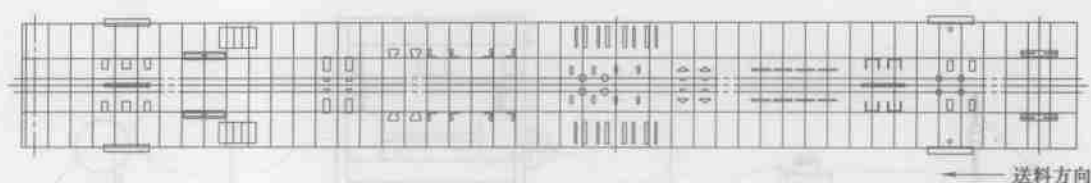


图 4-32 TO-220 引线框排样图

(6) 工序的优化组合 根据经验,最后确定图 4-32 排样图所示的组合工序。

(7) 计算冲裁力

板料厚度:  $t_1 = 1.30\text{mm} = 0.0013\text{m}$ ,  $t_2 = 0.50\text{mm} = 0.0005\text{m}$

冲裁周边长度:  $L_1 = 62.713\text{mm} = 0.062713\text{m}$ ,  $L_2 = 187.865\text{mm} = 0.187865\text{m}$

冲裁力  $p_{\text{冲}}$ :  $p_{\text{冲}} = 1.3L\tau t$

$$= (1.3 \times 0.062713 \times 280 \times 0.0013 \times 2 + 1.3 \times 0.187865 \times 280 \times 0.0005) \times 4 \\ \approx 0.094\text{MN}$$

(8) 选择高速压力机

$$1\text{MN} = 100\text{tf}, 0.094\text{MN} = 9.4\text{tf}$$

根据理论经验值,压力机吨位一般选择冲裁力 5 倍以上,因此选 60t 压力机足以满足冲压生产需要。

## 2. 模具制造

模具设计完成后,对相应的加工零件编制相应的加工工艺,然后投料、制造。模具制造的流程如图 4-33 所示。

## 3. 试模

模具装配完成后进入试模环节。试模主要有以下目的。

(1) 鉴定模具的质量 验证该模具的制造质量是否符合图样设计要求,确定该冲压模具能否交付生产使用。

(2) 帮助确定产品的成形条件和工艺规程 通过试冲与调整冲压模具,生产出合格产品。通过试冲生产,可以掌握和了解冲压模具的使用性能,产品成形的条件、方法和规律,有助于制定产品批量生产的工艺规程。

(3) 通过调试,发现问题,解决问题,积累经验。

引线框级进模一般要能连续冲压 15 万冲次以上,才能认为试模通过,可以交付使用。

## 4. 冲压生产

TO-220 引线框正常冲压生产,除了需要模具和高速压力机外,还必须配有放料机、校平机、收料机等辅助装置。整条冲压生产线如图 4-34 所示,冲压工序流程如图 4-35 所示。

(1) 装料 将材料安全可靠地放置在卧式放料机的平台上,或立式放料机的料架上,去除材料的包装纸。对于立式放料架,放料转向与料架一致,放料头在下方,毛刺面向下。

(2) 材料校平 先将校平机轧辊完全松开,剪长度 1m 左右的待冲材料将其穿入校平机,调整轧辊,同时将材料沿送进方向拖动,感觉材料均匀地被校平机压紧,要求校平后 1m 长材料自由下垂,平直无扭曲,侧弯偏差  $< 0.2\text{mm}/1000\text{mm}$ ,横弯偏差  $< 0.05\text{mm}$ 。



图 4-33 模具制造流程图

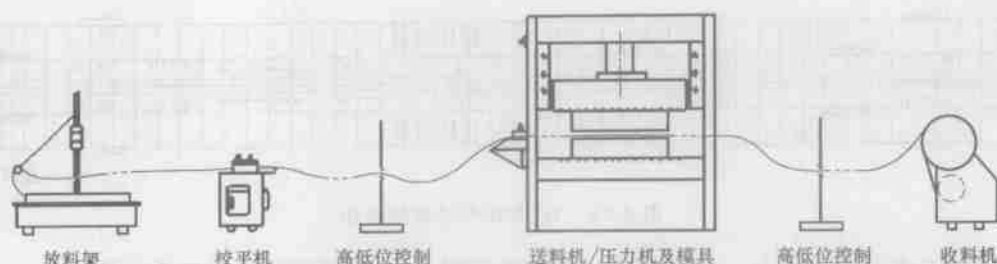


图 4-34 TO-220 冲压生产线

(3) 步距调整 根据模具的送料要求,调整好压力机送料机的送料步距及夹紧力,并检查送料的夹紧和放松时间是否与压力机匹配。

### 5. 模具安装

1) 确认安装模具是否是 TO-220,同时测量模具的闭合高度。  
2) 用手动或寸动调整压力机滑块,使滑块处于下死点位置。

3) 将压力机的闭合高度调至大于模具闭合高度 5cm 左右;清理模具底部及压力机工作台面,并在压力机的工作台面上适当抹些机油,然后将模具安全地推入压力机工作台面。

4) 确认模具的安装位置,保证模具的漏料孔在压力机漏料孔范围内,模具的承料板与送料机的承料架有 2cm 以上的间隙,并调整模具与工作台面的前后距离一致。

5) 调整压力机的闭合高度,使压力机滑块下平面与模具上模座贴合,用固定螺栓将模具上模座与压力机滑块固定。

6) 点动压力机抬起上模,观察模具间是否有异物,无异常后连续点动压力机,使模具滑动处于良好状态,然后用固定螺栓将模具下模座与压力机工作台面固定,点动几下无异常后将模具与压力机充分锁紧。

### 6. 试冲

取一小段薄纸置于有冲裁刃口的凹模表面,进行点冲,调节压力机闭合高度,使试纸刚好发生冲裁,取出试纸,再下调压力机滑块,使冲裁凸模进入凹模的深度在 0.3mm 左右,然后剪一小段材料垫在模具最末端(没有冲裁工作的部位),手动送料进行单步点冲,待接近所垫的材料位置时,取走所垫材料,进行自动送料点冲,点冲正常后便可转入连冲。

### 7. 自检

冲压操作工必须对所冲出的引线框架进行自检,自检的内容主要有:与合格引线框对比图形完整性,目测引线框架的横弯、翘曲、扭曲、侧弯、打痕、毛刺、压印等情况,初步判断引线框合格后送专检。

### 8. 专检

由引线框专业检验员对操作工初步判断合格后的引线框,按照 TO-220 引线框图样和《引线框通用检验标准》进行全面检测,符合要求后通知冲压操作工可以进行正常生产。



图 4-35 TO-220 冲压工序流程

### 9. 冲压

冲压操作工接到专检人员引线框检验合格的通知后开始正常冲压。

### 10. 入库

每班交接时,对本班次冲压的产品要进行入库登记。

### 11. 冲压注意事项

在引线框冲压生产中正确的使用冲模,对于引线框级进模的使用寿命、工作的安全性、引线框的质量等有很大影响。为此对模具的拆卸与安装、搬运、定期刃磨、各部件精度的控制、模具的润滑与清洁、辅助设备的操作等,必须引起足够的重视。特别要注意以下几点。

(1) 合理的周期性刃磨 尽管模具没有任何损坏,但长时间的连续冲压会使刃口逐步变钝。当刃口磨损到一定程度时,产品就会出现毛刺大、卷弯大、精度降低等现象。尤其是当冲裁次数达到一定极限后,模具磨损会突然加大,如不及时刃磨,模具磨损会变得非常快,需要的冲裁力也会显著增加,从而导致产品质量下降,最终会导致模具再次刃磨时要磨去很多才能磨出刃口,严重的会导致模具报废。所以当毛刺增大时,尽管在公差范围之内,但也一定要进行刃磨,刃磨后还要用油石研磨。

(2) 预防模具损坏 导致模具寿命缩短最大的因素是疏忽大意,操作失误。因此在操作过程中必须遵守以下几条。

1) 严格按操作规范操作。

2) 运行前务必检查模具的情况,确认模具是否经过维修,是否有松动点等。

3) 仔细检查模具安装是否正确,上下模是否倾斜,模具内是否有异物等。

4) 送料不当会导致模具损坏,所以在冲压前一定要检查送料是否准确,是否顺畅。

5) 残留和上跳在模具表面的废料,不仅使冲压的引线框产生废品,而且会损坏模具。发现废料上跳必须及时停机清理,若清理后继续出现废料上跳,就必须进行模具维修。

(3) 冲压过程中应适当加注润滑油 在冲压工艺中润滑油的作用不能忽视,在冲压瞬间,材料产生塑性变形,并且急剧发热。因此压力机在无润滑或相似情况下运行会导致剪切面粗糙,这样会引起模具的非正常磨损和擦伤等,使模具寿命降低,甚至导致模具报废。

## 4.11 引线框架高速精密冲压发展趋势

近几年来,随着国内市场需求增长以及全球半导体领域产业向我国转移,我国集成电路行业得到了较快的发展。从2000年到2007年间,我国集成电路产量和销售收入年均增长速度超过30%。虽然2008年第三季度爆发的全球经济危机波及实体经济后,国内外半导体市场出现大幅下滑,致使2008年和2009年我国集成电路产业的销售收入出现负增长,但是随着国家拉动内需政策的迅速制定与深入实施,以及国际市场环境的逐步好转,国内集成电路产业在2009年第二季度开始出现增长趋势,目前我国集成电路产业整体仍呈高速发展趋势。相对IC设计、芯片制造业而言,封装测试行业具有投入资金较小,建设快等优势,因此,许多发展中国家和地区都是先发展封装测试业,积累资金、市场和技术后再逐步发展IC设计业和芯片制造业。我国在集成电路领域首先发展的即是封装测试业,由于具备成本和地域优势,我国半导体封装测试企业快速成长,同时国外半导体公司也向中国大举转移封装测试产能,目前我国已经成为全球主要封装基地之一。从2000年开始,我国的引线框架制造业

也随着我国半导体封装业的高速发展,出现了高速发展的态势,尤其是中低档次的冲压引线框架在我国基本上实现了国产化,但是我国的引线框架制造水平与发达国家相比仍有较大差距,特别是高端集成电路冲压引线框架还没有形成规模化生产,还主要依赖进口。当前引线框架冲压正在向以下几个方面发展。

### 1. SOP/TSOP、QFP 等产品,仍是未来 5~10 年需求最大的产品

集成电路的高集成化、多功能化促使引线框向多脚化,小间距发展,集成电路采用 BGA、CSP 封装方式发展速度很快,应是未来发展趋势。但是由于市场的多样性,目前国内集成电路封装 90% 以上仍采用引线键合方式,引线框架需求仍然快速增长,尤其是国内市场, SOP/TSOP、QFP 等产品仍是未来 5~10 年需求最大的产品。

### 2. 引线框架向多排、矩阵、小基岛、交叉排列方向发展

随着中高档封装形式(SSOP、TSOP、QFP、TQFP、PBGA 等)引线框市场需求的不断增长,要求封装具有更高的效率和更低的成本,于是引线框的设计不断向多排、矩阵、小基岛、交叉排列方向发展。目前国内多排的引线框架主要供应  $70 \times 250\text{mm}$  以下,而国外厂商主要适用的框架片宽都是  $70 \times 250\text{mm}$  以上,以后会朝着  $90 \times 290\text{mm}$  的片宽设计。冲压朝着深打凹、引线小间距方向发展,目前国内供应的框架引脚间距在  $3.9\text{mil}^\ominus$ ,引脚宽在  $4.3\text{mil}$ ,而国外厂商要求引脚间距最小  $3.6\text{mil}$ ,引脚宽最小  $3.8\text{mil}$ 。高档引线框架目前依然依赖于进口,特别是细间距、多引脚产品。

### 3. 引线框架材料向低价格和高性能两个方向发展

在激烈的市场竞争中,许多制造企业都想方设法降低制造成本,降低成本的最有效的途径就是压低原材料的采购价格,半导体封装企业亦是如此。引线框是封装的主要结构材料,占整个封装材料成本的 40% 左右,因此,近年来世界各工业先进国家都在开发比铜系材料价格更为低廉的铁系引线框材料,以满足低成本封装的要求。此外,随着电子产品日益追求小型化、薄型化、轻量化、多功能化,促使引线框架向薄型化发展。目前占封装主流的 SOP/TSOP、QFP 封装用引线框架的材料厚度都在  $0.20\text{mm}$  以下,最薄的引线框架材料厚度在  $0.10\text{mm}$  以下。因此开发高性能的超强型引线框架材料是一个重要的发展趋向。

### 4. 冲压引线框架向高品质方向发展

封装都是采用高速自动化生产线,先将引线框架的机械位置等数据输入到设备中,然后设备按照输入的数据进行快速自动化生产,如果机械位置不一致,就会报警、停机。尤其是键合工序,目前键合机的键合速度是大于 20 根线/s,是几年前的 4~5 倍,这样高的键合速度,对引线框架的内外引脚和小岛的共面性要求非常高,只要引线框架的位置度或者共面性超出允许范围,键合机就会出现报警停机,也可能出现键合后断丝等问题,产生大量的不合格品。

### 5. 引线框架冲压模具向高精度、高效率、高寿命方向发展

随着引线框架向短、轻、薄,高精细度多引脚、小间距及多排方向发展,对引线框架冲压模具的精度要求越来越高,模具变得越来越复杂,开发成本非常高,这促使引线框架冲压模具必须具有更高的生产效率和更长的使用寿命。

$^\ominus 1\text{mil} = \frac{1}{1000}\text{in} = 0.0254\text{mm}。$

## 6. DIP64pin 等高线位引线框架冲压由两台以上的高速压力机组合完成

由于引线框架的引线脚越来越精细,封装对引线框架内引线的位置度、共面性等要求非常高,单纯的冲裁已达不到引线框架的技术要求,尤其是高腿数的 DIP 引线框架,如果冲压模具没有设计相应的引线矫正工步,那么该模具是无法冲压出合格的引线框架的。因此,引线框级进模要有很大一部分内容对引线进行矫正,使得模具越来越大。但由于受到模具制造和冲压设备的限制,模具不能无限大,目前模具的长度需控制在 1200mm 以内。现在国外流行的解决方案是,用 2 副模具和 2 台高速压力机(甚至更多)组合在一起,共同完成 DIP64pin 等高线位引线框架冲压。

## 7. 引线框架检测向自动检测方向发展

对于价格很高的高线位引线框架,如果采用传统人工检测,当冲压的引线框一旦出现异常,往往造成批量性废品,甚至会造成昂贵模具的损坏,损失将会很大。高线位引线框架用传统检测方法已远远不能适应,现在国外已开始采用非接触式的光、机、电、影像等综合检测技术手段,并将这些检测装置配置在冲压生产线上,从而实现在线快速自动化检测。未来引线框架的在线检测将朝着快速、精准、高效、智能的方向发展。

## 参 考 文 献

- [1] 中国锻压协会. 国内外集成电路封装及内部框图图集 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [2] 师阿维. 铜加工及引线框架材料的研究开发现状 [J]. 铜业工程, 2011 (2): 42-44, 61.
- [3] 王涛. 论铜合金引线框架材料研究方向 [J]. 有色金属加工, 2010, 39 (1): 4-8, 16.
- [4] 王焰. IC 引线框架材料的发展动向 [J]. 金属功能材料, 1995 (2): 16-20.
- [5] 集成电路用铜基引线框架材料的发展与展望 [J]. 材料导报, 2007, 21 (7): 24-27.
- [6] 涂思金、闫晓东、谢水生. 引线框架用铜合金 C194 的组织性能研究 [J]. 稀有金属, 2004, 28 (1): 199-201.
- [7] 杨攀. IC 引线框架产品简介及其模具设计和制造 [J]. 模具制造, 2003, 26 (9): 22-24.
- [8] 夏立戎, 葛岚群. 模具技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [9] 薛仰荣. 高速冷冲压模具的研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2009.
- [10] 王信友. 冲压工艺与模具设计 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [11] 罗百辉. 冲压模具技术问答 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [12] 刘庚武. 冷冲压模具设计 [M]. 2 版. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2011.
- [13] 肖景容, 姜奎华. 冲压工艺学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.

## 第5章 电连接器高速精密冲压技术

### 5.1 概述

#### 5.1.1 电连接器的定义

电连接器是用于两个不同有源器件界面（电、电子机械、光通信）之间信息或能量传递的电子元件，也称插件、插头、插座、插槽等。在电路内被阻断处或孤立不通的电路之间，架起沟通的桥梁，从而使电流流通，使电路实现预定的功能。由此可以方便地把电子元件设计成模块形式，并且把各个部分连接成系统和网络。相对于固定的导线，连接器具有更大的灵活性。在日常生活中，连接器是必不可少的，尤其在汽车工程、通信、数据系统、娱乐设施、家用电器和工业电子仪器领域。

图 5-1、图 5-2 和图 5-3 所示是典型的电连接器。



图 5-1 计算机扩展卡电连接器



图 5-2 手机 MINI-USB 电连接器

#### 5.1.2 电连接器的技术要求和生产方式

应用于电连接器的冲压接触端子、补强焊接板和外壳，是电连接器具备使用性能的核心零件，对其电气性能、机械性能、耐久性和外观尺寸的一致性，都要求较高，大多数制件的批量都很大。由于连续生产及制件电镀和装配的需要，大多采用带料形式和级进模冲压作为主要生产方式，同时要考虑制件的包装和运输防护。

电连接器冲压的技术要求主要有：积累误差、冲裁精度、断面质量、形状精度、外观特性等。由于各制品的生产要素、应用领域和场合等存在差异，实际

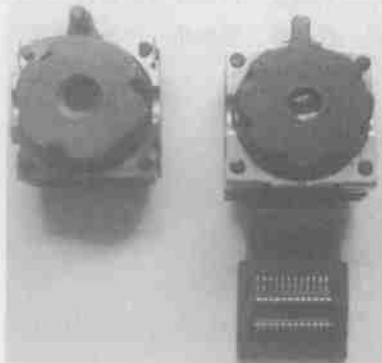


图 5-3 手机摄像头板对板电连接器

上制件的差异较大。电连接器的端子、焊片均为小产品,多采用公称压力 150 ~ 500kN 的小设备生产,一般冲压次数在 300 ~ 800 次/min 之间,技术水平较高的厂家,生产一般复杂程度的制件,有达到 1000 ~ 1500 次/min 的量产纪录。目前,在世界范围内电连接器的最高冲压次数达到 4000 次/min,国内有极少数厂家具有这种装备能力。电连接器外壳等较大的制件采用公称压力 500 ~ 1500kN 的设备生产,通常冲压次数在 50 ~ 200 次/min 之间。

### 5.1.3 电连接器冲压生产流程

电连接器通过多工位级进模具冲压成形实施量产,在有的级进模中,也包含复合铆接或十字交叉复合的工位。材料通过压力机附带的送料机被自动送进。为了改善冲压性能,在材料表面浸上或喷上润滑油,润滑油的选择应考虑后序需要。制件大多采用卷盘自动包装,加层间纸或塑料薄膜。部分制件需进行后清洗处理及自动检测。电连接器冲压生产简要流程如图 5-4 所示。

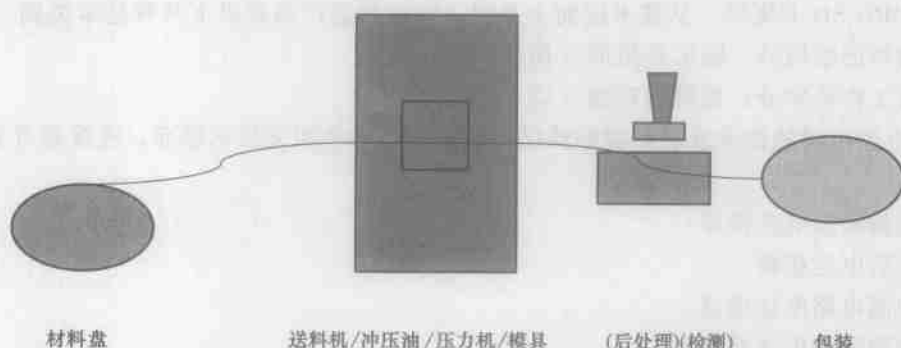


图 5-4 电连接器冲压生产简要流程

## 5.2 电连接器的特点及分类

### 5.2.1 电连接器的特点

电连接器种类繁多,应用广泛,其冲压件更是形态多样。电连接器有以下特点。

(1) 可靠性要求高 由于是子系统之间的电信号连接,当使用在恶劣条件下,如冲击、振动、应力松弛、环境腐蚀等,要求仍能保持可靠性。一般通过电镀处理来保证电连接器的耐腐蚀性。

(2) 精度要求高 常规民用产品的连接器冲压件,一般冲裁精度为  $\pm 0.03\text{mm}$ ,折弯精度为  $\pm 0.05\text{mm}$ ;而高等级冲压件的冲裁精度要求达到  $\pm 0.01\text{mm}$ ,折弯精度要求为  $\pm 0.02\text{mm}$ 。

(3) 耐久性要求高 很多连接器对插拔次数(即使用寿命)有很高要求,如输入输出接口一般要求 5000 次插拔以上,故对材料本身及其冲压过程有严格要求以免损坏,尤其是弹性体制件,不能存在微小的裂纹等。

(4) 随着产品的发展,连接器冲压件的形状更加复杂,体积变小,材料变薄。

### 5.2.2 电连接器的分类

电连接器种类繁多,但均由两组功能组件构成:一组是固定件(阴极),另一组是插入件(阳极)。在接触区域,这两组组件可以形成触点连接。固定件是弹性元件,可设计成不同形式,插入件通常做成刀片形式。大多数接触区域的表面,都涂上贵金属或其合金,以避免环境影响,并使导通电阻很小。

一个基本的电连接器包括四部分:①接触界面。②接触涂层。③接触弹性组件。④连接器塑料本体。图 5-5 所示为 MINI USB 电连接器简图。

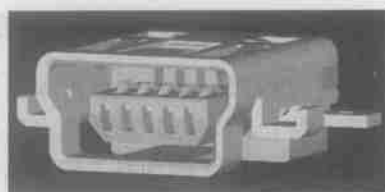


图 5-5 MINI USB 电连接器简图

电连接器通常按应用场合、形状结构、连接特征进行描述和分类。如用于笔记本电脑的 DDR 连接器, MINI PCI 连接器,天线(射频)连接器,USB 连接器, VGA 连接器等;用于手机的板对板 BTB 连接器, SIM 卡座, MICRO SD 卡座等。从技术层面上来说,电连接器产品有以下两种基本类别。

- 1) 按外形结构分:圆形和矩形(横截面)。
- 2) 按工作频率分:低频和高频(以 3MHz 为界)。

鉴于电连接器的技术发展和实际情况,基于通用性和相关技术标准,连接器可分为以下 5 种。

- 1) 低频圆形电连接器。
- 2) 矩形电连接器。
- 3) 印制电路电连接器。
- 4) 射频同轴电连接器。
- 5) 光纤电连接器。

### 5.2.3 电连接器的基本性能

电连接器类产品的基本性能,一般分为三个方面,即机械性能、电气性能和环境性能。

#### 1. 机械性能

就连接功能而言,插拔力是重要的机械性能,分为插入力和拔出力,两者是不同的。对不同的产品,有最大插入力和最小拔出力的要求。从使用角度来看,插入力要小,但拔出力不宜太小,否则会影响接触的可靠性。另一个重要的机械性能,是机械寿命即耐久性,是以一次插入和拔出为一个循环,以在规定的插拔循环后,产品能否正常完成连接功能作为依据。连接器的插拔力和机械寿命与接触件的结构、接触部位的表面质量(滑动摩擦系数),以及接触件排列的尺寸精度有关。

#### 2. 电气性能

主要包括接触电阻,绝缘电阻和抗电强度。

- 1) 接触电阻。高质量的电连接器应具有低而稳定的接触电阻。连接器的接触电阻从几毫欧到数十毫欧不等。
- 2) 绝缘电阻。是衡量电子产品接触件之间和接触件或外壳之间绝缘性能的指标。
- 3) 抗电强度。或称耐电压、介质耐压,是衡量电子产品接触件之间或接触件和外壳之

间耐受额定实验电压的能力。

### 3. 环境性能

常见的环境性能包括耐温、耐湿、耐盐雾、耐振动和耐冲击等。

1) 耐温。目前连接器的最高工作温度为 200℃ (少数高温特种连接器除外), 最低温度是 -65℃。由电连接器在工作时, 电流在接触点处产生热量, 导致温升, 因此一般认为工作温度等于环境温度与接触点温升之和, 某些产品就明确规定了在额定工作电流下允许的最高温度。

2) 耐湿。潮气的侵入会影响电连接器的绝缘性能, 并锈蚀金属零件。

3) 耐盐雾。电连接器在含潮气和盐份的环境中工作时, 其金属结构件、接触件表面有可能产生电化腐蚀, 影响电连接器的物理和电气性能。

4) 耐振动和耐冲击。是电连接器的重要性能, 在特殊的应用环境中, 如航空航天、铁路公路运输中尤为重要, 是检验电连接器机械结构的坚固性和电接触可靠性的重要指标。

电连接器类产品的接触表面通常需要电镀。许多具有良好机械性能 (如可成形性、弹性等) 的金属, 常常不具备优良的导电性、抗腐蚀和抗磨损以及焊接性, 在接触部位增加表面镀层主要是为了改善材料的上述性能, 使产品达到使用要求。镀层通常有钯、钯合金、金、银、镍、铬、锡等。

## 5.2.4 电连接器冲压件的演变

电连接器冲压件是连接器的核心功能零件, 图 5-6、图 5-7 和图 5-8 所示是电连接器中具有代表性的冲压件。



图 5-6 外壳示例图

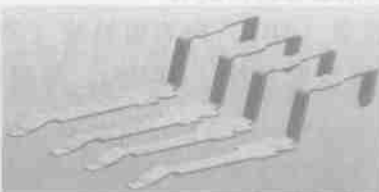


图 5-7 端子示例图



图 5-8 辅助功能件卡簧示例图

电连接器冲压件随着功能、结构、材料、工艺等因素的改变而改变。由于产业更新换代, 产品性能不断提高, 冲压件的结构趋于复杂, 密集而细小, 精度要求越来越高。例如, 在电子信息行业, 近年来端子类零件的间距, 由以往多在 1.0mm 以上发展到如今多在 0.5mm 以下; 材料厚度由早前的 0.25mm 以上演变为当前 0.15mm 以下; 对机械、电气性能的要求, 由于产品升级, 呈几何级数提高。在外壳类零件的稳定性、复杂度方面也有很多变化, 如早前多用 0.3mm 以上的黄铜板和冷轧板, 近年由于要求体积缩小, 结构刚性增强, 多采用 0.3mm 以下的不锈钢板。这些变化对冲压工艺带来更多挑战, 使许多冲压工艺在一定程度上突破了传统局限。例如, 制件悬臂的宽度和厚度接近 1:1, 孔径和料厚接近 1:1, 折弯高度接近材料厚度等。

电连接器冲压件现在已普遍采用单机连续冲压的生产方式, 即卷料通过送料机组送到模具内, 冲压生产完成后大多自动卷盘包装, 部分落成散件。冲压完成包装前, 根据产品需要, 也会设置后处理如清洗、检测等工序。

### 5.2.5 电连接器的发展趋势

中国电连接器的市场需求,近年来保持了高速增长的态势,新技术、新材料的出现,也极大地推升了行业应用与水平提高。电连接器的主要发展趋势是:

#### 1. 体积微小化、外形片式化

市场上已出现产品高度低到 1.0~1.5mm 的 2.5Gb/s 及 5.0Gb/s 的无线产品电连接器、光纤连接器、宽带电连接器,以及细间距连接器(间距为 1.27mm、1.0mm、0.8mm、0.5mm、0.4mm、0.3mm)。

#### 2. 普遍采用压配合接触件技术

在圆筒形开槽插孔、弹性绞线插针以及双曲面线簧插孔连接器中,普遍采用压配合接触技术,大大提高了电连接器的可靠性,保证了信号传递的高保真性。

#### 3. 产品向细间距、多引脚发展

半导体芯片技术正成为各级互连中连接器发展的技术驱动力。例如,芯片封装 0.5mm 间距迅速向 0.25mm 间距发展,使 I 级互连(IC 器件内部)和 II 级互连(器件与板的互连)的器件引脚数,由数百线达数千线。

#### 4. 盲配技术用于系统级互连

盲配技术使电连接器构成新的连接产品,即插入式电连接器,主要用于系统级互连。最大优点是不需要电缆,安装拆卸简单,便于现场更换,插合速度快,分离平滑稳定,可获得良好的高频特性,适用于宇宙飞船。

#### 5. 组装技术向表面贴装和微组装方向发展

组装技术由插入式安装技术(THT)向表面贴装(SMT)技术发展,进而向微组装(MPT)技术发展。积极采用微机电系统(MEMS),是提高电连接器技术与性价比的源动力。

## 5.3 电连接器冲压件材料

### 5.3.1 电连接器冲压件材料特点

电连接器中的冲压件有多种,而使用的功能与特性各不相同。如外壳作为结构件,端子用于信号传递,卡簧作为配合紧固件,焊脚作为焊接固定等。因此,对冲压件材料的选择与要求也不相同。以下是对电连接器冲压材料主要性能的基本描述。

#### 1. 优良的导电性能

电连接器作为信号传输的关键零件,要具有优良的导电性能或阻抗特性。导电性能主要指材料本身的电阻特性及其表面粗糙度,电连接器电阻由材料本身的电阻和接触电阻(接触电阻与表面形态及其正压力有关)两部分组成。尤其是传输高频信号时,电连接器阻抗匹配尤为重要,当电阻特性不能满足要求时,对信号传输质量会造成严重影响。

#### 2. 优良的导热性能

电连接器工作时,电流引起的温升会影响材料的弹性,从而降低表面接触的可靠性,尤其是应力松弛会严重影响零件使用的耐久性。

### 3. 易于进行表面处理

电连接器中的信号传输端子或印制电路板焊点等,通常要在冲压后进行表面镀层处理,这就要求材料要易于实施表面处理。表面处理包括清理表面异物、去除氧化层,或电解抛光表面等。

表面处理不良会导致制件缺陷,如出现镀层分离,或耐环境性能降低,在恶劣工作条件下将失去需要的性能。

### 4. 与使用相关的机械性能指标

主要包括弹性模量、弹性极限、屈服强度、抗拉强度及疲劳特性等指标。

电连接器的端子要具备优良的机械性能,如稳定的弹性,抗塑性变形能力,抗疲劳能力。这就要求材料具有很高的弹性极限、屈服强度及抗拉强度,同时还要求材料不能含有组织缺陷(如夹杂、微细纹等)。

外壳、卡簧及固定焊接用金属件,需要一定的刚性。应考虑使用工况,选择合适的材料。

### 5. 与冲压相关的机械性能指标

主要包括屈服强度、伸长率、 $r/t$  ( $r$ 为折弯内径,  $t$ 为料厚)比值等。

端子或外壳金属件,通常形状较为复杂,需要通过冲裁、折弯、镦薄、拉深、翻孔、胀形等工序来完成,因此金属材料的机械性能要满足冲压工艺要求。一般而言,低抗拉强度、小伸长率利于冲裁,而较低的屈服强度,大的伸长率,小的  $r/t$  比值则有助于成形。

冲裁和成形对于材料性能的选择而言,在一定程度上有所冲突。具体选材时,可在确保产品电气、机械性能的前提下,根据冲压工序对制件要求的优先程度来选择。

### 6. 残余应力

对冲压制件形状和尺寸的保持性而言,材料的残余应力经时效释放,会导致冲压后的制件变形,因此,应选择尺寸尽可能小些的材料。经轧制或分条的材料,就不能完全消除残余应力。当然在冲压实机生产作业中,也可以采用材料较平机碾压以及去除材料边缘以减小残余应力的影响。

### 7. 外观尺寸要求

由于电连接器为连续冲压生产,对选用的卷料厚度、宽度及其一致性都有较高要求,一般厚度公差在10%以下,宽度公差在 $\pm 0.1\text{mm}$ 之内,料带允许扇形在 $3\text{mm}/1000\text{mm}$ 以下,扭转角度不大于 $45^\circ/\text{m}$ 。不允许外观变形、出现划伤异常。

### 8. 经济性与便利性

材料的经济性与获取的便利性,也是材料选择的重要因素,这将有利于以较低的成本进行冲压生产。

综上所述,在材料选择中,应采用价值工程(VE)与价值分析(VA)的科学方法,综合评价制件性能要求的材料特性,优化材料的选择。即根据各类制件不同的使用功能、冲压工艺和成本因素等,来评价材料和选用合适的材料。另外,也可以通过材料本身和表面处理的相互优化,来综合选择材料。

## 5.3.2 电连接器冲压件典型材料

根据不同的使用场合和功能要求,电连接器冲压件使用的典型材料主要有:黄铜

(CuZn)、磷青铜 (CuSn)、铍铜 (CuBe)、镍铜 (CuNi) 和不锈钢等。

### 1. 黄铜

黄铜为含有铜和锌的铜合金, 是应用最广泛的高精度铜合金。工业用黄铜含有不超过 45% 的锌元素, 足以保证不会硬脆而降低性能。改变黄铜中的铜含量, 可以得到不同的机械性能, 加入铝能提高黄铜的屈服强度和耐腐蚀性。黄铜具有优良的力学、物理性能, 高导电及导热性能, 以及耐蚀性能。黄铜在电连接器冲压件中, 主要用于制作非弹性体的接触端子、外壳、焊接片等。

常用的黄铜有中国 H65, 国际 CuZn35, 日本 C2680, 美国 C26800。黄铜的化学成分见表 5-1, 力学性能见表 5-2。

表 5-1 黄铜的化学成分

品名	牌 号			含 量					
	美国	日本	德国	Cu(%)	Ni(%)	Fe(%)	Pb(%)	Other(%)	Zn(%)
黄铜	C26000	C2600	CuZn30	88.0 ~ 91.0	≤0.5	≤0.1	≤0.03	≤0.3	余量
	C26200	C2620	CuZn33	68.5 ~ 71.5	≤0.5	≤0.1	≤0.03	≤0.3	余量
	C26800	C2680	CuZn36	63.5 ~ 67.0	≤0.5	≤0.1	≤0.03	≤0.3	余量

表 5-2 黄铜的力学性能

牌号	状 态	料厚/mm	抗拉强度/MPa	伸长率(%)	硬度/HV
C2600 C2620 C2680	1/2H	0.10 ~ 0.30	355 ~ 450	≥23	85 ~ 145
		0.30 ~ 3.0	355 ~ 440	≥28	
	3/4H	0.10 ~ 0.30	375 ~ 490	≥10	95 ~ 160
		0.30 ~ 3.0		≥20	
	H	0.10 ~ 3.0	410 ~ 540	—	105 ~ 175
	EH	0.10 ~ 3.0	520 ~ 620	—	145 ~ 195
	SH	0.10 ~ 3.0	570 ~ 670	—	165 ~ 215
	ESH	0.10 ~ 3.0	≥620	—	≥180

### 2. 磷青铜

磷青铜 (或锡青铜) 为含有铜、锡和磷的合金, 不易发热, 确保安全又有很强的抗疲劳性。加入锡可增加合金的耐蚀性及强度。磷作为熔炼时的除氧剂, 可增加抗磨力、硬度、流动性及可加工性。磷青铜具有良好的弹性、高强度及耐蚀性, 主要用于一般电连接器使用的带有弹性体的金属件, 如接触端子弹性端, 带有弹片形态的外壳。

常用的磷青铜牌号有:

中国 QSn10 ~ 1、QSn6.5 ~ 0.1、QSn7 ~ 0.2、QSn8 ~ 0.3、QSn4 ~ 0.3、QSn4 ~ 3。

国际 CuSn4、CuSn5、CuSn6、CuSn8 等。

日本 C5111、C5101、C5191、C5210 等。

美国 C51100、C51000、C51900、C52100 等。

磷青铜的化学成分见表 5-3, 力学性能见表 5-4。

表 5-3 磷青铜的化学成分

品名	牌 号			含 量					
磷青铜	美国	日本	德国	Pb(%)	Fe(%)	Sn(%)	Zn(%)	P(%)	Cu(%)
	C51910	C5191	CuSn6	<0.02	<0.10	5.5~7.0	<0.2	0.03~0.35	余量
	C52100	C5210	CuSn8	<0.02	<0.10	7.0~9.0	<0.2	0.03~0.35	余量

表 5-4 磷青铜的力学性能

牌号	状态	料厚/mm	抗拉强度/MPa	伸长率(%)	硬度/HV
C5191	O	0.10~5.0	>315	≥42	—
	1/4H	0.10~5.0	390~510	≥35	100~160
	1/2H	0.10~5.0	490~610	≥20	150~205
	H	0.10~5.0	590~685	≥8	180~230
	EH	0.10~5.0	635~720	≥5	200~240
	SH	0.10~5.0	>690	—	>210
C5210	1/2H	≥0.10	410~610	≥27	140~205
	H	≥0.10	590~705	≥20	185~235
C5210	EH	≥0.10	685~785	≥11	210~260
	SH	≥0.10	735~835	≥9	230~270
	ESH	≥0.10	770~885	≥5	245~285

### 3. 铍铜

铍铜是一种可锻和可铸合金,属时效析出强化的铜基合金。经淬火时效处理后具有高的强度、硬度和弹性极限,并且稳定性好。耐蚀、耐磨、耐疲劳、耐低温、无磁性、导电导热性好、冲击时不产生火花。在铜中加入 0.2%~2.0% 的铍,使其强度在铜合金中最高,还具有优异的抗拉强度与电导率关系特性,即在相同电导率下,比其他铜合金的抗拉强度高;在相同的抗拉强度下,具有更高的电导率。另外,在成形性、抗疲劳性及应力松弛方面,也是其他铜合金所不及的。铍铜在电连接器冲压件中,主要用于制作弹性要求高、疲劳寿命长的接触弹性端子。

常用的铍铜有 QBe2 (C17200), QBe1.7 (C17000), QBe0.4-1.8 (C17510)。

铍铜的化学成分见表 5-5,力学性能见表 5-6。

表 5-5 铍铜的化学成分(质量百分数,%)

品名	牌 号		含 量			
铍铜	美国	日本	Be	Ni+Co	Ni+Co+Fe	Cu+Be+Ni+Co+Fe
	C17000	C1700	1.6~1.79	>0.20	<0.6	>99.5
	C17200	C1720	1.8~2.0	>0.20	<0.6	>99.5

表 5-6 铍铜的力学性能

牌号	状 态	料厚/mm	抗拉强度/MPa	伸长率(%)	硬度 HV
C1700	O	≥0.10	410~540	≥35	90~160
	1/4H	≥0.10	510~620	≥10	145~220
	1/2H	≥0.10	590~695	≥5	180~240
	H	≥0.10	685~835	≥2	210~270
C1720	O	≥0.10	410~540	≥35	90~160
	1/4H	≥0.10	510~620	≥10	145~220
	1/2H	≥0.10	590~695	≥5	180~240
	H	≥0.10	685~835	≥2	210~270

#### 4. 镍铜

镍铜为含有镍和硅的铜合金,是高导电率及高弹性合金,不需热处理,具有良好的冲压成形性,不含金属铍,经济性好且不含毒素。广泛用于继电器、移动电话零件,以及开关、耳机插座,可替代部分电连接器上使用的低铍含量的铍铜。镍铜在制造过程的最后阶段,应用温度时效处理,其效果就像是再次压延,使材料变得更有硬度及强度,同时又增加了电导率及伸长率,更加有利于电子材料薄型化。

电子件常用的镍铜有 C7025、C7035。C7025 合金具有优良的高温抗应力松弛能力,该性能比所有不含铍的铜合金都好,同时稳定性也优于 C1720 和 C1700。C7025 的性能与 C17410 十分相近,具有相近的强度和抗应力松弛能力,两者最大不同是 C7025 不包含铍,这样可避免与铍相关的高成本,在工艺上不需要特殊的环保措施。C7025 的导电导热特性比其材料如 C1720 C2600 C5210 高得多。

由于 C7025 合金的高强度及高导电导热性,就可以减薄零件厚度,实现制件的高性能和低成本。镍铜主要用于制作对弹性要求高的接触端子。

常用的镍铜牌号有德国维兰德 K55 (WIELAND),日本 JIS C7025 和美国 ASTM C70250。镍铜的化学成分见表 5-7,力学性能见表 5-8。

表 5-7 镍铜的化学成分 (质量分数,%)

品名	牌 号	含 量				
铜合金		Ni	Si	Co	Mg	Cu
	C7025	2.2~4.2	0.25~1.2	—	0.05~0.3	余量
	C7035	1.5	0.6	1.1	—	余量

表 5-8 镍铜的力学性能

牌号	状 态	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率(%)
C7025	TM00	620~760	450~620	≥10
	TM02	655~830	590~760	≥7
	TM03	690~860	635~830	≥5
	TM03 HDC***	710~860	690~830	≥3
	TR02****	≥605	≥550	≥6

(续)

牌号	状 态	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率(%)
C7035	TM02	710~830	690~800	≥5
	TM04	770~900	750~850	≥4
	TM06	840~970	810~920	≥1

### 5. 不锈钢

不锈钢主要含铬、镍等合金元素,有和还含有少量的钼、钒、铜、锰、氮或其他元素,以满足各种用途对不锈钢组织和性能的要求。铬含量有的高达25%左右,镍含量高达20%左右。这类钢主要用于制造化工设备、医疗器械、食品工业设备以及其他要求不锈钢的器件等。常用的不锈钢有ASTM 304, JIS SUS304, 我国的06Cr19Ni10, 德国X5CrNi18-10。在电连接器冲压件主要用于弹性要求高的制件,通常作为连接器非电气性能的构件。

不锈钢的化学成分见表5-9,力学性能见表5-10。

表5-9 不锈钢的化学成分(质量分数,%)

品名	牌 号	含 量						
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
不锈钢	SUS301	<0.15	<1.0	<2.0	<0.045	<0.03	6.0~8.0	16.0~18.0
	SUS304	<0.08	<1.0	<2.0	<0.045	<0.03	8.0~10.5	18.0~20.0

表5-10 不锈钢的力学性能

牌 号	状 态	抗拉强度/MPa ≥	屈服强度/MPa ≥	伸长率(%)
SUS301	1/2H	930	510	≥10
	3/4H	1130	745	≥5
	H	1320	1030	—
	EH	1570	1275	—
	SH	1740	1450	—
SUS304	1/2H	780	470	≥6
	3/4H	930	665	≥3
	H	1130	880	—

#### 5.3.3 电连接器冲压件材料国产化

目前,电连接器原材料采用厚度为0.1~0.8mm的磷青铜、黄铜及不锈钢已实现了国产化,其机械、电气、后处理性能均符合技术要求,并且在成本和供货周期上具有竞争力。但对于特殊性能要求的材料,如高电导率、高强度、高弹性和耐疲劳的材料,还是以德、美、日的材料为主。这部分材料主要为上述的镍铜、钛铜、铍铜等铜合金材料。

## 5.4 电连接器高速精密冲压典型工艺

### 5.4.1 高速精密冲裁工艺

#### 1. 带料输送

衡量连接器的冲压工艺重点在两个方面。一是作为高速精密冲压应保证输送的可靠性，二是冲压工艺的稳定性。首先要考虑为了满足产品精度及工艺性要求，各工序的顺序应如何设置，其次要考虑单个工序的工艺性。因此，带料输送和工序设计的合理性是电连接器高速冲压的关键。

电连接器带料输送的可靠性，是保证实施高速冲压生产的基础，包括以下要素：①送料顺畅，带料可在模具内无阻挡前行。②定位准确，确保带料停在所需要的位置。③停止及时，出现异常及时检测并立即停机。

#### 2. 稳定送料的要素

一般而言，以下几个具体方面有助于提高冲压生产送料的稳定性。

(1) 带料方面 重点在于提高材料的刚性和限定材料运送的空间。

1) 在模具内尽可能采用双边带料，并通过辅助机构使带料成为刚性良好的框架结构。

2) 在模具进料位置应设置初始导正装置，减少材料在前后、上下方向的摆动。

3) 在模具出料口应限定带料运送空间，使带料平稳前行。

(2) 导引及抬料 重点在于抬料平稳，导引有效，并防止变形。

1) 抬料零件设置均匀，抬料和压料零件应尽可能分开。

2) 导引孔、导引面形状规整，尺寸精度高。

3) 在导位针下方，一般应设置抬料件，以免导位针插入材料。

4) 一般应在冲出导位孔后，不间断地布置两支导位针。

5) 导引销或导引块脱料，应可靠顺畅，不会导致变形。

(3) 材料轮廓修正 重点是使材料平直，达到平稳输送。

1) 对带料沿边修正，一般修正量为  $3t \sim 5t$  ( $t$  为料厚)，使材料边缘平齐，并消除材料分条的内应力。

2) 在模具冲压生产过程中，对材料采取平整措施，如对材料局部打点。

#### 3. 冲裁工序和成形工序

电连接器冲压与其他类型的制件一样，分为冲裁工序和成形工序。电连接器采用高速精密级进模冲压，与其他类型制件采用的常规模具冲压并无太大差别。但是，由于电连接器采用高速精密冲压生产方式，制件的形状、尺寸及外观要求又特别严格，因此在冲裁和成形的工序中，应在细节上采用一些有别于常规的结构形式，以符合和满足产品制造的需要。

电连接器冲压件的冲裁工艺要求相当严苛，具体表现在两个方面：一是断面质量，即对塌角、剪切面、撕裂面和毛刺的要求；二是冲裁过程形成的制件坯料，即提供成形工序所需要的恰当形状和尺寸。冲裁工艺需要对带料进行稳定可靠的导引、定位和压料，要保证合适的冲裁间隙以及顺畅脱料。因此，高速精密级进模具的精度和带料输送的精度是关键要素。

#### 4. 冲裁下料结构

电连接器冲裁下（落）料有两种结构，一种是垂直下料常规结构，如图 5-9 所示，废料从凹模垂直落下；另一种是撕破式下料结构，如图 5-10 所示，制件被脱料舌片托出凹模。

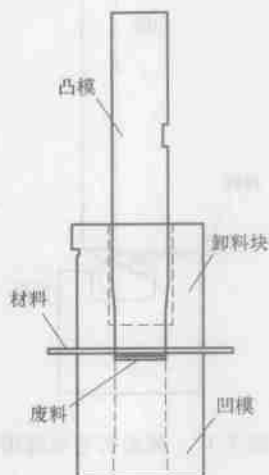


图 5-9 垂直下料常规结构示例图

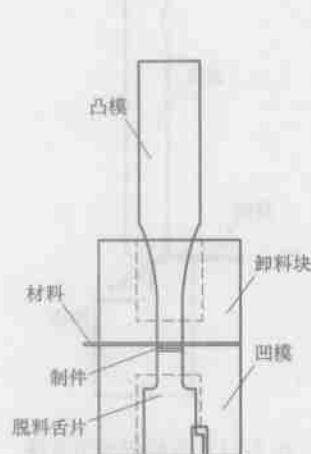


图 5-10 撕破式下料结构示例图

### 5.4.2 高速精密弯曲工艺

#### 1. 折弯关注要点

折弯是电连接器冲压的主要工序和重要环节。一般来讲在折弯过程中要关注以下方面。

(1) 合适的压料方式 坯料的压料面积要满足折弯需要，必要时，应预留折弯工艺面，折弯后去除余量；另外要确保顶托零件及弹性元件工作可靠。

(2) 必备的折弯能力 应把握工艺是否具备实施弯曲的能力，如折弯缘高度、折弯对称程度等。

(3) 微小的回弹调整 对材料回弹进行细微调整是必要的，但应尽可能地通过折弯进行角度成形，对于如材料批次间的少量差异，可对折弯作业进行微量调整。

(4) 合适的材料特性 材料特性应满足成形工艺要求，如应避免折弯角外缘开裂等。

(5) 正确的折弯形状 折弯形状要符合设计要求。通常折弯形状具有连接器的弹性使用功能，对接触区的正压力及疲劳寿命也有很大影响，应特别注意圆弧部位的规整性。

(6) 充分的零件刚性及耐疲劳特性

#### 2. 主要折弯方式

连接器冲压件的折弯主要有三种方式：常规折弯（见图 5-11）、侧向折弯（见图 5-12）和滑块折弯（见图 5-13）。

#### 3. 弯曲件常见缺陷与消除

(1) 回弹 弯曲件从模具中取出后，存在弹性变形，使工件的角度和圆角半径发生变化，与模具相应形状不一致，这种现象称为回弹。

1) 影响回弹的因素主要有：①材料的力学性能，材料屈服强度越高，回弹越大。②材料的相对弯曲半径  $r/t$ （ $r$  为折弯内径， $t$  为材料厚度）， $r/t$  越小，回弹越小。③折弯形状，

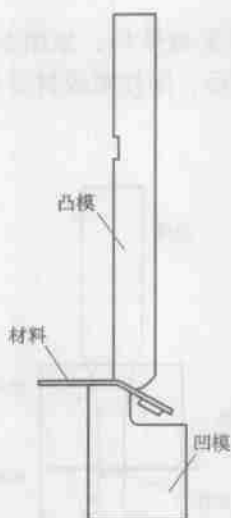


图 5-11 常规折弯示意图

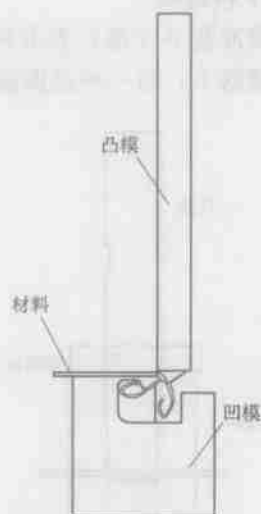


图 5-12 侧向折弯示意图

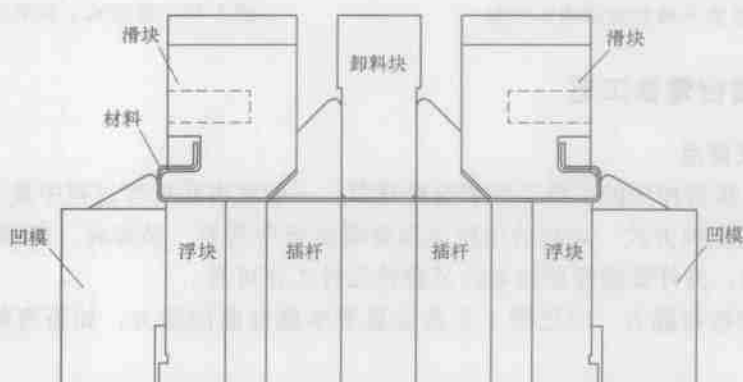


图 5-13 滑块折弯示意图

一般 V 形折弯的回弹比 L 形的要小。④模具间隙，折弯凸模和凹模的间隙越大，回弹越大。

2) 电子件的折弯部分大都有弹性力要求，一般不允许在折弯处通过打压痕或缩小折弯间隙来克服回弹。克服回弹主要有以下几种方法。

①补偿法，即按预先估算或实验所得的回弹量，在模具相应工作部分予以“扣除”，使弯曲件回弹后达到要求的形状和尺寸。②分步折弯法，即通过增加折弯次数调整折弯点，达到所需的形状和尺寸。③调整折弯角度法。对于角度要求很高的电子产品，常规补偿难达要求，需增加调整工位来满足要求，这在连续模中最为常用，也是一种提高效率的方法。

(2) 弯曲裂纹 多产生在折弯半径过小的情况下。制件的折弯宽度较小，裂纹出现在宽度两端；折弯宽度较大，裂纹沿着折弯线在其中部附近产生。

1) 影响裂纹的因素有：材料的机械性能和折弯半径。

2) 消除方法有以下几种：①在材料确定的状况下，尽量采用大折弯  $R$  角。②折弯线垂直于轧制板材的纵向纹路。③增加折弯步骤，如将  $90^\circ$  折弯分两步，先折  $45^\circ$ ，再折  $90^\circ$ 。

④将下料的毛刺面放在折弯内侧,若不能改变折弯方向,可将毛刺去除。

(3) 孔的精度不好 如图 5-14 所示,因孔距折弯线太近,由拉深引起方孔变形。

消除方法有:

- 1) 产品设计时就将孔距折弯线的距离变大。
- 2) 折弯时加大压料力,减少材料流动。
- 3) 在允许的情况下,在折弯处加凸筋,减少材料流动。
- 4) 采用先折弯后冲孔的工艺方式。

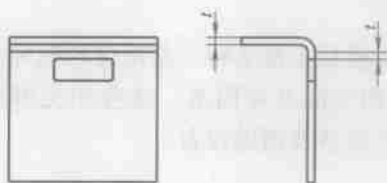


图 5-14 孔距折弯线太近

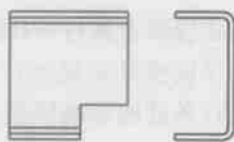


图 5-15 不对称折弯产生变形

(4) 不对称折弯产生变形 如图 5-15 所示,因上下折弯线长度不一,折弯线会产生偏移。

消除方法有:

1) 为保证折弯时接触阻力一致,可改变折弯件的  $R$  角。

2) 若毛坯上有孔,可以孔定位,防止偏移。

3) 增加压料装置,保证材料先压住后再折弯。

4) 用外形定位,防止材料移动。

5) 若压力机的精度不够,更换为高精度的压力机。

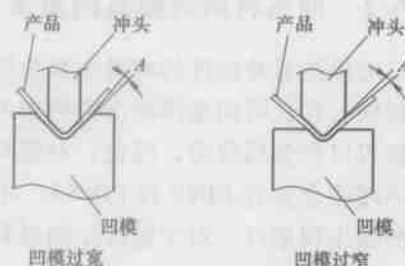


图 5-16 折弯对比示意图

(5) V 形弯曲时引起直边弯曲 进行 V 形弯曲时,若凹模过宽,会变成内弯曲状态;若凹模宽度过窄,则变成外弯曲状态,如图 5-16 所示。

### 5.4.3 高速精密压印工艺

重点在于如何减少由于压印形成的材料塑性不规则变形,以及材料移动。如图 5-17 所示,在卸料块和浮块上,分别设置对应的凹凸槽,以防止材料塑性变形和材料移动。

### 5.4.4 拉深与翻边结合工艺

电连接器产品一般为敞口形状,在满足产品要求的前提下,可结合其工艺特点,进行工艺优化。可采用分步拉深、辅以翻边成形,并设置多个整形工位,对产品进行整形。图 5-18 所示为拉深与翻边工艺结合的示意图。

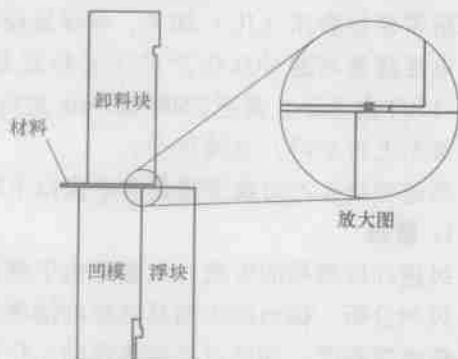


图 5-17 压印工艺示例图



图 5-18 拉深与翻边工艺结合示意图

## 5.5 电连接器高速精密冲压对模具的要求

模具是电连接器金属件冲压加工的核心部件。保持模具正常运行,是确保顺利冲压生产的关键。为了保证模具顺畅运行,需得到很好地控制相关的各项因素。这些相关因素主要是,对高速运行条件的影响因素,被加工的材料,冲压设备及辅助设备。

### 5.5.1 电连接器对模具的要求

电连接器的生产批量一般都比较,月需求量从几十万个到上千万个。电连接器冲压件的精度要求都比较高,有的达到 $\pm 0.01\text{mm}$ 甚至更高。电连接器冲压件的模具大都采用高精度、长寿命级进模,冲压次数达到每分钟几百次甚至数千次。

### 5.5.2 冲压材料对模具的要求

电连接器冲压件的材料主要为铜材和不锈钢。由于不锈钢材质硬度较高,模具磨损也就比较快。在长时间连续冲击力的作用下,冲裁凸模在冲击载荷和压力机振动的影响下,出现损伤刃口和金属疲劳,因此,对模具材料的要求较高。一般需要使用硬质合金模具材料,常用的硬质合金有 KD20 和 CD650。冲压不锈钢时,通常下料凹模零件应采用磨削加工,以减少凹模出现崩口。对于被加工的材料而言,其厚度、宽度和机械性能,需具备均一、稳定的状态,方便模具得以正常运行。

### 5.5.3 冲压工艺对模具的要求

电子件的材料一般比较薄,大多在 $0.50\text{mm}$ 以下,因此下料间隙都很小,单边间隙大多在 $0.005 \sim 0.03\text{mm}$ 之间,对模具的加工精度要求就比较高,一般模具零件的精度要求都在 $\pm 0.002\text{mm}$ 以内。当产品的材料厚度为 $0.08\text{mm}$ 、精度要求为 $\pm 0.01\text{mm}$ 之内时,模板框口要用精密坐标磨床(JG)加工,以保证模具精度。

电连接器高速冲压生产的主要特征是高次数,根据端子类不同产品的特点,通常以 $300 \sim 1500$ 次/min,甚至 $2500$ 次/min进行生产。通常由于批量大,往往需要长时间(几十小时甚至上百小时)连续生产。

高速冲压生产对级进模具会造成以下影响。

#### 1. 磨损

级进冲压模具的失效,大多是由于磨损造成的。因此对摩擦类型及其磨损机理,需要深入认识和分析,提出减少模具磨损的措施和方案。重点是选择模具材料和加工方式,采取润滑降低磨损程度。如通过研磨零件的工作部位至镜面表面粗糙值 $R_a$ 为 $0.1\text{mm}$ ,可大幅度提高零件工作寿命;采用恰当的润滑剂对工作部位进行润滑;提高模具的整体精度,降低摩擦

部位的正压力,减少摩擦面积等,都有助于降低磨损失效。

## 2. 疲劳

除了磨损时效,疲劳失效也是导致大多数级进模具失效的重要因素。对疲劳机理与疲劳时效加以了解并采取综合性对策。在级进模具工作过程中,模具零件上的微小裂纹将作为疲劳源,在受到脉冲应力或交变应力的作用后,疲劳会从疲劳源处不断扩展延伸,直至出现断裂,即发生疲劳失效,具体表现为材料脱落、崩刃、断裂等。通过合理选用韧性好、缺陷少的模具材料,在加工过程中减少零件的微小裂纹,以及合理设计模具结构与冲压工艺过程,降低脉冲或交变应力幅度等,可以显著提高模具的疲劳寿命。

## 3. 热变形

热变形是影响模具精度的重要因素,其后果是导致模具精度丧失,加重磨损失效和疲劳失效。因此对热变形机理、热量来源需要用心探究。对减少热量产生及其危害,要采取有效措施,尤其对超常规速度下的生产工况,并要对此工况的模具结构进行重点研制。

要点在于减少机械摩擦产生的热能。例如,通过改善导向性,提高每个运动部件的精度,以减少摩擦,或减小工作零件与制件的摩擦面积等。当不能彻底减少热量发生时,可分割模具以分散热变形。

### 5.5.4 模具与设备的关系

生产高质量产品,除需要高精度模具外,与高速精密压力机也有直接关系。压力机的刚性、滑块与工作台的平行度,滑块下死点的重复精度,都对产品质量产生直接影响。若压力机的平行度不好,冲压时会使上下模具不平行,凸模与凹模会产生碰撞,使冲子和刀口崩损;若压力机的下死点重复精度不好,会使产品折弯尺寸不稳定,造成产品间隔性不良。精度要求较高的电子件,通常选用德国 BRUDERER 和日本 ISIS 等公司的高速精密压力机。

在设备方面,具备稳定的平行度、垂直度和下死点,对应不同的成形工艺需要,如不同的冲压曲线,对于冲压制造的稳定性是大有益处的。

在冲压生产过程,为避免生产状态失稳和对运行造成损害,应采用在线测量和控制技术来实施监控,主要包括:误送料检测、下死点监控,卸料板和凹模板贴合监控,外观与尺寸的测量技术等。

合理选择使用冲压油,对于高速冲压生产极为有利,而这点常常被忽视。

一般而言,目前电连接器生产行业选用的材料、设备与辅助设备,大多符合高速生产的基本要求。因此,对模具工作最主要的影响因素,还是在生产运行的特点与条件方面。

## 5.6 电连接器高速精密冲压模具的典型结构

模具的主体精度是模具精度的关键,重点在于模架的刚性,包括在工作过程中模板不变形及导向件刚性要好。实践表明,冲模卸料板的刚性是模具整体保持刚性的关键,由于卸料板或卸料镶板的刚性不足,造成模具精度降低的案例层出不穷。另外,下模板漏料口无限制地扩大,也将削弱下模板在工作时的刚性。因此,设计卸料板和下模板,应充分利用压力机允许的空间范围。这既利于模具本身的稳定性,又利于减少压力机工作时偏载负荷对模具精度的影响。



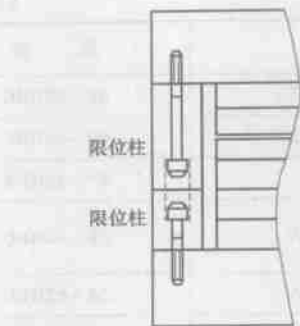


图 5-22 模具限位柱示意图

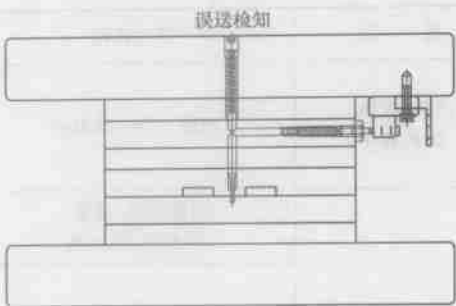


图 5-23 模具防止误送装置示意图

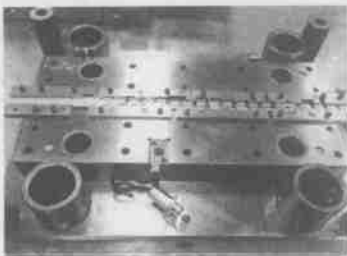


图 5-24 模具防止跳屑装置示意图



图 5-25 信号处理器

### 5.7 电连接器高速精密冲压模具的材料

对于电连接器模具而言，正确的选用材料和制定零件加工工艺，包含零件的后处理等，是保证模具能够高速、稳定和长期生产的主要条件。应根据制件的相关要求选择模具材料。

(1) 材料的工作性能 由于被加工材料多为低于 0.5mm 的薄板，模具材料工作性能的重点是耐磨性和抗疲劳能力。

(2) 材料的加工特性 如材料的热处理淬透性、磨削性能和电加工性能等，这是模具获得工作能力的基础要素，也是零件制造的成本要素。

(3) 材料的表面处理 选择模具材料时，还应考虑被加工材料、模具工作条件、生产批量、模具使用寿命，以及取得的便利性和经济性等。一般而言，材料费占比很低，更多应考虑取得渠道。通常选用以下适合冷冲压的模具材料：合金工具钢 Cr12MoV、Cr12 等，高速钢，粉末冶金高速钢，硬质合金。建议参考表 5-11 选择材料，表中所列为国标牌号。也可选用其他国家，如 ASTM 美国材料试验学会、JIS 日本工业标准等的对应材料。

表 5-11 适合冷冲压的模具材料

类 别	零件名称	材 料	硬 度
模板	上、下模座	45、7A09	28~32HRC
	凸模固定板、凹模固定板、卸料板、垫板	Cr12、Cr12MoV	58~62HRC

(续)

类 别	零件名称	材 料	硬 度
冲裁、成形、 卸料零件	凸模、凹模、卸料件	Cr12、Cr12MoV	58 ~ 62HRC
		W6Mo5Cr4V2	60 ~ 64HRC
		YG12、YG15	87 ~ 92HRA
辅助零件	凹模垫块、导板、 抬料块、压力销	Cr12、Cr12MoV	58 ~ 62HRC
	导正销	Cr12、Cr12MoV	58 ~ 62HRC
		W6Mo5Cr4V2	60 ~ 64HRC
		YG15、YG20	87 ~ 92HRA
	压板	45	28 ~ 32HRC
		CrWMn、Cr12、Cr12MoV	58 ~ 62HRC
	导柱、导套	GCr15	56 ~ 60HRC

## 5.8 电连接器高速精密冲压模具的设计与制造

### 5.8.1 模具设计

模具设计成功与否,直接影响其生产效率和产品尺寸的稳定性,如果模具设计有缺陷,制造完成后通过整修有时也很难纠正过来。模具设计时,要充分考虑产品的工艺性,仔细阅读产品要求,冲压排样和模具工作零件设计的合理与否至关重要。

#### 1. 产品的工艺性

在模具设计前,要对产品工艺性进行评估,若有问题需及时提出。有时产品尚能做一些相应改动,若不能改则在工艺上能否完善。如产品上有压薄,且压薄处有折弯,评估时若认为折弯处可能开裂,就需要提出可否将压薄量减少或将折弯  $R$  角加大。若这些在产品上无法改动,就要考虑采用异型材(因压薄时材料会硬化,折弯时易产生开裂)。

#### 2. 仔细解读产品图样

仔细解读产品图样。有无特殊要求,如无毛刺要求,对冲裁方向明确要求等。若没有,就要及时确认。应避免模具加工后才发现与产品要求不符,需要增加后道工序进行补救。

#### 3. 排样设计

在模具设计中合理排样最为重要。排样设计因人而异,与模具设计人员的经验和水平有关。排样时通常从以下几方面考虑。

(1) 材料利用率 在保证生产稳定性的前提下,尽量提高材料利用率,材料利用率直接关系到产品成本。不同的排样方式会产生不同的结果,以两种排样方式加以说明。图 5-26 所示为产品图样 1,图 5-27 所示为排样 1 方式,材料利用率为 33.33%,图 5-28 所示为排样 2 方式,材料利用率为 42.97%。

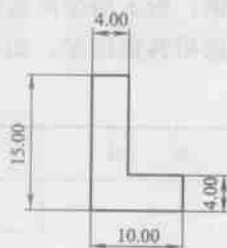


图 5-26 产品图样 1

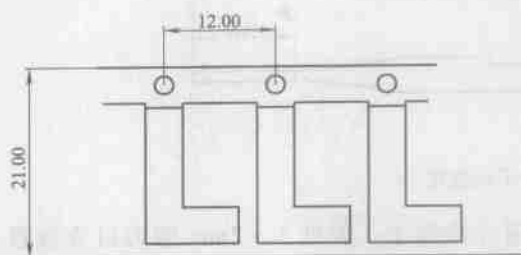


图 5-27 排样 1 (利用率 33.33%)

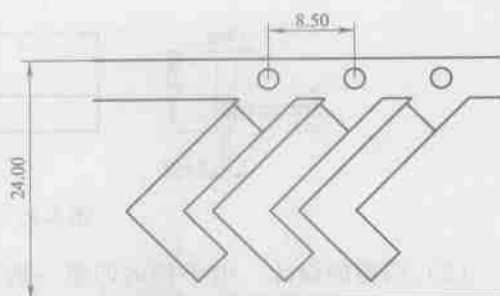


图 5-28 排样 2 (利用率 42.97%)

(2) 工艺顺序 图 5-29 所示为产品图 2, 由图可知, 产品需冲裁 (下料) 中间孔和折弯, 因此, 需要考虑下料和折弯的先后顺序是否合理, 零件的强度是否足够。

在图 5-30 所示的排样 1 方式中, 采用先下中间方孔再折弯的方式, 由于中间孔距折弯边较近, 折弯时会产生变形, 因此实际排样中采用图 5-31 所示的排样 2 方式。

(3) 下料是否产生跳屑 下料形状应尽量复杂些, 以增大下料在下模中的卡紧力, 防止由于下料形状过于简单, 在下模中卡紧力不够而产生跳屑。

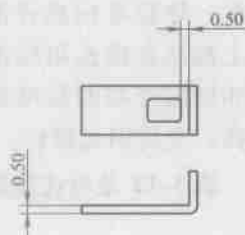


图 5-29 产品图 2



图 5-30 排样 1



图 5-31 排样 2

(4) 送料是否顺畅 折弯后的让位空间要考虑制件回弹, 让位空间尽量留多一些。每隔一定长度产品要加上浮料, 保证送料顺畅。

(5) 框口的设计 框口间要根据受力留出足够空间, 要保证模板刚度, 避免生产时出现框口变形。

(6) 卸料弹簧的设计 卸料弹簧的作用, 主要是压住材料, 以免在冲裁和折弯时滑动, 造成产品质量不稳定。卸料弹簧要均匀布置, 压力中心尽量在模具中间, 以免影响模具在冲压时的平稳性。

#### 4. 模具零件设计

电子件模具冲压速度比较高, 要求精度也很高, 因此设计的模具工作零件精度要求也很高, 尽量采用磨床和线切割加工。这两种加工方式精度较高, 能达到  $\pm 0.002\text{mm}$ 。尽量不考虑放电加工, 放电加工精度很难保证, 还需加工电极, 成本也相对较高。

(1) 凸模的设计 电子件的下料冲子一般都比较细小, 用线切割加工强度都不够, 一般采用光学曲线磨加工 (PG)。图 5-32 所示为缩短了有效部位长度的 PG 冲子。

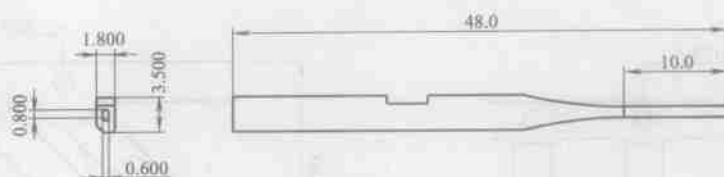


图 5-32 PG 冲子示意图

(2) 凹模的设计 电子件的凹模一般都采用分片加工, 保证 1~2mm 的刀口直线段, 下面是 1~2 度的落料斜度, 以防下料时出现堵料, 如图 5-33 所示。

(3) 标准件的设计 现在有专业制作导柱、导套等标准件的公司。通常, 在模具上都是直接选用标准件, 一般不建议选用非标需特制的标准件, 非标件采购成本较高, 交货期也较长。

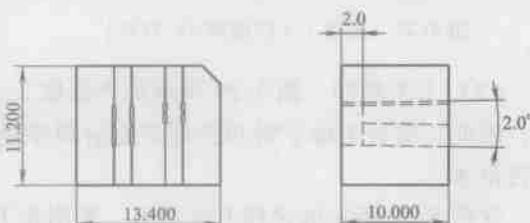


图 5-33 凹模示意图

表 5-12 是电连接器冲模典型的设计流程。

表 5-12 电连接器冲模设计流程

步 骤	内 容 要 点
1	产品图转化为冲压件设计图 产品的重点形状;重点尺寸和设计取值;是否有设计变更的可能;材料方向,毛刺方向,带料连接位置等,以及是否有细长形状,小内圆角等冲压特征
2	展开 依据冲件设计图展开;注意倒角位置;材料打薄位置
3	刀口布置设计 重点功能形状/尺寸接近布置;分割接刀;接刀位置避开产品重点;注意跳屑缺陷可能性
4	基本设计值选择 材料宽度;刀口间隙;抬料高度;行程(特别针对滑块结构);回弹角度设定(针对不同的 $r/t$ )
5	工位结构设计 折弯/拉深步骤设定;前后优化
6	排样设计 工位前后排布;注意抬料位置确保送料平稳;预留空工位
7	设备设定 模具尺寸(幅面/高度);压力机公称力
8	排样优化 依据排样、制品特性、设备更新排样
9	零件拆分设计 材料选择;折弯圆角(避免刮擦粉屑);加工特性选择;标注合理性(尽可能直接标注而不转换)
10	设计整理 上述设计整理 冲件图;展开图;刀口设计图;工艺特性表;工序结构图;排样图(工位顺序);条料图(模拟冲压/成形);组装图(零件布置图);多料号换线图;导向件选型

## 5.8.2 模具制造

电连接器产品大多都是批量生产, 精度要求高, 要求模具的寿命长, 生产稳定, 生产效率高。这些要求必然极大地提高了模具的加工精度, 公差可达  $\leq \pm 0.002\text{mm}$ , 有的甚至更高。所以, 模具在加工过程中都要求恒温, 以消除温度对加工尺寸的影响。模具在制造过程中, 需经过许多道工序, 主要有切削加工、磨削加工和电火花加工等, 期间为提高材料硬度

和消除应力,需增加材料热处理工艺,如真空热处理、深冷处理以及回火处理。

### 1. 模具的热处理

数据统计表明,约60%以上的模具失效是因为热处理不当造成的,热处理质量直接影响模具寿命。模具热处理后的性能往往就是模具最终的使用性能,对模具的质量和精度都有很大影响。

(1) 真空热处理 模具钢经真空热处理后,有良好的表面状态,变形小。与大气下的淬火比较,真空油淬后模具表面硬化比较均匀,而且略高一些,主要原因是真空加热时,模具钢表面呈活性状态,不脱碳,不产生阻碍冷却的氧化膜。在真空下加热,钢的表面有脱气效果,因而具有较高的力学性能。炉内温度越高,抗弯强度越高,真空淬火后,钢的断裂韧度有所提高,模具寿命比常规工艺普遍提高40%以上。

(2) 深冷处理 近年来的研究工作表明,模具钢经深冷处理( $-196^{\circ}\text{C}$ ),可以提高其力学性能,模具钢的深冷处理可以在淬火和回火工序之间进行,也可以在淬火回火之后进行。如果在淬火回火后进行,钢中仍保留有残留奥氏体,则在深冷处理后仍需要再进行一次回火。深冷处理能提高钢的耐磨性和耐回火性。

(3) 回火热处理 回火是将淬火钢加热到奥氏体转变温度以下,保温1~2h后冷却的工艺。模具钢经过回火工艺后,将减少或消除淬火内应力,防止工件变形或开裂,获得工艺要求的力学性能和更加稳定的工件尺寸。

### 2. 模具加工

(1) 切削加工 高速模具的切削加工的主要设备有铣床、钻床和加工中心等,大部分用于模板和模座的粗加工。如果加工表面残余加工刀痕过深,表面过于粗糙,常常会导致这些地方出现严重的应力集中,使得模具在热处理和使用过程中,很早就出现开裂、翘曲等不良,降低模具的使用寿命。

(2) 磨削加工 磨削加工是高速模具使用较多的一种加工方法,主要的加工设备有磨床(平面磨床,内圆磨床和外圆磨床),光学曲线磨床(PG)和坐标磨床(JG)等。其加工精度能达到 $\pm 0.001\text{mm}$ 。磨削加工对冲压模具表面质量的影响很大,不正确的磨削工艺,将产生强烈的局部过热,造成很高的表面应力,引起模具表面出现磨削烧伤和磨削裂纹,严重降低冲压模具的疲劳强度和断裂抗力。由于磨削加工通常是在热处理后进行的,因此热处理的不良因素都会带来很大影响,使得磨削加工时易形成裂纹,一旦形成则会严重降低冲压模具的疲劳寿命,甚至在加工过程中导致失效。

(3) 电火花加工 电火花加工也是高速模具使用较多的一种加工方法,主要的加工设备有线切割和放电加工设备,精度也可达到 $\pm 0.001\text{mm}$ 。电火花加工后的模具表面有一层被熔化而又重新凝固的金属,这层覆盖物中往往有许多显微裂纹,而且还有较大拉应力,会降低模具的疲劳抗力,尤其是覆盖层较厚( $>0.01\text{mm}$ )时,模具寿命将大大降低。因此,加工中要控制电火花加工的参数,将覆盖层尽量降低,以降低它对冲压模具的不良影响。

### 3. 模具组立

模具按设计图样加工完成后,经检验合格后才可对模具进行组立,模具组立的好坏,对今后模具的稳定生产也会有很大的影响。模具组立大体分以下步骤进行。

#### (1) 组立前检查

1) 模板厚度、翘曲是否超差 (0.006mm/100mm)。

2) 模板上是否有漏加工现象。

3) 活动部件 (抬料销, 浮料销等) 的活动性。

4) 确认模板框口尺寸。

(2) 倒角 对模板和零件的尖角部分进行倒钝, 避免在搬运和组立过程中划伤手。

(3) 退磁 由于模具在加工过程中会产生磁性, 为防止在生产过程中发生堵料和跳屑的现象, 需对模板和零件进行消磁。

(4) 推平和清洗 将模板用油石推平去毛刺后, 再用酒精清洗干净, 吹干。

(5) 模架组立

1) 用砂钢片 (厚度为 0.005 ~ 0.01mm) 检查相邻模板间的间隙 (一般为 6 处), 防止模板间有异物而产生模板间的平行度不好。

2) 装入导柱、导套, 灌胶固定 (一般要超过 12h)。

(6) 零件装配 模架组立完成后对零件组装, 零件装入模板后不可太紧, 否则维修时会很难将零件敲出, 容易将框口敲坏, 太紧时需确认零件是否满足图面, 是否和框口有干涉。

(7) 单组零件的配合检查 检查冲子能否过脱料板入块和刀口, 同时需确认刀口垫块、垫板和模座放入落料口是否有堵住现象。

(8) 模具整体的合模 确认模具整体没有任何干涉。

整体合模完成后, 方可把模具放到压力机上进行试模和打样。

现代精密模具的制造已经从主要依赖单一化的经验积累、进行复杂的修配, 到更多利用在经验积累基础上的产品分析、仿真设计、结构设计、零件材料及加工手段来完善保证。而零件制造是模具实现的关键环节, 采用先进的制造手段, 已避免了手工对模具零件装配过程的修配使用。高速铣削、成形磨削、成形电火花加工、慢走丝线切割加工及表面处理等技术, 已经在精密模具制造中大量应用。

## 5.9 电连接器冲压模具的监测和保护装置

电连接器的模具大多为高速生产, 最高次数能达到 3000 次/min 以上, 任何的微小故障都可能造成模具损伤和产品报废, 重则会造成模具报废和压力机损伤, 甚至对人员也会造成伤害, 因此对模具进行检测和加装保护装置是必不可少的。

通常模具装有以下两种装置。

### 1. 误送装置

用一根活动的 PIN 针插到产品的定位孔中, 来确认每次送料的准确性。若送料没送到位, PIN 针将不能插到对应的孔而被顶回, 触发微动开关发出停机信号给压力机, 使压力机停止下降, 避免送料没送到位时造成对模具的损坏。

### 2. 跳屑装置

用来感应模具每次闭合到下死点时, 脱料板与凹模板间的距离。当发生跳屑和其他异常状况, 而造成模具闭合不到位、感应距离超过设定值时, 感应装置就会给压力机发出信号, 使压力机停止下降, 以免产出不良产品和模具损坏。

## 5.10 高速精密冲压模具的使用与维护

### 5.10.1 模具使用

模具在实际使用中的工作条件是非常严酷的。工作中凸模承受很高的压应力,有的高达1900~2400MPa,凹模则承受很高的拉应力,因此要求模具有很高的强度,要有一定的韧性,还要考虑冲压模具与被加工材料之间的摩擦问题。此外,如果压力机的刚性差、精度低、加载速度过快,压力机吨位过低或过高,工作频次过快,模具的冷却和润滑条件不良等,都会对模具产生重大影响。

压力机的刚性差、精度低,易导致凸模和凹模的中心不重合,工作间隙发生变化,加速模具磨损。当加载速度过快时,易导致模具在瞬间承受力过大,使模具上的较薄弱处发生变形或开裂。若在高速生产中模具冷却不及时,或使用的润滑剂不正确,会引起模具中的摩擦力增加,从而加速模具的磨损失效。因此在模具使用过程中,对其相关的部分都要予以考虑,这样才能使模具在使用寿命期内一直处于良好状态。

### 5.10.2 模具维护

为了保证正常生产,提高冲压件质量,降低成本,延长冲模寿命,必须正确使用和合理维护模具。严格执行冲模“三检查”制度(使用前检查,使用中检查和使用后检查),并做好模具与维护检修工作。及时研磨、抛光模具刃口和折弯零件,注意保持模具清洁和合理润滑等。模具的正确使用和合理维护可以延长模具寿命。由于构成模具的各零件寿命是不一样的,维护的时机也各不相同。只有了解这种情形下,才能进行适当的维护,才能使模具可以持续顺利使用。

#### 1. 冲切下料的冲头与寿命

这是模具维护中周期最短的零件,冲头的材质、形状、间隙、表面粗糙度等都会影响其寿命,若使用至异常磨损状态时,研磨量就会增多,也会缩短模具整体的寿命。

#### 2. 弯曲、拉深等的冲头及其下模零件

这些零件是以R面及侧面作为工作面。在工作的滑配面,初期会出现橘皮状,中期会出现压痕,后期则是整个面形状崩溃。这些变化比较缓慢,维护的周期也会较长。影响其寿命的要因有零件材质、表面粗糙度、润滑油等,也可对冲头进行表面处理(如表面镀钛)来延长使用寿命。

#### 3. 弹簧

模具上会使用很多弹簧,弹簧长期使用会产生断裂,对模具伤害比较大。因为通常是在看不到的状态下使用弹簧,难以发现问题,所以应该按生产数量定期更换弹簧。

#### 4. 模具的主导柱和辅助导柱组件

导柱组件是维持模具精度的重要元件。高速生产时磨损加剧,润滑状态、偏心荷重等影响,会使导柱和衬套的间隙扩大,就难保持上模和下模的定位精度,在模具的各个部分就会发生问题,引起模具的损坏。若导柱表面发生烧附现象,是因为导柱垂直度不良或偏心载荷太大,这大多是因为模具设计或制作阶段有异常;因偏心荷重而产生烧附时,应考虑模具的压力中心,必须将压力机上模具装置的位置适当错开;若垂直度不良时,则必须重组模具的

导柱。

### 5. 模板

模具在冲压加工时会产生极小的弹性变形, 高速冲压模具使用频率高、时间长, 长期积累会导致模板产生翘曲, 影响模具精度, 必须定期消除翘曲现象。在寿命期限内须定期检测模板, 必要时需更换出现异常的模板。

### 6. 垫片管理

因为重复对模具进行保养, 冲子和刀口底部的垫片会增加, 若不进行适当的管理和控制, 即使模具已进行维护, 也会发生问题。

### 7. 脱料螺栓

脱料螺栓经长期使用后, 会发生螺纹部分破损、头部磨损、脱料螺栓接触面凹陷等, 甚至出现断裂, 会造成脱料板不平衡, 以致模具损坏。

## 5.10.3 常见故障的排除

电连接器冲压件多为高速连续生产。高速生产中冲头回退时, 容易产生负压将废料带出凹模, 同时, 冲压过程中会加入冲压油润滑以降低冲压温度, 冲压油也会将废料粘在冲子上被带出凹模, 或在凹模中把废料粘在一起把凹模堵住。如何避免这些现象产生, 是保证高速连续冲压的必要前提。

### 1. 跳屑

跳屑是在冲裁加工过程中, 材料被剪断分离后, 滞留在凹模内的材料会随着凸模的快速上升一起被带出, 接着又落在模具表面的现象。如果发生跳屑现象, 一方面会因操作者粗心而发生人身事故; 另一方面, 也会造成产品报废、模具损坏等重大的质量问题。

(1) 跳屑产生的原因 根本原因在于废料与凸模之间的吸附力  $>$  废料与凹模之间的摩擦力  $+ 废料重力$ 。特别是薄板小径冲裁, 滞留在凹模内的材料与凹模之间摩擦力较小, 更容易引起废料上移。在实际生产过程中, 具体原因较为复杂, 主要有以下几种。

1) 凸模与凹模之间的间隙过大时容易发生废料上移。

2) 由于对凹模的直壁进行了抛光或高精度磨削, 凹模直壁部分过于光滑, 容易发生废料上移。

3) 凹模的直壁过高, 存储的废料过多, 向下的摩擦力增大, 容易发生废料上移。

4) 薄板冲裁时, 冲裁废料的形状大而薄, 紧紧吸附在冲头下面。

5) 由于使用高粘度润滑油, 因黏附力较大而产生黏附现象。

6) 凹模研模后, 刃口过于锋利。

7) 在模具加工或冲压生产过程中, 凸模上面产生磁性而产生吸附现象。

(2) 跳屑的应对措施 在实际生产过程中, 为防止废料上移, 通常采取以下几种应对措施。

1) 材料很薄时, 由于油的黏附力、磁性、真空等原因, 而极易吸附于凸模的底部, 对凸模采取改进措施。减少凸模与废料的接触面积, 从而减少凸模对废料的吸附。在实际生产中常常应用图 5-34 所示的带突起型凸模、凹坑型凸模、加强筋型凸模等几种形式。

2) 弹销器顶料凸模, 如图 5-35 所示。在凸模内加工阶梯孔, 设置打料销及弹簧。冲裁时, 废料被压入凸模内; 卸料时, 打料销被弹簧顶出, 将废料顶落在凹模内部, 不会产生废

料上移。

3) 带气孔凸模, 如图 5-36 所示。在凸模中心加工一个气孔, 气孔与高压空气相连, 冲裁结束后, 高压空气将废料吹落, 吹出模具工作范围。

4) 尺寸精度要求不高的冲孔, 研磨凹模直壁时使用粗粒度砂轮, 使凹模直壁部分的光滑度不要太高, 减少废料上移的可能。

5) 凹模的直壁部分太长, 易产生废料上移, 在保证强度的前提下, 可尽量减小凹模的深度。

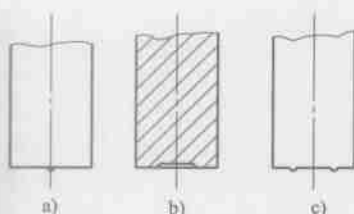


图 5-34 凸模防跳屑

a) 带突起凸模 b) 凹坑型凸模  
c) 加强筋凸模

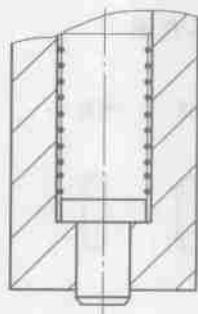


图 5-35 弹销器防跳屑

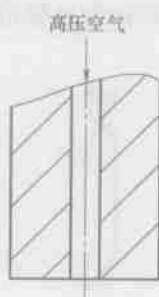


图 5-36 吹起防跳屑

6) 批量生产时, 凸模刃口因磨擦会产生磁性而吸附废料, 所以要定期消磁。

## 2. 堵料

由于凹模孔内表面太粗, 凹模孔内的油太黏, 或废料在凹模孔内乱成一团以致卡在一起, 都有可能使废料塞在凹模孔内无法顺利滑落到压力机下。当废料在凹模孔内塞死之后, 冲头根本就压不下来, 因此冲头可能断裂, 而凹模也可能崩裂, 这种现象称为堵料。

### (1) 堵料的产生原因

- 1) 凹模的刃口部分过于粗糙, 冲压油过于黏稠。
- 2) 在模具加工或冲压生产过程中, 凹模产生磁性而产生吸附现象。
- 3) 凹模的刃口直线段过长, 或落料斜度太小。
- 4) 冲子和凹模的间隙过小。

### (2) 堵料的应对措施

- 1) 加工时适当提高凹模的表面光洁程度, 改善冲压油的粘度。
- 2) 对凹模进行定期退磁。
- 3) 选取合理的间隙, 凹模刃口分为直线段和落料斜度。

## 5.11 电连接器高速精密冲压典型生产实例

### 5.11.1 典型外壳件

图 5-37 所示为 MICRO USB 电连接器外壳。该产品的工艺重点是轮廓精度与扣合强度。排样设计的要点在于条料刚性设计、折弯和扣合的过程设计。建议采取下折弯方式。图





图 5-40 弹簧端子

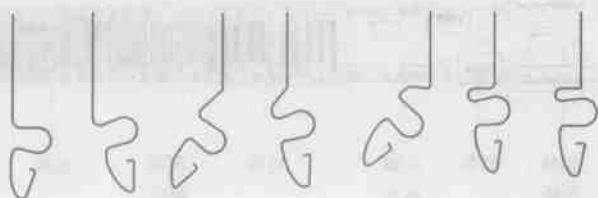


图 5-41 折弯工步示意图

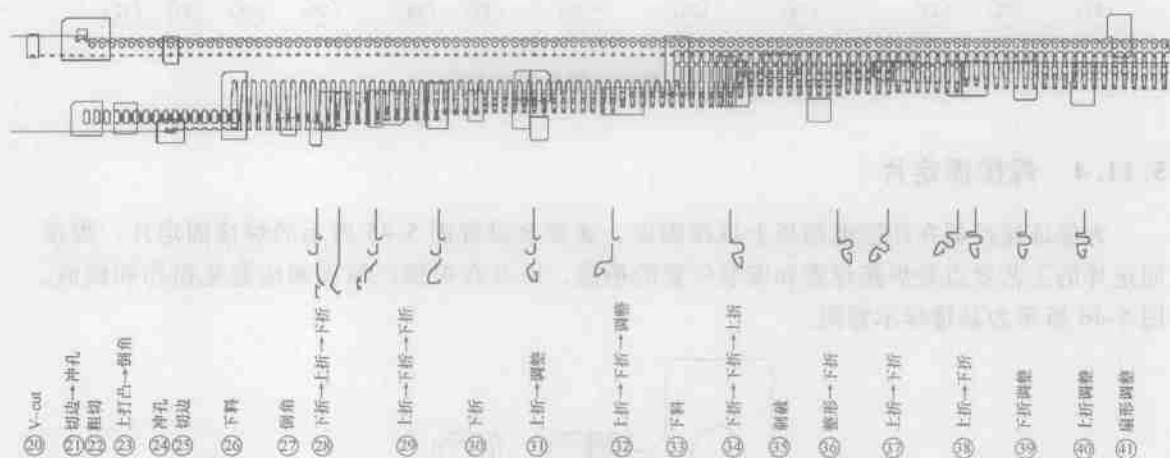


图 5-42 总体排样示意图

### 5.11.3 端子 2

图 5-43 所示为 USB 弹性端子。该产品的工艺重点在于弹性体的轮廓精度、接触点的位置精度和表面粗糙度要求，这些对于保证产品的机电特性至关重要。为了提高材料利用率和生产率，采用双边连料的排样方式，如图 5-44 所示。

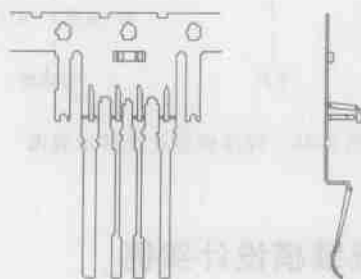


图 5-43 USB 弹性端子

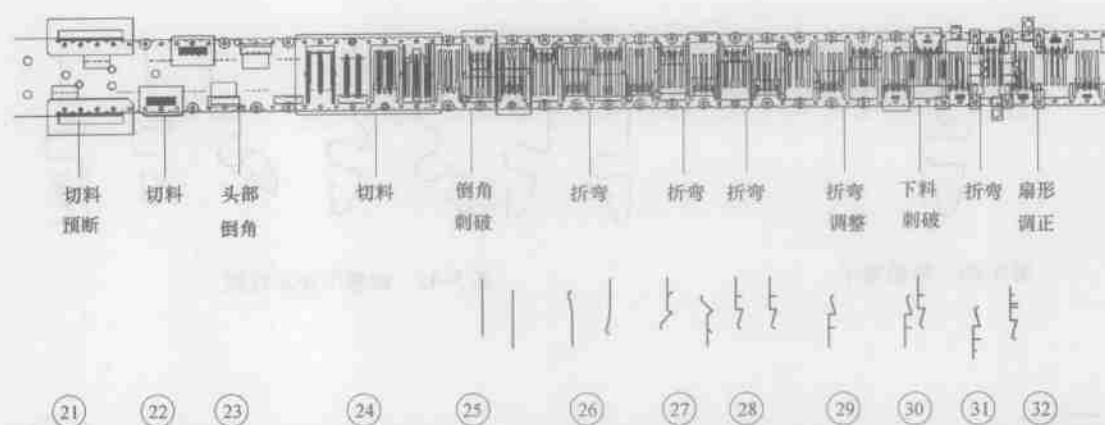


图 5-44 双边连料排样示意图

#### 5.11.4 焊接固定片

为保证连接器在印制电路板上焊接固定，通常会设置图 5-45 所示的焊接固定片。焊接固定片的工艺要点是焊接位置和安装位置的精度，以及在焊接区域表面应避免损伤和模痕。图 5-46 所示为其排样示意图。

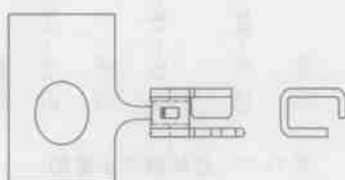


图 5-45 印制电路板焊接固定片

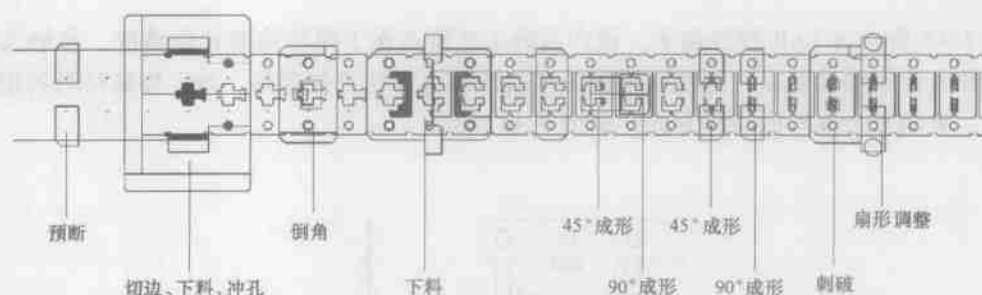


图 5-46 焊接固定片排样示意图

## 5.12 精密端子冲裁连续模设计实例

图 5-47 所示为电子连接器中的端子件冲压产品图。端子是电子产品中的接触元件，其功能是传输电子信号。

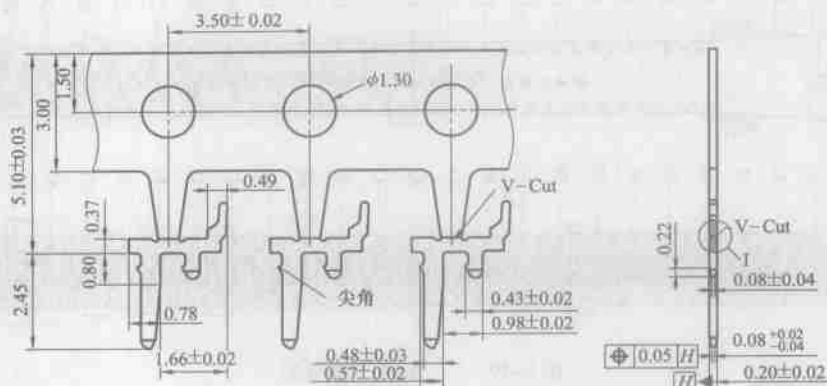


图 5-47 端子冲压产品图

### 1. 工艺分析

图 5-48 所示的端子制件，材料为 0.20mm 厚的 C5210R-H 铜箔；技术要求为：清角处允许工艺  $R$  最大为 0.1mm；未注公差按 GB/T 1184—1996 中 12 级；允许冲切毛刺不大于 0.04mm，接触区域不允许有毛刺、压伤、裂痕；预折线（俗称 V-Cut）能保证装配强度及零件顺利分离料带；料带允许扇形不大于 3mm/1000mm，扭转角度不大于  $45^\circ/1000\text{mm}$ 。

(1) 材料工艺性 C5210R-H 是 JIS 标准牌号的磷青铜，导电性能好，弹性及冲压性能都较好，是端子类常用材料之一。

(2) 结构工艺性 该制件为单侧切边型结构，冲压送料时只能单侧连接，给送料导向带来较大困难；该制件有后续镀层要求，冲压好的端子要留在中料带上。为方便后续折断，冲压件作料预断处理（俗称 V-CUT），使之将断未断，然后再用手

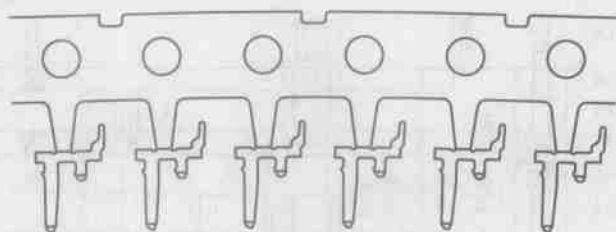


图 5-48 端子冲压缺陷

或机械折两下即可断。又因制件冲压成形后仍需要留在料带上，中冲压过程中由于内应力不均，容易出现横向弧形弯曲（俗称扇形缺陷），如图 5-48 所示。

### 2. 排样设计

根据上述工艺分析，经工程研讨，为满足大批量生产要求，设计成“一出四”排样图，如图 5-49 所示。

排样步距为 7.0mm（ $2 \times 3.5\text{mm}$  双料带），共 56 个工位。因制件尺寸小，安排了 17 个空位，以满足工作零件安装需要。在 39 个有效工位中，第 1、14、23、37、47、56 工位为浮料块；第 2 个工位为 V-CUT；第 5 工位为材料切边；第 6 工位为冲裁导正孔；第 9、12 工位为 PIN 头头部预切；第 16、17 工位为 PIN 头预倒角；第 29、30、34、35、39、40、44、45 工位为 PIN 头精切；第 49、51、53 工位为 PIN 头精倒角，第 55 工位为扇形调整。

该排样为典型的冲裁搭边法，即通过逐步冲裁制件的搭边材料获得端子外形。冲裁搭边分两部分进行：第 9、12 工位为局部粗切，将端子之间部分材料落料后，供第 16、17 工位倒角，这样可避免材料没有空间延展而造成料带变形。（为保证倒角尺寸和正位度要求，在

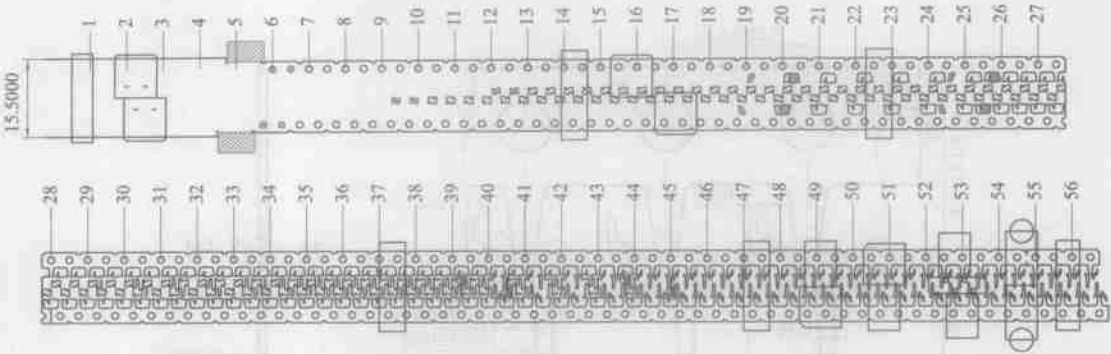


图 5-49 “一出四”排样图

端子外形全部出来后的第 49、51、53 工位再进行精倒角。) 在第 29、30、34、35、39、40、44、45 工位进行精密冲裁，以获得较好的断面质量，但其中几个精冲工位的压料宽度较小，需要采取强压措施，第 34、35、44、45 工位的强压力为 0.02mm。

3. 模具结构设计

模具结构设计如图 5-50 所示。

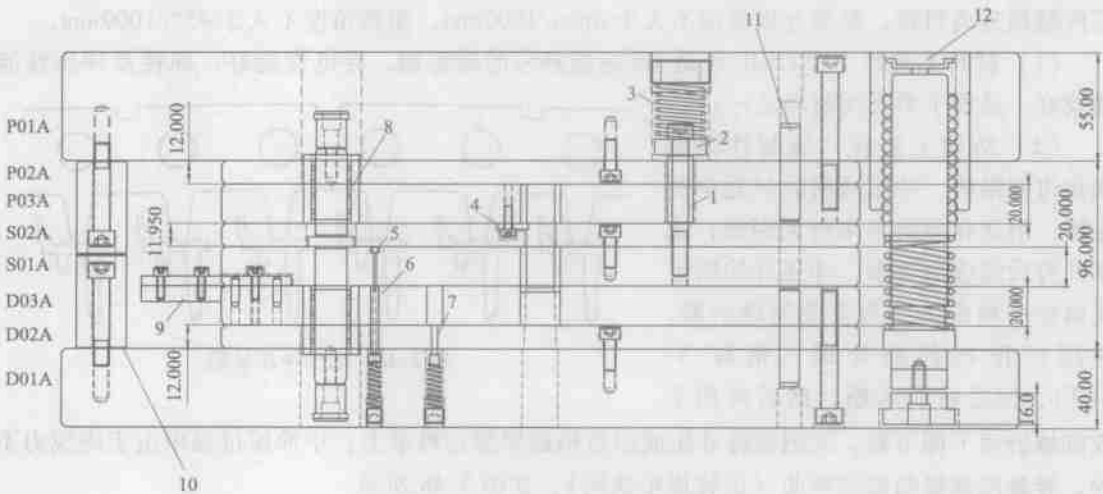


图 5-50 模具结构图

P01A—上模座 P02A—上模垫板 P03A—凸模固定板 S02A—卸料背板

S01A—卸料板 D03A—凹模固定板 D02A—下模垫板 D01A—下模座

1—等高套 2—垫圈 3—卸料弹簧 4—冲头侧压装置 5—导正销 6—带导正销孔浮料销 7—顶杆

8—双头滚珠式内导向组件 9—导料板 10—限位柱 11—模板导正销 12—滚珠式外导向组件

(1) 支撑与导向 制件尺寸精度要求高、步距小，为保证模具的稳定性，采用自制模架（材料 S50C），上、下模导向为四个滚珠式外导向组件 12。由于产品批量特别大，模具总寿命要求长，外导柱选用拆卸性结构。为了保持导向精度不变，导套用厌氧胶粘接。模板间的滚珠式内导组件 8 为双头滚珠式内导向结构。

(2) 压料与卸料 如前所述，有些工位必须采取局部强压方式，其方式为卸料镶块须高出卸料板 0.02mm。弹压力由卸料弹簧 3 提供，调节弹簧上端的螺塞，可以调节弹簧的预

压力,实现压料力与卸料力可调。为防止工作时因压料力过大而导致带料被严重压薄,必须在卸料板上开出0.18mm深的容料槽。合模高度由限位柱10来限定,为操作方便,下限位柱高度要求不高于下模高度。

(3) 导料与定距 该模具为卷料送料,模内用导料板9导料;送料初定距离依靠模具外的自动送料装置,配合导正销5可实现精密定位。

#### 4. 模具详细设计

(1) 可拆卸性设计 本模具结构复杂,零部件数量多,尺寸精度高,制造成本高,要求服役周期长,所以对于易损、易耗零件,务必提高其可拆卸性,减少拆卸时间和费用,降低对维护人员的技能要求和劳动强度。根据分析,确定的拆卸对象有工作、导向和定位的零件。

导向零件和定位零件中如图5-50所示,具备较好的可拆卸性。工作零件则均设计为快换固定方式。凸模均采用图5-50中标示4所示的压板固定方式,拆卸简便。凹模均采用导板压住的固定方式,在工作零件下面的下垫板和下模座中,有一个对应的贯通直孔(俗称敲击孔),这样无需拆卸模板,通过该孔即可更换工作零件。

模具维护时经常需要将销钉敲出,销钉孔受力不均会出现损伤,从而降低模具精度。因此,该模具采用了内螺纹型销钉,拆卸时采用如图5-51所示的拉拔器,既不损伤销钉孔,又降低了拆模的劳动强度。

(2) 防跳屑措施 跳屑是指冲裁完成后,本应留在凹模腔中的废料却随凸模跳出,留在下模表面或刃口处。跳屑容易在产品上留下压痕,影响表面质量,并加速工作零件磨损,甚至造成刃口崩损。

根据该模具结构,针对具体情况,设计了以下两种防跳屑方案。

对于圆形冲孔(如槽型导正孔),将凹模刃口设计成如图5-52所示的倒锥式,形成凹模壁部比废料轮廓小,使废料呈弯曲状卡在其中,以防止其跳出。对于对称形状冲裁,将整体凹模做成分体组合形式,并相互错开 $a=0.002\sim 0.005\text{mm}$ (见图5-53),使废料形状不再

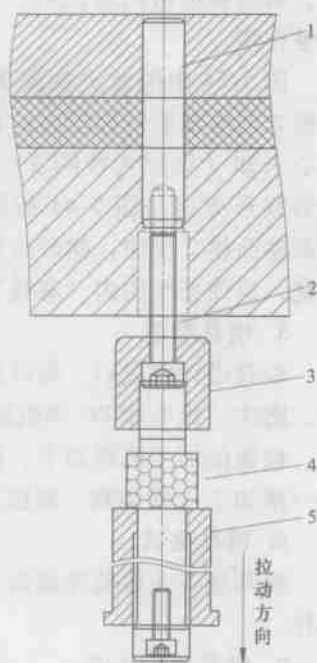


图 5-51 销钉拔出结构

1—销钉 2—螺钉 3—拉拔头  
4—拉拔杆 5—锥子

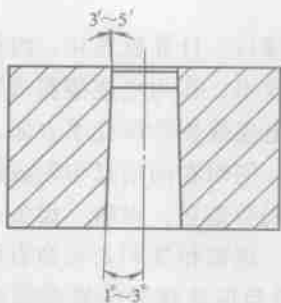


图 5-52 倒锥式凹模刃口

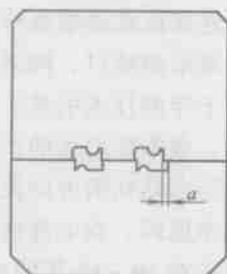


图 5-53 分体、错位式凹模

简单、对称,防止了因吸附力均匀而产生的跳屑现象。

(3) 扇形调整机构 针对冲压加工中可能会出现扇形、间距不均、平面度差等缺陷,在模具设计中都设计了相应的调整机构。以扇形调整机构为例说明,其结构如图 5-54 所示。

在投影仪下,如果发现冲压条料出现图 5-44 所示的扇形变化时,松开紧固螺钉 6,将调整螺钉 7 向内拧;调整斜楔 5 则被向内推,调整凸模 2 在斜面作用下向上浮动,上端的梯形凸台作用在条料的内侧,条料被迫由内扇向外“伸展”,达到调整作用。

图 5-54 中的放大视图 B 表明,调整凸模 2 的底部为对称斜面,而梯形凸台为偏心未知(见放大视图 A)。所以,如果条料扇形方向与图 5-44 所示相反,则可将调整凸模 2 反向,梯形凸台作用在条料外侧,迫使条料向内“靠拢”。

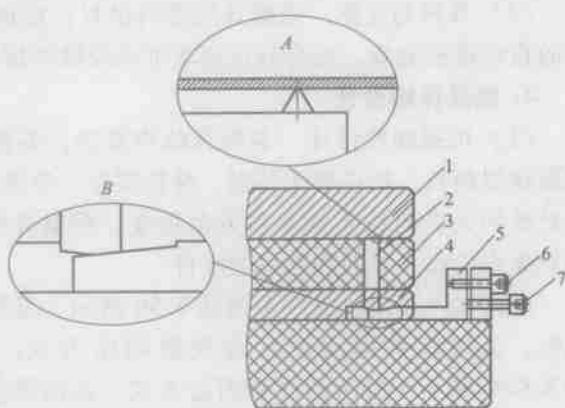


图 5-54 扇形调整结构

1—卸料板 2—调整凸模 3—凹模固定板 4—下垫板

5—调整斜楔 6—紧固螺钉 7—调整螺钉

## 5. 模具制造

模具设计完成后,即可进行备料加工。一般高速冲压的模具零件为硬料,直接用线切割、磨床、放电和 PG 等机床加工完成。

模板的加工流程如下:模板备料→模板粗加工(钻孔、攻螺纹、铣孔等)→检验→热处理→精加工(线切割、磨削、放电等工艺)→检验。

## 6. 模具组试

模具加工并检验完成后,即交给模具技术人员进行组立、试模,产品检验合格后进行试样。

## 7. 模具冲压生产

模具经小批量冲压生产后,可移交给生产部门进行批量生产。大量生产时必须对模具寿命进行管控,并根据实际状况(模具的精度、零件材质、加工材料等),对模具设定保养周期。对这款产品每次保养刃口的周期设定为 600 万次,定期对模具进行保养。

# 5.13 电连接器高速精密冲压发展趋势

我国的电连接器高速精密冲压技术,即各类信号传输接口、计算机芯片、内存插槽、多功能扩展槽、显示器接口、网络接口、信号接口等的冲压技术,作为电连接器的核心生产工艺,经过近二十年的技术引进、消化和追赶,目前在常规电连接器冲压技术方面,尤其在顺应产业变化快、成本压力大的产品方面已具有国际竞争力,同时在向信息与集成化、数字与精细化、高速与自动化的方向发展。但由于技术视野、格局与追求,材料、设备、工艺以及人员技能等诸多原因,在电连接器冲压生产技术的复杂化、超高精度和长寿命方面,与工业发达国家大约还有 10~15 年的差距。电连接器冲压技术是与电连接器的发展需要同步提升的,并应适当超越电连接器的发展需要。电连接器冲压技术的发展趋势主要体现在以下几个

方面。

### 1. 电连接器冲压技术要顺应制件的发展变化

电连接器向微小化、薄型化发展,要求进一步提升其冲压件的形状、尺寸精度,电连接器冲压工艺需要顺应这些发展变化。随着电连接器应用高弹性材料、线簧材料、纳米材料、有记忆功能材料等新兴材料,对其冲压工艺难点,如制件成形回弹的影响等,必须顺应材料的发展变化而攻克。

### 2. 电连接器冲压模具追求高速、稳定、长寿命、少维修

电连接器冲压模具多为微小型多工序级进模,主要包含冲裁、折弯工序,还包括胀形、撕口、翻边、压印、拉深等工序。要达到高速、稳定、长寿命、少维修,一是要对不同批量特征的工作零件采用合金工具钢、粉末冶金高速钢、硬质合金等;二是要从模具主体刚性、导向精度、固定强度、工艺精度,运动部位零件的摩擦磨损、热效应、脉冲应力应变等多方面采取对策;三是改进和优化模具,重点从模具冲压生产的规律、特点中,去改进和优化模具的结构、材料、零件加工与后处理、以及测控系统,在磨损、热变形、耐疲劳等方面采取有效对策,使模具始终保持良好的运行精度。目前国内已有少数厂家实现了3000次/min的稳定生产。

### 3. 电连接器冲压模具向快速开发、快速切换方向发展

为了适应多品种、小批量生产的需要,加快模具制造速度,降低模具生产成本,开发和应用快速经济制模技术,越来越受到人们的重视。应用快速经济制模技术制造模具,如组合式模块化模具,简化了模具制造工艺、缩短了制造周期(比普通钢模制造周期缩短70%~90%)、降低了模具制造成本(比普通钢模制造成本降低60%~80%),在工业生产中取得了显著的经济效益。对提高新产品的开发速度,降低生产成本有着非常重要的作用。

### 4. 注重高速精密冲压生产过程的及时监控

目前,电连接器冲压已形成成熟稳定的生产技术,在冲压生产稳定性方面已接近国际先进水平。端子类冲压件多采用150~500kN小吨位设备生产,冲压次数达到500~800次/min,技术水准较高的厂家对常规复杂程度制件有1000~1500次/min的量产实绩,外壳类冲压件一般以100~300次/min的速度生产。因此,冲压生产过程中一旦出现质量问题将是批量化的。通常在模具内设置限位柱/块以避免模具过度冲击,采用误送料检测、下死点检测、跳屑检测装置以保障稳定量产。近期行业内逐步推行影像检测,实时检测反馈产品的外观和尺寸。

## 参考文献

- [1] 布朗诺维克. 电接触理论、应用与技术 [M]. 许良军, 芦娜, 林雪燕, 等译. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [2] 中国模具工业协会. 中国模具工业年鉴 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [3] 王巍, 周耀红. 模具设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.

## 第6章 微薄件高速精密冲压技术

### 6.1 概述

#### 6.1.1 微薄化成形的技术发展

随着电子工业及精密机械的飞速发展,产品微薄化已成为工业界的趋势之一。

微产品的实际应用主要源于电子工业。随着大规模集成电路制造技术和以计算机为代表的微电子工艺的发展,以及医疗生物工程的兴起,越来越多的电子元件、电器组件及计算机配件等趋于微薄化。特别是在通信、微系统技术(MST)和微电机系统(MEMS)等领域,对微型零件的需求量越来越大。微成形冲压件要求具有极高的生产效率,最小的材料损耗,最终产品要具有优良的力学性能和几何精度。所以,微薄件适合采用精密模具和高速压力机进行大批量生产。微薄化成形技术已引起先进工业国家的重视,近几年我国在这一领域发展较快。

图6-1所示为直径1mm的微电动机,最高转速达18000r/min,质量仅为12.5mg,右边是一粒芝麻来做大小比较。

由于微型产品甚小,故对模具和设备的要求很高,甚至苛刻。已有的成形工艺的技术数据和实验方法,新的成形理论和各种计算机数值模拟技术,为微成形技术研究奠定了坚实基础。同时,为满足微成形生产需要,相关的装备(模具、设备、输送装置等)也在随之完善和发展。

微成形与传统成形一样,也涉及材料、工艺、模具和设备,同样需要考虑工具、模具设计,工艺参数优化,模具材料的磨损及处理等问题。但是,由于工件微薄化,就不能把常规尺度下的工艺、结构、物理等参数,简单地按比例缩小后应用到微成形过程中。而且,微薄化影响因素将涉及冲压工艺过程的各个方面。

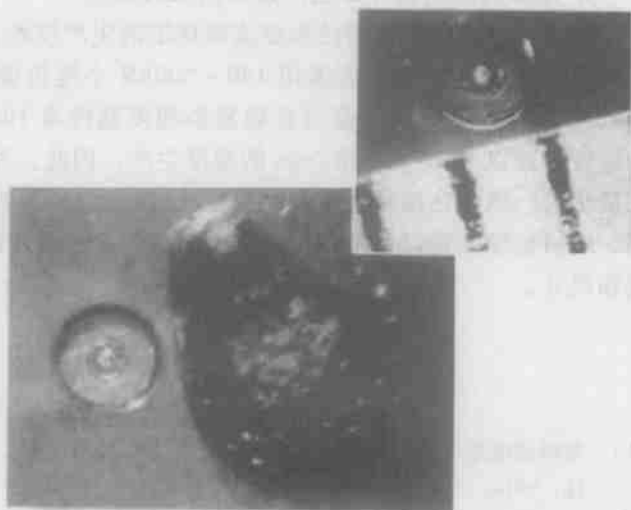


图6-1 直径1mm的微电动机

迄今,微成形技术尚处于探索和实验研究阶段。日本和德国等先进工业国家已进行了大量研究,在技术探索的同时,也为该领域将来必然发生的激烈竞争,抢占了一些技术制高点。

### 6.1.2 微成形工艺

常规的厘米及毫米级尺寸的冲压成形,其工艺和机理都已比较成熟。近年来,随着电子和精密机械的高速发展,微米、亚微米甚至纳米级尺寸的细微零件加工被极大关注,细微零件的加工越来越重要。微型产品体积小、能耗低、精度高,灵敏性和工作效率高,易于实现智能化,在通信、汽车、生物工程等领域应用前景广阔,

目前,在金属薄板的微成形方面,主要有薄板的微拉深、增量成形、微冲裁和微弯曲等微冲压方法。随着制造业的飞速发展,在实际应用中对微薄壁零件的需求急剧增加。微冲压成形技术以其工艺简单、高效率 and 低成本等优点,在微型零件的规模化中有着显著优势和广阔前景。与传统冲压工艺相比,虽然过程相同,但微冲压并不是传统冲压形状的简单缩小。

随着成形零件尺寸缩小,微冲压具有以下的特点:

- 1) 随着零件尺寸的减小,其表面积和体积之比增大,从而影响到温度条件。
- 2) 零件尺寸越小,工模具之间的黏附力和表面张力的影响较大。
- 3) 晶粒尺度的影响显著,不再像传统成形那样,被看成同性的均匀连续体。
- 4) 当产品的宽度尺寸和板厚相当时,很高的应变速率会影响到材料的塑性和微观组织,特别是晶粒尺寸和典型的工件尺寸。
- 5) 零件的尺寸越小,闭式的润滑坑面积占总润滑面积的比例越小,工件表面存储润滑油越困难。

### 6.1.3 微成形模具及设备

微成形模具与传统模具相比,对模具加工、模具组装和冲压设备的要求进一步提高,甚至苛刻。但是,微成形模具还是基于传统模具,传统模具有着成熟的工艺和实验方法,为微成形模具的研制奠定了坚实基础。各种微细加工技术的发展,使微成形模具制造成为可能。

微成形产品比普通产品要小很多,但在产品的尺寸和外观上却有着更严格的要求。因此,微成形模具零件的加工和配合精度,往往需要达到微米或更高的精密级别。模具及相关配套件是微成形冲压的基础,关系到微成形产品的实际应用。薄板微成形件的生产批量较大,虽然尺寸都很小,强度较低,但对尺寸精度和表面粗糙度的要求却都很高,需要专门的夹持和定位装置。对微成形冲压设备要求具有很高的位置控制精度和下死点精度。

微挤压成形模具(见图6-2)主要由凸模与凹模组成。设计时借鉴了传统模具的设计方法,并结合微成形装置的尺寸和结构特点,在保证微成形模具具有足够强度的前提下,选择适合成形装置的模具尺寸。凹模与安装面采用六角螺栓固定。为便于退出挤压件,凹模采用横向分割式,即将凹模分为上半凹

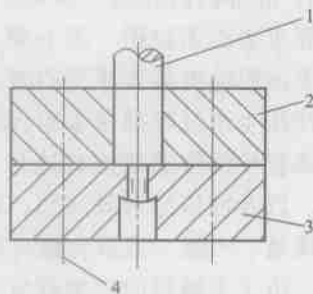


图 6-2 微挤压成形模具  
1—凸模 2—上半凹模  
3—下半凹模 4—螺栓

模与下半凹模, 为避免挤压时材料进入两个半凹模配合表面的间隙内, 应对两个配合表面进行磨光处理。通过改变凸模与凹模型腔的形状、尺寸及结构, 还可以成形其他不同三维结构的微形零件, 从而扩大成形装置的应用范围。

微挤压成形技术作为一种近净成形技术, 在难加工材料及复杂构件的加工中具有明显的优点。目前, 国外对该技术的成形装置研究已取得了突破性的成果。

## 6.2 微成形件的种类及特点

随着科技的发展, 微成形件呈现出多种类型, 如声学类的微型助听器, 医学类的无痛针头, 摄像类的微电动机等。

### 6.2.1 注射类

在医学上, 注射法是全身给药的重要方式, 但在注射过程中会产生疼痛, 给患者带来痛苦。无痛注射研究, 是从疼痛产生的各环节入手, 达到注射时无痛或减轻疼痛的目的。日本科学家已经研制出一种模仿蚊子口器的医用针头, 在扎进皮肤的时候不会感到疼痛。原因是蚊子口器呈锯齿状, 与皮肤组织接触面积较小, 产生的疼痛感大大降低。无痛注射针头长 15mm, 刺入皮肤的前端直径仅 0.2mm (见图 6-3)。这种新型针头在日本已研制成功, 并大量生产, 在国内目前还在研究中。

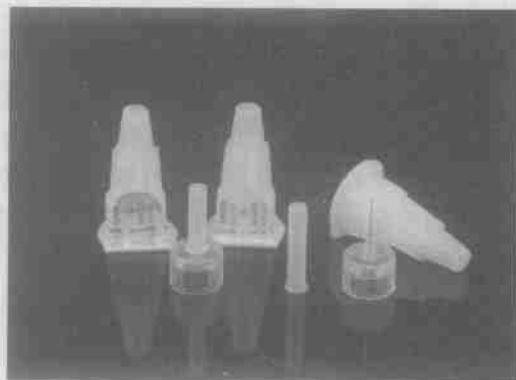


图 6-3 无痛注射针头

医学类产品的主要特点是尺寸小、精度高、卫生要求严, 对生产过程要严格把关, 对生产环境要有明确要求。原材料、生产辅料必须有成分说明, 符合国家标准。最终产品必须通过相关医学体系认证, 经过多次临床实验, 才能成为合格的产品。

图 6-4 所示为药物流量控制器, 精度要求较高, 直段部分的外径为  $(0.97 \pm 0.0127)$  mm, 底部的内径为  $(0.605 \pm 0.0127)$  mm。产品要求表面无拉伤、无毛刺, 使得模具精度及其表面粗糙度的要求变得更高。同时, 对其整个冲压生产过程都带来很大难度。特别是不锈钢薄板拉深带来的模具选材、热处理、加工制造, 以及冲压润滑等问题, 都直接影响到产品的质量、产量、成本和模具寿命。

由于不锈钢的屈服强度和硬度较高, 冷作硬化效应明显, 因此在拉深时有以下特点:

1) 因材料强度比普通低碳钢高, 导致所需变形力大。

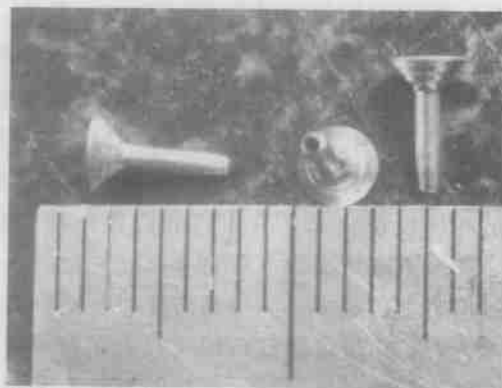


图 6-4 药物流量控制器

- 2) 因其塑性变形时急剧硬化, 薄板拉深时容易起皱, 需要较大的压边力。
- 3) 材料在拉深凹模圆角处的弯曲回弹, 会在产品侧壁形成凹陷变形, 有些需要增加整形工序。
- 4) 容易出现粘结瘤现象。

不锈钢拉深会在产品表面产生拉深痕, 应选择冲压成形性和贴模性较好的材料。产品的切断面产生的毛刺, 可采用化学研磨法去除。该产品试生产时采用非接触式测量仪检测, 量产后采用通止量规检验。

### 6.2.2 声学类

声学类产品以图 6-5 所示的传声器外壳为例加以说明。

麦克风外壳的外形尺寸为  $3\text{mm} \times 2\text{mm} \times 0.7\text{mm}$ , 材料采用  $0.1\text{mm}$  厚的黄铜薄板, 要求产品外观无压伤、划伤, 端面无毛刺。铜材在冲压时极易产生粉屑, 如果残留在模具内部, 产品上就会有压伤、划伤缺陷, 所以需要选择适合该产品成形的材料, 这在大批量生产时尤为严重。冲压生产时要控制产生的粉屑, 一般采用吹气法将模具上残留的粉屑吹出。该产品拉深较浅, 不会产生严重的拉深痕。

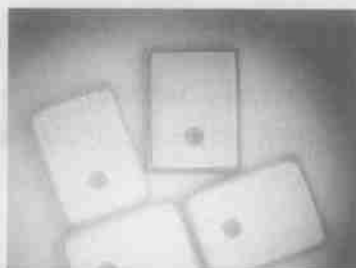


图 6-5 传声器外壳

该产品的部分尺寸用通止测量规来检测, 因为产品太薄, 四周和底面的  $R$  角尺寸只能用非接触式测量仪来检测。

### 6.2.3 摄像类

以摄像机电动机外壳为例说明, 其形状如图 6-6 所示。

该产品外形复杂, 内部翻边尺寸要求严格, 断面不允许有毛刺, 外形尺寸为  $9\text{mm} \times 9\text{mm} \times 4\text{mm}$ , 材质为 SPCD<sup>①</sup>。SPCD 材料适合拉深, 加上合适的润滑剂, 不会产生拉深痕。产品内部的 4 处环形正列的翻边, 需要严格控制, 一般采用通、止量规来检验是否合格, 生产时如果用仪器测量会比较繁琐。该产品冲压比较复杂之处在于切断面不在同一个平面上, 有高有低, 用普通落料方式难以奏效, 只能采用逐边侧面下料。侧面下料 (见图 6-7) 对模



图 6-6 电动机外壳

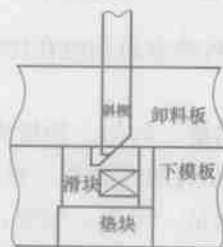


图 6-7 侧面下料模具示意图

① SPCD 是 JIS 标准系列的一种钢材牌号。

具精度要求很高,当卸料板与下模板闭合时,竖直的斜楔压在滑块上,使滑块进行水平冲切。如果卸料板与下模板不能完全贴合,就不能满足产品冲裁所需要的间隙。如果模具发生倾斜,产品上会产生毛刺,影响外观质量。

### 6.2.4 信号传输类

图 6-8 所示为信号传输类产品微型助听器信号传输管。

该产品很细小,外径为 0.5mm、内径为 0.40mm、壁厚为 0.05mm。就其超微尺寸和精度要求而言,该产品属于高难度精密冲压产品,需要通过高精密的模具和冲压设备来完成。实际生产中采用了连续级进模包圆技术,特别是对卷圆定位环节和各道工艺流程安排,都经过精确计算和多次试验,并凭借了多年的经验积累。在生产制造中的主要问题是产品容易变形,因冲裁间隙达到微米级别,故对模具零件的加工要求极高。

### 6.2.5 微电动机铁心类

图 6-9 所示为微型助听器的电动机铁心,是通过冲压方式生产的。产品的冲压尺寸公差需要保持在  $\pm 5\mu\text{m}$  内,产品的宽度小于材料本身的厚度,极其容易翻转变形。

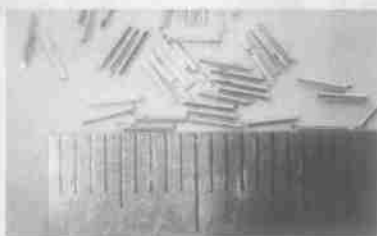


图 6-8 微型助听器信号传输管

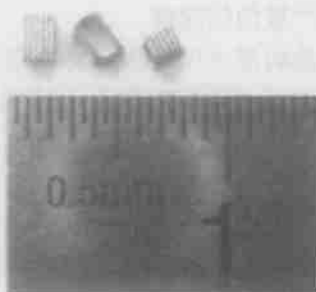


图 6-9 微型助听器的电动机铁心

## 6.3 微薄冲压件材料

### 6.3.1 对冲压材料的要求

冲压用材料的表面和内在性能对冲压成品的质量影响很大。对冲压材料的要求主要有以下几点。

1) 厚度精确、均匀。冲压模具比较精密、间隙很小,材料厚度过大会增加变形力,并造成卡料,甚至将凹模胀裂;材料过薄会影响成品质量,在拉深时甚至出现拉裂。

2) 表面光洁,无斑、无疤、无擦伤、无表面裂纹等。材料的一切表面缺陷都将存留在成品工件表面,其裂纹性缺陷在弯曲、拉深等成形过程中,可能向深度和广度扩展,造成废品。

3) 屈服强度均匀,无明显方向性。材料在拉深、翻边、胀形等成形过程中,因各向屈服的出现有先后,塑性变形量不一致,会引起不均匀变形,使成形不准确,造成次品或

废品。

4) 均匀伸长率高。拉伸试验中试样开始出现缩颈现象前的伸长率称为均匀伸长率。在拉深时,材料在任何区域的变形,不能超过材料的均匀伸长范围,否则会出现不均匀变形。

在实际生产中,常用与冲压过程近似的工艺性试验,如拉深性能试验、胀形性能试验等,检验材料的冲压性能,以保证成品质量和高的合格率。

### 6.3.2 材料特点

微成形采用的材料一般为箔材卷料。箔材在现代材料手册中指厚度  $h < (0.3 \pm 0.005)$  mm, 宽度  $w \pm 0.05$  和长度各异的有色金属材料。对表面加工要求越高的零件,要求材料的表面粗糙度值越小。一般来说,在保证料带输送的前提下,材料的利用率越高越好。随着材料科学及微成形冲压的发展,微成形冲压需要的材料性能,如高强度、深冲性、类超塑性、易成形性等获得大幅提高。以等同国际 ISO 标准的国标 GB/T 228.1—2010 (等同于 ISO 06892—1: 2009)、GB/T 5027—2007 (等同于 ISO 10113: 2006)、GB/T 5028—2008 (等同于 ISO 10275: 1993) 为代表,规范了金属材料的塑性、强度和成形性能等指标,并提供了评测方法,为评价产品性能,合理选材,对比工艺,提供了科学严谨的依据。

对于微成形冲压材料,轧制金属箔并不一定具有最适合微成形冲压的微观组织,也就是超细晶组织,而用电沉积制作的箔材,就具有较好的性能。近年来,电沉积法受到关注,这是一种制作箔材的有效工艺,制作的纳米材料密度高、缺陷少。特别是脉冲电沉积法,能够在瞬间提供极高的过电位,从而有效地促进晶粒形核,获得高质量的纳米晶体,在较多的纳米箔材制作方法中脱颖而出。

### 6.3.3 材料的冲压成形性能

材料的冲压成形性能是指材料对各种冲压加工方法的适应能力。如便于加工,容易获得高质量和高精度的冲压件,生产效率高(一次冲压工序的极限变形程度和总的极限变形程度大),模具消耗低,不易产生废品等。材料的冲压成形性能是一个综合性的概念,冲压件能否成形和成形后的质量,取决于成形极限(抗破裂性)、贴模性和形状冻结性。

成形极限是指材料成形过程中能达到的最大变形程度,在此变形程度下材料不发生破裂。可以认为,成形极限就是冲压成形时材料的抗破裂性。材料的冲压成形性能越好,材料的抗破裂性也越好,其成形极限也就越高。

材料的贴模性指材料在冲压成形过程中取得模具形状的能力,形状冻结性指零件脱模后保持其在模内获得的形状的能力。影响贴模性的因素很多,成形过程发生的内皱、翘曲、塌陷和鼓起等几何缺陷都会使贴模性降低。形状冻结性影响的最主要因素是回弹,零件脱模后,常因回弹过大而产生较大的形状误差。

材料冲压成形性能中的贴模性和形状冻结性是决定零件形状精度的重要因素,而成形极限是材料将开始出现破裂的极限变形程度。破裂后的制件是无法修复使用的。因此,生产中以成形极限作为材料冲压成形性能的判定尺度,并用这种尺度的各种物理量作为评定材料冲压成形性能的指标。

### 6.3.4 典型材料铍青铜的性能

铍青铜是热处理强化合金,以下主要介绍适合微成形的加工铍青铜。

铍青铜是以铍为主要添加元素的青铜。铍青铜的铍含量(质量分数)为0.2%~2%,再加入少量的(0.2%~2.0%)钴或镍第三组元。该合金可热处理强化,是理想的高导、高强弹性材料。铍青铜无磁、抗火花、耐磨损、耐腐蚀、抗疲劳和抗应力松弛,并且易于铸造和压力加工成形。铍青铜加工材的典型用途是用做电子器件中的载流簧片、接插件、触点、紧固弹簧、板簧和螺旋簧、膜盒、波纹管及引线框架等。

#### 1. 分类

铍青铜分为两大类。依合金成分来分,铍含量(质量分数)为0.2%~0.6%的是高导(电、热)铍青铜;铍含量(质量分数)为1.6%~2.0%的是高强铍青铜。依制造成形工艺,又可分为铸造铍青铜和变形铍青铜。变形铍青铜有C17000、C17200(高强铍青铜)和C17500(高导铍青铜)两大类。与之相对应的铸造铍青铜则有C82000、C82200(高导铸造铍青铜)和C82400、C82500、C82600、C82800(高强耐磨铸造铍青铜)。

#### 2. 性能

铍青铜具有良好的综合性能。其力学性能,即强度、硬度、耐磨性和耐疲劳性,居铜合金之首。其导电、导热、无磁、抗火花等性能,其他铜材无法与之相比。在固溶状态下,铍青铜的强度与导电性均处于最低值。加工硬化以后,强度有所提高,但电导率仍是最低值。经时效热处理后,其强度及电导率明显上升。

国际铍青铜带材的化学成分和物理性能见表6-1,其力学性能见表6-2。

表 6-1 国际铍青铜带材的化学成分和物理性能

合金	代号	技术条件				化学成分 (质量分数,%)	热处理工艺	密度 (g·cm <sup>-3</sup> )	电导率 (%)
	UNS	ASTM	JIS	DIN					
25 (C17200 经热处理)	C17200	B194	H3130	17672	1.90Be/0.2Co	315℃×2~3h	8.25	22	
190 (C17200 无热处理)	C17200	B194	H3130	17672	1.90Be/0.2Co	不需要	8.36	17	
3 (即:C17510)	C17510	B534	—	—	0.4Be/1.8Ni	480℃×2~3h	8.83	45	
174 (即:C17410)	C17410	B768	—	—	0.3Be/0.4Co	不需要	8.80	50	

注:UNS—美国统一数字编号系统;ASTM—美国材料检测协会;JIS—日本工业标准;DIN—德国标准。

表 6-2 国际铍青铜带材的力学性能

合金	状态 <sup>①</sup>	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率(%)	疲劳强度/MPa	硬度 HV
25	A	420~550	210~390	35~60	210~250	90~144
	1/4H	520~620	420~570	20~45	220~250	121~185
	1/2H	590~710	520~670	13~30	220~270	176~216
	H	700~850	630~810	2~18	250~270	216~287
	AT	1160~1380	980~1240	3~15	280~320	353~413
	1/4HT	1230~1450	1050~1310	3~10	280~320	353~424
	1/2HT	1300~1520	1120~1380	1~8	300~330	373~435
	HT	1330~1550	1160~1450	1~6	320~350	373~446

(续)

合金	状态 <sup>①</sup>	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率(%)	疲劳强度/MPa	硬度 HV
190	AM	700 ~ 780	490 ~ 670	16 ~ 30	280 ~ 320	210 ~ 251
	1/4HM	770 ~ 850	560 ~ 780	15 ~ 25	290 ~ 330	230 ~ 271
	1/2HM	840 ~ 950	660 ~ 880	12 ~ 22	300 ~ 340	250 ~ 301
	HM	940 ~ 1060	770 ~ 950	9 ~ 20	320 ~ 370	285 ~ 343
	SHM	1050 ~ 1130	870 ~ 990	9 ~ 18	330 ~ 390	309 ~ 363
	XHM	1080 ~ 1240	940 ~ 1200	4 ~ 15	350 ~ 400	317 ~ 378
	XHMS	1230 ~ 1340	1050 ~ 1270	3 ~ 12	350 ~ 420	325 ~ 413
3	A	240 ~ 390	170 ~ 320	20 ~ 40	140 ~ 210	65 ~ 125
	H	490 ~ 600	380 ~ 570	2 ~ 10	180 ~ 250	144 ~ 176
	AT	700 ~ 920	560 ~ 710	10 ~ 25	270 ~ 310	195 ~ 275
	HT	770 ~ 950	660 ~ 850	8 ~ 20	300 ~ 330	216 ~ 287
174	1/2H	670 ~ 800	560 ~ 700	10 ~ 20	310 ~ 350	180 ~ 230
	HT	770 ~ 920	660 ~ 880	7 ~ 17	310 ~ 350	230 ~ 280

① A—固溶软；H—加工硬态；T—时效热处理；M—生产厂热处理；SH、XH—特硬态、超硬态。

铍青铜的机加工、焊接和抛光的性能，与一般的高铜合金相似。为改善该合金的机加工性能，以适应精密零件的精度要求，美国开发了一种含铅（质量分数）0.2% ~ 0.6% 的高强铍青铜（C17300），其各项性能等同于 C17200，而合金的切削系数由原来的 20% 提高到 60%（易切削黄铜为 100%）。

### 6.3.5 新型冲压箔材

当代材料科学的发展已经可根据使用与制造要求研发新材料，因此出现了许多新型冲压箔材，主要分为高强度类、耐腐蚀类、双相类、涂层类及复合类箔材。

#### 1. 高强度箔材

是指对普通材料加以强化处理而得到的材料。通常采用的金属强化方式有：固溶强化、析出强化、细晶强化、组织强化（相变强化及复合组织强化）、时效强化和加工强化等。除加工强化外，都是通过添加合金成分或热处理工艺来控制材料性质的。

高强度箔材有两方面的涵义：其一，高强度箔材的屈服强度、抗拉强度高；其二，应用高强度箔材，能减轻冲压件重量、节省能源和降低产品成本。

#### 2. 耐腐蚀箔材

开发新耐腐蚀箔材的主要目的，是增强普通箔材冲压件的耐腐蚀能力。耐腐蚀箔材有两类：一类是加入新元素的耐腐蚀钢板，如耐大气腐蚀箔材等；第二类是在表面涂或镀一层防腐材料，也为涂层板的一种。

#### 3. 涂层箔材

在耐腐蚀箔材中，镀覆金属层的箔材属于涂层箔材。由于传统的镀锡板、镀锌板等，已不能适应医学类、机电类、电子类等的冲压件的需要，因此一些新型镀层箔材被不断研发出来。在涂层板中，各种涂覆有机膜层的材料，具有更好的耐腐蚀、防表面损伤性能，被大量用做各类结构件。

#### 4. 复合箔材

涂覆塑料的箔材是一种复合箔材；不同金属箔材叠合在一起（如冷轧叠合等）也是一种复合箔材，或叫叠合复箔材。这类复合箔材破裂时的变形，比单体材料破裂时的变形要大，其基本材料特性值（比如  $n$  值）变大。

## 6.4 微薄材料冲压工艺机理

### 6.4.1 冲裁工艺

冲裁是生产微小零件的主要工艺之一，特别是在电子工业领域。因此，目前相关的研究主要集中在电子产品方面。W. B. Lee 等研究了线框的精度与模具、工艺参数的关系。结果表明：随着冲裁间隙的增大，最大冲裁力和冲裁能逐渐减小并存在一最小值，然后又开始逐渐增大，即在所考察的冲裁间隙范围内存在最小的最大冲裁力和冲裁能。同时，与常规冲裁一样，线框冲裁中也存在最优冲裁间隙：镍合金 A42<sup>①</sup> 的冲裁间隙为材料厚度的 13.92%，铜合金 EFTEC64T<sup>②</sup> 的冲裁间隙为材料厚度的 6.83%。此外，随着冲裁间隙的减小，冲裁断面上的圆角断裂角度、断裂高度和毛刺高度都增大，而光亮带高度减小。而且观察到与常规冲裁同样的现象：间隙过小时，发生二次剪切；间隙过大时，发生二次拉裂。铜合金的毛刺比镍合金高，这是由于铜合金的伸长率比镍合金好。试验结果也表明：对两种线框材料来讲，沿轧制方向的强度要比沿与轧制方向垂直的方向更大。

M. Geiger 等在冲裁试验中采用硬化（平均晶粒度  $10\mu\text{m}$ ）和再结晶软化（平均晶粒度  $70\mu\text{m}$ ）两种状态的 CuZn15。试验结果表明：冲头宽度  $w_p$  为 0.5mm 或更大时，最大冲裁力保持不变；当  $w_p$  减小到 0.25mm 即小于试样厚度  $s_0$  时，最大冲裁力减小 10%。这是因为冲头宽度为 0.5mm 或更大时，变形区应变呈火焰型分布且在凹模附近存在最大位移，而当  $w_p$  减小到 0.25mm 小于试样厚度  $s_0$  时，应变分布出现不同变化，冲头下的变形区出现最大位移即冲裁开始后，冲头下的材料流向了两侧，而不是进入凹模。其次冲头宽度与冲裁断面分布也有关系，在微尺度冲裁中，冲裁断面分布仍由圆角、光亮带、断裂面组成，在冲裁的初始阶段，在试样的上表面材料的流动引起了较大位移，这引起了光亮带上的弯曲，圆角部分也较小。此外，试样的晶粒尺度对材料的流动也有影响。将试验规律与微弯曲试验对比发现，在冲裁中存在与弯曲试验不同的作用机制，导致了剪切抗力的增大。在冲裁变形中，当几何比例系数减小时，变形集中在有限的几个晶粒上，而这些晶粒被模具限制，变形位相受到局限，从而不能像多晶材料存在大量晶粒和晶界，容易发生剪切变形。

T. A. Kals 等的冲裁试验表明：在冲裁工艺中，由于材料被各种工具所限制，变形区很小。因此在拉伸和弯曲试验中所发生的微尺度效应在冲裁试验中不太明显。冲裁力并没有因为尺度的减小而减小，最大冲裁力和最终剪切强度随着材料厚度的增加稍有增大。各种晶粒尺度都表现出这一现象，而且最大冲裁力和最终剪切强度随着晶粒尺度的减小而稍有增大。但随着几何比例因子的减小这一效应逐渐减弱，原因可能是此时晶粒尺度与板厚接近，变形抗力增加。冲裁断面仍然保持圆角、光亮带、断裂面，基本没有太大变化，但是光亮带、断裂面与上下底面的角度发生变化，这可能与几何比例系数有关。但是随着几何比例系数的减小，断面的不规则越来越严重，这是由于在有限区域晶粒变形受到更大的局限，晶粒尺度和板厚接近时，晶粒的变形不能选择优势位相，而且在冲裁初始就发生断裂现象，另外有的地方根本没有毛刺而有的地方却有大量毛刺。

① 国外牌号。

L. V. Raulea 等分别针对多晶和单晶材料进行微冲裁试验, 试验表明: 多晶材料的变形断面具有对称性, 而在单晶材料的变形中, 这一对称性消失了。这是由于单晶材料的各向异性严重而且晶粒相位差异也较大所致。单晶材料的断面也很不规则。多晶材料和单晶材料的冲裁力和冲裁行程的关系也表明, 对于多晶材料, 几个试样的结果基本相同, 具有可再现性。而无论是最大冲裁力还是曲线的轮廓, 单晶材料的冲裁力和冲裁行程的关系曲线则显示了强烈的不可再现性。这可能与单晶的形成过程中, 晶粒滑移位相与冲裁方向不一致所致, 或者在变形过程中, 有些晶粒发生旋转或激发了其他晶粒的滑移, 从而导致单晶材料变形的不规律行为。

#### 6.4.2 微弯曲工艺

微弯曲主要用于成形簧片、挂钩、连接头、线条等微小零件, 这些产品的特点是产品外形尺寸与材料厚度相近, 这意味着宏观工艺中平面应变假设不再成立。L. V. Raulea 等在铝薄板弯曲试验中保持板厚 1.0mm 不变, 经热处理达到不同的晶粒度。根据厚度方向的晶粒度, 将试验所得图表分为在多晶区和单晶区。在多晶区, 随着晶粒尺度的逐渐减小, 屈服应力相应增大, 即晶粒度增强效应或 Hall-Petch 效应。试验结果与晶粒度保持不变而厚度变化的单轴拉伸试验规律相同, 可见, 改变板厚和晶粒度的效果相同: 随着试样厚度/晶粒度比率的增大, 屈服强度逐渐增大。这也提示: 表面层效应和晶粒度增强效应的本质原因可能一致。在单晶区, 当晶粒度为试样厚度或超过试样厚度时, 可观察到两个现象: ①随着晶粒度的增大, 试验结果的重复性越来越小; ②随着晶粒尺度的增大, 屈服强度和弯曲平均载荷相应增大。这是由于随着晶粒尺度增大, 变形区晶粒数量减少, 单个晶粒的变形位相不再一致, 变得更为复杂, 造成局部变形力的较大变化, 当然这也是平均弯曲力增大的原因, 由此可以推断出, 变形力的变化趋势与晶粒的位相相关。

T. A. Kals 等的 CuZn15 薄板弯曲试验表明: 在晶粒度较小的多晶区, 弯曲力随着试样几何比例系数的减小而逐渐减小, 但当试样板厚与单晶尺度相近或比晶粒尺度小时, 则表现相反, 弯曲力随着试样几何比例系数的减小而呈增大的趋势。在同组试验中发现, 微尺度效应不仅表现在弯曲力的变化趋势上, 在几何效应上也表现出明显的差别: 当晶粒尺度固定时, 随着几何比例系数  $\lambda$  从 1 到 0.1 逐渐减小, 回弹角度也以  $5^\circ$  的阶距逐渐减小。这与屈服应力的减小有关, 随着几何比例系数的减小, 变形区晶体的弹性变形到塑性变形的转变更为容易和顺利。

U. Engel 等在薄板弯曲可视塑性试验中, 采用  $10\mu\text{m}$  晶粒度的细晶试样和  $70\mu\text{m}$  晶粒度的粗晶试样, 试样厚度为 0.5mm, 保持不变。在细晶试样微弯曲应变分布图中, 显示了典型的弯曲过程应变分布情况, 外层材料受拉, 内层受压, 中间不变形; 而在粗晶试样微弯曲应变分布图中, 应变分布就不再像细晶试样一样规则: 这可能是由于晶粒的结晶位相不同所致。当变形区的粗晶数目较多时, 这种粗晶位相更容易屈服, 从而弯曲力降低。而当板厚方向只有一个晶粒时, 晶粒的变形将屈服于工具的形状, 位相几乎不再有影响, 从而导致弯曲力的增大。

M. Geiger 等的 CuNi18Zn20 薄板弯曲试验表明: 在比例系数 0.5 ~ 1 的范围内, 试验所得最大弯曲力, 比计算所得数值小 30% ~ 40%。这是因为弯曲时的流动应力, 比拉伸时的流动应力小 30% 的缘故。但当比例系数进一步减小时, 试验与公式所得数据的差距也进一

步增大。当比例系数为 0.1 时, 试验最大弯曲力比计算弯曲力小 65% 多。这可能因为在弯曲时, 外层表面的晶粒变形程度最大。

此外, 在 J. S. Stolken 等的退火镍箔弯曲试验中, 晶粒尺度大于镍箔厚度, 结果表明: 当镍箔的厚度从  $100\mu\text{m}$  减至  $12.5\mu\text{m}$  时, 无量纲的弯曲硬化显著增加。

### 6.4.3 拉深工艺

在薄板成形中, 应用拉深工艺可以成形出各种形状的杯体、腔体。拉深成形也是最复杂的工艺, 在摩擦、各向异性、变形的不均匀性等方面, 较之其他工艺更为突出。Saotome, Y. 等系统研究了低碳钢 SPEC 的拉深行为。试验结果表明: 随着相对凸模直径  $D_p/t$  的增大, 极限伸长率 (LDR) 降低。当  $D_p/t = 10$  时,  $\text{LDR} = 2.2$ , 当伸长率  $\beta = 2.4$  时, 无论条件如何变化, 拉裂现象总会发生。当  $D_p/t > 40$  时, 压边力的影响开始增强, 并且, 随着  $D_p/t$  的增大, 要求压边力也相应增大。当  $D_p/t < 15$  时, 凹模圆角半径  $R_d$  的影响比较明显。当  $D_p/t = 10$ ,  $\beta = 2.2$  时, 如果  $D_p/t = 5.0$ , 无需压边力也能获得良好的试件; 如果  $D_p/t > 5.0$ , 则要求压边力至少要达到  $2\text{MPa}$ 。在 SUS430 材料的微拉深试验中, 也获得了当  $D_p/t = 10$ 、 $\beta = 2.2$  时, 如果  $D_p/t = 5.0$ , 无需压边力的结果。并对最大拉深力的理论计算值和试验值进行了对比。当  $D_p/t = 10 > 40$  时, 比率趋于一致, 即各种情况的拉深过程相似; 当  $D_p/t = 10 < 20$  时, 理论计算值和试验值不再一致, 凹模圆角半径的影响显著, 即这些情况下的微拉深过程与常规拉深过程不再相同。

较之其他成形方法, 微拉深研究的制约因素较多。特别表现在传感器及相关检测技术上, 这方面的研究和报道也较少。有关资料表明, 发展了微拉深的热成形工艺, 结果显示拉深力降低 20%, 而伸长率增加了 10%。董湘怀等应用传统经验计算公式和图表, 研究了微拉深成形中的尺度效应, 结果表明: 当考虑表层效应时, 出现软化效应, 成形能力提高; 当考虑应变梯度硬化时, 成形能力降低, 有限元模拟也得到了同样的结果。K. Manabe 等的有限元研究结果表明, 模具和坯料的表面精度, 对微零件的精度和质量均有较大影响。H. Justinger 等研究了晶粒尺度和应变率等因素, 对微拉深几何形状和温度等的影响。Amit Jaisingh 等应用 Taguchi 法, 分析了微拉深的有限元模拟结果, 对材料参数和工艺条件参数的敏感性进行了研究。

### 6.4.4 微超塑成形工艺

超塑性成形是另一个较为成功的微成形工艺。超塑性成形可以在低压条件下获得形状复杂的制件, 在超塑性状态下材料具有良好的微成形性能, 特别适合制作微小零部件, 尤其是 MEMS 系统部件。Y. Saome 采用 Al-78Zn 进行超塑性挤压, 研制出模数为  $10\mu\text{m}$ 、节圆直径  $100\mu\text{m}$  的微型齿轮轴。研究表明, 微轴的表面精度与挤压速度及挤压力有关, 挤压速度及挤压力越大, 微轴表面精度越低。这可能是由于应变率增大引起晶粒边界产生空洞缺陷所致。所有的研究都表明, 无晶态合金在微成形方面具有良好的性能和优势。

纳米材料由于比传统材料具有更优越的物理性能、力学性能和磁性能等, 近几十年来, 引起了人们的广泛研究。但是这类材料在室温条件下的伸长率很有限, 因此很难采用传统工艺进行加工, 超塑成形工艺被认为是解决这一问题的办法。

### 6.4.5 纳米压印工艺

纳米压印技术 (NIL—Nano-Imprint-Lithography), 突破了传统光刻在特征尺寸减小过程中的刻印难题, 具有分辨率高、低成本、高产率的特点。自 1995 年提出以来, 纳米压印经过 10 余年的发展, 演变出多种压印技术, 广泛应用于半导体制造、微机电系统 (MEMS—Micro-Electro-Mechanical Systems)、生物芯片、生物医学等领域, 被誉为改变人类的十大技术之一。

NIL 的基本思想是, 通过模版将图形转移到相应的衬底上, 转移的媒介通常是一层很薄的聚合物膜, 通过热压或者辐照等方法, 使其结构硬化从而保留下转移的图形。整个过程包括压印和图形转移两个过程。根据压印方法的不同, NIL 主要可分为热塑 (Hot embossing)、紫外固化 UV 和微接触 (Micro contact printing, MCP) 三种光刻技术。

### 6.4.6 其他微成形工艺

如挤压、起伏、超声加工及激光成形等工艺研究也在开展, 有的已开始用于实际生产。

## 6.5 冲压件和压力机与模具的关系

冲压模具是冲压生产必不可少的组成部分, 是技术密集型产品。冲压件的质量、生产效率及生产成本等, 与模具设计和制造有直接关系。

生产中对模具的基本要求是, 稳定可靠, 冲压件的一致性要好。在模具设计阶段, 尽量把所有冲压工序排在模具内, 避免冲压件的二次加工和成形。模具的结构简单, 能够快速维修和精密调整。

### 6.5.1 微薄冲压件与其成形模具的关系

微薄件的精度是由冲压模具决定的。对模具各个部分的制造和加工, 根据微薄件的成形与精度, 都有不同的要求, 对模具零件的尺寸精度要求都比较高。一般来说微薄冲压件的尺寸精度不能超过现阶段模具加工所能达到的精度, 其所有外形要符合模具冲压生产方式, 而模具结构应能实现微薄件的冲压成形。

### 6.5.2 微薄件成形模具设计要点

一般而言, 微薄件成形模具的设计要点, 主要在模具零件的尺寸精度、表面状态和可加工性等方面。

(1) 模具零件的尺寸精度 主要指模具零件的尺寸公差。所有尺寸公差必须控制在一定范围内。模具的工作部分零件的尺寸, 是冲压模具设计的重要的基本参数。如果模具零件的备品备件尺寸相差较大, 有可能使冲压件变形, 尺寸不稳定, 冲压工序不能顺利进行, 还可能损坏冲压模具或冲压设备, 所以必须严格控制零件的尺寸精度。

(2) 模具零件的表面状态 模具零件的表面状态影响模具的使用寿命和工件成形。通常要求模具工作零件的表面具有高硬度、高光洁程度、无损伤、无缺陷等。如工作部位零件的表面粗糙度, 对拉深成形就有较大影响, 因此要根据不同的冲压工艺要求, 来确定模具零

件的表面状态。

(3) 模具零件的可加工性 模具零件要能制造出来, 这点非常重要。尤其是微薄件成形模具的工作零件, 几何尺寸较小, 要求精度很高, 难以加工制造。有的需要采用特殊设备和工艺, 才能制造出来。这也是微成形工艺对其模具的设计与制造带来的特殊问题。

总之, 设计微薄件模具与设计常规件模具, 在冲压件和冲压工艺对模具的要求方面, 基本是一样的, 只是由于微薄件较小, 导致对模具的制造精度提出了更高要求, 对制造工艺提出了特殊要求, 但在模具设计时的思路基本是一致的。在保证模具能正常使用的情况下, 尽量使模具零件的尺寸精度和表面粗糙度等级要求低一些, 以利于模具零件互换, 降低模具制造成本。同时, 设计的冲压件尽量形状简单, 结构合理, 以有利于简化模具结构, 减少工序数量, 用最少、简单的冲压工序完成冲压件制造。

### 6.5.3 微薄件模具与设备的关系

设计的微薄件成形模具应适合已有的设备及其冲压生产流程, 并利于延长冲模使用寿命。

模具的使用寿命和微薄件的制造精度, 除了与模具、材料、润滑和生产节拍等因素有关外, 最主要的是与冲压设备的精度有关。压力机应保证模具实现准确的相对运动, 否则会使模具的导向部件产生磨损, 导致上模与下模中心偏移。如果压力机不能保证准确的下死点, 将模具准确闭合, 出现间隙超差, 会使产品毛刺增加, 甚至有时会将凸模折断。

在设计模具的初始阶段, 需要了解设备有关技术参数, 如压力机的公称力、台面尺寸, 落料孔位置、压力机的压力中心, 以及压力机送料的最大和最小步距、送料高度等。使模具在使用时, 完全符合压力机与周边设备的使用条件。

压力机精度对模具运行来说至关重要。没有良好的压力机精度, 高精度模具的运行效果可想而知。相反, 当高精度压力机安装低精度模具进行生产时, 不会对模具使用有什么影响(前提是符合压力机的使用条件)。

## 6.6 微薄件冲压模具的类型与结构

### 6.6.1 微薄件模具类型

微薄件冲压模具的形式较多, 按冲压工艺方式做以下归纳。

(1) 冲裁(剪)模 冲裁模是沿封闭或敞开的轮廓线使材料产生分离的模具。如落料模、冲孔模、切断模、切口模、切边模、剖切模等。

冲剪模是以剪切作用完成工作的, 常用的有剪断模、修边模等。

(2) 弯曲模 弯曲模是使材料沿直线产生弯曲变形获得一定角度和形状的模具, 如普通弯曲模、凸轮弯曲模、卷边模、扭曲模、圆弧弯曲模、折弯中缝模等。

(3) 拉深模 拉深模是把材料毛坯制成开口空心件, 或使空心件进一步改变形状和尺寸的模具。根据拉深件品种, 拉深模亦有多种。

(4) 成形模 成形模是将毛坯或半成品工件按凸、凹模的形状直接复制成形, 材料本身仅产生局部塑性变形的模具, 如胀形模、缩口模、扩口模、起伏成形模、翻边模、整形模等。

(5) 压制模 压制模是利用强大的压力,使金属毛坯流动变形,成为所需要的形状。有挤压模、压花模、压印模、端压模等。

### 6.6.2 微薄件模具结构

微薄件的典型模具结构如图 6-10 所示,模具零件的材质、热处理和功能见表 6-3。

表 6-3 模具零件的材质、热处理和功能

编号	零件名称	材质	热处理	功 能
1	上盖板	S45C	调质处理	1) 增加模具的高度 2) 压住脱料弹簧,使脱料板具有弹簧脱料功能
2	上模座	S45C	调质处理	1) 增加模具高度,提高模具的整体强度与寿命 2) 安装脱料弹簧(弹簧整体装在上模座内) 3) 固定上模(上垫板、上模板安装固定在上模座上) 4) 透过上模座的上定位销孔,确定上模板的准确位置 5) 安装外导套,保证上下模合模精度
3	上垫板	SKD11	深冷处理 60HRC	1) 加强上夹板和脱料板背板的刚度 2) 支撑上模冲头受力,防止冲裁力使上模座局部变形 3) 固定模内的辅助导柱
4	上夹板	SKD11	超深冷处理 60HRC	1) 透过夹板上的定位销孔,确保与上模座的位置精度 2) 通过夹板安装辅助导柱 3) 安装成形与冲切的冲头(入块) 4) 安装等高套筒 5) 安装料件误送检测器 6) 上夹板、上垫板锁紧在上模上 7) 用超深冷处理,以减小变形,提高耐磨性和使用寿命
5	脱料板背板	SKD11	深冷处理 60HRC	1) 压住脱料入块,导正销,安装脱料板上的成形冲头 2) 支撑脱料入块受力 3) 辅助脱料板在冲压过程中运行平稳,导向精准
6	脱料板	SKD11	超深冷处理 60HRC	1) 安装脱料(含成形)入块及导正销 2) 利用脱料板的活动量使料带脱出成形及冲切冲头 3) 对冲头精密导向,提高其使用寿命及冲压精度
7	导料板	SKD11	60HRC	1) 通过定位销在下模板上准确定位 2) 对材料导向 3) 开模时使料带脱离上模 4) 为材料送进距离定位
8	辅助导柱	SUJ2 V30	58HRC 88~89HRA	1) 对模具辅助导正,提高模具冲压精度(冲压时一般辅助导柱不脱离下模) 2) 对脱料板导向,使脱料板对冲头精密导向 3) 采用 V30 材质的辅助导柱,使用寿命大幅提高 4) 对上、下模进行导正,确定模具的整体导向
	辅助导柱套	SUJ2 + 铜合金, 烧结合金	特殊烧结合金 45HRC	5) 辅助导套装在脱料板及下模板上,可防止下模板磨损,提高下模板使用寿命 6) 使用 V30 导柱和烧结合金导套,可提高两者的使用寿命

(续)

编号	零件名称	材质	热处理	功 能
9	下模板	SKD11	超深冷处理 HRC60	1) 安装浮升导料销、浮料块 2) 安装和固定下模冲切刀口入块、成形入块 3) 安装导料板 4) 透过定位销孔, 可与下模座反复精确定位 5) 下模板、下垫板锁紧在下模座上
10	下垫板	SKD11	深冷处理 HRC60	1) 增强下模板的刚度 2) 支撑下模板冲压受力, 防止因冲裁力使下模座局部产生变形
11	下模座	S45C	调质处理	1) 安装下模板和垫板 2) 安装外导柱, 导柱与上模座导套配合, 保证上下模整体的合模精度 3) 透过定位销孔, 确定下模板、下垫板的精确位置 4) 安装浮升销和顶料销弹簧 5) 使模具安装在压力机台上
12	引导针	SKD11	60HRC	1) 通常安装在脱料板上, 当冲厚料时安装在上模板上, 设计为弹顶式, 以增加导正柔性 2) 校正和避免材料误送, 确保料带在模具的准确位置上
13	安全引导针	SKD11	60HRC	1) 安装在上模板上 2) 材料误送(不到位)时, 触动外装安全开关使冲压紧急停止
14	等高套筒	SKD11	60HRC	1) 传递脱料力 2) 确保脱料板运动平稳 3) 用等高套筒将脱料板系吊在上模板上
15	外导柱 导套 (标准件)	SUJ-2	60HRC	1) 分别安装在上模座与下模座上 2) 保证模具合模的整体导向精度
16	浮升导料销	SKD11	60HRC	1) 使带料浮起, 平稳顺畅地逃进 2) 对带料起导正作用

如图 6-10 所示, 模具由上盖板、上模座、上垫板, 上夹板、脱料板背板、脱料板、下模板、下垫板、下模座

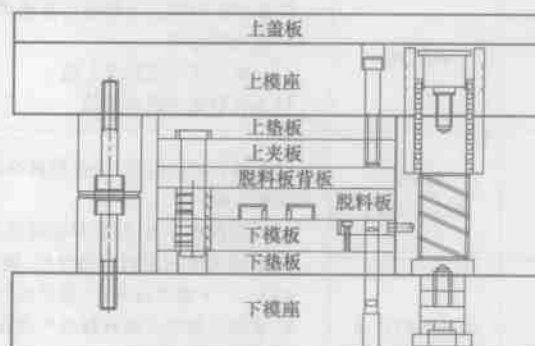


图 6-10 微薄件模具结构

模板、下垫板、下模座、导料板组成。导向零件采用高精密级的导柱和导套，还有定位针等零件。

## 6.7 微薄件冲压模具材料

### 6.7.1 模具材料分类

模具可分为作用件及非作用件两类，作用件主要有冲头、压料板、母模块，非作用件主要有冲头固定板、背板、导料块、导柱与导套等。模具材料根据冲压件精度和产能要求来选择，主要有预硬钢、碳素工具钢、高速工具钢、合金模具（工具）钢、粉末高速工具钢、超硬进口碳化钨等。

### 6.7.2 模具材料性能

选取几种典型的模具材料进行说明。

S45C 是以日本标准 JISG4051-79 (94)，采用电炉、平炉或纯氧转炉炼钢法制造的高级优质碳钢（全静钢）。其金相组织均匀，无组织缺陷，含碳量（质量分数）在 0.4% 以上，耐磨性能优良。但延展性低，淬火易变形和开裂，故热处理极为重要，且回火后必须急冷，以免回火脆性发生。通过球化处理，可以改善其切削性能。主要用于模具的上下模座部分。

SKD11 为日本工具钢牌号，是一种在国际上广泛应用的冷作模具钢。经电炉冶炼并经电渣重熔，纯净度高，韧性好，组织均匀。具有良好的高温强度、韧性与抗高温疲劳性能，能承受温度骤变，适宜在高温下长期工作。具有优良的切削性能和抛光性能。淬火温度 1020℃。

SKD11 是高耐磨通用冷作模具钢。通过真空脱气精炼，组织纯净。机械加工性良好。热处理变形小，淬透性好，空冷就能硬化，无需担心淬裂。耐磨性高、韧性好。主要用于模板和非工作部件，需要超冷或超深冷处理，以提高材料稳定性。

ASP23 是一种铬-钼-钨-钒合金粉末高速钢，经粉末冶金炼钢技术冶炼而成，比传统的合金粉末高速钢具有更好的模具性能，具有高耐磨性（抗磨粒磨损）和高抗压强度，优异的整体淬透性，良好的韧性和热处理尺寸稳定性，及优良的耐回火性。适合作为凸模、凹模、折弯、成形类的模具零件。

硬质合金是用粉末冶金方法制造的一类复合材料。硬质合金的硬度很高、耐磨性好，有高的弹性模量和工作使用温度（红硬性高）。用于制作某些模具，模具寿命可提高数倍至数十倍。但硬质合金较脆，抗弯强度和韧性较差，且不能进行机械加工。硬质合金作为模具材料，主要用于拉丝模具、受冲击力不大的冷挤压和冷冲压模具等。

为满足微型钻头、点阵打印针、精密工模具等的需要，近年来研制出了微晶（WC 晶粒小于  $1\mu\text{m}$ ）和超细晶粒硬质合金（WC 晶粒小于  $0.6\mu\text{m}$ ），传统硬质合金中的 WC 晶粒为  $1.3\sim 1.5\mu\text{m}$ 。超细晶粒硬质合金弥补了常规硬质合金的许多不足，扩大了应用范围，在制造耐磨耐冲击工模具等方面取得了良好效果。

钢结硬质合金是以碳化物做硬质相，钢做粘接相，在高温高压下形成的复合材料，具有良好的耐磨性，其强度和韧性高于一般硬质合金，并具有可热处理性能、可加工性、可锻性和焊接性。模具是其主要应用领域，常用来制作冷镦模、挤压模、拉深模、冲裁模、拉丝

模、热锻模等。

为了提高模具零件的使用寿命,有时对模具零件进行气相沉积处理。按气相沉积形成的基本原理,分为物理气相沉积(PVD)和化学气相沉积(CVD)。

PVD分为真空蒸镀、溅射镀和离子镀。离子镀是真空蒸镀与溅射镀相结合的技术。离子镀膜粘着力强、均镀性好,被镀基体材料和镀层材料可以广泛搭配,因而获得广泛应用。近年来多弧离子镀受到重视。目前在模具上应用较多的是镀离子TiN,这种镀膜结合力强、硬度高、韧性好、耐高温。在TiN基础上发展起来的多元膜,如(TiAl)N、(TiCr)N等,性能优于TiN,是更有前途的新型镀膜。

CVD是用化学方法使反应气体在基体材料表面发生化学反应,形成覆盖层(TiC、TiN)的方法。CVD有多种方法。通常,CVD的反应温度在900℃以上,覆层硬度达到2000HV以上,但高温容易使工件变形,使沉积层界面发生反应。发展趋势是降低温度,开发新的涂层成分或方式,如金属有机化合物CVD(MOCVD)、激光CVD(LCVD)、等离子CVD(PCVD)等。

## 6.8 微薄件冲压模具的设计与制造

### 6.8.1 微薄件模具设计

模具设计是成功开发模具的基础,模具设计成功与否,以往大多要经过试模后才能确认,有时需要花费很大的成本和人力来进行修正。目前,在模具设计阶段,已广泛应用CAE分析软件模拟冲压成形过程,提高了模具设计的准确性。此外,在模具设计中,还要使模具设计便于变更,以减少试模次数,缩短模具开发时间。有关冲压模具设计的主要技术及其内容见表6-4。

表 6-4 模具设计的主要技术及其内容

主要技术	技术内容
模具设计	1) 工序方案或带料排样设计 2) 模具的受力平衡及模具的强度和刚度 3) 调整工序方案或带料排样设计 4) 模具结构设计 5) 压料板及其强度设计 6) 模具的刚性及强度设计 7) 模具凹模镶件结构设计
CAD 技术应用	1) 设计资料计算机化 2) 零件标准化、组化或单元化 3) 设计方式参数化 4) CAD 技术应用 5) 二维 CAD 系统(设计绘图用) 6) 三维 CAD 系统(设计绘图用)
CAE 技术应用	1) 弯曲回弹量模拟解析 2) 钣金成形极限模拟解析 3) 计算机模拟技术

### 6.8.2 微薄件模具制造

冲压模具零部件大致分为标准件、非标件两大类。标准件可外购或委托专业厂商制造,非标件大多属于工作零件如冲头、脱料入块、压料板入件等,由厂内自行加工或委托外界加工。

模具加工设备大致分为:粗加工设备、放电加工机、磨削抛光加工设备。

为确保模具零件达到要求,需用精密量具或仪器进行检验。检验项目有长度、孔径、角度测量,几何公差、残余应力测量及破坏性检验等。

长度测量工具有钢直尺、游标卡尺、千分尺、千分表等。

孔径测量工具有游标卡尺、千分尺、卡规、缸径规、柱塞规、环规、内径测量仪等。

角度测量工具有游标万能角度尺、角度块规、分度盘等。

几何公差测量工具有真圆度测量仪、同轴度测量仪、直角度量测仪、轮廓形状量测仪、位置度测量仪、万能投影机、工具头显微镜等。

残余应力具有破坏式和非破坏式两类。非破坏检验工具有放射线透过试验机、超声波探伤试验机、磁性探伤试验机、浸透探伤试验机、电磁诱导试验机。

其他测量仪器有表面粗糙度量测仪,变位量测量仪、温度测定仪、金相组织检验仪、光学影像测量仪、三坐标测量机等。

## 6.9 模具监测和保护装置

在冲压过程中,模具碰撞是造成停产或产品不一致的首要原因。保护模具防止碰撞最好的方法,是安装传感器监测冲压过程,通过监测速度、位置等的变化,及时发出报警信号,以减少可能对模具造成损坏的潜在因素。

在冲压生产中,压力机每分钟行程次数与冲压的工件有关。如冲压小型电子零件,行程次数每分钟达1500次,而冲压拉深类零件约每分钟60次。因此,正确放置传感器至关重要。传感器通常被安装在多个关键的监测点位上,如折弯处、送料不足位、送料过度位、废料处,以及未冲压位置等。

模具保护的关键因素之一是传感器及其他电子元器件的可靠性。在冲压生产过程中,油污、冷却液、其他液体和润滑剂等通常会对这些元器件造成较大损害,从而影响正常的冲压生产。因此,采用防护等级较高、密封性较好、抗污染能力强的电子元器件,对于模具保护非常重要。

## 6.10 模具的使用与维护

冲压模具的使用寿命取决于合理的模具结构、较高的制造精度、良好的热处理,以及正确地选用压力机并与之精密安装。而且,正确的使用、保养和维护模具也是不可忽视的环节。

### 6.10.1 模具的使用

- 1) 模具安装使用前应严格检查,清除脏物,检查模具的导向套是否润滑良好。

- 2) 定期对压力机和周边设备进行点检维护, 保证模具的安全使用。
- 3) 按照模具安装程序, 将模具安装在压力机上, 先进行手动合模, 确认模具是否存在异常。
- 4) 模具安装完后, 应检查模具安装底座各紧固螺钉是否锁紧无误, 是否安装误送检测装置。
- 5) 当凸模和凹模刃口磨损时, 应停止使用及时刃磨, 否则会加速模具磨损, 降低冲压件质量和模具寿命。
- 6) 对于批量生产所使用的通用模具, 应有备份, 以便更换使用, 保证生产所需。
- 7) 安装模具应使用较软的金属(如铜、铝等)工具, 防止在安装过程中损伤模具。
- 8) 模具运送过程中要轻拿轻放, 以免损坏模具的刃口和导向。
- 9) 模具使用后应及时放回指定位置, 并作涂油防锈处理。
- 10) 定期更换模具的弹簧, 防止弹簧疲劳损坏, 影响模具正常使用。

### 6.10.2 模具的维护

模具维护包含多个方面, 以下主要介绍模具的事故维护、日常维护、定期维护和改良维护。

1) 事故维护。冲压生产中发生异常事故, 或出现产品质量问题, 如尺寸超差, 毛刺曾大, 表面划痕, 零件损坏等, 在这种情况下, 要对模具进行维护。事故维护在模具维护中最为常见, 属于突发性维护。

2) 日常维护。对模具进行日常的清扫、检查, 对模具导向部件加油润滑, 保证模具处于正常状态, 延长模具寿命, 避免异常情况发生。

3) 定期维护。模具在生产过程中不可避免的出现磨损。磨损量取决于产品材料的状况。冲压、拉深、折弯等的工艺不同, 出现的磨损也不一样。通常, 先规定一个生产数量, 在接近此数量时, 对模具进行维护。

### 6.10.3 常见故障的排除

1) 产品四周毛刺大小不一。原因是凸模或凹模磨损, 或凸模的移动量超过单边间隙。需调整组合间隙。

2) 模板变形。因为受外力撞击变形或者开裂。更换新模板或是更正拆装方法。

3) 模座变形。模座厚度不一或受力不平均, 导柱、导套的直线度变差。研磨矫正或更换模座, 或使受力平均。

4) 合模干涉。检查冲模尺寸、位置是否正确, 上下模定位有无偏差, 组装后是否会松动。

5) 冲压叠料。出现料片重叠仍继续冲压, 通常为凹模零件破裂或冲头折断。

6) 异物进入。制品吹出弹回, 模具零件崩损掉落, 螺钉突出模面, 或其他物品进入模具内, 都可能损坏下模、冲头和导柱。

7) 组装错误。错装零件位置、方向而损坏。

8) 冲压不当。工作高度调整过低, 导柱失油, 料条误送或冲半料, 周边设备如送、放、收料机损坏, 空气管未装或未开, 压力机异常等, 由此所造成的损坏。

9) 刀口磨耗。毛刺太大或尺寸变大(切外形)、变小(冲孔);产品平面度不好。重新研磨或更换冲模。

10) 让位不够。产品受挤压、刮伤或变形。清理落料孔,或加大让位孔及其深度。

11) 导料不佳。导料板长度不够或导料间隙太大,或模具与放料机偏斜,或模具与送料机距离太长。

12) 材料不当。材料宽度、厚度、硬度或材质不适和,也会产生不良。

## 6.11 典型微成形件生产实例

以图 6-11 所示的留置针流量控制器作为微成形件实例,从模具设计和成形件生产两方面加以介绍。

### 6.11.1 工艺方案与模具

1) 确定冲压方向。流量控制器的冲压方向设计必须合理。冲压方向合理与否决定了能否拉深出合格产品,将直接影响到工艺补充量和压料面的形状,以及模具的硬度选择和使用寿命。

#### 2) 产品成形分析

流量控制器拉深成形的坯料形状是保证拉深过程中材料不破裂和顺利成形的首要条件。因此,应经过 CAD 画图计算、有限元分析和经验值补偿,确定合理的坯料形状。此外,还要分析计算拉深时是否采用压料圈,产品需要成形几次,每一次的拉深间隙需要多大。

3) 模具零件强度。模具零件必须具有足够的强度。进行冲压工作的模具零件是各种成形工艺的基础件,直接影响到模具在大量冲压生产时的安全性和稳定性。

4) 整体规划设计。模具设计必须整体规划。对于深冲模具的设计,必须结合日后工艺,合理地进行整体规划;对于需采用多次级进冲压的模具设计方案,在保证产品形变回弹量、表面质量等的前提下,尽可能减少级进次数,以减少模具的制造、保养成本,提高生产节拍。

### 6.11.2 流量控制器模具设计

流量控制器的模具设计须注意以下几点。

1) 拉深凸凹模设计。拉深凸凹模上的  $R$  圆角直接影响产品成形,其大小可用 CAD 进行模拟分析,并根据经验合理调整。当然,这些零件的  $R$  圆角在模具调试后还可以变更,以修正初期的设计偏差。凸凹模应结构简单,易于制造,亦便于生产维护。

2) 模具内油路设计。拉深时材料与模具产生极大的摩擦,会造成模具零件磨损,一般在模具内部设置润滑油路,生产时加入润滑油,以减小材料与模具之间的摩擦力,降低变形阻力,冷却工作表面,保护模具工作表面不被拉毛或少被拉毛,提高成形工件的表面质量。

3) 拉深步骤设计。产品能否最终成形,拉深步骤设计是否合理至关重要,在模具设计



图 6-11 留置针流量控制器

初始阶段,如果对成形工艺有不确定性,就需要留出几个空缺工位,以便于日后模具需要进行调整和变更。

### 6.11.3 流量控制器冲压生产

#### 1. 冲压材料准备

首先按产品的产量大小来确定材料的重量和放置区域;其次是质检部门按材料标准来核定材料的牌号与规格、产品的批号和数量;最后按《产品工单》要求填写,将材料和《产品工单》送交冲压生产线相关人员确认。

#### 2. 冲压生产线调整

首先对冲压设备进行规范调整,按冲压规定的参数要求,正确调整每台冲压设备的技术参数,调整参数有送料平台高度、滑块闭合高度、滑块行程次数、送料步距等;同时对配合使用的辅助设备进行规范调整,如机械手运动轨迹和前(后)自动送(收)料机驱动速度的调整;最后是冲压模具位置的正确调整,并应注意下模具压板螺栓数量。

#### 3. 冲压生产线的定时检查

首先是检查生产设备和辅助设备的过载保护、配料夹紧力、离合器开启压力等参数的正确性;其次是检查产品实物质量的稳定性,检查项目有材料缺陷、开裂、孔毛刺、拉毛、滑痕迹、起皱等。如果发现缺陷就必须按规定停机检查。同时进行成品巡检,质检部门按规定时间对产品的尺寸进行检查。

#### 4. 冲压模具的清理和整修

拉深模具表面必须保持清洁,不得存在缺陷,需要对模具及时进行清洗和整修,以保证模具正常使用。

(1) 模具清理 当模具加工到规定批次时,必须清除模具内部的粉屑,以免影响产品表面质量。

(2) 冲头表面检查 当产品出现毛刺、拉毛、起皱等缺陷时,需立即对冲头表面进行检查,对有问题的冲头表面抛光处理,由专业人员操作,并对处理后的冲头表面进行检查。

(3) 模具定期检验 当模具使用到一定批次时,应对模具进行定期检验,重点是检查模具易损件的极限尺寸。如果易损件的极限尺寸已达到规定值时,就必须更换易损件。必须注意,当易损件更换后应对模具进行全尺寸验证。

#### 5. 质量控制

质量控制就是针对产品质量特性,按照规定的测量方法对产品进行测量的过程。质量控制方法有以下几种。

(1) 材料符合性验证 是对所选用材料的外形尺寸、机械性能、化学成份等进行验证,验证按照检验指导书规定的项目、方法和材料标准判定准则。

(2) 产品冲压尺寸验证 产品的件冲压尺寸一般是用抽样检验,以确定本批产品尺寸是否符合规定。每次冲压生产的第一个和最后一个样品必须全尺寸检验(拉深产品增加外观检验),中间的产品定时抽检,抽检所测量的尺寸可以是那些重要的容易变形的尺寸。每次生产都需要对产品不良情况进行统计,分析不良原因,使以后的生产更加稳定。

(3) 产品成品尺寸验证 冲压出来的产品需要进行清洗、研磨、抛光、烘干等处理。

在进行这些后处理之后,成品的尺寸采用抽检的方式,按照一定的抽样比例进行全尺寸检验。

### 参 考 文 献

- [1] 张凯锋.微成形制造技术[M].北京:化学工业出版社,2008.
- [2] 沈兴东.冲压工艺与模具设计[M].济南:山东科学技术出版社,2004.
- [3] 雷聘,丁水,王长丽,等.金属微成形的工艺进展[J].锻造与冲压,2006(6):68-70.

## 第7章 高效精密压力机

随着工业的发展,对功能性冲压零件(如微电机的定转子矽钢片、工业电机的定转子矽钢片、小型变压器矽钢片、易拉盖、引线框架、接插件等)的需求日益增加,促使压力机的冲压效率不断提高,高效压力机的应用逐步得到推广。本章中提及的高效压力机是指能够适应多工位级进模要求的、速度高(冲压速度或送料速度)的压力机。高效压力机由于用于精密零件的高速冲压,要求其具备较高的精度,因此也称为高效精密压力机。

### 7.1 高速压力机

#### 7.1.1 高速精密冲压工艺对设备的要求

##### 1. 高速度

在日本,将  $\text{SPM} \times S = 90000 \text{mm/min}$  作为高速压力机的最低限值(SPM—Stroke Per Minuter,即滑块每分钟行程次数,S为滑块行程),目前最高的滑块行程次数为4000次/min(行程8mm、公称力100kN),尚达不到日本的最低限值。表7-1是某些公司对公称力600kN以下的小型高速压力机做的划分,划分时未考虑滑块行程。

表 7-1 600kN 以下高速压力机划分

超高速	$\geq 1000$ 次/min
高速	$> 400 \sim 1000$ 次/min
次高速	$> 250 \sim 400$ 次/min
常速	$\leq 250$ 次/min

大量实验数据表明,压力机行程次数达到400次/min时会出现共振。不少专家学者认为将400次/min以上定为高速比较恰当。在我国,2008年国家标准化管理委员会批准成立了“全国锻压机械标准化技术委员会数控高速压力机工作组(SCA/TC220/WG1)”,该组设在江苏省徐州锻压机床厂集团有限公司(以下简称“徐锻集团”),开展高速压力机相关国家标准的制定工作。在由徐锻集团和济南铸造锻压力机械研究所有限公司(以下简称“济南铸锻所”)共同起草的《闭式高速精密压力机 技术条件》中,依照公称力和滑块行程次数对高速压力机进行了界定(见表7-2)。

表 7-2 高速压力机划分(按吨位)

公称力/kN	$\leq 800$	$> 800 \sim 3150$	$> 3150 \sim 6300$	$> 6300$
滑块行程次数/(次/min)	$\geq 400$	$\geq 300$	$\geq 200$	$\geq 100$

目前实际使用的滑块行程次数为:

微电机定转子: 200 ~ 400 次/ min;

集成电路引线框架: 300 ~ 500 次/ min;

接插件端子: 800 ~ 1300 次/ min;

金属薄片冲裁: 1500 ~ 2500 次/ min。

此外, 也有学者建议将与压力机配套的送料机的送料速度, 作为衡量压力机是否为高速的参考指标。由于送料速度与送料步距、送料宽度、送料精度等指标相关, 因此, 很难给出具体的参考指标。

## 2. 高刚度

高速压力机裁时, 在冲头冲断板料的瞬间, 压力机各部分的弹性变形能转化为动能突然释放, 使冲头急速冲断板料并向凹模突进, 直接影响冲裁质量和模具寿命, 因此高速压力机需要较高的刚度。高速压力机的刚度决定了动态精度及振动特性, 没有具体的标准, 一般将通用闭式压力机的二分之一变形量作为最低标准 (即为通用闭式压力机刚度的两倍, 约为 1000 ~ 1400 kN/mm)。在起草的《闭式高速精密压力机 技术条件》中, 要求高速压力机的刚度值不低于  $40 \sqrt{p_g}$  kN/mm ( $p_g$  为压力机公称力, kN), 同时要求, 压力机滑块和工作台板的挠度公差不大于 0.15/1000 mm。随着冲压零件技术水平的提高, 高速压力机的刚度呈现逐步提高的趋势。

## 3. 高精度

高速压力机的精度包括各项静态精度和动态精度 (下死点动态重复精度), 将直接影响冲压件的尺寸精度和模具的使用寿命。高速压力机的各项静态精度指标, 最低应达到日本 JIS B 6402: 1997《机械压力机-精度检查》标准中的特级精度以上。高速压力机的各项静态精度指标与其零部件的制造水平有关。日本能率制作所提出的高速压力机的基本精度指标见表 7-3。

表 7-3 高速压力机的基本精度

公称力	<300kN	450 ~ 600kN	800 ~ 1250kN	>1500kN
在公称力下压力机的总变形/mm	≤0.3	≤0.5	≤0.5	≤0.7 + 0.9
静态精度	JIS 特级精度值 1/3 以下			
每次行程的下死点精度/μm	≤±1.5	≤±2.0	≤±3.0	≤±5.0

动态精度不同于静态精度, 没有统一的标准 (包括数据和测试方法)。除去锁紧不够可靠以外, 影响动态精度的主要因素为转速和温度的变化。国外对控制动态精度采取了不少措施, 如采用动态补偿机构、多连杆驱动机构、低密度高强度材料、恒温润滑系统和低膨胀系数材料等。冲压不同的产品对高速压力机的精度要求是不同的。一般而言, 冲压含有微成形工序的零件, 冲压较薄的零件, 对动态精度的要求较高。

我国高速压力机执行 JB/T 8782—1998《闭式高速精密压力机 精度》标准, 其中工作台和滑块的平面度, 参照日本 JIS B 6402: 1997《机械压力机-精度检查》标准中的一级精度, 工作台面与滑块底平面的平行度、滑块上下运动对工作台的垂直度, 参照日本标准中的特级精度。2011 年在由徐锻集团、济南锋铸造锻压机械研究所有限公司、扬州锻压力机床

股份有限公司（以下简称“扬锻集团”）和铸锻所起草的《闭式高速精密压力机 精度》中，首次将高速压力机分为高速精密压力机和高速超精密压力机，分别制定出了不同的精度标准。其中高速精密压力机参照或接近日本 JIS B 6402:1997《压力机精度检查》标准中的特级精度，而将特级精度的数值进一步提高，作为高速超精密压力机的精度指标。同时，在该标准中按高速压力机吨位给出了“加温恒速”、“恒温恒速”、“加温加速”状态下的下死点动态精度数值（见表 7-4）。

表 7-4 下死点动态精度数值

精度等级	测试状态	不同公称力下的下死点动态精度(单位: $\mu\text{m}$ )				
		$\leq 450\text{kN}$	$> 450\text{kN}$ $\leq 800\text{kN}$	$> 800\text{kN}$ $\leq 2000\text{kN}$	$> 2000\text{kN}$ $\leq 4000\text{kN}$	$> 4000\text{kN}$
精密	加温恒速	100	120	150	180	220
	恒温恒速	10	15	20	25	30
	加温加速	140	180	240	280	320
超精密	加温恒速	50	60	75	90	110
	恒温恒速	6	8	10	15	20
	加温加速	70	90	120	140	160

#### 4. 与周边设备的集成

高速压力机要和卷料料架、校平机、送料机、模具及废料回收装置等，共同构成冲压生产线以完成冲压工作。这就要求高速压力机在机械和电器上能与周边设备衔接，实现对冲压过程的监测（如生产计数、材料状态、材料厚度、送料线高度、冲压力、行程次数、行程、下死点位置、气动系统压力、润滑系统的温度和流量等）和控制。

### 7.1.2 设备类型及其特点

#### 1. 国外高速压力机的发展历程

高速压力机从诞生到现在已有 100 多年的历史。美国亨利拉特公司（HENRY&WRIGHT）于 1910 年制造了世界上最早的四柱底传动高速压力机，当时称为 dieing machine，其特点是：曲轴装在工作台下，通过四根导柱驱动滑块运动，具有体积较小、重心低、稳定性好、传动系统水平分力较小及容易操作的优点，冲压速度一般为 200 ~ 300 次/min。日本的能率、新潟和会田（AIDA）也分别在 1947 年、1949 年和 1950 年研制成功底传动高速压力机。该类机型往复运动部分的重量大，在滑块行程次数较高（一般不超过 400 次/min）时由惯性力引起的问题也越来越严重。20 世纪 50 年代，联邦德国、美国、瑞士的几家锻压机床制造厂为适应大批量的砂钢片和薄板零件的生产，发展了早期的上传动高速压力机，其特点是：将卷料自动送进，应用简单的级进模按顺序冲压，通过减少滑块行程而提高行程次数。1953 年德国舒勒公司（SCHLUER）生产出首台 1250kN 闭式双点上传动高速压力机，其公称力为 1250kN，行程 20mm 时，行程次数为 150 次/min。该机型为上传动高速压力机的代表结构形式，其 SA 系列高速压力机采用预应力八面直角滚针导轨和滑块平衡机构，运行平稳，动态精度高，被广泛用于微电机定转子的高速级进冲压。表 7-5 为舒勒公司最新的 SA-S 系列部分技术参数。

表 7-5 舒勒 SA-S 系列高速压力机技术参数 (部分)

型号	SA-125S-1,8	SA-200S-2,2	SA-315S-2,7	SA-315S-3,3	SA-500S-3,3
公称力/kN	1250	2000	3150	3150	5000
滑块行程/mm	25	30	35	35	35
最大带钢宽度/mm	260	400	630	630	630
行程次数/(次/min)	80~1000	80~800	80~600	80~400	80~400
上模质量/kg	800	1200	1600	2400	2400
模高调整量/mm	75	75	100	100	150
滑块提升量/mm	50	75	75	75	100
最大装模高度/mm	400	450	525	525	565
工作台面尺寸/mm	1800×850	2200×1000	2700×1200	3300×1200	3300×1450
滑块底面尺寸/mm	1800×700	2200×810	2700×900	3300×900	3300×1000

20 世纪 60~70 年代, 瑞士布鲁德尔 (BRUDERER) 公司研制的 BSTA 系列柱式导向的上传动开式高速压力机, 行程 30mm 时, 最高行程次数达到 400 次/min, 在 20 世纪 60 年代末和 70 年代提高到了 600 次/min 和 800 次/min, 20 世纪 70 年代初开发的 BSTA41 型 400kN 高速压力机达到了 1200 次/min 的超高速, 表 7-6 为其最新的布鲁德尔 BSTA 系列高速压力机的部分技术参数。随后各压力机制造商展开了高速压力机行程次数的竞争。

表 7-6 布鲁德尔 BSTA 系列高速压力机技术参数 (部分)

型号	BSTA200-70	BSTA500-110	BSTA800-145	BSTA1600-181	BSTA2500-250BF
模具安装尺寸 (左右)/mm	700	1100	1450	1810	2500
公称力/kN	200	500	800	1600	2500
滑块行程 /mm	固定(标准)	15	≤64	≤82	≤100
	可调(标准)	8,13,16,19, 25,32,38	16,19,25,32, 38,44,51	16,19,26,35, 43,51,58,63	19,25,34,43,52, 60,67,75
行程次数 /(次/min)	固定行程	100~2000	100~1120	100~1000	100~750
	可调行程	100~1800	—	—	—
送料宽度(压力机)/mm	190	250	380	80~180	790
模高调整量/mm	40	64	76	89	≤70
最大装模高度/mm	178~236	206~294	240.5~340	268~385	475~545
工作台面尺寸/mm	690×426	1080×650	1430×910	1790×1070	2350×1350
滑块底面尺寸/mm	690×270	980×420	1270×510	1700×600	2500×860
电动机功率/kW	15	22	37	50	50

1974 年美国明斯特 (MINSTER) 公司推出“蜂鸟 (Hummingbird)”系列 HB2-60 型 550kN 闭式双点超高速压力机, 行程次数达到 1600 次/min, 1975 年开发的 HB2-30 型 270kN 闭式双点超高速压力机, 行程次数进一步提高到 2000 次/min。随后日本、德国也相继研制出自己的超高速压力机, 步入了超高速压力机时代。20 世纪 80 年代中期, 日本栗本铁工所引进瑞士 ESSA 技术制造的 600kN 高速压力机, 最高行程次数为 1500 次/min, 用于

加工集成电路引线框架、精密接插件和其他精密零件（这些零件尺寸误差要求控制在  $10 \sim 20\mu\text{m}$  以内）；日本能率制作所开发的小型高速压力机行程次数达到了  $3000 \text{ 次/min}$ ，在满负载条件下达到了 JIS 标准中的特级精度要求，标志着高速压力机发展到超高速和超精密阶段。如今，日本电产京利（Nidec-kyori）的 MACH-100 型高速压力机在  $100\text{kN}$ 、 $8\text{mm}$  行程时，已达到  $4000 \text{ 次/min}$ ，表 7-7 为该系列产品的部分技术参数。

表 7-7 电产京利 MACH 系列高速压力机技术参数（部分）

型号	MACH-100		MACH-300W	
公称力/kN	100		300	
滑块行程/mm	8/10	13/16	16	20/25
行程次数/(次/min)	500~4000/3600	500~3200/2800	500~2500	500~2200/2000
最大装模高度/mm	190	185	205	200
模高调整量/mm	30		30	
工作台板尺寸/mm	400×440		750×450	
滑块底面尺寸/mm	400×250		750×340	
电动机功率/kW	22		30	

进入 20 世纪 80 年代后，由于半导体和电子工业的迅速发展，对大规模集成电路和电器元件、微电机、芯片等产品出现了大量需求，从而有力地推动了高速压力机向超精密方向发展，特别是世界超微电子设备市场竞争越发激烈，高速精密压力机在  $800 \sim 1000 \text{ 次/min}$  范围内的超精密加工达到了前所未有的水平。各高速压力机制造厂家把主要目标集中在提高下死点动态精度上，推出了一批新型、高速、高精度压力机。如日本三菱公司生产的 HP 系列超高精压力机，采用了可调式动力平衡机构（详见图 7-26）和滑块下死点位置力检测及自动控制系统，使滑块在下死点的位置精度控制在  $5\mu\text{m}$  以内；在  $300 \sim 1000 \text{ 次/min}$  范围内高速运行时，压力机振幅低于  $50\mu\text{m}$ 。目前的下死点精度指标可以达到  $\pm 2\mu\text{m}$  以内。

自 20 世纪 80 年代以来，高速压力机的结构出现了新突破，如多连杆传动机构、静压轴承导向、热平衡系统和下死点位置自动调整机构都已获得应用。日本电产京利公司 FDA-F 系列高速压力机在离合器/制动器控制回路中具有飞轮速度自动补偿功能，在行程次数为  $1200 \text{ 次/min}$  时，滑块在第一个行程和第二个行程的下死点偏差仅有  $10\mu\text{m}$ 。

国外高速压力机在朝着小型化、高速化和超精密化发展的同时，还推出了一系列中大型高速压力机。如意大利 BALCONI 公司最新推出的 2DMhs 系列（部分技术参数见表 7-8），在公称力为  $6300\text{kN}$ 、滑块行程  $35\text{mm}$  时，达到了  $320 \text{ 次/min}$  的高速度；美国明斯特公司的 PM4-600，在公称力为  $5400\text{kN}$ 、滑块行程  $30\text{mm}$  时也达到了  $350 \text{ 次/min}$  的高速度。

表 7-8 意大利 BALCONI 公司高速压力机技术参数（部分）

型号	2DMhs-250	2DMhs-315	2DMhs-400	2DMhs-500	2DMhs-630
公称力/kN	2500	3150	4000	5000	6300
滑块行程/mm	30	30	38	35	35
行程次数/次/min	120~500	120~480	100~400	100~350	80~320
最大装模高度/mm	450	450	500	600	600
模高调整量/mm	130	100	100	150	150
滑块提升量/mm	100				
立柱间距/mm	530	700	700	830	830
工作台板尺寸/mm	2000×1200	2200×1200	2800×1400	3000×1400	3200×1400
滑块底面尺寸/mm	2000×840	2200×980	2500×1200	3000×1200	3000×1200

20 世纪末,随着全球家电、汽车行业的高速发展,带动了高速压力机的进一步发展。家电行业出于环保要求,大量需求高效变频电动机和低噪声电动机。普通汽车一般搭载 50 个左右的电动机,高级汽车则要搭载 100 个以上,汽车电动机包括辅机用小型电动机和驱动用主机电动机,其中前者要求电动机的控制性能高、电磁噪声极低以及优良的耐久性能。这些新的需求,迫使高速压力机进一步提高冲压精度与效率。日本会田 (AIDA) 公司推出了双边驱动的 MSP 系列,采用单排四点结构,双边驱动,精度更高,其部分机型参数见表 7-9。日本山田多比 (YAMADA DOBBY) 在其 EPISODE 系列高速压力机部分机型中采用单排三点结构,其 EPS-200 型高速压力机在公称力 2000kN、滑块行程 30mm 时,最高行程次数为 450 次/min,工作台尺寸达到 2000 × 1000mm;其 EPS-220 为单排四点结构,在公称力 2200kN、滑块行程 30mm 时,最高行程次数为 420 次/min,工作台尺寸达到 2700 × 1000mm。这些产品满足了高精度电机定转子的冲压需求。此外,日本株式会社 ISIS 于 2004 年开发出了单排三点结构高速压力机 PLENOX80-16,最高行程次数为 500 次/min,工作台面达到 1600 × 800mm,主要用于精密电子类零件的高速冲压。

表 7-9 日本会田 (AIDA) 公司 MSP 系列高速压力机技术参数 (部分)

型号	MSP-2200-200	MSP-3000-230	MSP-3000-270	MSP-4000-280
公称力/kN	2200	3000	3000	4000
滑块行程/mm	30	30	30	30
行程次数/(次/min)	120 ~ 500	120 ~ 420	100 ~ 400	100 ~ 350
最大装模高度/mm	480	520	520	600
模高调整量/mm	60	60	60	60
最大上模质量/kg	1800	2000	2300	2300
工作台板尺寸/mm	2000 × 1000	2300 × 1000	2700 × 1000	2800 × 1200
滑块底面尺寸/mm	2000 × 800	2300 × 800	2700 × 800	2800 × 900

## 2. 国内高速压力机的发展历程

我国 (不含台湾地区) 高速压力机起步较晚,始于济南铸锻所“六五”期间承担的原机械部“60t 闭式高速精密压力机研制”,1982 年由济南铸锻所和北京低压电器厂共同研制我国第一台高速压力机 J75G-60 (公称力 600kN,冲次为 400 次/min),随后研制出了公称力 300kN,冲次为 600 次/min 的高速压力机,采用整体框架式预应力床身,机械无级变速装置,柱式滚动导轨和强制油冷式热平衡系统,采用平衡块式平衡装置和轻合金滑块。

20 世纪 80 年代中期,齐齐哈尔第二机床厂从德国舒勒公司引进 SA 系列中 800kN、1250kN 及 2000kN 三个规格的高速压力机的设计及制造技术,成功制造了 SA 系列高速压力机,采用组合式预应力床身,八面直角预应力滚动导轨和副滑动平衡装置,适合中、小型电机定转子的级进冲压加工;上海第二锻压力机床厂从德国豪立克-罗斯 (Haulick + Roos) 公司引进 RVD32-540 和 RVD63-800 两个规格的高速压力机,并在此基础上开发了 1000kN、1250kN 和 2000kN 三个产品,具体技术参数见表 7-10。近期推出了全新的 J75G-800 型高速压力机,公称力 800kN,最高滑块行程次数 900 次/min。

表 7-10 RVD 系列高速压力机技术参数 (部分)

型号	RVD32-540	RVD63-800	RVD100-1180	RVD125-1400	RVD200-1600
公称力/kN	320	630	1000	1250	2000
滑块行程/mm	40	45	40	50	30
行程次数/(次/min)	100~500	80~500	80~500	80~500	80~250
最大装模高度/mm	245	300	380	320	450
模高调整量/mm	50	80	100	100	100
工作台板尺寸/mm	540×530	780×600	1180×780	1400×780	1550×1170
电动机功率/kW	18	22	30	30	37

同期,徐锻集团自主研发了 JF75G-100 闭式双点高速压力机,采用组合式框架机身、高刚性八面滑动导轨、全滑动轴承主轴结构,配备反向平衡机构及气缸式静平衡装置,在滑块行程 30mm 时,最高行程次数达到 300 次/min。在此基础上,开发了 JF75G-200 闭式双点高速压力机,最高行程次数为 200 次/min;同时推出了 J21G 系列开式高速压力机(公称力 250~600kN,滑块行程 30mm,最高行程次数 300 次/min),采用铸造机身、V 形滑块导向,气缸式平衡装置。上述两个系列产品小批量投放市场,满足了一定的市场需求。

徐锻集团的上述产品当时均没有大批量投放市场,究其原因,主要是受到当时的模具制造水平、小型精密冲压件的市场需求量和高速压力机周边设备的配套能力的制约。2000 年后,得益于家电行业的迅猛发展和模具制造水平的提高,高速精密压力机的市场需求量迅速增加。2002 年徐锻集团推出了 VH 系列开式高速压力机并批量投放市场,该系列产品采用全滚动主轴结构、空气弹簧静平衡装置以及超长 V 形导轨,主要服务于变压器 E/I 铁心及部分微型电机铁心行业,表 7-11 为其部分技术参数。徐锻集团于 2003 年对原 JF75G 闭式双点高速压力机进行技术改造,主轴部分改为全滚动结构、八面滑动导轨改为无间隙滚动结构并采用空气弹簧静平衡装置等,于 2006 年完成了国内首台 3000kN 闭式双点高速压力机的研发,形成了公称力从 800~3000kN、行程次数 150~450 次/min 的闭式双点高速压力机的制造能力,主要服务于微电机铁心行业,在很大程度上满足了市场需求,其主要技术参数见表 7-12。徐锻集团于 2004 年成功研制出 SH-25 型 250kN 超高速压力机,采用精密三圆导柱结构,其中辅助导柱采用静压结构,主轴部分采用滚动+滑动复合结构,配备动态平衡装置及润滑油温控制系统,行程 20mm 时最高行程次数为 1200 次/min。随后进行系列化开发,形成了公称力 160~500kN 超高速压力机的制造能力,用于满足微电子类零件的精密冲压。

表 7-11 徐锻集团 VH 系列高速压力机技术参数 (部分)

型号	VH-16	VH-25	VH-45	VH-65
公称力/kN	160	250	450	650
公称力行程/mm	1.2	1.6	1.6	2
滑块行程/mm	10/20/30	10/20/30	10/20/30	20/30
行程次数/(次/min)	150~650/600/550	150~600/550/500	150~550/500/450	150~400/350
最大装模高度/mm	210/205/200	220/215/210	265/260/255	325/320
模高调整量/mm	50			
工作台板尺寸/mm	480×290	500×300	740×450	850×520
滑块底面尺寸/mm	250×140	260×158	340×290	420×340
电动机功率/kW	2.2	3	5.5	11

表 7-12 徐锻集团 JF75G 系列高速压力机技术参数 (部分)

型号	JF75G-80	JF75G-125	JF75G-200	JF75G-300
公称力/kN	800	1250	2000	3000
公称力行程/mm			3	
滑块行程/mm			30	
行程次数/(次/min)	200~400	200~400	150~400	100~350
最大装模高度/mm	360	380	420	520
模高调整量/mm	50			
工作台板尺寸/mm	1100×700	1300×850	1700×950	2000×1000
滑块底面尺寸/mm	1100×500	1300×650	1700×760	2000×800
电动机功率/kW	22	30	37	55
总质量/kg	19500	24800	35850	57850

随后扬锻股份、宁波精达成形装备股份有限公司 (以下简称“宁波精达”)、扬力集团、宁波米斯克精密机械工程有限公司 (以下简称“宁波米斯克”)、山东金箭精密机器有限公司 (以下简称“山东金箭”) 和中山市胜龙锻压力机械有限公司 (以下简称“中山胜龙”) 等陆续开展研制闭式高速压力机。其中扬锻股份开发了 800~3000kN 的 J76 闭式双点高速系列 (主要技术参数见表 7-13)、单排三点闭式高速压力机, 其 YSH300 型 3000kN 闭式三点高速压力机, 在滑块行程 30mm 时, 最高行程次数为 600 次/min; 尔后开发了国内首台 5500kN (公称力行程 1.6mm) 闭式双点高速压力机, 在滑块行程 40mm 时, 最高行程次数为 230 次/min。宁波精达采用不同于曲柄滑块机构的正弦机构 (也称无连杆机构), 开发了用于冲压空调翅片的 GC 系列闭式双点高速精密压力机, 在此基础上, 开发了用于冲压微电机定转子的 GD 系列闭式双点高速压力机, 其部分技术参数见表 7-14。在小型闭式高速压力机领域, 宁波米斯克开发了 Super 系列多连杆高速压力机 (300~600kN), 用于微电子精密零件的高速冲压, 其 Super-30 型 300kN 高速压力机, 在滑块行程 25mm 时, 最高行程次数为 1050 次/min。

表 7-13 扬锻股份 J76 系列高速压力机技术参数 (部分)

型号	J76-80	J76-125	J76-200	J76-300	J76-550
公称力/kN	800	1250	2000	3000	5500
公称力行程/mm	2		3		1.6
滑块行程/mm	30				40
行程次数/(次/min)	200~600	160~500	160~450	160~400	80~230
最大装模高度/mm	380/400	400/420	420/460	450/480	550
模高调整量/mm	50				100
工作台板尺寸/mm	1100×750	1300×850	1700×950	2100×1000	3000×1500
滑块底面尺寸/mm	1100×500	1300×600	1700×650	2100×750	3000×1400
适用材料宽度/mm	100	150	250	350	550
电动机功率/kW	22	22	37	55	75
总质量/kg	18000	24000	36000	65000	166000

表 7-14 宁波精达 GD 系列高速压力机技术参数 (部分)

型号	GD63	GD125	GD200	GD200A	GD300	GD300A
公称力/kN	630	1250	2000	2000	3000	3000
公称力行程/mm	3					
滑块行程/mm	30					
行程次数/(次/min)	150~400	150~400	160~350	160~350	160~350	160~350
装模高度/mm	320~380	350~410	370~450	380~480	400~480	420~520
工作台板尺寸/mm	950×600	1300×650	1700×950	1700×950	2000×950	2000×1000
滑块底面尺寸/mm	762×530	1315×600	1470×700	1700×760	2000×800	2000×800
电动机功率/kW	11	15	22	22	30	30

在开式高速压力机领域,除徐锻集团外,扬锻股份、扬力集团和宁波米斯克等陆续推出了开式高速压力机系列产品。在导向结构上呈现两种形式,第一种为三圆导柱结构,主要用于精密微电子类零件的高速冲压,该种压力机普遍采用整体铸造机身以及平衡装置,其中开式超高速压力机采用反向动态平衡机构。由于受到高精度制造要求的限制,除徐锻集团外,其他公司普遍采用辅助导柱固定的三圆导柱结构。扬锻股份的 YHA 系列开式高速压力机(公称力为 250~600kN,滑块行程 30mm),采用肘杆弹簧平衡装置,其 250kN 开式高速压力机,在滑块行程 30mm 时达到了 800 次/min 的高速度;扬力集团的 SHC-25 型 250kN 开式超高速压力机,在滑块行程 20mm 时也达到了 1000 次/min 的高速度。第二种为传统 V 形导向或矩形导向,该种压力机承载刚度大,但速度稍低,多用于小型微电机定转子、E/I 铁心等零件的高速冲压,也可用于部分空调翅片的冲压,滑块行程稍长,速度更低。如扬锻股份 JL21 系列空调翅片用开式高速压力机,其 450kN 压力机在滑块行程 40mm 时,最高行程次数为 250 次/min,800kN 压力机则为 120 次/min。

为促进我国高速压力机的发展,工信部“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项实施管理办公室先后在 2009 年 3 月、2010 年 2 月及 2011 年 4 月出台了“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项,该重大专项是根据《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》的要求设立的,其依据是国务院常务会议审议通过的《高档数控机床与基础制造装备科技重大专项实施方案》。在 2009 年公布的第二批 11 个项目中,项目三中的课题 14 为研制高档高速精密闭式双点压力机,以满足相关行业高效精密级进模加工的需要,产品技术水平达到或接近国际同类产品先进水平,同时带动模具等相关产业的发展;在 2010 年公布的项目六(共性技术)中的课题 26 为高速冲压设备可靠性设计与性能试验技术,其目标为“解决我国高速、精密冲压设备可靠性存在的关键共性技术问题,为我国锻压力机床制造行业提供一套成熟、可操作性强的可靠性增长技术方案,使我国高速精密压力机和数控回转头压力机两类产品的可靠性达到国际先进水平”;在 2011 年公布的项目六(大型数控成形冲压设备)中的课题 28 为 3000kN 宽台面超精密高速压力机(实施期限为 2012 年—2014 年),其目标为“满足我国新能源汽车、一体式压缩机电机等高端电机制造业超精密高速冲压要求,技术指标达到国际先进水平,推动我国高速压力机整体技

术进步”。

目前,国内市场微电机铁心定转子、变压器铁心冲片和空调翅片等零件的制造装备完全能够满足需要。但是引线框架及高精度接插件行业所需的高档高速精密压力机仍需进口,目前国内仅有宁波米斯克、徐锻集团、扬锻股份和宁波精达等公司从事研发引线框架冲压所需的高速压力机的研发。

### 3. 高速压力机的分类

(1) 按机身形式分类 分为开式高速压力机(见图7-1)、闭式(见图7-2)和四柱式(见图7-3),其中四柱式主要用于底传动结构。

(2) 按传动系统布置分类 分为底传动高速压力机和上传动高速压力机,以上传动居多,但底传动在某些特定行业具有优势。

(3) 按施力点数目分类 分为单点、双点、三点(见图7-4)和四点。随着施力点数的增加,滑块的刚性逐步增大,同时可以适应宽台面要求。图7-4所示为日本株式会社 ISIS 的 PLENOX 系列单排三点超精密压力机,其技术参数见表7-15。

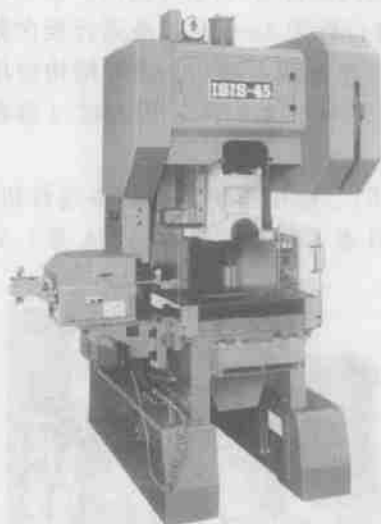


图 7-1 开式高速压力机

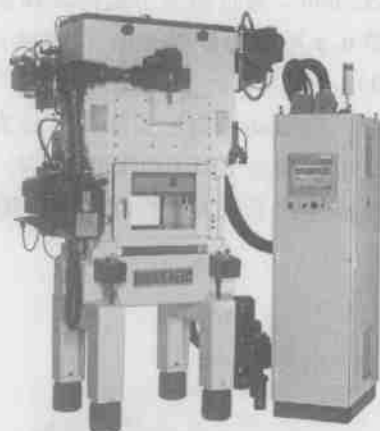


图 7-2 闭式高速压力机



图 7-3 四柱式下传动高速压力机



图 7-4 ISIS 高速压力机 (三点结构)

表 7-15 PLENOX 系列高速压力机技术参数

型号	60-9	60-13	80-11	80-13	80-16	100-16
公称力/kN	600	600	800	800	800	1000
滑块行程/mm	25					
最大行程次数/(次/min)	600	500	600		500	
装模高度/mm	250	300	300		325	
模高调整量/mm	45			65		
工作台板尺寸/mm	940×580	1300×650	1100×700	1300×700	1600×800	1600×800
滑块底面尺寸/mm	940×500	1300×500	1100×570	1300×570	1600×570	1600×570
整机质量/kg	14000	15000	19500	21000	24000	25000
电动机功率/kW	22				30	

四点结构分为两种形式,第一种形式为传统四点,四点呈矩形布置方式。西安交通大学研发的 J75-80 型 800kN 四点高速压力机即为此形式,采用无离合器-制动器结构、偏心块式平衡装置、连杆长度固定以及空气弹簧减震装置,在滑块行程为 5mm 时,最高行程次数为 1500 次/min。通过精密齿轮传动保证四点同步。另一种为单排四点结构,该种结构应用最多。图 6-5 所示为日本会田(AIDA)采用单排四点结构的 MSP 系列高速压力机(参数见表 7-9)。

(4) 按驱动机构形式分类 分为正弦机构(见图 7-6)、曲柄滑块机构和多连杆机构。国外公司(瑞士 BRUDERER、日本 YAMADA DOBBY、日本 KYORI、日本 AIDA 等)对多连杆机构进行了深入研究和实际应用,各具特色。

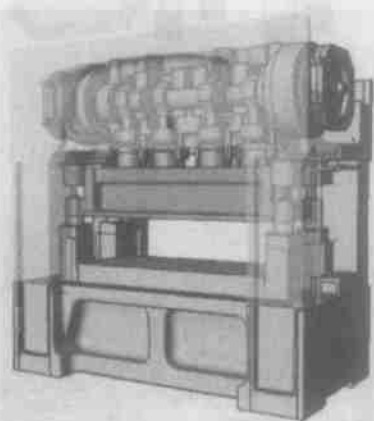


图 7-5 AIDA 高速压力机(单排四点结构)

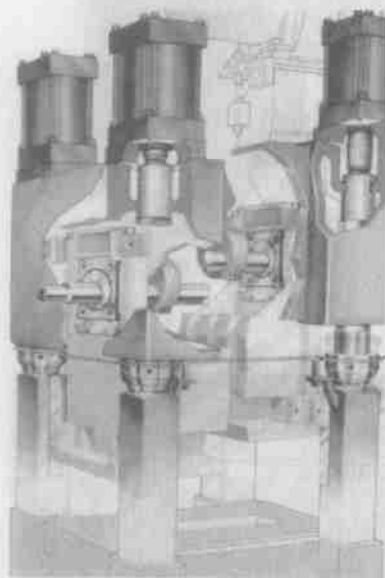


图 7-6 OAK 高速压力机(正弦机构)

(5) 按驱动系统数目分类 除多连杆压力机外,普通高速压力机传动系统中一般有一套由电动机、离合器-制动器和飞轮组成的驱动系统。随着高速压力机向超大吨位(公称

力)和宽台面方向的发展,采用一套驱动系统,对于双点、三点和四点高速压力机而言,各点之间的同步性将受到影响,从而影响整机运行精度。日本会田(AIDA)在其MSP系列(见图7-5)中,采用了两套驱动系统布置在曲轴的两端,消除了起动瞬间由曲轴偏转角造成的同步误差。

(6) 按驱动电动机形式分类 分为常规电动机驱动和伺服电动机驱动。高速压力机多采用电磁调速电动机作为动力源,但随着用户提出节能的要求,变频调速电动机逐步应用到高速压力机中。目前,仅有部分小型开式高速压力机(所用电动机功率较小,多在10kW以内)使用电磁调速电动机。伺服电动机应用在高速压力机上,首先从数控转塔压力机开始,其驱动形式为单/双伺服电动机直接驱动曲柄滑块机构、伺服电动机直接驱动多连杆传动机构,日本天田(ANADA)服转塔在行程为1.4mm时,能够达到1800次/min的冲次。随后,部分厂家开始在高速压力机中引入伺服电动机作为动力源,提升了压力机的工作柔性。

(7) 按工艺用途分类 分为以连续模或简单模冲裁卷料的高速压力机和以级进模对卷料进行冲裁、成形和浅拉深的多用途高速压力机。

(8) 按专业用途分类 分为冲压变压器铁心类、微电机铁心类、工业电机铁心类、引线框架类(集成电路引线框架、分立器件引线框架)、电接插件类、空调翅片类、易拉盖类、链条类高速压力机及其他冲压金属或非金属小型零件压力机等。

### 7.1.3 主要部件及其特点

#### 1. 床身

(1) 结构分类及特点 分为开式床身和闭式床身。

开式床身(见图7-7)为开式高速压力机的核心零件,传动部件、滑块部件、润滑及气动部件等均安装于此。床身多采用铸件,因此具备良好的减振性能。

闭式床身分为整体式和组合式两种形式,其中组合式床身的应用最为普遍。

整体式床身为一个铸造或焊接的整体框架。图7-8所示为日本山田多比(YAMADA DOBBY)公司EH系列采用的整体框架床身,其铸造和加工均较复杂,因此多用在1000kN以下的高速压力机上。

组合式床身由上横梁、左右立柱和下横梁(底座)组成,称为“三段式”床身,应用较为普遍。上横梁、左右立柱和下横梁(底座)通过四根拉紧螺栓拉紧,拉紧力一般不低于公称力的两倍,构成一个整体的预应力框架。也有部分公司在上横梁与左右立柱之间、左右立柱与下横梁之间直接采用螺钉连接。为了防止各部分之间相互错位,可采用圆形或方形销定位,目前多利用在加工过程中的定位孔,安装定位套以实现定位,定位精度及定位刚度较高,该方法对加工精度要求高。也有部分公司使用“两段式”床身,由上横梁和下横梁(底座)组成(即立柱一部分并入上横梁,其余部分并入下横梁),采用该形式,滑块多采用圆柱辅助导向。

(2) 结构设计要求

1) 提高床身刚度。压力机高速冲裁时,在材料即将被冲断的一瞬间,压力机各部分的弹性变形能转变成动能突然释放,使冲头急速地冲断板料并向凹模孔中突进,美国尼亚加拉(Niagara)公司将压力机突然卸载时所产生的与公称压力相反的载荷称为“反向负载”,与压力机的公称力、转矩和能量三项指标并列,成为标志高速压力机能力的第四种负载能力。



图 7-7 开式床身

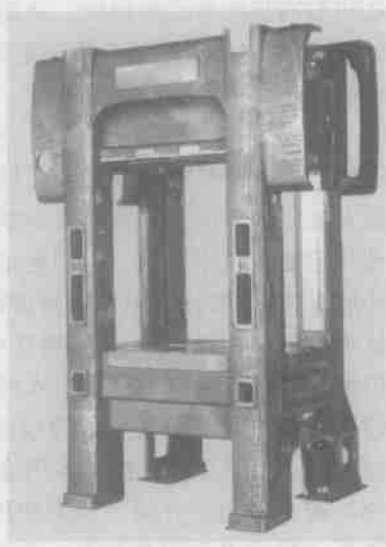


图 7-8 整体框架床身

由于突然卸载，上模在几毫秒的时间内剧烈振动，由此引起曲轴与连杆轴承的强烈撞击，对压力机非常不利，容易产生螺钉松动、防护装置和罩壳等部位配合不良，同时也会影响高速压力机的送料精度。国外相关测试表明：在高速冲裁时，压力机的弹性变形和冲断时的加速度对冲裁重量和模具寿命都有很大影响，因此需要考虑反向负载并提高压力机的刚度。

对于开式床身，要尽量提高角刚度。对于闭式床身，则需要通过增加立柱及拉紧螺栓的强度和横截面积等措施进一步提高床身的垂直刚度。在床身承受载荷时，除立柱伸长变形外，工作台和上横梁会产生扭曲变形，造成滑块下表面及工作台面之间的距离变化，影响模具的寿命以及冲压制品的精度，因而工作台、下横梁及上横梁应有足够的截面尺寸及合理的结构以提高抗弯刚度。此外，还需要考虑床身的水平刚度，以克服热变形及偏心载荷的影响。

2) 提高床身抗振性能。压力机高速运转时，往复及回转部件重量产生的惯性力与速度成平方关系增加，周期性惯性力的存在，将引起机床的剧烈振动。除采用平衡装置外，在床身结构上应采取减振措施，如合理分布床身重量以提高振动的固有频率、选择减振性能好阻尼系数高的材料、降低重量动静比和床身重心、采取合理的焊缝形式（焊接零件）等。

3) 考虑使用级进模。要有足够的装模空间和工作台孔尺寸以满足冲压自动化的要求，便于送料、出产品、出废料，便于安装快速换模装置，此外还应考虑外形美观等。

## 2. 导向结构

高速压力机的导向一般包括主导向和辅助导向，其中主导向一般用来直接承受机构运动过程中的侧向力，辅助导向用以保证导向精度，也有只有主导向或辅助导向的，因机型及传动机构不同而异。总体而言，高速压力机的导向依其结构特点，可分为滚动导向和滑动导向（包括静压导向）。滚动导向分为平面滚动导向和柱式滚动导向，其中柱式滚动导向可分为两柱、三柱和四柱三种形式。也可按运动部位，分为导柱运动导套固定和导套运动导柱固定两种，其中的固定导柱也可兼起拉杆拉紧作用。静压导向是一种特殊的滑动式柱式导向，导

柱和静压轴承之间没有刚性接触,靠静压油膜的压强导向,精度及刚性好。

对于开式高速压力机,滑动主导向可分为V形、W形和六面导轨导向,用于承受曲柄滑块机构产生的侧向力,其导向间隙可根据磨损情况进行调整。为提高导向刚度,可适当延长导向长度。滑块主导向也有使用滚动导轨块形式,导向精度较滑动导向稍高。采用主导向和辅助导向相结合(即“三圆导柱”结构)是开式高速压力机导向系统的发展趋势,其中承受侧向力的主导向多采用滑动形式,辅助导向可以采用静压结构和滚动结构。

对于闭式高速压力机,导向形式较多。对主传动为曲柄滑块机构的导向形式而言,目前使用最多的是四角八面导向和“六圆导柱”导向(用于双点压力机)两种。

对于八面直角导向,滑块在水平面内各个方向的位移均受到约束,导向刚度大,精度高。其发展经历了从滑动导向向预应力滚动导向的演变,共同点是导向部分可进行调整,以适应导向间隙变化或实现预压。采用预应力滚动导向,可以把滑块的下死点水平位移控制在最小范围内,为使用硬质合金模具和提高模具寿命创造条件。预应力滚动导向的导向元件,一般由循环式导向元件(如THK的LM滚珠滚动块)或片式导向元件(如THK的板式滚柱链)组成。

“六圆导柱”导向结构有利于实现滑块的轻量化,对导向元件的可靠性要求较高。此外,由于导向部位位于送料线平面附件,滑块偏转点较八面导向低,有利于提高导向刚度。“六圆导柱”导向可分为滑动导向(含静压导向)和滚动导向,其发展趋势为静压导向。

以下简要介绍国外各公司的导向结构。

(1) 瑞士 BRUDERER 导向结构 图 7-9a 所示为瑞士 BRUDERER 生产的 BSTA 高速精密压力机的导向结构,图 7-9b 所示为导柱导向局部放大视图。由于其特殊的设计,当冲压过程中温度发生变化时,导向结构能够微量移动进行适应,避免了高速运动过程中产生温度应力。导向为静压结构,刚度大。在冲压过程中如因负载不均、材料未完全通过模具、模具上有碎屑,以及模具结构不合理而产生偏心载荷时,由于其独特的传动系统及导向结构,使滑块的偏转点位于材料水平面,保证了滑块运行的垂直度,从而延长了模具寿命。

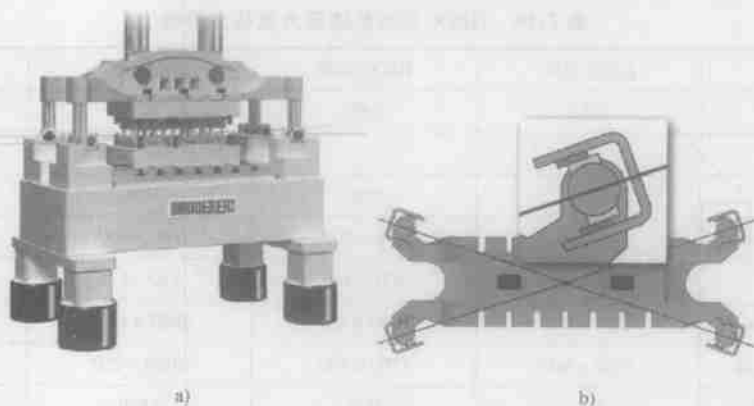


图 7-9 BSTA 高速精密压力机导向结构

a) 导向结构 b) 局部放大图

(2) 日本 AIDA 导向结构 日本会田(AIDA)的高速精密压力机,依系列不同先后采取了多种导向形式,主要由两部分组成,即柱塞导向(主导柱部分)和辅助导向。柱塞导

向多采用滑动（静压）结构，以承受曲柄滑块机构运动过程中产生的侧向力，柱塞应具备适应热变形的能力。辅助导向包括预应力四角八面导轨导向和圆柱导向，其中圆柱导向分为静压结构、棱柱体结构和复合结构。

HMX 系列（其技术参数见表 7-16）采用预应力八面直角导轨，结构如图 7-10 所示，通过调整螺钉调节导轨面过盈量，采用平面直线滚针轴承作为承载元件。为保证导向刚度，将多个平面直线滚针轴承上下拼接。在上下平面的直线滚针轴承之间安装齿轮，在滑块和立柱上安装齿条，保证平面直线滚针只滚动不滑动。安装时一般调整到“零隙”或过盈状态，可以保证导轨在长时间内不做调整。

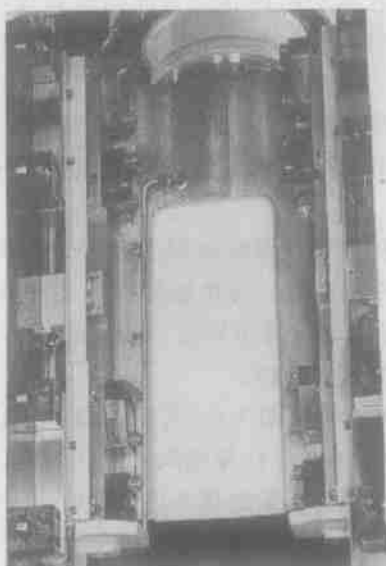


图 7-10 HMX 高速精密压力机导向结构

表 7-16 HMX 系列高速压力机技术参数

型号	HMX-1250	HMX-2000	HMX-3000	HMX-3000W
公称力/kN	1250	2000	3000	3000
滑块行程/mm	30			
工作能量/J	1200	2000	3000	3000
行程次数/(次/min)	200~800	200~600	160~500	120~410
装模高度/mm	380~430	400~480	420~520	420~520
工作台板尺寸/mm	1300×850	1700×950	2000×1000	2300×1200
滑块底面尺寸/mm	1300×600	1700×650	2000×750	2300×1000
最大上模质量/kg	500	900	1300	1500
立柱侧开口宽度/mm	350	460	560	560

与其他公司一样，AIDA 公司的圆柱导向采用静压结构，并在此基础上进行了改进，如将静压结构与滚动导向结构并用，在保证导向刚度的同时保证了导向精度。HMX 系列的部分机型采用了棱柱体导向结构，如图 7-11 所示。由于滚动体为滚针，与滚珠相比，刚度更

大,其初始间隙为  $3\mu\text{m}$  左右,初次磨损后间隙仅为  $8\sim 10\mu\text{m}$ ,导向精度高。

(3) 日本 ISIS 导向结构 日本 ISIS 公司的高速压力机,在辅助导向的导柱与导套之间采用静压结构,制造时 ( $20^{\circ}\text{C}$ ) 静压结构间隙为  $7\sim 8\mu\text{m}$ ,导套采用含铅、铜、钴等的特殊材料,冲压时受热膨胀,其间隙进一步缩减到  $3\sim 4\mu\text{m}$ 。该结构导向精度、刚度及耐久性好,但制造难度大。

(4) 美国 OAK 导向结构 美国 OAK 公司高速压力机主要有 LP 系列 (其部分技术参数见表 7-17) 和 SS 系列 (部分技术参数见表 7-18),其中 SS 系列为超高速闭式双点压力机。这两个系列产品所采用的导向结构如图 7-12 所示,由 12 组零间隙的滚动导向元件组成,分为上下两部分,有效抑制了滑块的水平位移,保证了滑块运动的垂直度,抗偏心载荷能力好。



图 7-11 HMX 系列棱柱体导向结构

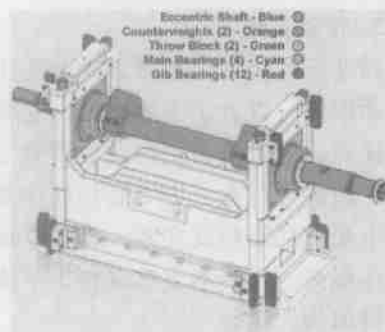


图 7-12 OAK 高速压力机导向结构

表 7-17 LP 系列高速压力机技术参数 (部分)

型号	LP-30-24	LP-60-24	LP-100-60	LP-200-72	LP-300-72
公称力/kN	267	534	889	1778	2667
公称力行程/mm	0.8		1.6		
滑块行程/mm	38	51	76		
模具安装尺寸(左右)/mm	622	622	1524	1842	
装模高度/mm	203 ~ 254	227 ~ 305	用户定制		
行程次数/(次/min)	133 ~ 400				
滑块提升量/mm	76	102	127		152
工作台板尺寸/mm	864 × 394	902 × 495	1905 × 572	2362 × 762	2515 × 914
滑块底面尺寸/mm	724 × 394	876 × 498	1829 × 572	2248 × 762	2010 × 889
电动机功率/HP	10	15	25	40	50

表 7-18 SS 系列高速压力机技术参数 (部分)

型号	SS-30-30	SS-30-36	SS-60-36	SS-60-42	SS-60-48
公称力/kN	267	267	533	533	533
模具安装尺寸/mm	775	927		1080	1232
公称力行程/mm	0.8			1.6	
滑块行程/mm	38				

(续)

型号	SS-30-30	SS-30-36	SS-60-36	SS-60-42	SS-60-48
行程次数/(次/min)	300~1500	300~1200	300~1000	300~800	300~700
装模高度/mm	用户定制				
模高调节量/mm	51			76	
滑块提升量/mm	76				
工作台板尺寸/mm	1016×394	1181×394	1207×495	1359×495	1511×495
滑块底面尺寸/mm	876×394	1029×394	1181×498	1334×498	1486×498
电动机功率/kW	11			15	

此外,也有厂家采用“全滚动”导向方式(见图7-13),即主导向和辅助导向采用滚珠(含保持架),由于导向间隙小,导向精度得到提高。通过增大滚珠直径及数量(直径和高度方向增加)来提高导向刚度。

### 3. 传动系统

高速压力机传动布置方式分为上传动和下(底)传动两种。在20世纪五、六十年代,底传动形式一直处于主导地位,它具有体积小、重心低、稳定性能好、传动系统水平分力较小等优点,而且不会使润滑油滴到工件上,能够满足特定行业的需求,如食品、橡胶、纸、薄膜、塑料等行业。由于底传动往复运动部件重量大,进一步提速后造成振动显著增大,使滑块下死点动态精度变差,影响了冲压品的精度和模具寿命,从而限制了高速压力机速度的进一步提高。上传动方式改善了下传动方式的不足,除特定行业外,上传动高速压力机已经成为目前的主流。

高速压力机传动系统中的驱动机构,主要有如下形式。

(1) 曲柄滑块机构 曲柄滑块机构在高速压力机中应用最多,从单点、双点逐渐发展到三点和四点,滑块运行次数最高可达到4000次/min。按机构中连杆和滑块的连接方式,曲柄滑块机构分为球头式和销轴式。球头式由于多自由度,能很好适应加工及装配误差,应用最为广泛。球头的另一端与连杆的连接方式,有螺钉连接(销定位)和螺纹连接(也可进行装模高度调整)两种。也有将连杆和球头螺杆合成一体的,但加工精度要求较高。此外,也有将球头与连杆直接铰接的,如台湾琪瑜公司Apex产品采用的新型球头连接方式,如图7-14所示。

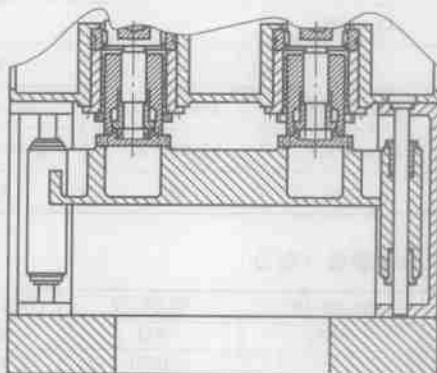


图 7-13 “全滚动”导向结构

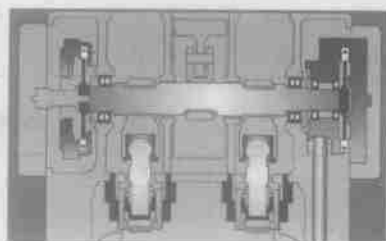


图 7-14 新型球头连接方式

当承受偏心载荷时,球头式结构由于其多自由度,容易产生倾斜,造成导向部分承受过大的负载。采用销轴式时,自由度受到限制,仅能绕销轴转动,故能承受较大偏心载荷,而不发生倾斜,刚性好,是大型高速压力机普遍采用的连接形式,为今后的发展方向。但是,采用销轴式结构对加工精度要求高。销轴式常用的连接方式如图 7-15 所示,销轴瓦安装在连杆中,绕安装在导柱中的销轴转动,连杆的一部分位于导柱中;另一种形式为连杆下部呈分叉型,导柱的一部分位于连杆内。经特殊设计的销结构,在压力机超载时能够实现卸荷(见图 7-16),多用在小型高速压力机上。

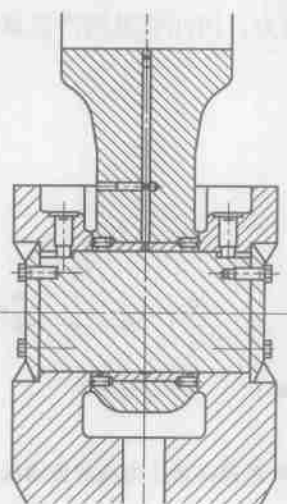


图 7-15 销轴式连接结构

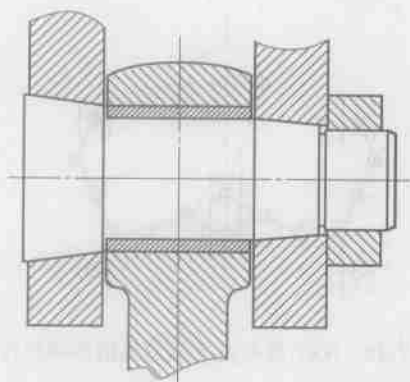


图 7-16 销结构示意图(带超载卸荷功能)

(2) 正弦机构 使用正弦机构最大的优势在于能够降低机身高度。徐锻集团早在 20 世纪 70 年代就将正弦机构应用于开式压力机并沿用至今。美国 OAK 公司高速压力机正弦机构(见图 7-6)上的各摩擦副为滚动摩擦,为提高速度创造了条件。在冲压力为 267kN、行程为 38mm 时,滑块行程达到 1500 次/min。由于取消了连杆,机床总的传动间隙得到压缩。

(3) 瑞士 BRUDERER 杠杆机构 瑞士 BRUDERER 公司的 BSTA 高速压力机传动机构如图 7-17 所示。该机构的滑块位移曲线为正弦曲线,其加速度曲线也为正弦曲线,从而使机构的惯性力较小。200kN 的高速压力机滑块次数可达 2000 次/min。该机构由曲柄滑块和杠杆机构串联组成,曲轴部分仅承受 60% 的冲压力;由置于两侧的伺服电动机驱动蜗轮蜗杆机构调整装模高度,也可用于快速提升滑块;装模高度调整每侧仅承受 20% 的冲压力,该位置可用作冲压过程中的下死点补偿,因而能够保证极高的下死点精度,满足了高速精密冲压的要求。该系统的配重系统(动平衡系统),能够在各个运动位置平衡横向和纵向的惯性力。此外,该机构的曲轴部位可提供多达 10 个滑块行程,从而扩大了压力机的使用范围。

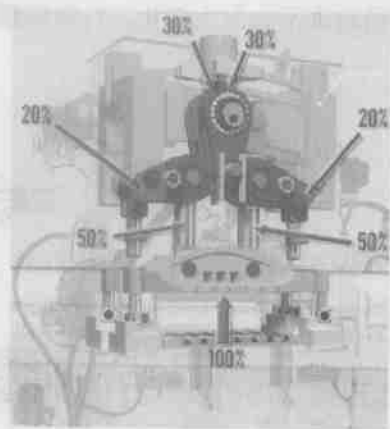


图 7-17 BSTA 高速压力机的传动机构

(4) 日本山田多比 (YAMADA DOBBY) 双连杆机构 图 7-18 所示为该公司 NXT 系列产品 (公称力规格 250 ~ 2 000kN, 部分技术参数见表 7-19) 采用的双连杆机构, 属于多连杆机构范畴。除中部的曲柄滑块机构外, 该机构左右对称, 可自动平衡运动过程中的横向惯性力。通过下部中间支点的上下位置, 可微量调整滑块的下死点位置。在运行过程中, 该机构在下死点附近速度显著降低, 造成在上死点处加速度过大, 限制了进一步提高滑块的行程次数。

图 7-19 所示为该公司 MXM 系列产品 (部分技术参数见表 7-20) 采用的另一种多连杆驱动机构, 较 NXT 系列产品采用的驱动机构简单, 同时降低了整机高度。由于导柱中心和肘杆中心存在较大偏差, 导致公称力过大时, 易产生较大的侧向力, 因此该系列产品最大冲压力为 800kN。

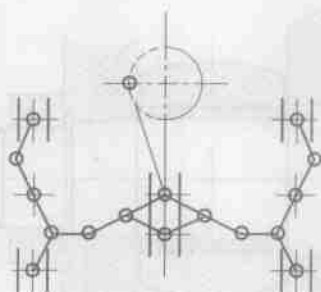


图 7-18 NXT 系列高速压力机的传动机构

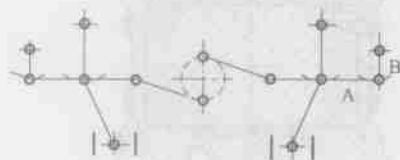


图 7-19 MXM 系列高速压力机的传动机构

(5) 日本电产京利 (Nidec-kyori) 多连杆机构 图 7-20 所示为其 ANEX II 系列高速压力机采用的多连杆机构 (部分技术参数见表 7-21), 较其他多连杆机构简单, 机构完全对称, 可实现横向及纵向惯性力自动平衡。由于该机构左右两侧导向, 滑块位移受到垂直方向上的限制, 为达到设计行程, 曲柄处需较大的偏心量, 而又限制了增大行程 (该机型仅提供两种行程)。为进一步提高行程次数, 对该系列产品进行了全新设计, 分别推出了 ANEX-H 系列和 FENIX 系列产品 (部分技术参数见表 7-22), 其中后者的行程次数达到了曲柄滑块机构的极限。其后又推出的 FLEXCAM 系列产品, 具备三段行程可调功能, 行程调整时, 装模高度不会发生变化, 行程调整时间仅为 15s, 在试模时也可进行行程切换。

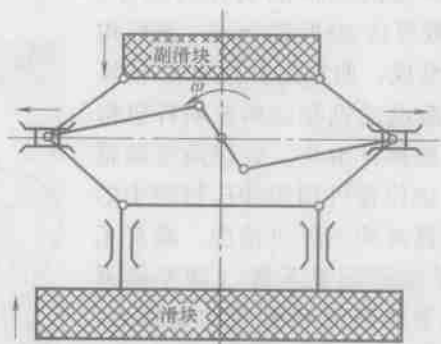


图 7-20 ANEX 系列高速压力机的传动机构

表 7-19 NXT 系列高速压力机技术参数 (部分)

型号	NXT-25	NXT-40	NXT-60	NXT-80	NXT-125	NXT-200
公称力/kN	250	400	600	800	1250	2000
公称力行程/mm (滑块行程 30mm 时)	1.2		1.6	1.6	2.6	2.9
滑块行程/mm	15/20/25/30	15/20/25/30/35/40	15/20/25/30/40/50	15/20/25/30/40/50	20/25/30/40/50/60	30/40/50/60/80/100
行程次数/(次/min)	180 ~ 1100/1000/900/800	180 ~ 1000/850/750/700/500/400	150 ~ 800/750/700/650/400/400	150 ~ 650/650/600/550/350/300	100 ~ 450/400/400/350/300/250	80 ~ 300/275/250/200/150/120
装模高度/mm	224/224/224/225	225	50	50	80	60
模高调整量/mm	50	50	50	50	80	60
工作台面尺寸/mm	640 × 450	760 × 590	950 × 650	1100 × 800	1350 × 800	1700 × 1000
滑块底面尺寸/mm	640 × 320	760 × 360	950 × 420	1100 × 540	1350 × 600	1700 × 800
立柱侧开口宽度/mm	220	260	260	340	430	450
底座开孔尺寸/mm	500 × 80	620 × 80	720 × 80	850 × 80	1000 × 130	1300 × 250
最大上模质量/kg	60	100	200	350	600	1200
机床总质量/t	5.9	8.7	12.5	18.3	40	65
电动机功率/kW	15	15	22	30	37	45

表 7-20 MXM 系列高速压力机技术参数 (部分)

型号	MXM-15	MXM-20	MXM-30	MXM-40	MXM-60	MXM-80
公称力/kN	150	200	300	400	600	800
公称力行程/mm	0.8					
滑块行程/mm	10/13/15/20	15/20/25/30	15/20/25/30/40	15/20/25/30/40	15/20/25/30/40	15/20/25/30/40
行程次数/(次/min)	180 ~ 2000/1800/1700/1500	180 ~ 1500	180 ~ 1300/1200/1050/950	180 ~ 1100/1000/900/850	150 ~ 900/900/800/750/650	150 ~ 650/650/640/600/550
装模高度/mm	20	230	240	240	300	320
模高调整量/mm	20		50	50		
工作台面尺寸/mm	500 × 400	640 × 450	760 × 590	760 × 590	1100 × 800	1350 × 800
滑块底面尺寸/mm	500 × 300	640 × 320	760 × 360	760 × 360	1100 × 500	1350 × 540
立柱侧开口宽度/mm	150	220	260	260	340	
底座开孔尺寸/mm	380 × 50	500 × 80	620 × 80	620 × 80	720 × 80	1000 × 130
机床总质量/t	4.2	6.0	7.5	7.5	16.0	22.0
电动机功率/kW	15	15	22	22	30	30

表 7-21 ANEX II 系列高速压力机技术参数 (部分)

型号	ANEX-30 II	ANEX-40 II	ANEX-60 II
公称力/kN	300	400	600
公称力行程/mm	2		
滑块行程/mm	20/25/32	20/25/30/32	20/25/32
行程次数/(次/min)	200 ~ 1200/1050/900	180 ~ 1000/900/850/850	100 ~ 750/750/650
装模高度/mm	240		
模高调整量/mm	40	50	80
工作台板尺寸/mm	600 × 400	750 × 500	1100 × 600
滑块底面尺寸/mm	600 × 300	750 × 340	1030 × 500
上模质量/kg	最大 80	105 ~ 155	最大 450
总质量/kg	6500	8000	14000
电动机功率/kW	11	15	22

表 7-22 ANEXH、FENIX 系列高速压力机技术参数 (部分)

型号	ANEX-15H	ANEX-30H	ANEX-40H	FENIX-30	FENIX-40
公称力/kN	150	300	400	300	400
公称力行程/mm	1.2	2			
滑块行程/mm	14/16/20/25/32			16/20/25/32	
最高行程次数/(次/min)	1800	1500/1400/1350/ 1150/1000	1200/1100/1000 /950	1500/1400/1250 /1100	1400/1250/1100 /1000
装模高度/mm	200	240			
模高调整量/mm	30	40	50	40	50
工作台板尺寸/mm	500 × 360	600 × 400	750 × 500	640 × 450	750 × 500
滑块底面尺寸/mm	500 × 260	600 × 300	750 × 340	640 × 320	750 × 340
底座开孔尺寸/mm	350 × 80	400 × 100	560 × 120	400 × 100	560 × 120
机床总质量/t	4.5	6.5	8.0	6.5	8.0
电动机功率/kW	15			22	

多连杆机构还有许多形式,在此不再赘述。除瑞士 BRUDERER 公司的 BSTA 机型采用杠杆传动机构外,其他公司的多连杆传动机构尚有多种形式,其基本特征都是在冲压过程中降低滑块速度,实现增力效果,同时降低高速下加速度对下死点精度的影响。根据多连杆的具体形式,可设置下死点动态精度补偿机构。多连杆机构的问题是滑块运动在上死点附近惯性力显著增大,从而限制了提高滑块行程次数。

#### 4. 离合器-制动器

高速压力机大多使用组合式的干式或湿式摩擦离合器-制动器。按驱动形式分为气动式和液压式。按摩擦面形式分为盘式、浮动镶块式和圆锥式。其主要构造与普通压力机上的离合器-制动器是相同的。高速压力机大多采用气动干式摩擦离合器-制动器(盘式或浮动镶块式)。为了提高快速制动性能,尤其是大型高速压力机,通常将离合器与制动器分开布置(见图 7-21)。随着高速压力机向大型化发展,在一台高速压力机上逐渐采用两套摩擦离合器-制动器,这有利于减小曲轴的扭转变形,保证多点的同步性,如日本 AIDA 公司的 MSP 系列高速压力机(参见图 7-5)。

(1) 高速压力机离合器-制动器设计要求 由于离合器完成结合需要一定时间,此时压力机的滑块速度一直处于变化状态,引起滑块下死点发生变化,影响了超精密零件的冲压精

度。国外高档的高速压力机能够在曲轴旋转一周内达到最高转速，并在一周内快速制动，其离合器—制动器多以自制为主。

离合器—制动器设计应注意如下问题：

1) 具备较低的惯量，制造时可采用低密度材料，如铝合金。

2) 具备合适的离合转矩和制动转矩，以提高离合器的结合速度和快速制动能力。

3) 提高压缩空气压力，尽量减小离合器气缸容积。

4) 增大离合器进气口直径及电磁阀流量。

5) 减小活塞移动距离。

6) 尽量减小摩擦片之间的间隙，并保持摩擦间隙均匀一致。

(2) 减小高速压力机离合器—制动器制动角的措施 对高速精密压力机的离合器—制动器，提高其制动能力，减小制动角，对于保护模具、提高冲压品成品率以及防止压力机损坏，具有十分重要的意义。可采取以下措施：

1) 提高制动器的制动转矩。对于普通压力机，设计的离合器离合转矩大于制动转矩，而为了提高高速压力机的快速制动性能，一般要求设计的制动转矩大于离合转矩，也可以在结构布置上采用双制动器，以提高制动效果。

2) 减少离合器及压力机从动部分的惯量。在选择、设计离合器时，一方面要考虑降低离合器—制动器自身的惯量，另一方面要考虑降低压力机相关从动系统的惯量。对于某些影响从动惯量较大的零件，可以在保证刚度的前提下使用低密度合金材料。

### 5. 静平衡机构

静平衡机构应用于高速压力机的主要目的有：对于无螺纹锁紧装置的高速压力机，可以实现消除部分螺纹间隙，提高滑块运行平稳性；在一定速度范围内改善下死点动态精度；降低装模高度调整电动机的负荷。

静平衡机构多用于小型开式及部分国产闭式的高速压力机上，国外高速压力机仅在装模高度调整时，才使用静平衡机构。

静平衡机构的元件主要有气缸、空气弹簧（多为自密封式两曲或三曲结构）和弹簧。气缸的线速度允许值（一般要求小于  $1\text{m/s}$ ）制约着高速压力机的行程次数，多用于小型开式高速压力机。大型高速压力机所用气缸多为自容式（见图 7-22），具有停机自动排水功能。使用空气弹簧和弹簧，能避免使用气缸在高速运行时的缸体发热问题，且不需要润滑。

静平衡机构与机身、滑块可直接连接，应用最多，如气缸固定在机身，气缸杆与滑块连接，随同滑块一起运动；也可间接连接（见图 7-23），用在部分小型开式高速压力机上，可降低整机高度。

### 6. 动平衡机构

高速压力机运行时，往复运动件的惯性力与压力机行程次数  $n$ 、滑块行程长度  $H$  及往复运动件重量成正比。高速压力机行程一般小于  $50\text{mm}$ ，虽然行程较小，但其往复件重量所产生的惯性力将达到自重的数倍甚至十多倍，对于某些多连杆高速压力机，可能高达数十倍。惯性力作用在支撑轴承和导轨上，如不考虑惯性力的平衡，将引起压力机剧烈振动，进而影

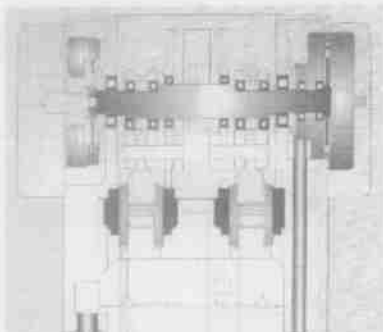


图 7-21 分体式离合器-制动器

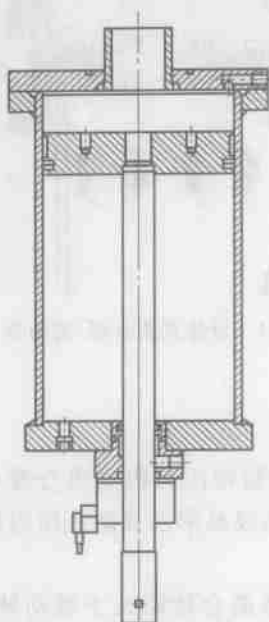


图 7-22 自容式气缸

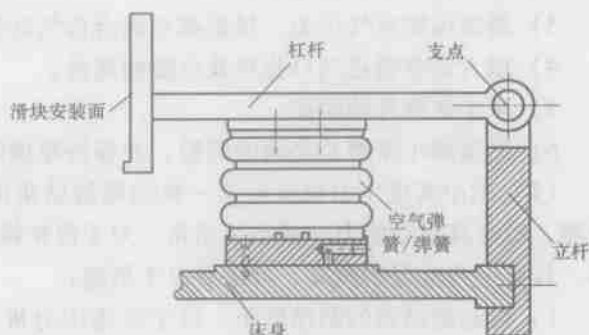


图 7-23 静平衡机构的间接连接方式

响压力机正常运转及其动态性能,降低模具寿命。因此高速压力机需要采取动平衡机构,尤其是超高速压力机其动平衡机构必不可少。

(1) 对动平衡机构的基本要求 动平衡机构的主要功能是平衡曲轴、滑块和上模等在高速运动过程中所产生的惯性力,在结构上需要满足以下基本要求。

- 1) 完全平衡滑块运动所产生的垂直与水平方向的惯性力。
- 2) 当行程长度及上模重量变化时不影响平衡效果。
- 3) 尽量减少回转部件重量以减小制动力。

动平衡机构在结构上要完全满足上述条件有很大困难,从高速压力机实际应用的动平衡机构来看,大部分机构为不完全动平衡,很少为完全动平衡。

#### (2) 动平衡机构的形式

1) 曲轴平衡块方式。图 7-24 所示为用在某型高速压力机上的曲轴平衡块结构,是一种简单的不完全动平衡结构。平衡块被固定在曲轴偏心相反方向,以平衡曲轴偏心重量,进而实现回转平衡。如果结构空间允许,可进一步加大平衡块,以部分平衡滑块及上模运动所产生的水平与垂直惯性力,国内外部分高速压力机采用了这种方式。对于行程可调的高速压力机,当行程变化时,偏心重量发生变化,平衡效果因此受到影响。

2) 副滑块平衡机构。图 7-25 所示为副滑块平衡机构原理图,平衡原理是在主滑块对称的方向增加副滑块,以抵消滑块所产生的惯性力,根据主副曲柄的长度比确定副滑块的重量,同时在曲柄上配平衡块以取得更好的平衡效果。这是一种比较理想的不完全动平衡机构,比较简单,应用较多。当上模重量及行程长度变化时,动平衡效果会受到一定影响。当行程长度固定时,上模重量需要限制在一定范围内。当去掉主连杆及副连杆时,该机构仍可实现对滑块惯性力的平衡,即以上部的正弦机构平衡下部的正弦机构。



图 7-24 曲轴平衡块结构

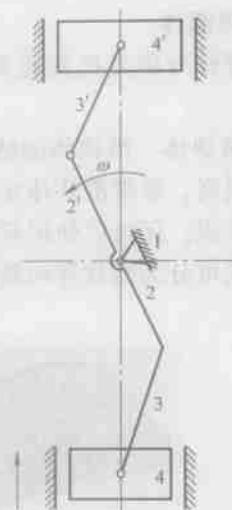


图 7-25 副滑块平衡机构原理图

1—机架 2—主连杆 3—主连杆 4—主滑块  
2'—副连杆 3'—副连杆 4'—副滑块

3) 多连杆动态平衡机构。BSTA 高速压力机多连杆动态平衡机构 (见图 7-17), 能够平衡水平与垂直方向的惯性力。平衡块的重心移动轨迹为椭圆, 在轨迹任一位置上所产生的惯性力, 大小相等, 方向相反, 并相互抵消。这种动平衡机构的优点是: 当调整偏心改变滑块行程时, 平衡块重心随之自动调整, 保持完全动平衡。此外, 该平衡机构还可实现对回转件的平衡作用, 减少其转动惯量, 从而减小制动角, 提高了制动器的制动性能。

对于上述四种动平衡机构的应用, 应根据主传动的驱动形式、结构布局, 采取其中的一种或多种动平衡机构。当上模重量变化不大时, 上述机构能够实现惯性力的部分或完全平衡, 但当上模重量变化较大时, 动平衡效果变差。为了达到更好的平衡效果, 需要根据上模重量, 对动平衡系统进行重量调整, 但实施时较为繁琐。日本三菱公司 HP 系列高速压力机, 采取了独特的动平衡配重调整机构 (见图 7-26), 可适应不同的上模重量。由图可见, 当上模重量发生改变时, 调节机身外侧的手柄 4 (带模具质量刻度), 可以调整平衡块在机身上的支点位置, 从而实现完全动平衡。

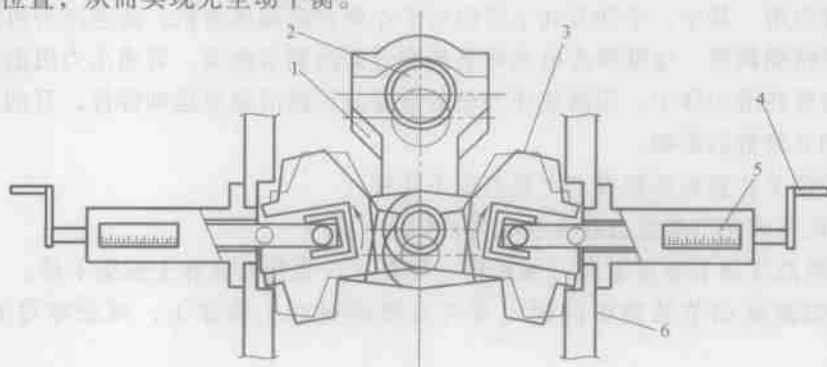


图 7-26 动平衡配重调整机构

1—连杆 2—偏心轴 3—平衡配重 4—调节手柄 5—模具质量刻度 6—床身

## 7. 滑块部件

滑块部件为压力机的重要部件，主要包括滑块体、装模高度调节装置及过载保护装置等。

(1) 滑块体 滑块体的结构形式取决于导向和传动系统的形式。随着高速压力机行程次数不断提高，要求滑块体在满足刚性的前提下减轻重量。滑块体减重可通过结构优化及使用铸件来实现，还可以使用新材料如超硬铝合金、陶瓷合金等来实现。滑块体为箱形结构，按导向形式可分为圆柱导向箱型结构（见图 7-27）和平面导向箱型结构（见图 7-28）。

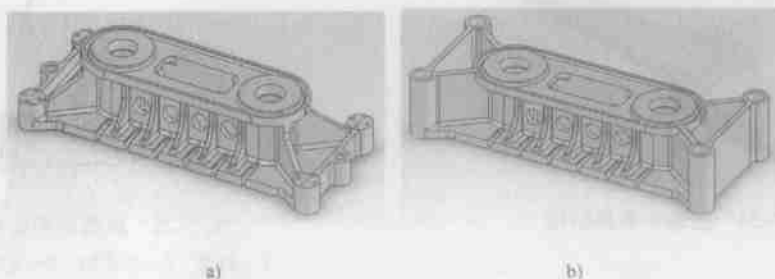


图 7-27 圆柱导向箱型结构滑块

圆柱导向箱型结构滑块体，高度尺寸显著小于平面导向箱形结构，刚度稍差。装模高度调节装置一般不设置在滑块体上，减轻了滑块部件重量，利于提高滑块运动速度。图 7-27a 所示结构采用“导柱运动、导套静止”的导向方式（滑块体辅助导向），导柱悬臂布置，适用于小吨位高速压力机上。图 7-27b 采用“导套（滑块体）运动、导柱静止”的导向方式，提高了导向刚度和滑块刚度。

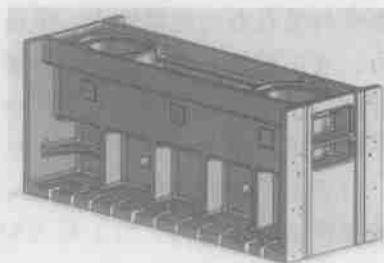


图 7-28 平面导向箱型结构滑块

图 7-28 所示的平面导向箱型结构，采用四角八面形式，刚度大，尤其适合大吨位高速压力机需求。

(2) 装模高度调节装置 高速压力机的装模高度调节装置，按动力源分为手动、气动和电动，均有应用。其中，手动方式主要应用于小吨位高速压力机。高速压力机装模高度调整量小且要求精确调整，这就要求电动调节须有合适的调节速度。普通压力机的装模高度调节装置一般布置在滑块体中，而高速压力机的布置应远离滑块等运动部件，目的是尽量降低冲压振动对调节装置的影响。

装模高度调节装置的布置方式主要有以下几种。

- 1) 将装模高度调节装置直接安装在滑块体上。
- 2) 将装模高度调节装置零件（蜗轮箱、导套等）直接安装在上横梁下部。
- 3) 将装模高度调节装置中的固定零件直接铸造在上横梁上，其余零件安装在上横梁中。
- 4) 将蜗轮蜗杆等传动件安装在滑块体中，电动机等驱动件安装在立柱等部位（见图 7-29）。对于单点高速压力机，装模高度手动调节是通过直接旋转滑块部件中的螺纹，来增加或

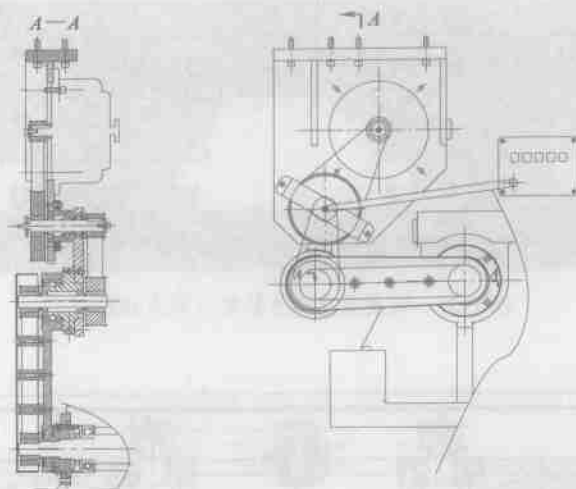


图 7-29 装模高度调节装置

减少滑块的装模高度；气动和电动调节统称为机动调节，是通过气动马达或电动机驱动减速与调整机构，实现装模高度调节。

双点及多点高速压力机装模高度装置的主要传动方式如下。

1) 并联方式。对于双点高速压力机，采用电动机驱动蜗轮蜗杆机构，在蜗杆两端分别带动单个装模高度调节装置（见图 7-30）；对于三点高速压力机，采用电动机驱动减速机构及轮系，分别带动单个调节装置；对于单排四点高速压力机，可由 4 个调节装置中的蜗杆，通过联轴器连成一根轴，这根轴可分段进行相位微调，补偿四点的加工与装配误差，并由双电动机驱动，实现四点同步调节（见图 7-31）。对上述实施方案要考虑各点的单独调整问题。

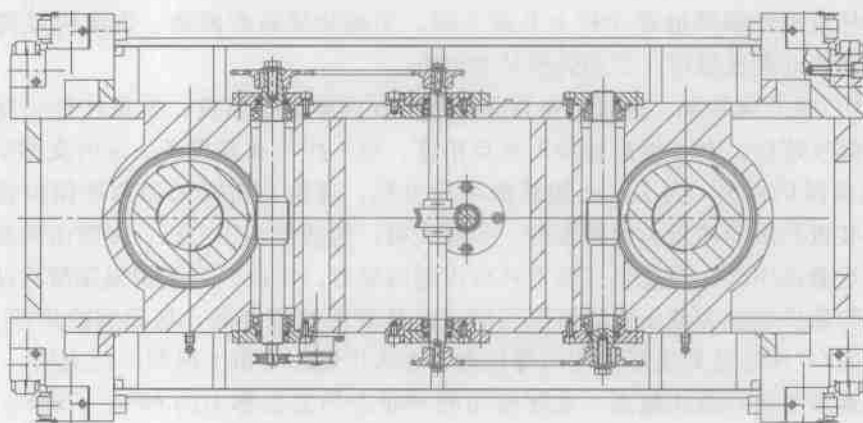


图 7-30 装模高度调节装置（双点并联）

2) 串联方式。对于双点高速压力机，可采用图 7-32 所示的串联方式布置装模高度调节装置，即电动机通过减速机构驱动一边的调节装置，再通过该装置中蜗杆的一端驱动另一边的调节装置。

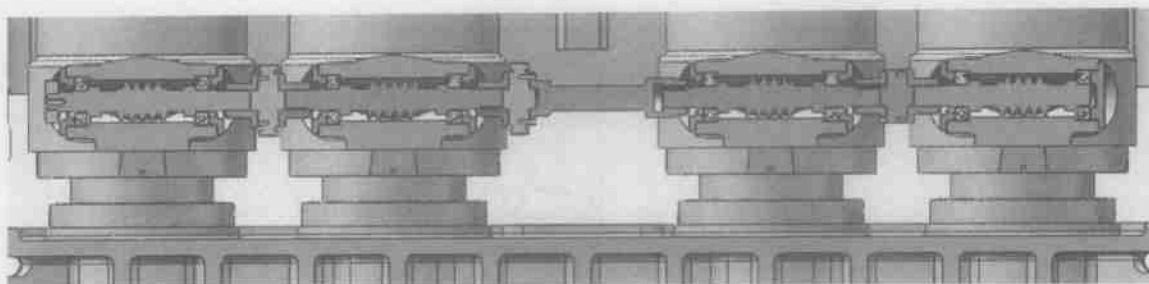


图 7-31 装模高度调节装置（四点并联）

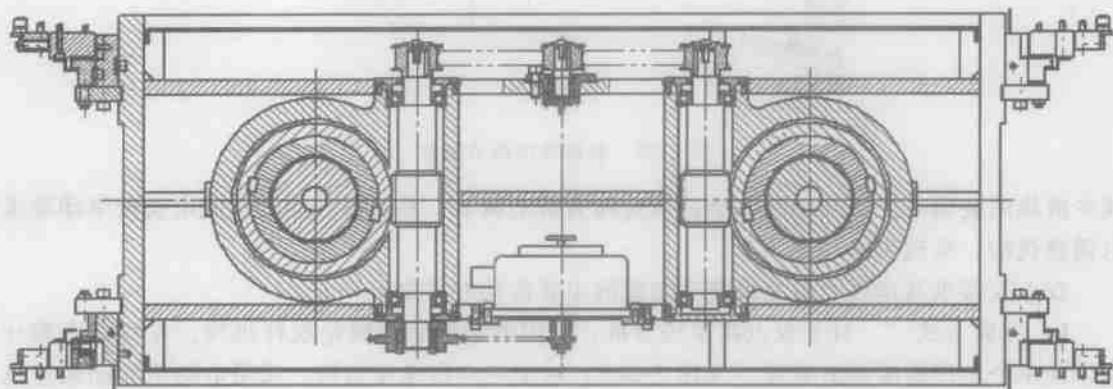


图 7-32 装模高度调节装置（双点串联）

实现装模高度调节的装置还有：

1) OAK 公司的上横梁整体升降装置（见图 7-6）。其动作原理是：首先松开上横梁上部的锁紧液压缸，通过电动机轴端的链轮带动机身四角的调整螺母，调整螺母旋转带动上横梁、传动部件及滑块部件沿着立柱上升或下降，实现装模高度调整。该结构可调整较大重量，一旦出现机动调整故障，手动调整较为困难。

2) 工作台板升降装置。通过工作台板升降装置调整装模高度，要将连杆长度固定，可取消中间的螺纹连接，利于提高滑块下死点精度，但工作台板要具备一定的支撑刚度。

(3) 过载保护装置。为了防止超载损坏压力机，理论上需要采用两类保护装置，即限制转矩保护装置和限制冲压力保护装置。实践表明，超载损坏压力机，多数由模具调整不当或两块坯料重叠而引起，多发生在离下死点很近的地方，因此，多采用限制滑块冲压力的保护装置。这类保护装置为液压式或液压气动式，具有保护精度高、超载解除后能自动恢复、可借助油压表/气压表估算实际冲压力等优点，在大中型压力机上得到广泛应用。

由于高速压力机行程次数高、实际使用的冲压力约为公称力的 60% ~ 70%，以及公称力行程小（一般在 3.2mm 以内）等原因，并非所有高速压力机都采用过载保护装置，有的仅采用螺纹锁紧装置。

选用过载保护装置应注意如下问题：

1) 快速卸荷。当冲压力超过设定的过载保护压力时，需要快速卸荷。有两种常用方法如图 7-33 所示。第一种是超压流体沿着原管路返回，第二种是沿着零件结合面卸荷。从理

论上讲后者卸荷时间更短。目前,按第一种方式在过载  $1/1000s$  内滑块停止并卸荷。配备温度补偿阀,能够消除因油温上升而引起的压力波动。

2) 各“点”的影响。对于双点(含三点、四点等)高速压力机而言,如果过载保护回路是连通的,当冲裁过程中各点位的冲裁力不均等时,由于过载保护回路的连通器原理,会导致个别“点”冲压力下降,造成“冲不断”的现象。因此,过载保护回路最好采取各点独立方式。

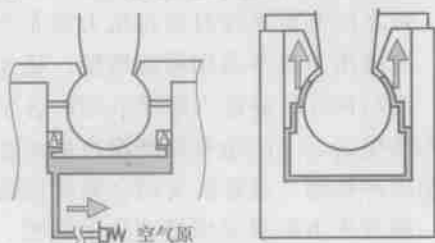


图 7-33 快速卸荷方式

3) 卸荷压力。卸荷压力一般选在  $20MPa$  左右,以此确定液压垫截面积,压力过低会造成液压垫刚性差,影响下死点动态精度。

### 8. 快速提升装置

当模具需要清理或检修时,需要加大机床的闭合高度,以便要将模具从机床中取出。因此,部分高速压力机需要具备滑块快速提升功能,以提高工作效率。

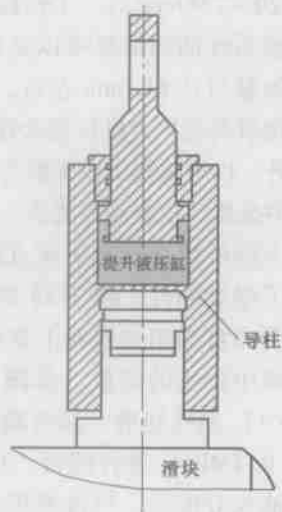
(1) 快速提升量 高速压力机的快速提升量没有相关标准,该量值与压力机的结构形式及应用领域有关。如美国 OAK 公司的高速压力机主要用在空调翅片冲领域,其 LP 系列高速压力机(公称力为  $300 \sim 3000kN$ ,最高次数  $400SPM$ )的快速提升量为  $76.2 \sim 152.4mm$ ,大于装模高度调整量  $25.4 \sim 50.8mm$ ;其超高速的 SS 系列高速压力机(公称力为  $300 \sim 1000kN$ ,最高次数  $1500SPM$ )的快速提升量为  $76.2 \sim 203.2mm$ 。台湾地区瑛瑜公司(INGYU)的 Apex 系列高速压力机,主要用在精密微电子行业,该系列  $300 \sim 600kN$  的高速压力机(最高次数  $1400SPM$ )快速提升量为  $50mm$ ,  $800 \sim 2200kN$  高速压力机(最高次数  $800SPM$ )的快速提升量为  $70mm$ 。意大利 BALCONI 公司的 2DMhs 系列高速压力机(公称力  $800 \sim 6300kN$ ,最高次数  $800SPM$ )的快速提升量则统一为  $100mm$ 。

#### (2) 快速提升方式

1) 上横梁提升。美国 OAK 公司采取该方式,其动作原理是:上横梁上部安装四组液压缸,正常工作时,液压缸下腔油压升高,保持调定的卸荷压力,实现锁紧及过载保护功能。当需要提升时,液压缸下腔卸压,上腔油压升高,将上横梁、传动系统及滑块部件一并抬起。提升量取决于液压缸活塞行程,可以做得很大。

2) 导柱提升。图 7-34 所示为台湾瑛瑜公司的快速提升装置。由图可见,正常工作时,提升缸下腔保持调定的卸荷压力。当需要提升时,提升缸下腔卸压,上腔升压,导柱带动滑块提升。导柱行程即是滑块提升量,为保证导柱及其结构的刚度,进而保证滑块下死点的重复精度,需限制提升量。

此外,实现滑块快速提升,还可通过快速到达最大装模高度的方式。通常采用蜗轮蜗杆传动,对其制造精度要求较高。



### 9. 润滑系统

高速压力机上所有有配合的相对运动部分必须进行润图 7-34 瑛瑜公司的快速提升装置

滑,以减少零件磨损,提高机器使用寿命,保持正常的工作精度,降低能量消耗和维修费用。可靠的润滑系统对高速压力机尤为重要。

高速压力机多采用稀油润滑,优点是内摩擦系数较小,因而消耗于克服摩擦力的能量较小;流动性好,易进入摩擦表面的各个润滑点;采用循环润滑系统时冷却作用好,并可将黏附在摩擦表面上的杂质和磨损产生的金属颗粒带走。对于高速压力机而言,润滑系统更重要的是冷却作用,通常需要结合温度控制装置一起使用。

高速压力机多采用机动集中润滑,个别部位采用分散润滑(手动),如飞轮轴承部位,多采用浓油润滑方式。

常用的润滑方式有递进式、单线阻尼式和油气润滑等,使用最多的为递进式润滑系统。

(1) 递进式 该润滑系统由润滑泵、递进式油量分配器、管路附件和控制部分组成。系统供油时,油量分配器中的一系列活塞按一定顺序做差动往复运动,各出油点按一定顺序依次出油,出油量取决于分配器中的活塞行程与其截面积。润滑油黏度  $20 \sim 1600 \text{ mm}^2/\text{s}$ 、工作压力  $0.1 \sim 4 \text{ MPa}$ 、排量范围  $0.05 \sim 20 \text{ ml/次}$ 、过滤精度  $150 \mu\text{m}$ ,可设润滑点  $1 \sim 200$  个,递进式油量分配器最多可接三级。

递进式润滑系统润滑泵额定压力为  $5 \text{ MPa}$  左右,额定流量多小于  $1 \text{ L/min}$ 。

递进式油量分配器从结构上分为集成式和片式两大类,能够实现周期或近似连续润滑。集成式油量分配器的公称压力为  $6 \text{ MPa}$ 。片式分配器的最大公称压力可达  $25 \text{ MPa}$ ,最小开启压力为  $1.4 \text{ MPa}$ 。分配器配有给油指示杆和堵塞报警器,可实现润滑供油状况监控和报警。分配器输出的最佳管径与长度有要求,如表 7-23 所示。

表 7-23 分配器输出的最佳管径与长度

管径/mm	4	6	8	10
长度/m	0.5~2.5	1.2~3.5	1.5~4.5	1.8~5.5

(2) 单线阻尼式 是一种低压润滑系统,由润滑泵、分配元件、管路附件和控制部分组成。通过控制元件按比率分配油量,能够实现周期润滑或连续润滑,多用在小型高速压力机上。该系统不能对润滑状况进行检测,因此对所用润滑油清洁度要求较高。系统用润滑油黏度  $20 \sim 750 \text{ mm}^2/\text{s}$ ,工作压力  $0.17 \sim 2.5 \text{ MPa}$ ,可设  $1 \sim 50$  个润滑点。

该系统的润滑泵可以是齿轮泵、电磁泵、弹簧活塞泵、膜片泵和摆线泵。使用摆线泵,润滑油量可达  $6 \text{ L/min}$  左右,润滑冷却效果好。

随着高速压力机行程次数的提高,该系统也进一步增大了润滑泵流量,达到每分钟十几升或几十升,以增强润滑冷却能力;不再使用分配元件,而通过大流量润滑油,强力冲刷油路及摩擦副中的杂质。根据润滑要求,在同一台高速压力机上,可采用一套或两套润滑系统进行润滑。

为降低热变形对下死点精度的影响,一般将下横梁设计成油箱,既增大了油箱容积又增强了下横梁刚性。图 7-35 所示为某公司的下横梁结构,其中前后方向为贯通油箱。此外,也有公司将油箱布置在上横梁上,利用上横梁结构存放润滑油,借以冷却传动部件在高速运行过程中产生的热量(见图 7-36)。

(3) 油气润滑 油气润滑是将单独输送的润滑剂和压缩空气(过滤精度为  $5 \mu\text{m}$ ,气压  $0.3 \sim 0.4 \text{ MPa}$ )进行混合,形成紊流状油气混合流后输送到各润滑点。该润滑系统由气动泵、油气分配块、气源处理元件、控制部分和喷嘴、螺旋尼龙管等组成,可供选用的润滑油黏度范围广,可对油和气分别进行控制。



图 7-35 下横梁结构

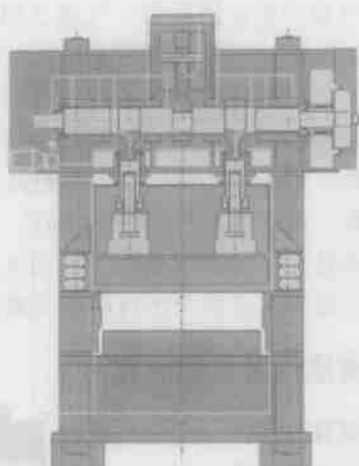


图 7-36 意大利 BALCONI 公司高速压力机润滑系统

该润滑方式特别适合滚动轴承，具有一定的空气冷却效果，可以降低轴承的运行温度，延长轴承使用寿命。该润滑方式耗油量少，可避免其他润滑系统可能出现的漏油问题。

#### 10. 减振器

高速压力机在工作过程中，由于存在不平衡惯性力和冲压力，会产生较大振动，将影响设备正常运行和冲压品精度，影响工作人员身心健康和周围环境及其他精密设备，需要加装减振装置，予以消除或减弱。

由于高速压力机型式多样、机器制造精度和冲压品精度各异，因此，所选用的减振器存在差异性。高速压力机用减振器主要有：弹簧阻尼隔振器、气囊式阻尼隔振器和橡胶板等。

(1) 弹簧阻尼隔振器 是以金属螺旋弹簧为隔振元件的等刚度线性隔振器，以其中的阻尼液吸收振动所产生的能量。该隔振器的压缩量可达 60mm（对应的固有频率为 2Hz）左右，阻尼系数可根据设备参数确定。该隔振器低频隔振效果较好，但有效频率范围较窄、整机振幅较大并易传播高频振动。多用于中大型高速压力机，使用次数多在 600SPM 以内。图 7-37 为日本 AIDA 公司使用的两种隔振器。其中图 7-37a 型结构较复杂，为早期产品，使用时通过螺钉与压力机相连。目前可以在隔振器与机床之间放置摩擦系数较大的防滑垫板，省去螺钉连接，安装方便。

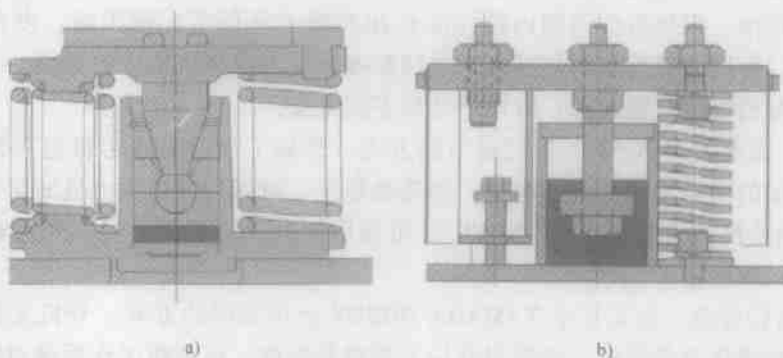


图 7-37 日本 AIDA 公司高速压力机隔振器

(2) 气囊式阻尼隔振器 气囊式阻尼隔振器(见图 7-38)是以气囊为隔振元件的变刚度非线性隔振器,比弹簧阻尼隔振器更软(固有频率为  $1 \sim 2\text{Hz}$ ),可以通过气囊内压实现刚度的调整,主要用在精度非常高的中小型高速及超高速压力机上。

(3) 橡胶板 橡胶板据其软硬和厚度不同,最多可压缩几毫米,对小于  $1000\text{次/min}$  的高速压力机基本没有隔振效果。由于橡胶材料的耐油性、老化等原因,其隔振性能容易在一段时间后丧失。因此,以橡胶板做减振器仅用于某些精度要求不高的开式高速压力机。



图 7-38 气囊式阻尼隔振器

#### 7.1.4 高速压力机发展趋势

##### 1. 高速度

高速压力机从诞生至今,行程次数不断提高。从最初的底传动结构  $200 \sim 300\text{次/min}$  到 20 世纪 50 年代的  $400\text{次/min}$ ,再到 70 年代的  $800 \sim 1600\text{次/min}$ ,如今则高达  $3000 \sim 4000\text{次/min}$ 。高速压力机行程次数的不断提高,极大地提高了生产效率,同时降低了成本。这主要得益于标准化、系列化、批量化的功能性冲压零件(如微电机定转子铁心、引线框架等)市场需求旺盛,同时冲压零件厚度逐渐减薄,所需冲压吨位逐渐减小,这就为高速压力机提高行程次数创造了条件。而且,高速精密冲压模具尤其是多工位高精度级进模具和自动化周边设备的发展,也为高速压力机提高行程次数创造了条件。从高速压力机发展的历程看,随着行程次数的飞跃式提高,其公称力和行程呈现出减小的趋势。

##### 2. 高刚度和高精度

在高速压力机上大多采用硬质合金模具,其凹凸模在水平面内的相对位移必须减少到最小限度,才能避免模具损坏,提高使用寿命,这就要求高速压力机具备一定的水平刚度。由于高速压力机存在“反向负载”,则要求进一步增大其垂直刚度。通常采用合理的结构设计(床身设计、导向方式等)并加大设计余量(加大曲轴、销或球头等零件尺寸)来予以保证。

高速压力机在向高速度发展的同时,机器的精度也在进一步提高。高精度是指高的静态几何精度和动态精度(下死点精度)。静态几何精度与高速压力机的制造水平有关,动态精度则是通过采取温度控制以及下死点动态补偿机构来实现。

目前,在静态几何精度方面,基本以日本工业标准的特级精度标准(JIS B 6402:1997)为最低标准,国外各公司的内控标准在此基础上进行了大幅压缩。多在恒温车间进行制造和装配,特别注重材料的热处理,以消除残余应力对整机精度的影响。

在动态精度的温度控制方面,有以下几种不同方式。

1) 预热。为美国 MINSTER 公司采用的方式。开始工作前对压力机进行预热,并使压力机工作过程中的温升不超过预热温度。预热的温度、时间与高速压力机的工作速度有关。

2) 设置油冷机。为瑞士 BRUDERER 公司采用的方式。在压力机工作过程中使冷却油流经机器内部,抑制温度上升。

3) 先加热后保温。这是日本 YAMADA DOBBY 公司采用的方式。开机工作前数小时自动接通加热器和液压泵并定时,逐渐提高压力机内部温度,压力机工作后通过润滑油冷却装置使温升不超过设定值并保持恒定。目前,许多公司采用此方式。

此外,日本 KYORI 公司在其 NEW-BEAT 系列高速压力机(肘杆式传动机构)上,采用按一定顺序加热杆系的方式。首先使连杆和联结杆受热膨胀,使下死点位置稍微上升,接着让上下两肘杆和导杆受热膨胀,使下死点位置下降,从而使下死点位置保持不变。

### 3. 上传动方式占主导地位

在 20 世纪 40 和 50 年代,各国几乎一致认为高速压力机以底传动形式为最好,其重心低、稳定性较好、曲柄滑块机构的水平分力影响较小。当进入 20 世纪 50 年代后期和 60 年代时,发现底传动结构的运动部件重,往复运动的惯性力和振动大,不利于提高行程次数。同时,还必须增加压力机固定部分的重量,才能抵消运动部分的惯性效应及改进压力机的动态性能。因此,底传动不得不让位于上传动。

上传动方式具有运动部件重量较轻、空间好布置、维修方便等优点,已成为高速压力机的主流方式,为国内外制造商普遍采用,并在传动机构、导向方式、动平衡机构等方面进行了大量革新。下传动方式的高速压力机仅在个别领域占有一席之地。

### 4. 闭式结构将占主导地位

与闭式高速压力机相比,开式高速压力机在机身形式、传动系统、装模高度调整和滑块形式上都比较简单,能够满足部分小型零件的高速冲压。其公称压力一般在 800kN 以内,行程次数在 800SPM 以内的采取静平衡装置,超过 1000SPM 的采取动平衡装置。开式压力机存在角变形,仅适合冲压精度要求不高的零件。可以采取降低角变形,如在喉口处增加拉杆(瑞士 BRUDERER 公司早期的 180kN 和 300kN 的三导柱结构),采用增强型防护门(瑛瑜公司 civic 系列开式高速压力机,见图 7-39),以及在机身前部增加拉杆等,但随着对冲压品精度的进一步提高,采用闭式结构是一种必然趋势。一方面闭式结构有较大的空间便于安装动平衡装置,利于提高行程次数(3000~4000SPM 的超高速压力机均为闭式结构),进而提高生产效率;另一方面闭式结构刚性好,可以提高冲压品精度及模具使用寿命。此外,采用闭式结构可以增大工作台宽度,利于使用多工位级进模。



图 7-39 瑛瑜公司 civic 系列开式高速压力机

### 5. 双点结构逐渐向三点和单排四点发展

闭式高速压力机多为双点结构。随着冲压模具工位增加和冲压品尺寸加大,要求加宽工作台面和增大冲压力。如意大利 BALCONI 公司的高速压力机,公称压力为 6300kN,行程 35mm,最高行程次数 320SPM,工作台尺寸 3200mm × 1400mm。对此,如果采用双点结构,则需要进一步加大滑块及导向的刚度,采用八面直角导向方式,会造成滑块过重,影响提高行程次数。因此,不少公司采用三点或四点结构,辅助导向采用圆柱形式,既能够实现滑块重量轻量化,又能提高行程次数。如日本 YAMADA DOBBY 公司和 ISIS 公司采用三点结构,公称力最小为 600kN,日本 AIDA 公司则采用单排四点结构。

采用三点或单排四点结构的难点,在于保证多点之间的同步性,主要靠精确的理论计算、精密加工及检测来保证。图 7-40 为日本 ISIS 公司在三坐标测量仪上对滑块部件进行检

测。此外,对于超宽台面的大型闭式多点高速压力机,还应当消除传动过程中转矩对各点相位的影响,如日本 AIDA 公司在其 MSP 系列单排四点高速压力机上采用双边驱动技术(见图 7-5)。

## 6. 采用新材料

随着对高速压力机精度要求不断提高,新型材料不断得到应用,主要目的是在保证刚度的前提下,减轻运动部件的重量、减小温度变化对下死点的影响以及提高承载能力。应用的新材料主要有:

1) 低密度材料。为减轻滑块运动部件重量,采用低密度材料。如美国 OAK 公司的部分高速压力机,滑块采用超硬铝合金材料,滑块重量降低了 60% 左右;日本电产京利(Nidec-kyori)公司 100kN、4000 次/min 的超高速压力机,滑块采用陶瓷-铝合金复合材料,使滑块运动部件的惯性力下降了 40%,从而有助于减少工作次数变化对下死点精度的影响。

2) 低膨胀系数材料。日本 ISIS 公司的 U 系列高速压力机,主要驱动部件及联接件都采用低热膨胀系数的合金铸件 Nobinate-5 (Ni 含量为 36%, Co 含量为 6%),其热膨胀系数只有钢的 1/3 ~ 1/4,硬度与 FCD45-50 (球墨铸铁)相当。此外,也有部分公司采用线膨胀系数更小的因瓦合金(Invar)作为滑动轴承材料,以减少热变形对下死点精度的影响。

3) 其他特殊材料。随着高速压力机行程次数的提高,在滑动支撑或导向部位逐渐采用特殊材料。如在滑动摩擦部位采用摩擦性能更好的巴氏合金;在球碗等承受大冲击载荷的部位采用高力黄铜或铍青铜等。使长时间工作后的变形量大为减少,保证了高速压力机工作的可靠性。

## 7. 采用高精度轴承

为降低压力机高速运行中的发热现象,不少厂家将传动系统中的滑动轴承改为滚动轴承。滚动轴承为点接触或线接触,摩擦系数小,但刚度被削弱。因此,日本 AIDA 公司使用了图 7-41 所示的复合轴承(滚动轴承+滑动轴承),在冲压时,滑动轴承起作用,刚度大;非冲压时,滚动轴承起作用,摩擦力显著降低,有利于高速运行。



图 7-40 滑块部件检测 (日本 ISIS)

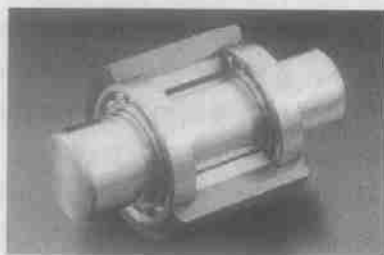


图 7-41 AIDA 公司的复合轴承

滚动轴承(多用调心滚子轴承和圆柱滚子轴承)在承受冲击载荷时为线接触,刚性较差,尤其在重载时,会出现下死点精度不稳定,故多用于中小吨位高速压力机。随着不断提高高速压力机的整体制造精度、采用油温控制和大流量润滑系统,滑动轴承发热得到有效解决,被逐渐重新用到高速及超高速压力机中。与滚动轴承相比,滑动轴承为面接触,刚度

大, 利于下死点精度保持稳定。此外, 有效的润滑可保证滑动副处于无磨损状态, 从而提高整机的可靠性。在高速压力机向大吨位发展时, 滚动轴承将因体积较大而被限制应用。

高速压力机用滑动轴承的发展趋势是应用新材料和进一步提高制造精度。新材料要具有较高的承载能力, 同时具有较低的线胀系数。滑动轴承及其相关部件多在恒温车间制造, 并借助先进仪器进行检测, 提高了制造精度。

高速压力机用滚动轴承的发展趋势是进一步提高精度, 注重与高速压力机的完美结合。根据自身高速压力机设计条件定制滚动轴承, 甚至设计滚动轴承交由专业厂制作。

### 8. 操控系统人性化及智能化

高速压力机历经近百年的发展, 机械结构渐趋稳定。国外高速压力机制造厂家开始逐渐关注高速压力机的操控系统 (见图 7-42), 使高速压力机呈现出金属切削机床的某些特征。如采用手轮精确调整装模高度, 采用基于 Windows 的可视化操作系统进行冲压参数的输入与存储, 采用在线监测系统 (如 BRANKAMP 系统) 实时监测冲压生产线的运行参数 (各部位冲压力、行程、装模高度、下死点位置、送料步距、送料宽度、气动系统压力和润滑系统参数等), 以及采用互联网技术进行在线故障监测与处置等。

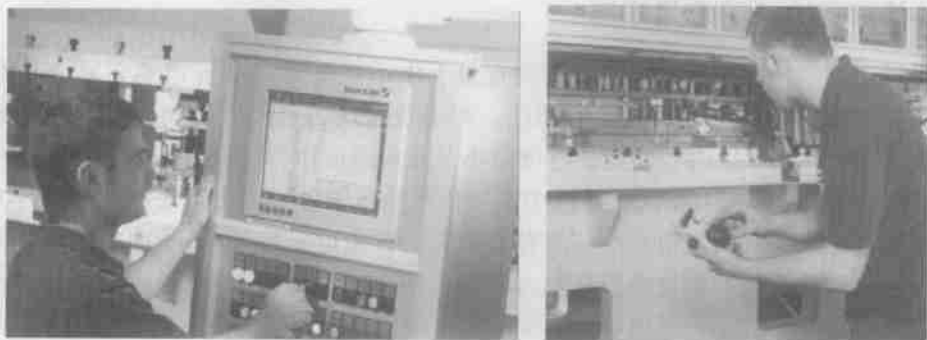


图 7-42 舒勒压力机的操控系统

### 9. 采取各种措施防止振动和降低噪声

为降低噪声和振动, 一方面各公司大都采用铸造机身并优化重量分布, 在结构上避开共振区; 另一方面采取形式多样的主动减振 (动平衡机构) 和被动减振装置 (减振器)。此外, 逐渐将高速压力机放置在隔音室内, 有效避免了冲压噪声向外传播, 在设计上呈现出冲压生产线与隔音室一体化的特点 (见图 7-43)。

### 10. 应用伺服驱动技术

伺服驱动在冲压设备上已有较多应用, 目前主要用在机械压力机和数控转塔冲上, 采用伺服驱动技术, 一方面可以简化传动系统, 另一方面可以实现滑块工作特性数控化和柔性化。伺服驱动在高速压力机上还没有应用, 仅有部分厂家开始尝试。如日本 YAMADA DOBBY 公司开发的 Fit-3 型高速伺服压力机 (见图 7-44), 采用伺服电机驱动, 无离合器和制动器, 简化了传动系统。随着伺服驱动技术的进一步发展和普及, 伺服驱动技术有可能应用在高速压力机上。高速压力机行程小、冲速快、精度高, 与常规压力机采用伺服驱动相比, 有其特殊性。



图 7-43 日本山田多比 (YAMADA DOBBY) 的 MXM 系列高速压力机隔音室



图 7-44 日本 YAMADA DOBBY 的 Fit-3 高速伺服压力机

## 7.2 快速压力机

### 7.2.1 快速压力机的应用领域

本节所述的快速压力机,主要用于大批量、中小型零件(工业电机定转子、微电机定转子、链条以及空调翅片等)的精密冲压。对于快速压力机没有确切的定义,一般是指冲压时滑块行程在 50mm 以内、冲压品厚度较小及冲压速度比传统设备要高,多在 300 次/min (小型快速冲压设备)或 100 次/min (中大型快速冲压设备)以内,采用连续运行方式。

快速精密冲压是对高速精密冲压的有益补充。在微电机定子/转子冲压领域,采用快速精密冲压虽生产率稍低,但设备资金投入较小;冲压工业电机定/转子时,采用高速精密冲压设备能够提高生产效率,但由于送料步距大、精度高,周边设备难以匹配,宜采用快速压力机,虽然快速压力机的行程次数不太高,但送料速度却达到了“高速”。

部分工业电机定转子冲压所需的公称力见表 7-24。

表 7-24 工业电机定转子冲压所需的公称力 (部分)

中心高/mm	电机极数	定子外径/mm	定子内径/mm	模具列数	冲压公称力/kN
100	8	155	106	—	—
112	2/4/8	175	98/110/120	—	4000
132	2/4/6/8	210	116/136/148/148	—	—
160	2/4/6	260	150/170/180	双列	5000/6300
	8	260	180		6300
	2	290	160/165		5000/6300
180	4/6	290	187/205	单列	8000
	8	290	205		—
200	4/6/8	327	210/230/230	—	4000
	2/4	368	210/245		—
225	6/8	368	260/245	—	5000/6300
250	2/4/6/8	400	225/260/285/285	—	—
280	2/4/6/8	445	255/300/325/325	—	6300
315	2/4/6/8	520	300/350/375/390	—	8000
	10	520	390	—	—

(续)

中心高/mm	电机极数	定子外径/mm	定子内径/mm	模具列数	冲压公称力/kN
355	2	590	327	—	6300
	4/6/8/10	590	400/423/445/445	—	8000

7.2.2 快速精密冲压对设备的要求

冲压零件不同，对冲压设备的要求也有所区别。冲压链条时，要求设备具有较大的公称力行程，而工作台面尺寸较小；冲压电机定子/转子时，要求设备具有较宽的工作台面尺寸，以适应多工位模具需求，而公称力行程多在 1.0mm 以内。

一般而言，中小吨位的快速精密冲压，所要求的静态精度稍低于高速精密冲压，一般要求达到 JIS B 6402：1997《压力机精度检查》中的一级精度。大型快速精密冲压的级进模具间隙与高速冲压的级进模具间隙几乎相同，因此对快速压力机的静态精度要求稍高一些，接近于特级精度。大型快速压力机结构尺寸显著增大，难以提高制造精度，但由于其行程次数稍低且冲压时对下死点重复精度要求不太高，故对其动态精度不作要求。

为满足快速冲压要求，冲压设备要为自动化周边设备提供动力接口（送料输出轴）；对伺服送料机，要提供曲柄转角信号（曲轴）。

7.2.3 设备类型及特点

1. 国内快速压力机的发展历程

我国快速压力机的发展始于 20 世纪 90 年代。当时为满足链条行业快速冲压链板需要，徐锻集团在原 JE 系列产品基础上，将滑块行程设计在 50mm 以内，适当提高冲压次数，并减小装模高度调节量，增加送料输出轴。开发出了早期的 JK21 系列产品（见图 7-45），主要技术参数见表 7-25。为适应大尺寸链板的快速冲压，对 JK21 系列产品进行了改进设计（如采用半闭式机身、机身用连接板加固、进一步提高冲压次数），形成了 JK31 半闭式快速压力机系列产品（见图 7-46），主要技术参数见表 7-26。并对 JK31 部分产品进行了改进（滑块改为滚动导向、曲轴滑动轴承改为滚动轴承等），使 JK31-125 的行程次数提高到 100 ~ 220 次/min，JK31-150 的行程次数提高到 100 ~ 200 次/min，进一步提高了生产效率。

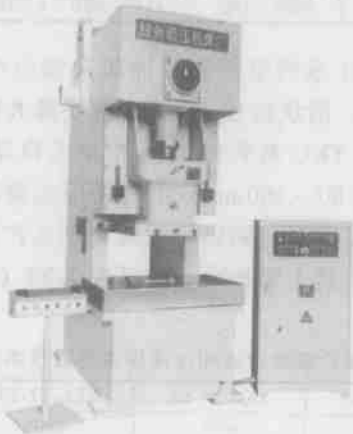


图 7-45 JK21 系列开式快速压力机

表 7-25 JK21 系列压力机技术参数 (部分)

型号	JK21-40	JK21-63	JK21-80	JK21-125	JK21-150	JK21-200
公称力/kN	400	630	800	1250	1500	2000
公称力行程/mm	1.6	2	2	3	3	5
滑块行程/mm	30	30	30	30	30	30
每分钟行程次数/(次/min)	100~160	100~150	80~120	80~120	80~120	60~120
最大装模高度/mm	270	300	330	350	350	360
模高调整量/mm	50	50	50	50	50	50
喉口深度/mm	225	260	310	370	380	400
工作台板尺寸/mm	820×440	850×480	1000×600	1200×680	1300×740	1400×820



图 7-46 JK31 系列半闭式快速压力机

表 7-26 JK31 系列压力机技术参数 (部分)

型号	JK31-125	JK31-150	JK31-200	JK31-250	JK31-315	JK31-400
公称力/kN	1250	1500	2000	2500	3150	4000
公称力行程/mm	2	3	4	5	6	6
滑块行程/mm	30	30	30	40	50	60
每分钟行程次数/(次/min)	80~120	80~120	60~100	50~80	30~50	25~45
最大装模高度/mm	350	350	360	360	360	360
模高调整量/mm	50	50	50	50	50	60
喉口深度/mm	380	380	420	430	430	510
工作台板尺寸/mm	950×700	1050×740	1140×820	1250×840	1250×840	1250×950

同期, 扬锻股份研发了 JL21 系列空调翅片冲压自动生产线 (见图 7-47a, 开式结构)。该线主机公称力为 450~800kN, 滑块行程 40mm, 滑块最大行程次数不超过 250 次/min。在此基础上, 扬锻股份又研发了 YKC 系列空调翅片冲压自动生产线 (见图 7-47b, 闭式结构)。该线主机的滑块提升量为 80~100mm, 主机采用变频调速, 部分技术参数见表 7-27。2000 年后, 宁波精达推出了 GC 系列空调翅片冲压自动生产线 (见图 7-48), 主机采用正弦机构, 滑块具有液压提升功能, 其主要技术参数见表 7-28 (表中后缀 P 为平行双点结构, S 为双轴四点结构)。

表 7-27 YKC 系列空调翅片冲压生产线技术参数 (部分)

型号	YKC-18-45	YKC-24-63	YKC-37-80	YKC-36B-100	YKC-48A-125
公称力/kN	450	630	800	1000	1250
滑块行程/mm	40	60/50/40		40	

(续)

型号	YKC-18-45	YKC-24-63	YKC-37-80	YKC-36B-100	YKC-48A-125
每分钟行程次数/(次/min)	150 ~ 300	150 ~ 230/260/300	150 ~ 280		
装模高度/mm	260 ~ 310		280 ~ 330		
滑块提升量/mm	80		100		
工作台板尺寸/mm	1300 × 770	1350 × 900	1600 × 1200	2000 × 1200	2000 × 1360
滑块底面尺寸/mm	720 × 740	800 × 890	1055 × 1190	1300 × 1190	1300 × 1360
材料宽度/mm	400	550	820		1080
吸料长度/mm	1000		900		
集料高度/mm	普通 720 升降 900				
卷料内径/mm	φ150			φ150/φ200	
卷料外径/mm	φ1000			φ1200	
主电动机功率/kW	7.5		15	18.5	22
质量/kg	9000	12000	18000	22000	26000

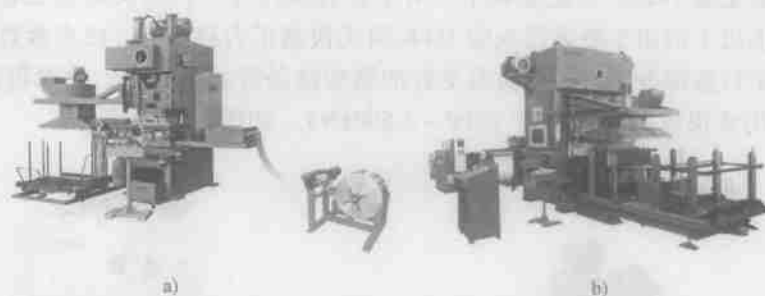


图 7-47 空调翅片高速冲压生产线 (扬锻集团)

a) 开式结构 b) 闭式结构



图 7-48 空调翅片高速冲压生产线 (宁波精达)

表 7-28 GC 系列空调翅片冲压生产线技术参数 (部分)

型号	GC45	GC60	GC100	GC160P/GC200P	GC125S
公称力/kN	450	600	1000	1600/2000	1250
滑块行程/mm	40/50/60	40/50	40	60/70	40
每分钟行程次数/(次/min)	150 ~ 350/260/300	150 ~ 350/260	150 ~ 300	150 ~ 230/210	150 ~ 300
装模高度/mm	270 ~ 320		260 ~ 350	270 ~ 320	
滑块提升量/mm	120			200	
工作台板尺寸/mm	700 × 930	880 × 1040	1346 × 1200	1190 × 1320	1355 × 1320
最大工作台尺寸/mm (加辅助支撑)	700 × 1300	880 × 1460	1346 × 1650	1190 × 1740	1355 × 1770

(续)

型号	GC45	GC60	GC100	GC160P/GC200P	GC125S
滑块底面尺寸/mm	800 × 586	928 × 900	1346 × 1225	1150 × 1300	1350 × 1300
材料宽度/mm	420	550	1100	850	1100
卷料内径/mm	φ150			φ150/φ480	φ150
卷料外径/mm	φ900	φ1100		φ1200	
集料高度/mm	普通 700/升降 900			普通 750/升降 900	
工作液压/MPa	7.0	9.5	10.0	12.5	10
工作气压/MPa	0.55 - 0.75				
主电动机功率/kW	5.5	7.5	11	18.5	15
电动机总功率/kW	16.5	18.5	22	29.5	26
质量/kg	15	18	26	25	27

2000 年后,为应对国内微电机定转子行业的快速发展,扬锻股份推出了 J31G 闭式快速压力机系列(见图 7-49)。该系列采用闭式结构,避免了角变形,刚性和行程次数显著提高,其技术参数见表 7-29。在此基础上,对工作台板尺寸、行程次数及公称力等参数进行了适当调整,推出了适用于链条行业的 J31K 闭式快速压力机系列,技术参数见表 7-30。为满足电机定转子行业部分客户、同时为更好的适应链条行业的需求,徐锻集团自 2007 年起开发了 JK31C 闭式快速压力机系列(800 ~ 2 500kN),如图 7-50 所示。



图 7-49 J31G 系列闭式快速压力机冲压生产线



图 7-50 JK31C 系列闭式快速压力机冲压生产线

表 7-29 J31G 系列压力机技术参数(部分)

型号	J31G-80	J31G-125	J31G-160	J31G-200	J31G-300	J31G-400
公称力/kN	800	1250	1600	2000	3000	4000
公称力行程/mm	2	3	3	3	3	3
滑块行程/mm	30	30	30	30	30	30
每分钟行程次数/(次/min)	160 ~ 280	160 ~ 240	160 ~ 220	150 ~ 200	100 ~ 150	100 ~ 130
最大装模高度/mm	360	400	400	400	450	450
模高调整量/mm	50	50	50	50	50	50
工作台板尺寸/mm	900 × 500	1100 × 600	1300 × 700	1300 × 800	1400 × 1000	1500 × 1000

表 7-30 J31K 系列压力机技术参数(部分)

型号	J31K-125	J31K-160	J31K-200	J31K-250
公称力/kN	1250	1600	2000	2500
公称力行程/mm	3	3	4	4
滑块行程/mm	30	30	30	30
每分钟行程次数/(次/min)	160 ~ 220	140 ~ 200	120 ~ 180	80 ~ 220

(续)

型号	J31K-125	J31K-160	J31K-200	J31K-250
最大装模高度/mm	280	280	280	300
模高调整量/mm	50	50	100	100
工作台板尺寸/mm	800 × 700	850 × 700	850 × 800	900 × 900

近年来,国内微电机定转子高速冲压市场趋于饱和,部分企业转向开发大尺寸工业电机定转子(冲片直径260~800mm)快速冲压设备。与传统的单工序冲压相比,快速冲压可将4~5个冲压工序集中在一套模具中,极大地提高了生产效率,同时降低了设备投入数量。徐锻集团、扬锻股份陆续推出了大型快速压力机。徐锻集团推出的JK36系列闭式快速压力机如图7-51所示,技术参数见表7-31。



图7-51 JK36系列闭式快速压力机冲压生产线

表7-31 JK36系列压力机技术参数

型号	JK36-200	JK36-300	JK36-400	JK36-500	JK36-630	JK36-800
公称力/kN	2000	3000	4000	5000	6300	8000
公称力行程/mm	2	2	3	3	3	3
滑块行程/mm	30	30	30	30	30	30
每分钟行程次数/(次/min)	70~150	65~130	60~120	50~110	40~100	40~80
最大装模高度/mm	450	480	550	580	600	650
模高调整量/mm	80	80	100	100	100	100
工作台板尺寸/mm	2100 × 900	2600 × 1000	3000 × 1100	3300 × 1200	3600 × 1400	4000 × 1500

## 2. 快速压力机的分类

快速压力机不同于高速压力机,均采用上传动方式和曲柄滑块机构。

(1) 按机身形式分类 分为开式压力机(见图7-45)、半闭式压力机(见图7-46)和闭式压力机(见图7-48)。

(2) 按施力点数目分类 分为单点、双点和四点快速压力机。

(3) 按传动级数分类 分为一级传动和二级传动压力机,其中一级传动多为带传动。

(4) 按用途 分为微电机铁心类快速压力机、工业电机铁心类快速压力机、空调翅片

类快速压力机和链条类快速压力机。

### 7.2.4 主要部件及其特点

与高速压力机相比,快速压力机结构形式相对简单,个别部件可以通用。因此,仅对部分部件进行说明。

#### 1. 床身

分为开式、半闭式和闭式床身。

开式床身(见图7-52)为开式快速压力机的核心零件,传动、滑块、润滑及气动等部件等均安装在床身上,多采用焊接结构。半闭式床身如图7-53所示,与开式床身相比,床身侧板向前延伸,在侧板上开封闭式送料窗孔,提高了床身的刚度。开式及半闭式床身由于前后尺寸较大,多采用二级传动、单点结构。

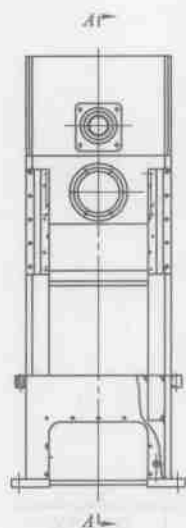


图 7-52 开式床身

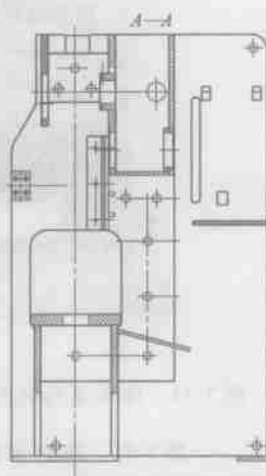
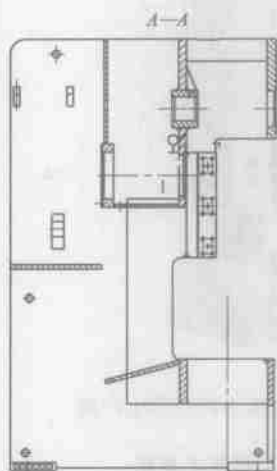
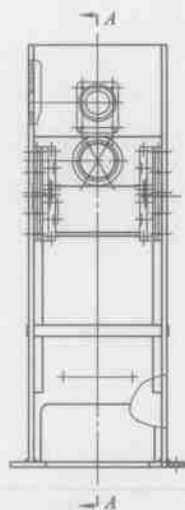


图 7-53 半闭式床身



闭式床身分为整体框架(见图7-54)和组合框架(见图7-55)两种结构形式。整体框架床身为钢板焊接或铸造结构,因前后尺寸较小,多为一级传动、单点结构。组合框架床身由钢板焊接的上横梁、左右立柱、工作台和下横梁(底座)组成,通过四根拉杆预紧构成一个整体框架,预紧力一般不低于公称力的1.5倍。为防止各部分之间相互错位,通过加工的高精度定位孔实现定位,定位精度较高。组合框架床身左右尺寸较大,多为双点结构、二级传动,主要用在冲压工业电机定转子的大型快速压力机上。

#### 2. 传动系统

快速压力机采用上传动方式和曲柄滑块机构。

开式和半闭式单点快速压力机的传动系统如图7-56所示,一般为二级传动。图7-56a中的曲轴支撑及连杆受力部位可用滑动轴承,也可用滚动轴承如图7-56b所示,以降低快速运行时的摩擦阻力,提高运行次数。与送料机相连的动力输出可以设在曲轴前端,也可以在大齿轮端部安装锥齿轮,从机身侧面输出动力。

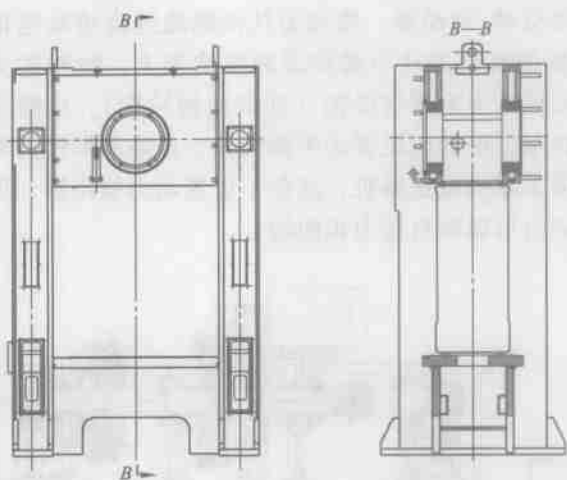


图 7-54 整体框架床身

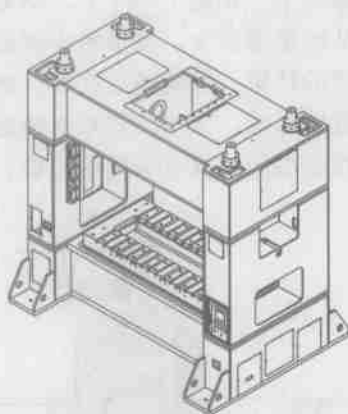


图 7-55 组合框架床身

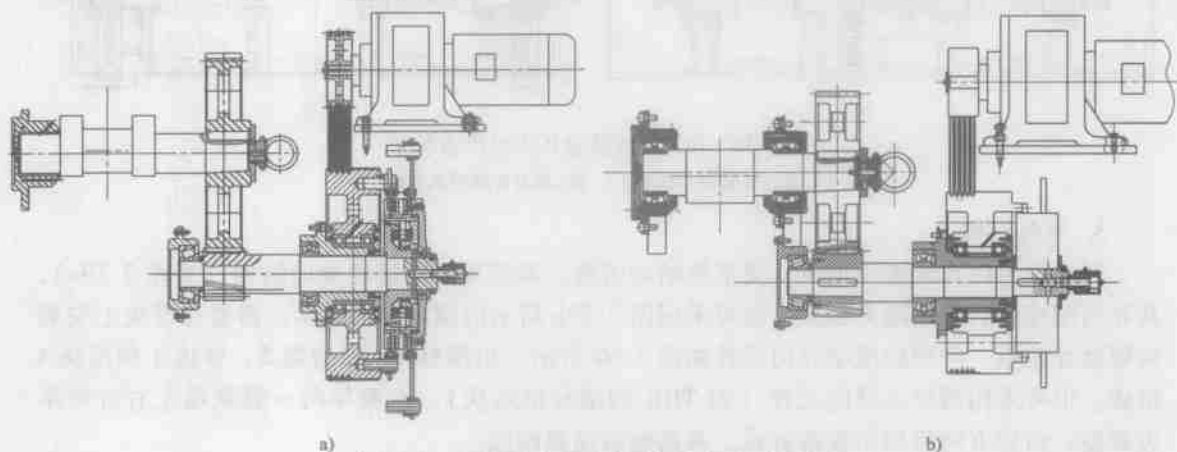


图 7-56 开式及半闭式快速压力机传动系统

a) 曲轴支撑及连杆受力部位为滑动轴承 b) 曲柄支撑及连杆受力部位为滚动轴承

闭式单点快速压力机传动系统如图 7-57 所示，为一级传动。由于其运行次数高于开式及半闭式结构，连杆及支撑部位多采用滚动或复合轴承（滚动轴承+滑动轴承），仅在吨位稍大、运行次数较低的闭式单点快速压力机上采用滑动轴承。与送料机相连的动力输出装置，大多通过同步带与曲轴相连，布置在机身侧面。

闭式双点快速压力机的传动系统如图 7-58 所示，为二级传动，也可根据需要采用一级或三级传动。由于工作台板尺寸较大，采用单曲轴结构制造难度大，而多采用双曲轴结构，但对吨位较小、工作台板尺寸不大的闭式双点快速压力机，也可以采用单曲轴

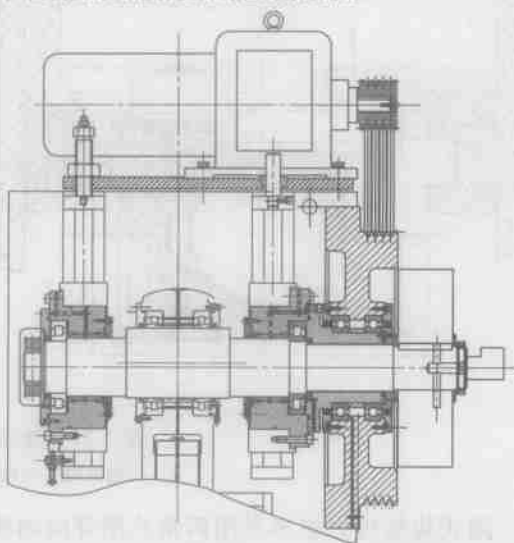


图 7-57 闭式单点快速压力机传动系统

结构。在图 7-58a 中电动机通过皮带带动离合器-制动器, 将动力从两侧通过齿轮减速传递到单曲轴上。在图 7-58b 中, 则通过齿轮减速将动力从中部传递到双曲轴上, 结构较为简单, 从动惯量较少。也可将中部的齿轮传动设计为多连杆机构 (如双曲柄结构), 以降低冲压所需的转矩, 提高冲压次数, 此时, 可在双曲轴外侧设置动平衡装置, 以降低惯性力对冲压精度的影响。大型闭式双点快速压力机多采用伺服送料机, 通常不设置动力输出轴, 但对于某些小型闭式双点快速压力机, 送料机动力可以取自压力机曲轴。

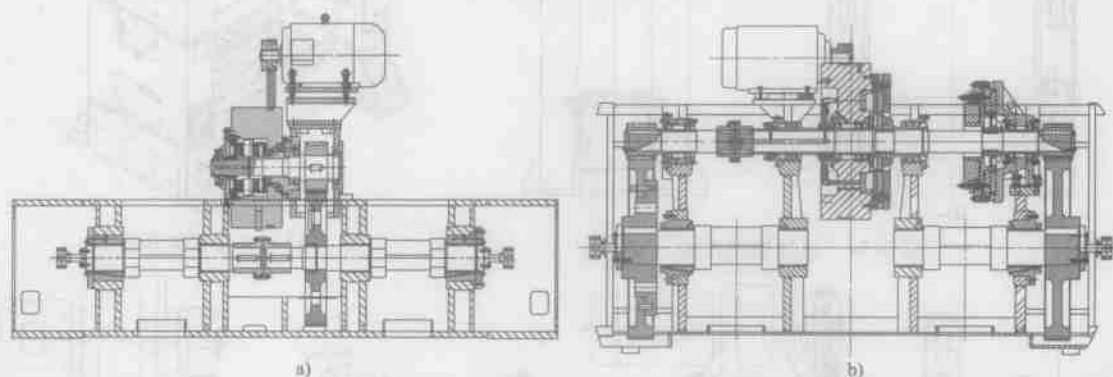


图 7-58 闭式双点快速压力机传动系统

a) 动力传递到单曲轴上 b) 动力传递到双曲轴上

### 3. 导向结构

开式及半闭式快速压力机, 受滑块结构所限, 多采用六面滑动导向结构 (见图 7-59a), 其导向刚度大, 摩擦阻力也大。也可采用图 7-59b 所示的滚动导向结构, 需要在滑块上安装高硬度导轨板。常用的滚动导向元件如图 7-60 所示, 由滚针 1、保持架 2、导轨 3 和挡块 4 组成。也可采用循环式导向元件 (如 THK 的滚柱滚动块)。六面导向一般采用左右方向单边调整, 前后方向适当压紧的方式, 来调整运动副间隙。

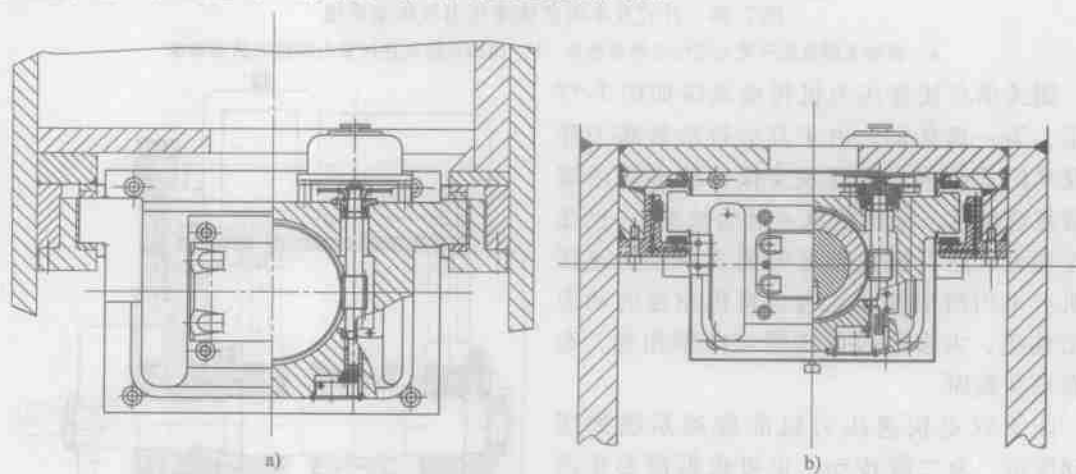


图 7-59 滑块体六面导向结构

a) 六面滑动导向结构 b) 滚动导向结构

闭式快速压力机多采用四角八面导向结构, 很少采用圆柱导向。其导向结构形式有滚动和滑动之分, 与高速压力机的类似。一般而言, 滑动导向多应用于大吨位、滑块行程次数较

低的情况。

快速压力机的滑块行程次数低于高速压力机，其惯性力对模高调整装置影响较小，模高调整装置多置于滑块体中。

## 7.2.5 快速压力机的发展趋势

### 1. 快速化

目前，制约大型快速压力机发展的主要因素是送料机的材料送进速度。对于冲压小型精密零件而言，以送料步距 30mm/次、冲压次数 500 次/min 计算，送料机的送料速度为 15m/min。对于冲压大型零件（如工业电机定转子），以送料步距 800mm/次、冲压次数 50 次/min 计算，送料速度达到 40m/min。因此，虽然冲压时快速压力机的次数较低，但与之配套的送料机的送料速度已达高速，将直接影响到送料夹紧的可靠性和送料精度。

在快速压力机设计时，可以通过增加动平衡装置、采用高性能滑动轴承和改善润滑条件等措施，来进一步提高冲压次数。如果高速送料技术能够取得突破，将促进并推动快速压力机冲压次数进一步提高。

### 2. 大型化

随着冲压工业电机定转子的尺寸规格不断增大，为提高生产率和材料利用率，由单排冲压转为双排或三排冲压等，促使快速压力机向大吨位、大台面、大型化方向发展，还促使将移动工作台、换模小车等常规技术应用在大型快速压力机上，以缩短换模时间。

### 3. 伺服化

随着大功率伺服电动机及其驱控技术日趋成熟，伺服驱动技术将应用于大型快速压力机上，将简化传动结构，改进冲压特性，降低使用能耗。

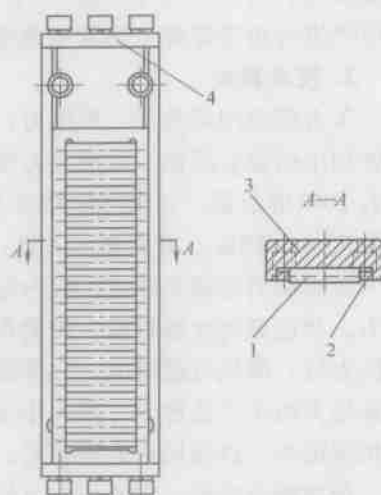


图 7-60 滚动导向元件

## 7.3 高效精密压力机的使用与维护

高速精密压力机的使用说明书，是压力机制造商向用户提供的关于正确使用与维护设备的指导文件。不同的压力机其使用与维护要求差别较大。一般来说，在使用说明书中，应包括压力机的使用条件、技术参数、安装事项、安全事项、操作过程和维护等，在使用过程中需要严格遵守。

### 7.3.1 使用

#### 1. 工作环境

高速压力机对工作环境的要求包括温度、湿度、供电电压（可以定制）、供气压力等。高速压力机对温度尤其敏感，温度影响下死点动态精度的稳定性，通常要求在恒温车间内使用。快速压力机的工作环境要求与普通压力机基本一致。

压力机在使用过程中应保证照明，具备适当亮度，不能有大的斑点，不得耀眼，可选择

自然采光、人工照明和反射照明。标准照明度为 200 勒, 一般可选择 150 ~ 300 勒。此外, 还应当进行色彩管理, 注意考虑亮度、色调和色度。

## 2. 技术参数

压力机使用要考虑三种能力: 加压能力(公称力)、转矩能力和做功能力, 还要考虑实际使用中的偏心载荷。加压能力是指压力机在冲压时安全达到公称力的能力, 一般在设计时留有 10% 的余量。要求实际冲压力不得超过公称力。对于普通压力机, 一般要求用在公称力的 75% ~ 80%, 对高速压力机, 则要求用在公称力的 60% ~ 70%, 甚至小于 60%。

转矩能力是指公称力行程内的转矩值, 取决于离合器及传动系统的转矩容量。超出转矩能力, 会造成离合器打滑、传动系统零件损坏。转矩能力还与滑块行程长度有关, 对于同一台压力机, 滑块行程增大, 会使公称力位置下移, 反之亦然。滑块在公称力行程之前所产生的冲压力均小于公称力, 其大小与压力机的驱动形式和结构参数有关, 各压力机制造商会提供相应图表, 以使用户合理使用。

做功能力是指一次冲压时可以安全使用的能量大小, 或一分钟可做多少次安全冲压的能力, 与飞轮惯量、滑块行程次数有关。对于高速压力机, 一般按照  $E = p \times s \times 0.6$  (其中,  $E$  为能量,  $p$  为冲压力,  $s$  为材料厚度) 计算一次冲压所需能量, 各压力机制造商会提供随冲压次数变化的冲压能量图表, 以使用户合理使用。

压力机在使用时, 应尽量使载荷中心与滑块中心重合, 如果不重合, 需要参考压力机制造厂商提供的许用偏心载荷图。由于高速压力机多使用级进模, 必定会产生偏心载荷, 应当使左右两部分的载荷不超过公称力的一半。

此外, 还应当注意压力机的装模高度、装模高度调整量以及与周边设备的参数匹配。

## 3. 压力机安装

首先, 按照压力机重量, 选择合适的起吊设备, 或参照说明书中相关条款要求, 使压力机就位。随后, 按照说明书要求, 依次连接各部分(主机、气路、油路和电源等)。

当压力机不使用减振器时, 需注意如下事项:

- 1) 按提供的地基图制作地基, 地基越结实振动越小。
- 2) 将可调整块置于压力机和地面之间, 水平仪置于工作台面上, 将压力机前后、左右调平, 用水泥固定。
- 3) 水泥固化后, 紧定地基螺栓, 再次检查工作台面水平度, 水平度公差每 1m 误差为 0.3mm。

使用减振器时需注意以下事项:

- 1) 压力机的安置面要求为平滑水泥面, 水平差 5mm 以内。
- 2) 有减振器时可不用另作地基。
- 3) 通过螺栓或防滑垫固定减振器。
- 4) 将精密水平仪置于工作台上调整水平, 其前后左右方向上每 1m 误差  $\pm 0.05\text{mm}$ 。

## 4. 安全操作

企业应根据 GB/T 8177—2012《冲压车间安全生产通则》和 GB 13887—2008《冷冲压安全规程》, 并结合企业具体情况, 制定安全操作条例。在压力机说明书中, 一般附带安全操作规程、安全手册等, 需要严格执行。说明书中一般会对操作过程中可能的危险进行分类, 图 7-61 为日本电产京利(Nidec-kyori)说明书中的危险分类, 在操作过程中应当格外

注意。

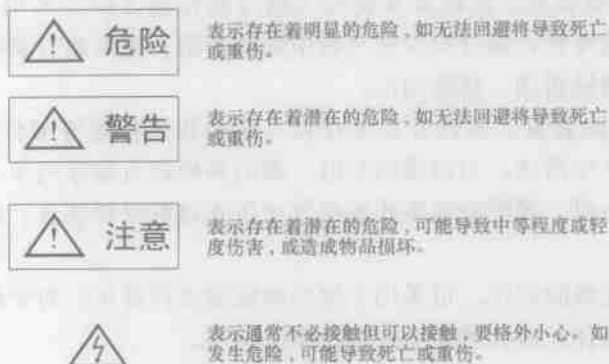


图 7-61 危险程度分类

关于操作中的人身安全,需要注意以下事项。

- 1) 企业对新招收的高速压力机操作工,必须进行3~6个月的岗前培训。
- 2) 操作时佩(穿)戴符合国家标准、行业标准的劳动防护用品。
- 3) 在高速压力机工作时,禁止肢体的任何部位进入滑块工作区域。
- 4) 确认机床所有的运动部件均处于静止状态,方可进入滑块区域进行检修。
- 5) 机床启动时,不能进行维修保养及清洁工作。
- 6) 防护装置被拆除后,不允许起动机床。
- 7) 必须采用双手操作功能,有时为对模方便,也为用户提供单手操作功能。
- 8) 机床检修、模具安装调整以及停机故障时,必须在机床电动机启动开关处放置警示牌,警示牌的字体以及色彩必须醒目,必要时安排专人监护启动开关。
- 9) 建议操作工每班连续工作不超过8h。

关于操作中的压力机安全,需要注意以下事项。

- 1) 安全性能需要符合GB 17120—2012《锻压机械—安全技术条件》和JB 3350—1993(2009)《机械压力机 安全技术要求标准》的要求。
- 2) 使用不得超出压力机的公称力,不得超过装模高度调整量进行调整;使用中出現偏载时,不得超出说明书中规定的偏载值。
- 3) 为保证高速压力机的运行精度,对于部分高速压力机需要保证环境温度、预热的时间和温度等。
- 4) 启动前,应仔细检查工作台或模具区域内有无异物,确认无异物后,方可启动。
- 5) 发现机床有故障时,严禁继续使用。

#### 5. 闷车处理

高速压力机一般要求使用负荷为公称力的60%~70%,很少发生闷车。在离合器尚未完全结合时就加上负荷,极易发生闷车。应尽量避免用寸动操作式使滑块下降到下死点前停下,然后重新启动。当出现闷车时,需要确认滑块位置是在下死点前还是下死点后。若在下死点之前,可将电动机反转;在下死点之后,可将离合器用的气压提高到0.7MPa以上,以寸动操作方式解除轻度闷车。为避免电机过负荷,可将电源切断,仅靠飞轮惯性转动解除闷车。

高速压力机装有闷车解除装置的,按不同的闷车解除装置,可采取如下方式。

1) 撞击式闷车解除装置。该装置安装在飞轮与离合器之间,多用在 1000kN 以下的高速压力机上。利用飞轮惯性,通过安装在飞轮中的撞击销,撞击离合器中的凸起,将产生很大的冲击转矩,迫使曲轴转动,解除闷车。

2) 斜楔式闷车解除装置。多设置在工作台、滑块和连杆等零部件下面,角度非常小,在承受冲压力时不会产生滑动。当出现闷车时,敲击斜楔即可解除闷车。

对于大型高速压力机,多配有油压式或空气油压式过载保护装置。出现闷车时,将油压释放即可解除闷车。

如果上述措施不能解除闷车,可采用干冰冷却收缩连杆部位。对于组合式框架床身,可将预紧拉杆加热,使其伸长后,再用上述方法解除闷车。

## 6. 降低噪声

高速压力机工作中产生的噪声主要分为 4 类:压力机结构部件发出的噪声、附属装置如送料机发出的噪声、模具部分发出的噪声、模具噪声传到压力机中(或共振)后再从机身中发生的噪声。后两类为压力机噪声的主要部分,其噪声大小随生产速度、模具结构、冲压材料和压力机形式的不同而有所差异。特别大的噪声不仅对操作者听力造成不良影响,还对安全性造成影响。美国于 1970 年颁布 OSHA (Occupational Safety & Healthy Act 职业安全与健康法)安全法规,规定了作业人员承受的噪声基准,见表 7-32。

表 7-32 OSHA 的噪声基准

噪声容许值		噪声容许值	
一天的工作时间/h	噪声水平/dB	一天的工作时间/h	噪声水平/dB
8	90	1.5	102
6	92	1	105
4	95	0.2	110
2	100	1/6 及以下	115

高速压力机传动系统中大多不用齿轮,故传动系统噪声较小,主要为电动机、皮带、平衡气缸(在作业中多不使用)、润滑装置(液压泵及冷却机)、轴的扭曲振动和轴承摩擦发出的噪声。

由于冲压次数较高,送料装置产生的噪声显著增大,主要有齿轮的啮合噪声、材料与辊子的摩擦噪声和凸轮的运动噪声等。

高速压力机多应于多工位级进冲压,其中主要为冲裁工序,冲裁噪声显著大于普通的拉深、弯曲等工序产生的噪声。

可以将高速压力机放置在隔音室内,或者在高速压力机中设置隔音门。采用隔音室,大约可降噪 10dB 左右。同时可以在厂房的墙壁和顶棚安装吸音材料,降低厂房内的噪声。对于操作者,可用耳塞或耳罩降低听觉的敏感度,但长期使用,比较麻烦。

## 7. 减小振动

高速压力机作业中的振动,由压力机运转时惯性力引起的定常振动,和冲压时以冲击力为主的振动,混合而成。振动不仅对压力机本身产生不良影响,如螺纹连接松动、零件损伤、模具异常磨损等,而且还通过地基传播,对其他设备产生不良影响,造成精密设备精度下降,同时会使作业人员不适,影响生产效率。另外,一部分振动能量,将通过各构件释放

到空气中,成为冲压环境的主要噪声源。

压力机的振动主要包括如下四个方面。

- 1) 回转运动及往复运动部件产生的不平衡惯性力引起的振动。
- 2) 冲压过程中产生的振动。
- 3) 离合器接通/断开使滑块加速/减速产生惯性力所引发的振动。
- 4) 频繁寸动引起的振动。

由回转和往复运动部件产生的不平衡惯性力引起的振动,由压力机制造商来解决,措施为对飞轮进行动平衡校正;采取动平衡装置消除不平衡惯性力。动平衡装置会或多或少增加系统的惯量,不利于快速制动。冲压过程中产生的振动,主要指冲裁过程中,在材料冲断时,压力机中积蓄的弹性势能快速释放而引起的振动,也称为“过冲”,与压力机的刚度和综合间隙有关。由后两种原因引起的振动,主要依靠操作方法来解决。

对于高速压力机的减振,主要通过增加减振装置来实现,包括弹簧阻尼隔振器、气囊式阻尼隔振器和橡胶板。也有的通过加大高速压力机固定基础的重量,以减缓振动,但需要充分考虑地基的地质状况、共振频率以及压力机与地基的连接方式等。还有通过挖防振沟进行减振,但效果不显著,只能阻断振动向更远处传播。

### 7.3.2 维护

#### 1. 离合器和制动器

离合器、制动器是保障压力机安全有效运转的重要部件。需要充分了解其构造,并在每天作业开始前进行试运转,确认其工作状态是否良好、有无二次下滑、有无异常或振动。若有异常,要立即进行维修。

对于高速压力机,离合器和制动器仅在试冲时频繁起停,大多情况下在连续模式下运转,不存在普通压力机的单次运转,因此,离合器和制动器很少出现磨损问题。

当出现故障时,一般需要调整离合器、制动器的摩擦片/板间隙,各压力机制造厂家均给出了间隙参考值。间隙过大,会造成动作延迟、密封件磨损和压缩空气耗费量增加等;间隙过小,摩擦片/板的花键会出现滑动不良或复位弹簧损坏,摩擦片/板在制动时会出现接触摩擦,产生摩擦噪声,电流也会上升许多,甚至造成打滑、发热和摩擦片/板的异常磨损等不良后果。

#### 2. 定期精度检查

压力机的精度影响模具寿命和冲压品精度,随着使用年限延长会逐渐降低。普通压力机当精度比初始精度降低一级时就应当进行维修,而高速压力机一旦发现精度降低,就必须进行维修。高速压力机在使用过程中,应定期进行精度检定。

#### 3. 螺纹连接

对于组合式框架床身,因长期使用或过负荷使用,会导致预紧拉杆松动,可通过压力机在负荷时床身接合面之间是否油渗来确认。若预紧拉杆松动,必须重新紧固,预紧力大小必须与压力机制造厂家联系后确定,一般不低于公称力的1.5倍。

高速压力机由于多用于冲裁且速次较高,振动较大,容易导致螺栓松动。应定期检查包括附属装置在内的各部位螺栓是否有松动,及时紧固。

#### 4. 润滑装置

高速压力机的转动及滑动部位如果润滑不良,会造成运动副烧损。因此,必须确认润滑系统(包括润滑液压泵、润滑点和润滑管路等)工作是否正常。要定期清洗或更换滤油器。对于漏油部位必须立即采取措施,避免润滑油附着到离合器和制动器的摩擦片上。

#### 5. 气源检查

压缩空气泄露会造成气压降低,导致气动元件(双联阀、吹料阀、离合器等)动作不良,影响压力机正常工作,此时应更换相关密封件。当压缩空气中含水量过多时,需要加装脱水装置,避免金属零件锈蚀,进而引起阀门及各种气缸活塞动作不良。

#### 6. 定期点检维护要领

为保证高速压力机状态完好和操作者的安全,必须实行每日、每周 50~60h、每月 200~240h、每半年 1200~1400h 和每年 2400~2800h 的点检。其中,每日是指工作时间在 10h 以内,如连续工作超过 10h,需要在工作满 10h 后暂停作业,进行点检,点检的内容见表 7-33~表 7-36。对使用超过 5 年的高速压力机,将定期由特定的专业维修公司进行全面检修与保养,对其中的易损件进行必要的更换。

表 7-33 每天点检的项目

	检查项目	检查整备要领
主电机启动前	1) 对各部润滑	确认液压泵是否启动
	2) 润滑油、压力机油的流动性	润滑油压在刻度范围内(参照使用说明书)
	3) 压缩空气压力	气压值在刻度范围内(参照使用说明书),气源压力在 0.5MPa 以上
	4) 检查离合器、制动器处电磁阀动作	寸动方式下,按下运转按钮,确认有电磁阀排气声音
	5) 检查螺钉、螺栓、螺母等紧固件的松弛	—
	6) 检查是否漏油、漏气等	根据泄漏程度拧紧或更换密封件
	7) 检查各部是否有龟裂、损伤、变形	调查原因后修理或更换
	8) 检查操作盘、控制盘、安全装置是否正常	应注意接线的松弛、断线、断电器类的声音等
主电机启动后	1) 检查飞轮回转状况及回转方向	注意开始运动状况、加速状况、振动及声音,必须空转 2min。回转阻力大时,皮带会有振动
	2) 检查各仪表	压力、电流等显示不良应调整或更换
	3) 离合器、制动器的动作检查	在寸动方式下,观察其动作、异响和振动等
	4) 闭合高度的检查	在寸动方式下,检查上模与下模的位置
	5) 检查模具、装夹系统	确认装夹上下模具的位置、模具的损伤(装模时避免偏心载荷)
作业中的检查	1) 离合器、制动器的状态,是否烧损	注意有无声音、焦味、冒烟
	2) 检查各仪表的读数变化	压力下降、电流变化、计数器
	3) 检查有无漏油漏气等	注意发热及咬合
	4) 检查各部轴承温度	轴承温升不超过 40℃,温度 70℃ 以下
	5) 检查导轨温度	温升不超过 15℃,温度 50℃ 以下
	6) 检查电动机的温度	外框在 60℃ 以下
	7) 以感官全面检查	—
作业后的检查整理	1) 切断各操作按钮	钥匙由作业主管保管
	2) 关闭空气阀	—
	3) 排出空气系统的水、油	用放水阀排出空气滤清器的水、油
	4) 清洁、保养各部位	—
	5) 压力机全身的点检	龟裂、损伤、松弛等
	6) 对必要部位给油	—
	7) 工具类的整理保管	—
	8) 关闭电源	—

表 7-34 每周点检的项目

检查项目	检查整备要领
1) 清洁滤清器	参照使用说明书
2) 凸轮部分的检查	松弛及设定不良等
3) 滑块内部异常的检查	上下限位开关动作、模高显示器连接部位等
4) 电器相关的检查	各接头的松弛、油、灰尘等的附着、触点的接触状况及其他绝缘状态
5) 检查电器连接线	覆盖层破损、断线、接线松弛等
6) 各部的清洁	清除漏出的油、灰尘、废料等,同时检查龟裂、损伤等

表 7-35 每6个月点检的项目

检查项目	检查整备要领
1) 必要部位的给油及换油	参照使用说明书
2) 检查漏气	机械部位停止后,将气压调至 0.5MPa 后关掉气阀,经过 10min 后,如气压在 4.5MPa 以上,则表示正常。异常时应检查管子及连接部分、配管器具
3) 检查漏油	检查橡胶密封圈类的老化、伤痕的有无及连接部的松弛
4) 检查滑块内的积油	
5) 检查各仪表	确认压力表、电流表能否归零
6) 电磁阀的点检、调整	动作状况及松弛等
7) 检查飞轮制动器(小型高速压力机不配备)	检查摩擦片磨测量,残余厚度过小时更换(按说明书中给定数值)

表 7-36 每年点检的项目

检查项目	检查整备要领
1) 必要部位的给油及换油	参照使用说明书
2) 分解点检离合器、制动器	摩擦片/板磨损、损伤状况(是否有变形、裂纹、厚度)。密封圈的老化、弹簧的异常(变形、损伤)、漏油及其他附着物的清理
3) 基础的点检	基础连接部位的松弛、基础的龟裂
4) 压力箱(气包)的点检	安全阀的动作、压力箱内部的清洁(可能的话)
5) 电气零件的点检	参照使用说明书
6) 精度的点检	工作台上表面的水平度

参考文献<sup>①</sup>

- [1] 范宏才. 现代锻压机械 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1994.
- [2] 何德誉. 专用压力机 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1989.
- [3] 何德誉. 曲柄压力机 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 1987.
- [4] 第一机械工业部铸造锻压力机械研究所. 国外冲压自动化发展概况 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1978.
- [5] 李光华. 多工位级进模高速压力挤压时存在的问题及其对策 [J]. 模具工业, 2000, 23 (5): 20-22.
- [6] 姜成, 张庆飞. 为高速高精度冲压设备提高良好工作环境——高速精密压力机的隔振 [J]. 锻造与冲压, 2005 (8): 59-61.
- [7] 上田祥雄. 国际冲压先进制造技术与装备: 电机市场与高速精密压力机 [J]. 锻造与冲压, 2007 (12): 20-28.
- [8] 杨群. 机械压力机的操作与安全 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1990.
- [9] 会田工程技术(上海)有限公司. 会田冲压手册 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2004.

<sup>①</sup>本章参考了 ISIS 产品样本、BRUDERER 产品样本、AIDA 产品样本、OAK 产品样本、昭和精机产品样本、埃瑜产品样本、YAMADA DOBBY 产品样本、舒勒产品样本、徐锻集团产品样本、扬锻集团产品样本。

- [10] 株式会社山田ドビー. プレス機: 日本, JP7132400A [P]. 1995-05-23
- [11] 株式会社山田ドビー. プレス機: 日本, JP2005949A [P]. 2005-01-06.
- [12] 株式会社山田ドビー. プレス機: 日本, JP2008161903A [P]. 2008-07-17.
- [13] 日本電産キョーリ株式会社. プレス装置: 日本, JP2009131892A [P]. 2009-06-18.
- [14] Dennis Boerger. High-speed Needs for Stamping Electrical Components [J]. Metal Forming, 2004 (11): 32-34.
- [15] Dennis Boerger. High-speed Presses: Match Design to Application [J]. Metal Forming, 2005 (8): 30-31.
- [16] 山本史郎, 下死点位置变动的原因及其对策 [J]. 赵煜清, 译. 国外金属加工, 1993 (6): 54-56.

## 参考文献

- [1] 山本史郎. 下死点位置变动的原因及其对策. 国外金属加工, 1993 (6): 54-56.
- [2] 山本史郎. 下死点位置变动的原因及其对策. 国外金属加工, 1993 (6): 54-56.
- [3] 山本史郎. 下死点位置变动的原因及其对策. 国外金属加工, 1993 (6): 54-56.
- [4] 山本史郎. 下死点位置变动的原因及其对策. 国外金属加工, 1993 (6): 54-56.
- [5] 山本史郎. 下死点位置变动的原因及其对策. 国外金属加工, 1993 (6): 54-56.
- [6] 山本史郎. 下死点位置变动的原因及其对策. 国外金属加工, 1993 (6): 54-56.
- [7] 山本史郎. 下死点位置变动的原因及其对策. 国外金属加工, 1993 (6): 54-56.
- [8] 山本史郎. 下死点位置变动的原因及其对策. 国外金属加工, 1993 (6): 54-56.
- [9] 山本史郎. 下死点位置变动的原因及其对策. 国外金属加工, 1993 (6): 54-56.
- [10] 山本史郎. 下死点位置变动的原因及其对策. 国外金属加工, 1993 (6): 54-56.
- [11] 山本史郎. 下死点位置变动的原因及其对策. 国外金属加工, 1993 (6): 54-56.
- [12] 山本史郎. 下死点位置变动的原因及其对策. 国外金属加工, 1993 (6): 54-56.
- [13] 山本史郎. 下死点位置变动的原因及其对策. 国外金属加工, 1993 (6): 54-56.
- [14] 山本史郎. 下死点位置变动的原因及其对策. 国外金属加工, 1993 (6): 54-56.
- [15] 山本史郎. 下死点位置变动的原因及其对策. 国外金属加工, 1993 (6): 54-56.
- [16] 山本史郎. 下死点位置变动的原因及其对策. 国外金属加工, 1993 (6): 54-56.
- [17] 山本史郎. 下死点位置变动的原因及其对策. 国外金属加工, 1993 (6): 54-56.
- [18] 山本史郎. 下死点位置变动的原因及其对策. 国外金属加工, 1993 (6): 54-56.
- [19] 山本史郎. 下死点位置变动的原因及其对策. 国外金属加工, 1993 (6): 54-56.
- [20] 山本史郎. 下死点位置变动的原因及其对策. 国外金属加工, 1993 (6): 54-56.

## 第8章 自动化周边设备及检测仪器

## 8.1 自动化周边设备简介

自动化周边设备和压力机共同组成自动化冲压线。采用自动化冲压线生产方式,可以降低产品成本及操作者熟练程度,提高劳动生产率、产品精度、材料利用率和生产作业的安全性等,同时节约占地面积,省去半成品库存,便于管理,进而提高生产企业的竞争力。因此,广泛应用在微电机、微电子、汽车和家电等行业。由于自动化冲压线种类较多,本章介绍的自动化周边设备主要围绕与高速/快速压力机结合的高效精密冲压线。这类冲压线多用于生产大批量零件,如微电机及工业电机的定转子铁心、空调翅片、精密引线框架等,最低运行次数在 100 次/min 左右(大型冲压线),最高可达 1000 次/min 以上(小型冲压线),冲压零件厚度多小于 1.0mm,甚至小于 0.1mm。对于大型冲压线,由于送料步距大,虽然压力机自身运行次数不高,但配置的送料机的送料速度,却远大于小型冲压线的送料速度。

图 8-1 所示为常见的微电机铁心高速冲压生产线,图 8-2 所示为微电子类零件高速冲压生产线,图 8-3 为空调翅片冲压生产线。因冲压产品的不同,自动化周边设备亦不同。周边设备的选择与冲压品的种类、冲压工艺、精度要求和生产率有关。微电机铁心高速冲压线中的自动化周边设备主要有:料架、裁焊机、校平机、送料机(含拉料)、给油机、收料机及成品输送装置等。微电子类零件高速冲压线中的自动化周边设备主要有:料架、校平机、送料机、给油机、收料架及负压吸废料机等。空调翅片高速冲压线中的自动化周边设备有料架、校平机、过油装置、放料装置、吸料装置、集料装置、集料器和废料输出装置等。

与微电机铁心和微电子类高速冲压相比,空调翅片冲压次数较低,所用的周边设备与常规冲压线配置相近,在此不再论述。



图 8-1 微电机铁心高速冲压生产线



图 8-2 微电子类零件高速冲压生产线

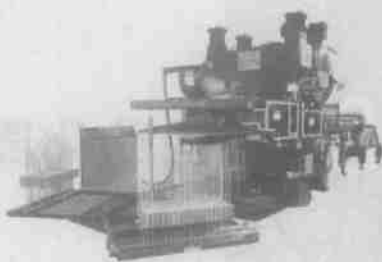


图 8-3 空调翅片冲压生产线

### 8.1.1 料架

料架是支承卷料、展放卷料（开卷）的一种简单装置。按适用行业分，主要分为微电机及工业电机行业用料架和微电子行业用料架，图 8-4 所示为微电机及工业电机行业用料架。

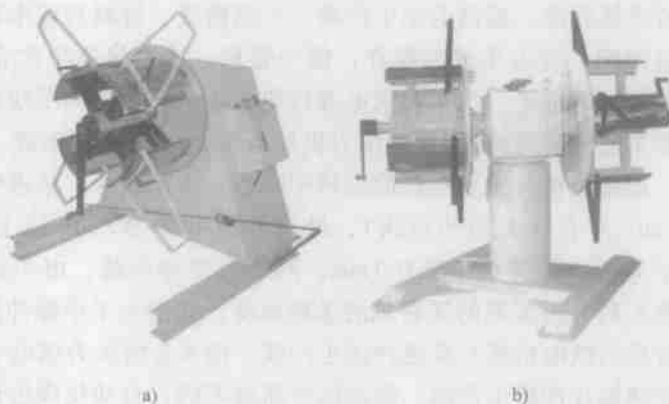


图 8-4 微电机及工业电机作业用料架

按可置料头数目分，分为单头料架（见图 8-4a）和双头料架（见图 8-4b）。双头料架当一侧的卷料向压力机送料时，另一侧可做上料准备，从而节省上料时间。

按有无动力分，可分为无动力料架和有动力料架。无动力料架靠后续的校平机辊轴或送料夹钳拉动材料，实现展卷。为防止展卷速度过快造成材料下垂过量，或展卷过慢造成送料装置负担，有动力料架可用限位开关和杠杆来协调展卷速度与进给速度。杠杆压在材料上，材料下垂到一定位置时，杠杆另一端接触限位开关，切断电路，电动机停止转动。当下垂的卷料逐渐提升到一定位置时，电路闭合，展卷重新开始。

按卷料内径的扩张方式，可分为机械扩张和液压扩张。

料架和送料装置之间要有一定的距离，以防电动机频繁起停而产生送料故障，影响送料精度。

表 8-1 和表 8-2 分别为台湾雷城工业股份有限公司（以下简称“台湾雷城”）的单头和双头料架的技术参数。

图 8-5 所示为微电子行业（如引线框架、电子连接器等）用料架，也称为平面横式电子控制材料架，卷料可重叠堆放，减少装卸料次数。主要技术参数见表 8-3。

表 8-1 单头料架的主要技术参数

型号	MU-150	MU-200	MU-300	MU-400	MU-500	MU-600	MU-700	MU-800
最大材料宽度/mm	150	200	300	400	500	600	700	800
料架荷重/kg	300	500	800	1200	2000		3000	
卷料内径/mm	450 ~ 530							
卷料外径/mm	1200							
送料速度/(m/min)	16							
扩张方式	手动							
料架	主动/被动							
感应方式	接触式							

表 8-2 双头料架主要技术参数

型号	DMU-150	DMU-200	DMU-300	DMU-400	DMU-500
最大材料宽度/mm	150	200	300	400	500
料架荷重/kg	300 × 2	500 × 2	800 × 2	1500 × 2	2000 × 2
卷料内径/mm	450 ~ 530				
卷料外径/mm	1200				
送料速度/(m/min)	16				
扩张方式	手动				
料架	主动/被动				
感应方式	接触式				



图 8-5 平面横式电子控制料架

表 8-3 平面式电子控制料架主要技术参数（台湾雷城）

型号	EH-100	EH-150	EH-200
最大材料宽度/mm	85		100
材料厚度/mm	0.1 ~ 1		
料架荷重/kg	1000	1500	2000
卷料外径/mm	1000		
积载高度/mm	600		
送料速度/(m/min)	30		

图 8-6 所示为微电子行业用轻型自动料架，有金属棒导电和电子微动两种感应方式，前者适用于各种五金、电子零件的连续冲压加工，后者适用于各种金属与非金属的连续冲压加工。该料架构造简单，承重较小，主要技术参数见表 8-4。



图 8-6 轻型自动料架

表 8-4 轻型自动料架主要技术参数（台湾雷城）

型号	RU-150A	RU-150B	RU-200A	RU-200B
最大材料宽度/mm	150		200	
料架荷重/kg	100		200	
卷料内径/mm	200 ~ 420	290 ~ 420	200 ~ 420	290 ~ 420
卷料外径/mm	800		1000	
送料速度/(m/min)	22			

8.1.2 裁焊机

裁焊机（见图 8-7）主要用在微电机铁心冲压线上，置于双头料架之后，用于裁剪入线的料头和在线的料尾，并将其焊接起来，节省了停机换料时间，提高了材料利用率。卷料焊接部位的定子、转子需要人工去除。裁焊机的裁切动力来自气压或油压，采用气压式夹持/定位。裁焊机的主要参数见表 8-5。

表 8-5 裁焊机主要技术参数

型号	CMLD-250	CMLD-380
裁切动力	油压/气压	
裁切宽度/mm	250	380
焊接长度/mm	250	380
最大裁切厚度/mm	4.5	
夹持/定位方式	气压式	

8.1.3 校平机

校平机也称矫正机、整平机，置于料架（或裁焊机）与送料机之间，用于卷料的校平送进。校平装置的工作原理如图 8-8 所示。在材料的上表面布置 2~3 个上轧辊，下表面布置 3~4 个下轧辊。上、下轧辊交错排列，上轧辊在一定范围内可上下调节，以使上、下轧辊对材料有一合适的校平作用。大型的校平装置通常还设有前、后夹辊 1 和 3，用来夹紧和辊送材料，通常由校平装置上的电动机提供动力。小型校平装置可不设前、后夹辊。通过对卷料连续反复施加压力，材料内部的弯曲应力被消除，使材料变得平整。校平机可分为带动

力和不带动力两种形式，不带动力的校平机仅用于窄料、短步距及精度要求不高的工况，其材料移动由送料机带动，使用较少。

校平辊的直径取决于材料厚度，见表 8-6。校平辊与上、下夹辊的材料一般选用中碳钢，通过调质处理达到规定的表面硬度。校平辊应保证一定的圆度，其表面粗糙度值  $Ra \leq 0.4$ 。而上、下夹辊表面要求摩擦性要好，一般先加工至  $Ra1.6$ ，然后再打毛以增强摩擦性能。

校平机常用的驱动方式有以下三种。

- 1) 由电动机驱动前夹辊送进卷料，再由后续的送料机将校平的板料送入主机。
- 2) 由电动机同时驱动前、后夹辊，分别夹紧和辊送开卷、校平后的板料。



图 8-7 裁焊机

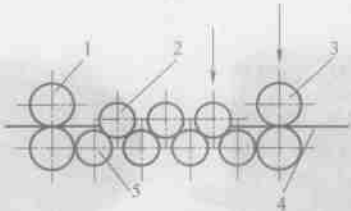


图 8-8 校平装置的工作原理

1—前夹辊 2—上轧辊 3—后夹辊 4—材料 5—下轧辊

表 8-6 校平辊直径与料厚的关系 (单位: mm)

料厚范围	校平辊直径	校平辊工作长度
0.2 ~ 0.8	40	≤1500
0.4 ~ 1.6	50	≤2000
0.6 ~ 2.3	60	≤2000
0.9 ~ 3.2	70	≤2000
1.2 ~ 4.5	80	≤2000

- 3) 由电动机同时驱动前后夹辊与校平轧辊。

根据送进材料的厚度和材质，校平机可分为两类，一类用于校平砂钢片等黑色金属，另一类用于校平不锈钢，铝、铜合金等有色金属。随着材料厚度减薄与校平精度的提高，校平机中的轧辊数量逐渐增多。

图 8-9 所示的一类校平机，多用于校平微电机铁心所用的矽钢片卷料，材料厚度多在 0.3 ~ 0.5mm。图 8-9b 与图 8-9c 所示的也称为 S 形校平机，其进出料方式不同。S 形校平机一般为 9 辊或 17 辊校平，采用光电传感器控制送料速度，保证与高速压力机同步，使用较多。浙江平湖公司的 S 形校平机，其主要技术参数见表 8-7。也有的将料架和校平机组合成一个整体（见图 8-10），称为料架校平机，节约了空间。表 8-8 为广东东莞瑞辉公司（以下简称“东莞瑞辉”）的料架校平机的主要技术参数。

表 8-7 S 形精密校平机主要技术参数

型号	FJS503A	FJS503B-1	FJS503C-1
校平宽度/mm	15 ~ 120	60 ~ 170	100 ~ 270
校平厚度/mm	0.25 ~ 0.6	0.35 ~ 0.6	0.35 ~ 0.6
最大送料速度/(m/min)	45	50	50
出料口高度/mm	700 ~ 1200	1200 ~ 1450	1200 ~ 1450
同步方法	自动(手动微调)		

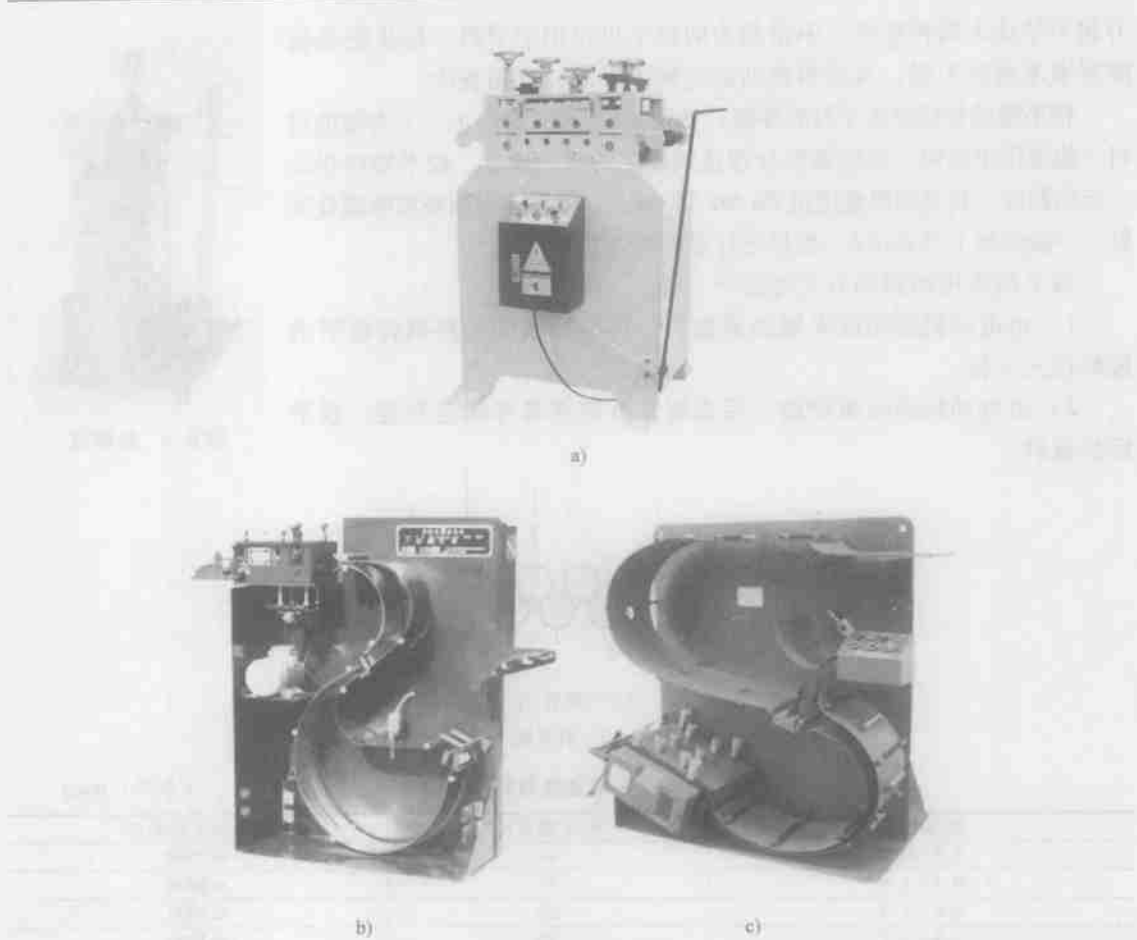


图 8-9 校平机

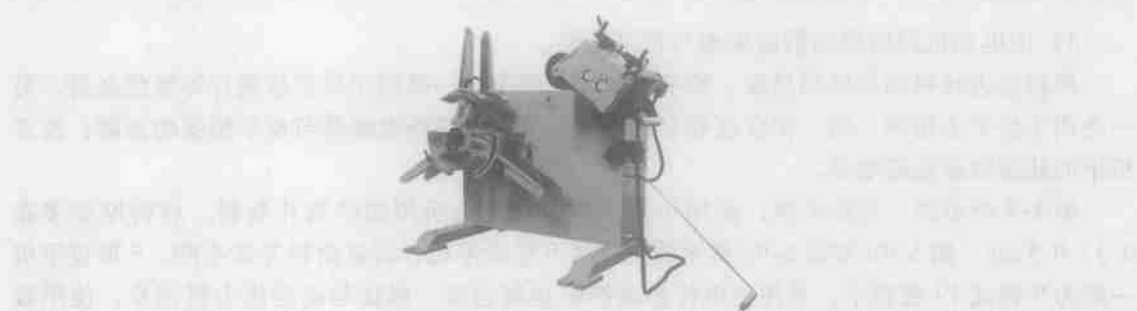


图 8-10 二合一料架校正机

表 8-8 二合一料架校平机主要技术参数 (东莞瑞辉)

型号	RGL-200	RGL-300	RGL-400	RGL-500	RGL-600
最大材料宽度/mm	200	300	400	500	600
材料厚度/mm	0.3~3.2				
料架荷重/kg	1000	1500	2000	3000	3000
材料内径/mm	460~520				
卷料外径/mm	1200				
校平速度/(m/min)	16				
扩张方式	手动/油压				

图 8-11 所示的另一类校平机,用于不锈钢、铝、铜合金等有色金属,称为“精密型整平机”,其中图 8-11a 所示为 RLV-F 型,图 8-11b 所示为 RLF 型。用于校平引线框架、电连接器等的冲压材料,材料厚度多在 0.6mm 以下,校平辊多达 22 个,主要技术参数见表 8-9。



图 8-11 精密型整平机

a) RLV-F 型 b) RLF 型

表 8-9 精密型整平机主要技术参数 (东莞瑞辉)

型号	RLV-150F	RLV-200F	RLV-300F	RLV-400F	RLF-200	RLF-300
最大材料宽度/mm	100	200	300	400	200	300
材料厚度/mm	0.1~1.5				0.1~1.4	
整平辊轮	上 8/下 9				上 11/下 11	
整平辊轮直径	30mm				12mm	
校平速度/(m/min)	6~22				5~20	
感应方式	接触式/光电式					

### 8.1.4 送料机

对于高速冲压时卷料的自动送进,需要满足以下要求:送料机必须与压力机同步,压力机冲压一次,送料机送进一次;送料动作必须在压力机实际冲压前完成;送料步距应保持稳定,并可调节。

送料机是至关重要的自动化周边设备。针对不同的材料规格、送料精度和送料速度,有多种形式。按输送方式,分为辊式送料机、夹钳式送料机和摆辊—夹钳送料机,其中前两种应用最多。

#### 1. 辊式送料机

辊式送料机在高速压力机生产线中使用最多,是利用辊子与卷料表面的摩擦力向前送料,材料厚度多在 3.5mm 以内,不能太厚。由于没有往复运动的影响,送料速度和送料精度都高。辊式送料机有三种形式,分别为高速辊轮送料机(见图 8-12a)、福克森辊式送料

机（见图 8-12b）和伺服辊轮送料机（见图 8-12c）。前两种送料机的送料动力来自高速压力机曲轴，第三种来自伺服电动机。

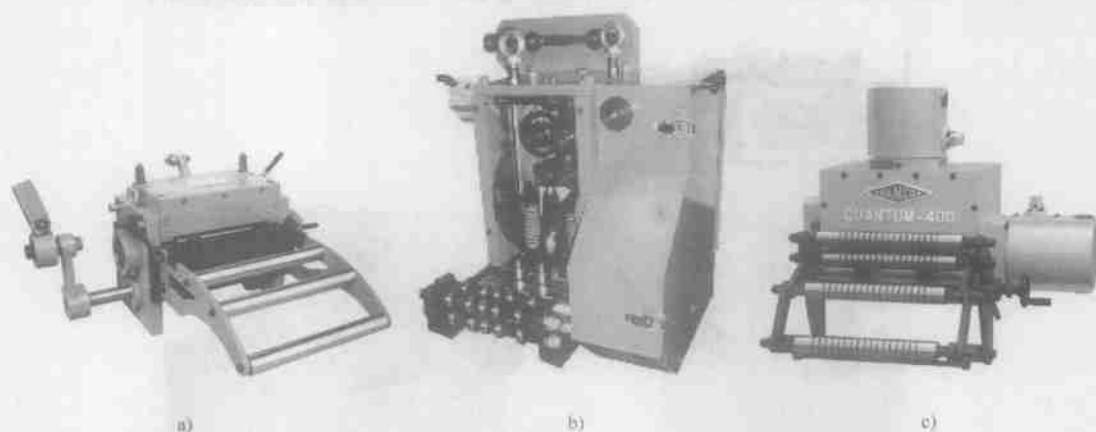


图 8-12 辊式送料机

a) 高速辊轮送料机 b) 福克森辊式送料机 c) 伺服辊轮送料机

高速辊轮送料机的原理示意图如图 8-13 所示，曲轴 2 旋转带动拉杆 1，通过超越离合器 7 带动下辊 6 作间歇回转运动，使处于上辊 5 与下辊 6 之间的材料进给。安装在滑块体上的打杆 3，在滑块下行时作用在提升杆 8 上，实现材料的放松，多为凸轮机构。安装在曲轴 2 上的偏心盘 4，可对送料步距进行微量调整，通过调整偏心盘 4 与曲轴 2 之间的相位确定送料角度。多采用弹簧压紧材料。高速滚轮送料机的送料精度为 0.05mm，采用模具内的导正销定位时，送料精度可达到  $\pm 0.01\text{mm}$ 。送料速度可达到 20m/min，送料机内设置逆向装置时可达 30m/min。表 8-10 为台湾雷城部分辊轮送料机的技术参数。

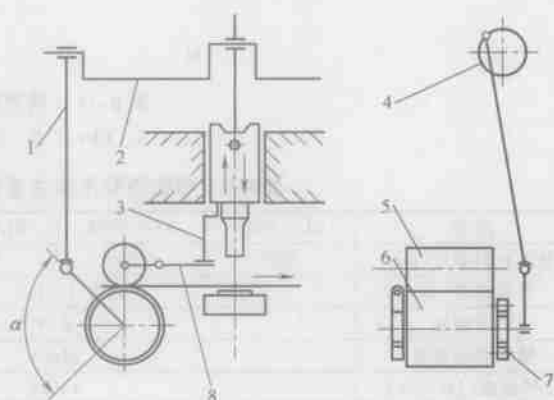


图 8-13 高速辊轮送料机原理示意图

1—拉杆 2—曲轴 3—打杆 4—偏心盘  
5—上辊 6—下辊 7—超越离合器 8—提升杆

表 8-10 高速辊轮送料机技术参数（部分）

型号	RFS-65NS	RFS-805NS	RFS-138NS	RFS-1310NS	RFS-2010NS	RFS-7030NS
辊轮宽度/mm	60	800	130	130	200	700
送料长度/mm	50	50	80	100	100	300
材料厚度/mm	0~1.6	0~1.6	0~1.6	0~3.5	0~3.5	0~3.5
材料线高度/mm	55~100	55~100	60~120	70~140	70~140	100~190

福克森辊式送料机源于 20 世纪 60 年代，美国成功研制出福格森（Ferguson）凸轮分度机构，并将其应用于辊式送料机上，称之为福克森辊式送料机，传动示意图如图 8-14 所示。

其送料精度可达 $\pm 0.01\text{mm}$ ，速度达到 $60\text{m/min}$ 。目前，福克森辊式送料机处主导地位，多用于微电机铁心冲压领域，与其他形式的送料机相比，其加速度特性最为理想，在送料开始和结束时，加速度为零，因而不会发生加速度突变，送料稳定精度高。

福克森辊式送料机有两种不同的结构形式。一种为更换料辊式，当需要改变送料步距时，更换下送料辊，但不能快速适应多种步距要求；另一种为交换齿轮式（见图8-12b），在分度机构输出轴和送料辊之间增加四个齿轮，可改变送料步距，能够在一定范围内对送料步距进行“无级”调整。交换齿轮式比更换料辊式多两级齿轮传动，因而精度下降了35%~40%，且对齿轮加工精度要求较高。福克森辊式送料机的间歇传动机构多为蜗杆凸轮式，也有平面凸轮式。美国明斯特公司，通过更换送料辊和一对交换齿轮，来改变送料步距，最大送料速度达 $80\text{m/min}$ ，并通过液压联锁控制抬辊和压辊动作。表8-11为雷城公司交换齿轮送料机的主要技术参数。

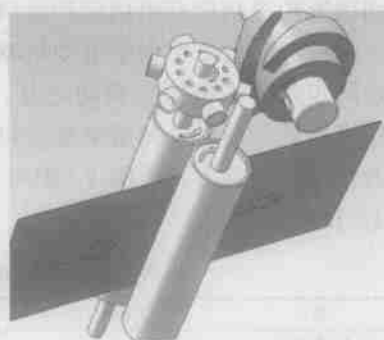


图 8-14 福克森送料机示意图（蜗杆凸轮式）

表 8-11 高速齿轮更换式送料机主要技术参数

型号	FGC-150S	FGC-200S	FGC-300S
材料宽度/mm	150	200	300
材料厚度/mm	0.1~1.6		
材料线高度/mm	60~120		
送料角度( $^{\circ}$ )	180		
放松角度	可调		
安装位置	机床左侧		
送料方向	左→右		

福克森辊式送料机的送料步距与齿轮齿数及分割器有关，分割器的分割数与送料步距的关系见表8-12。

表 8-12 分割数与送料步距之间的关系

分割数	12	10	8	6	4	3
送料步距/mm	5.5~61	6.6~73	8.3~91	11~122	16.5~183	22~245

在提高辊式送料机精度方面，国内外各送料机厂家主要采取如下方法。

- 1) 防止和减少送料辊与材料之间的滑动。
- 2) 在送料行程终点处精确定位。
- 3) 改善送料装置的加速度特性。
- 4) 提高分度精度，减少分度机构到送料辊之间传动的精度损失。

此外，为减小材料在送料开始时的滑动和惯性，采用S形校平机或在校平机与送料机之间设置“U”形引料装置。

伺服辊轮送料机，采用伺服电动机独立驱动，不依赖于压力机的曲轴，仅需要获取高速压力机的曲柄转角，因而机械部分比较简单，送料步距调整范围大，且调整简单。采用伺服

驱动技术,送料的加速度特性十分优异,送料速度高达 180m/min,可根据高速压力机的下死点确定送料时机,从而提高冲压品的合格率。随着伺服电动机价格不断降低,伺服辊轮送料机将逐步成为辊式送料机的主流机型。

伺服辊轮送料机有单伺服和双伺服之分,双伺服是在原有伺服电动机驱动上下料辊的基础上,放松部分也采用伺服电动机驱动。伺服电动机驱动料辊方式,有伺服电动机直接驱动和通过同步带(或齿轮)驱动之分。材料压紧有气缸压紧和空气弹簧压紧两种方式,多采用凸轮机构进行放松。伺服滚轮送料机的关键在于尽量降低从动系统的惯量,从而提高整个系统的快速响应能力。美国 VAMCO 公司 Quantum 和 SR 系列部分伺服送料机的技术参数见表 8-13 和表 8-14。

表 8-13 Quantum 系列伺服送料机技术参数(部分)

型号	Quantum-36	Quantum-45	Quantum-250HS	Quantum-550HS	Quantum-1550
材料宽度/mm	0~915	0~100	0~250	0~550	0~1550
材料厚度/mm	0~6.5	0~1.0	0~4.0	0~6.5	0~3.0
每分钟行程次数/(次/min)	1000	2000	1800	1000	1000
送料速度/(m/min)	100	61	175	165	90

表 8-14 SR 系列伺服送料机技术参数

型号	SR-250	SR-250HS	SR-400	SR-400HS	SR-500HS	SR-500HS
材料宽度/mm	0 ~ 250		0 ~ 400		0 ~ 500	
材料厚度/mm	0 ~ 4.0				0 ~ 6.0	
每分钟行程次数/(次/min)	500					
送料速度/(m/min)	65	75	60	70	65	70

## 2. 夹钳式送料机

夹钳式送料机有三种形式,即机械式(见图 8-15)、气动式(见图 8-16)和液压式。液压式应用于送进大尺寸的板料,不用于中小型压力机,在此不再介绍。其中机械式应用最多,主要用于送进较薄和较软的材料。



图 8-15 机械夹钳式送料机

机械夹钳式送料机的夹钳与被送进的材料之间没有相对滑动,在送料行程终点处设有限位挡块,在低速冲压时其送料精度高于辊式送料机,但在高速冲压时,由于夹钳往复运动部

件惯量大,造成送料精度有所下降,因此其送料频率和送料速度低于辊式送料机。机械夹钳式送料机除能够进行单条带料送进外,经过特殊设计,也可实现送进多条带料(见图8-15b)。为降低运动部件的惯量,采用铝合金或工程塑料制造相应零件已成为发展趋势。机械夹钳式送料机能够实现送料步距的无级调整,且加工制造较福格森辊式送料机简单、成本低,因而广泛用于中小型高速精密压力机上。随着技术的发展,机械夹钳式送料机的送料速度和精度将不断提高。表8-15为雷城夹式送料机的主要技术参数。

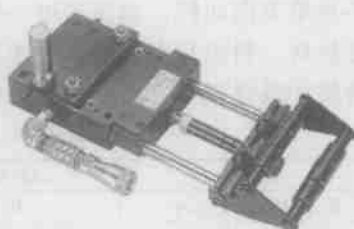


图 8-16 气动夹钳式送料机

表 8-15 夹式送料机主要技术参数

型号	GF-906N	GF-1512N	GFN-1006	GFN-1512
材料宽度/mm	0~90	0~150	0~100	0~150
材料厚度/mm	0.1~1.5	0.1~1.5	0.05~1.5	0.05~1.5
材料线高度/mm	60~120	60~120	60~120	60~120
送料长度/mm	60	120	60	120
送料角度(°)	180	180	180	180
放松角度	可调整	可调整	可调整	可调整
安装位置	机床左侧	机床左侧	机床左侧	机床左侧
送料方向	左→右	左→右	左→右	左→右
每分钟行程次数/(次/min)	1200	1200	1500	1500

气动夹钳式送料机利用压缩空气为动力,结构简单、调节方便、易损件少,主要用于特定行业的中小型压力机上。用气缸夹紧送进材料时,可通过增加缓冲器及采用铝合金材料来吸收和减小惯性力冲击,降低噪声,送料精度能够达到 $\pm 0.025\text{mm}$ 以内。图8-17所示为气动夹钳式送料机的示意图,当滑块下行时,通过安装在滑块或上模上的弹簧式引导杆,压下送料机中的导杆,移动夹板压紧材料准备下次送料。当滑块上行时,移动夹板向前送料,在送料行程终点处设有限位块。气动送料机的主要技术参数见表8-16。

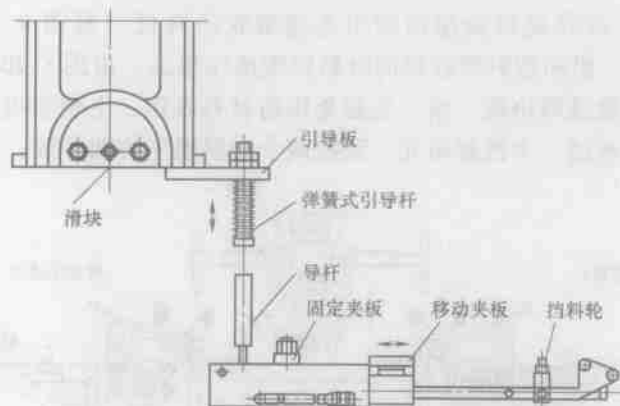


图 8-17 气动夹钳式送料机示意图

### 3. 摆辊-夹钳式送料机

图8-18所示为瑞士 Bruderer 公司在高速压力机上安装的摆辊-夹钳式送料机,由压力机曲轴通过万向轴驱动送料机,送料步距无级可调。其工作原理如图8-19所示,上下送料

辊不是单方向回转,而是通过一套行星齿轮机构产生的往复运动,将上下料辊转化为摆动来送进材料。料辊只有在送料时才压紧材料,并将材料连续精确地送到冲压模具的定位销处。在滑块冲裁过程中,用压料板压住材料,滑块回程时上料辊抬升,材料被夹钳夹住。

表 8-16 气动送料机主要技术参数 (广州东泰)

型号	AF-2C	AF-3C	AX2	AX4
最大材料宽度/mm	70	80	38	38
最大送料长度/mm	76	80	50	100
材料厚度/mm	0.8	1.2	1.2	1.1
固定夹板摩擦力/ $k_g$	30	45	—	—
移动夹板摩擦力/ $k_g$	53	68	—	—
牵引力/ $k_g$	16.5	19.5	11.4	11.4
每分钟行程次数/(次/min)	200	180	280	220

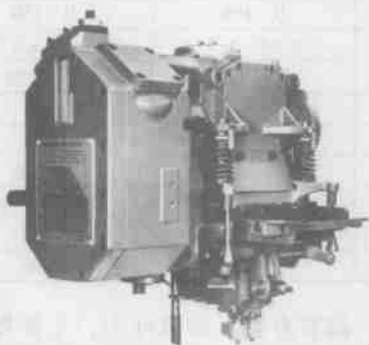


图 8-18 摆辊—夹钳送料机  
(瑞士 BRUDERER)

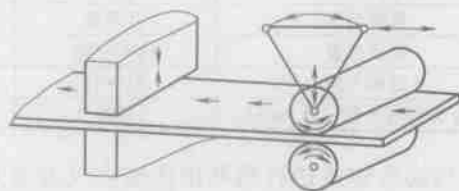


图 8-19 摆辊—夹钳送料机工作原理

#### 4. 其他送料方式

送料机大多单独安装在高速压力机的左侧或前侧,材料从左至右或从前到后送进,也有下列送料方式。

(1) 推拉送料 推拉送料是指由两组高速辊轮送料机 (见图 8-20a) 或伺服送料机 (见图 8-20b), 对铜、铅和塑料等较软的材料实现推拉送进。由图 8-20a 可见,通过调整手动杆可使两个高速辊轮送料协调一致,为避免压伤材料表面,上辊轮可采用 PU 材质。对于两组伺服送料机,可通过一个控制单元,调控两个送料辊子协调一致。

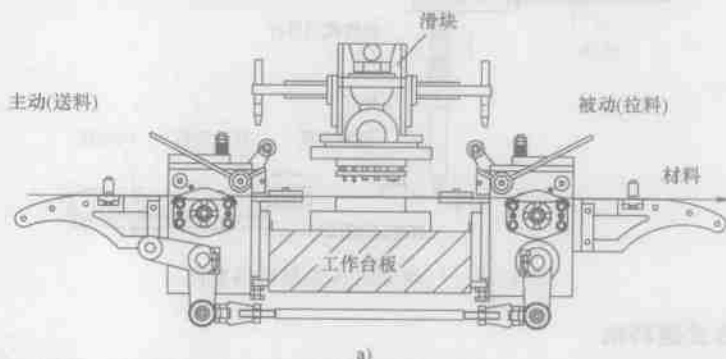


图 8-20 推拉送料

a) 高速滚轮送料机

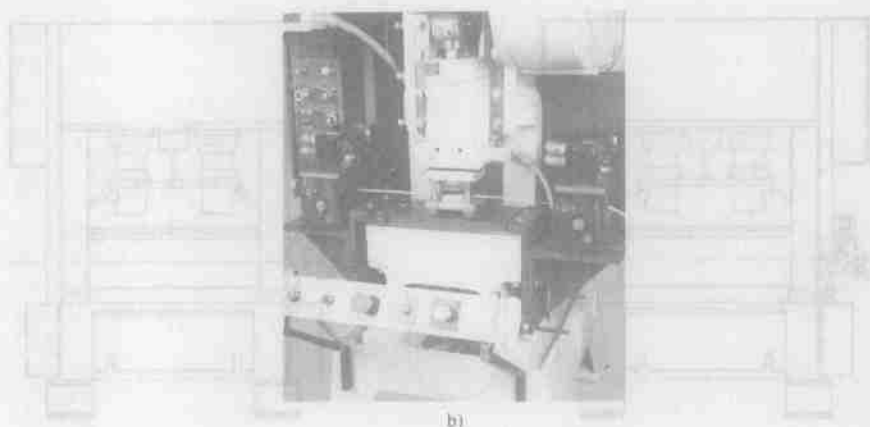


图 8-20 推拉送料 (续)

b) 伺服送料机

(2) 双列送料 双列送料如图 8-21 所示。可以在同一伺服送料机上同时送进两种不同材料,也可以采用双伺服送料机,将两条材料同时送进模具。由一个控制单元控制两台伺服送料机。每台送料机均可在垂直与水平方向上进行调整。两组平行料带的间距可调,可更换料辊以适应材料变化。可在同一伺服送料机上同时送进两种不同材料,如图 8-21b 所示。

(3) 超宽送料 如图 8-22 所示,用于大型定/转子冲片、饮料罐等行业需要的超宽材料场合,采用的是 S 形校平机。其动力源可取自高速压力机曲轴,也可由伺服电动机单独驱动。VAMCO 公司的伺服送料机最大送料宽度达 1550mm,送料速度高达 90m/min。

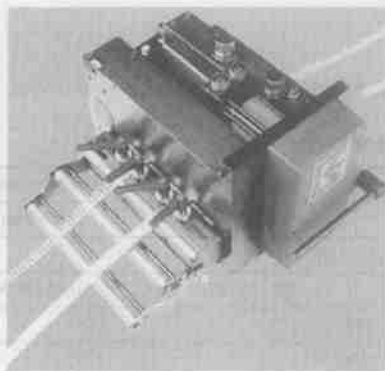


图 8-21 伺服双列送料



图 8-22 超宽送料

(4) 双联送料 如图 8-23 所示,主要用于电机定/转子冲片,当高速压力机台面尺寸不能满足一副模具同时冲压定子和转子时,常采用此方式。由两台高速压力机分别冲压转子和定子,采用两台伺服送料机,共用一个控制系统。

总之,送料机的选择,主要考虑材料的特性(软硬程度、材料厚度、材料宽度)、送料步距、送料速度、送料角度和送料形式等因素。

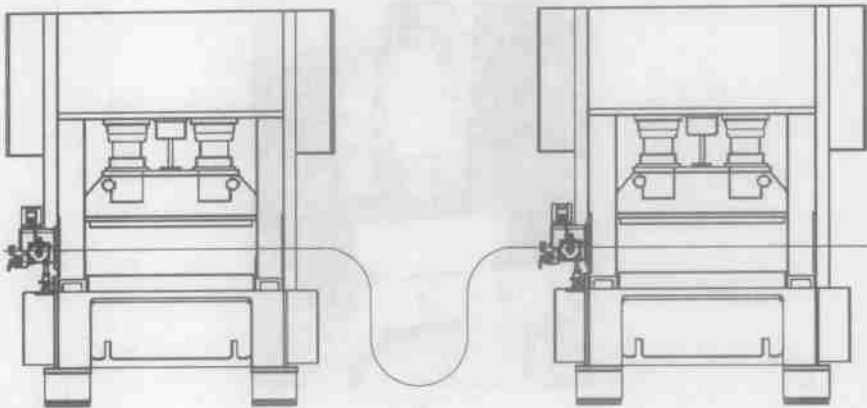


图 8-23 双联送料

8.1.5 三合一送料机

三合一送料机是指料架、校平机、数控送料机三机合一，简称“三合一送料机”。根据不同的材料与规格，三合一送料机有多种系列和规格，基本上满足了家用电器、集装箱、汽车摩托车零部件和不锈钢制品等行业的生产需求。东莞瑞辉的 MAC1 系列三合一送料机如图 8-24 所示，其规格参数见表 8-17。



图 8-24 MAC1 三合一送料机

表 8-17 MAC1 三合一送料机规格参数表

型号	MAC1-300	MAC1-400	MAC1-600	MAC1-800
材料宽度/mm	50 ~ 300	50 ~ 400	50 ~ 600	50 ~ 800
材料厚度/mm	0.2 ~ 3.0			
卷料质量/kg	2000/3000		3000/5000	5000/7000
卷料内径/mm	508			
卷料外径/mm	1200			
料架扩张方式	油压/气压			
最大速度/(m/min)	16 ~ 24			
矫正辊轮数量	上 4/下 3			
使用空气压/(kg/cm <sup>2</sup> )	0.49			
使用电源电压/V	380/220			

MAC1 系列有以下优点。

- 1) 结构紧凑，占地面积小。

- 2) 工作中能自动监测材料的送进情况。
- 3) 上下校平滚轮有可供选配的可掀式结构, 易于维修保养。
- 4) 采用螺旋升降机调节送料高度, 易于调整, 方便使用。
- 5) 料架可选配油压或气压驱动, 校平入口压臂将卷料前端压平, 便于进入滚轮。
- 6) 可选配上料小车装置, 节省人力, 高效安全。
- 7) 操作方便, 自动化程度高, 精度高。

表 8-18 列出了东莞瑞辉 MAC2 ~ MAC6 系列产品对应的材料厚度, 具体参数不再列出。

表 8-18 三合一送料机型所对应材料厚度

三合一送料机型	MAC 2 系列	MAC 3 系列	MAC 4 系列	MAC 5 系列	MAC 6 系列
材料厚度/mm	0.3 ~ 3.2	0.5 ~ 4.5	0.6 ~ 6.0	0.8 ~ 9.0	1.4 ~ 12

8.1.6 给油机

给油机 (见图 8-25) 用于对材料表面进行润滑, 多置于模具前, 借助液压泵或重力将润滑油送到滴油管, 均匀滴到毛毡辊轮上, 毛毡辊轮能少量储油, 摩擦力较小。给油机多为单面滴油, 各点油量可调。材料经油润滑后, 可提高模具寿命。雷城公司的给油机技术参数见表 8-19。

表 8-19 给油机技术参数 (部分)

型号	CT-65	CT-100	CT-200	CT-300	CT-400	CT-450	CT-600	CT-700	CT-800
最大材料宽度/mm	65	100	200	300	400	450	600	700	800
材料厚度/mm	0.1 ~ 0.3				0.2 ~ 0.5				

8.1.7 负压吸废料装置

负压吸废料装置用于高速或超高速冲压引线框架、电连接器等零件时, 防止废料回跳并进行废料回收, 由真空装置 (也称“自动吸废料机”, 见图 8-26)、管路及吸废料漏斗组成。吸废料漏斗上端面与高速压力机的下台面 (通常在下横梁内部) 密封连接, 通过负压吸出细小废料。表 8-20 为负压吸废料装置的技术参数。



图 8-25 给油机

图 8-26 真空装置 (自动吸废料机)

表 8-20 负压吸废料装置技术参数

型号	XF-30	XF-50
最大气流量/(m <sup>3</sup> /h)	210	300
最大真空度/kPa	-16.7	-18
吸管直径	2 寸	2.2 寸
风机转速/(r/min)	2800	2890
箱体体积/mm	400 × 400 × 400	500 × 500 × 500

### 8.1.8 收料装置

在高速压力机冲压生产过程中,需要配置收料装置。按冲压零件类型可分为微电机类收料装置和微电子类收料装置。

#### 1. 微电机类收料装置

微电机类收料装置专用来收集电机铁心冲片和变压器 E/I 铁心冲片。

由图 8-27 和图 8-28 可见,电机铁心冲片经槽式理件装置(俗称“导笼”)被收集起来,槽式理件装置置于压力机前方,一般没有固定规格,需根据产品规格、压力机的基础及下横梁相关尺寸,自行制作。

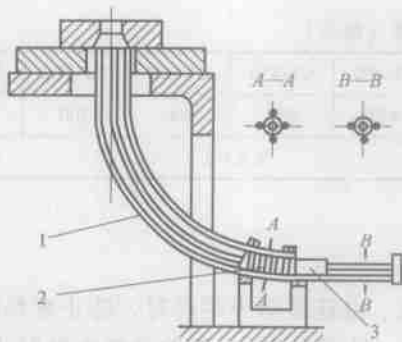


图 8-27 槽式理件装置示意图

1—集件槽 2—冲片 3—支承滑块



图 8-28 置于压力机前方的槽式理件装置

由图 8-29 和图 8-30 可见,变压器 E/I 铁心冲片经滑道式理件装置被收集起来。图 8-29a 所示为单滑道,收集 I 型铁心冲片,图 8-29b 所示为双滑道,收集 E 形铁心冲片。滑道式理件装置一般没有固定规格,需要自行制作。

以上两种理件装置都是借助冲片的自重滑落而实现收集,理件装置的滑落轨迹或滑道斜度应当合适。

当冲片在模具中进行扣片后,电机冲片或变压器冲片的成品—电机铁心或变压器铁心(见图 8-31),通过输送带或滑道被送至机外,再由人工分拣或自动落入收料箱(见图 8-32)。

#### 2. 微电子类收料装置

图 8-33 所示的收料机用于对连续冲压完的带状产品进行收卷,并可以附加隔纸,可自动调整收卷速度,多用于引线框架和电连接器冲压行业。图 8-33a 所示为立式、图 8-33b 所

示为卧式的微电子类收料机，其主要技术参数见表 8-21。

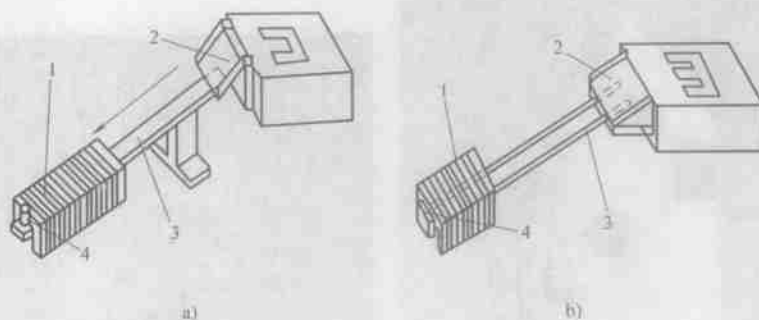


图 8-29 滑道式理件装置示意图

1—冲片 2—导槽 3—滑道 4—挡板

a) 单滑道 b) 双滑道



图 8-30 滑道式理件装置



图 8-31 铁心成品



图 8-32 铁心成品的输送与分拣

表 8-21 收料机主要技术参数

型号	SQG-03(立式)	WSQ-02(卧式)
收料速度/(m/min)	20	20
收料盘数	2	2
收料质量/kg	20	20
收料盘外径/mm	650	610
收料回转方向	顺时针、逆时针	顺时针、逆时针
层间纸感应方式	电子感应	光电感应
端子收取感应方式	光电感应	光电感应

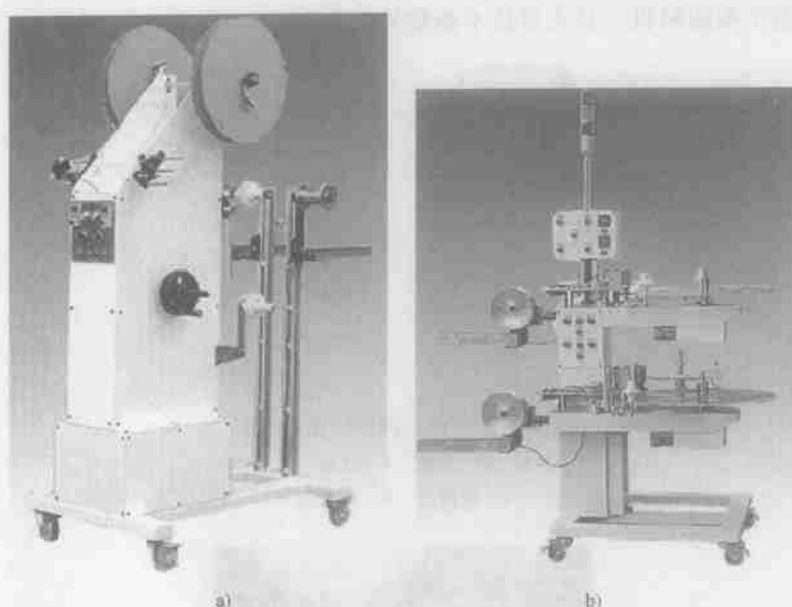


图 8-33 收料机

a) 立式收料机 b) 卧式收料机

## 8.2 检测仪器

### 8.2.1 下死点检测仪

下死点检测仪（见图 8-34）是利用电涡流式传感器，检测高速精密冲压模具或高速压力机的下死点数据，检测精度一般为  $1\mu\text{m}$ ，可达到  $0.5\mu\text{m}$ ，最高检测次数为 4000 次/min，可实时显示下死点数据，一般不具备数据存储功能。检测仪的感应支架和传感器，可分别装于上模和下模，当模具的下死点数据超出检测上下限值时，高速压力机自动停机。感应支架和传感器也可分别安装在高速压力机的滑块和工作台板上，检测其下死点的动态精度，也可测绘出滑块在下死点附近区域的实际位置与对应次数的关系曲线（即波形图检测）。为了分析下死点数据，检测仪需具备数据存储功能。

在进行下死点检测时，多使用双通道检测滑块左右两侧的下死点数据，其平均值为滑块的下死点数据，其差值为滑块在下死点的平行度误差；也可直接检测滑块中间，将所得数据作为滑块的下死点数据。当采用四通道检测时，可以获取滑块在前后左右方向的下死点偏差。同理，也可以进行八通道的滑块下死点检测。

现有的下死点检测仪只能检测滑块在垂直方向上的下死点数据。检测方法分为绝对值检测、相对值检测和波形图检测（仅限于部分下死点检测仪）。

#### 1. 绝对值检测

如图 8-35 所示。使用该方法时，需要采样冲压过程中前几次或几十次的下死点数据作



图 8-34 下死点检测仪

为标准值（采样前需要去除部分数据）。可选择数据中的最大值、最小值或平均值作为标准值，大多选择平均值。检测仪的显示值是与标准值的差值。

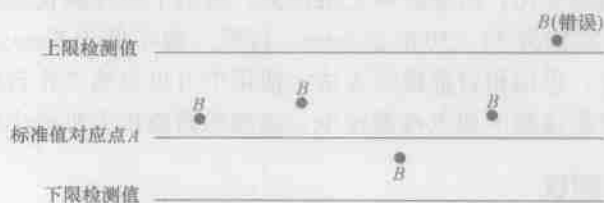


图 8-35 绝对值检测

## 2. 相对值检测

如图 8-36 所示。使用该方法时，显示值为本次冲压下死点位置与上次下死点位置之间的差值。将第 1 次检测的下死点位置作为标准值 A 点；在第 2 次冲压时，将偏差（相对值） $B-A$  作为 B 点；在第 3 次冲压时，将偏差  $C-B$  作为 C 点。以此类推，可以测量出  $D-C$ 、 $E-D$  等。与绝对值检测相比，相对值检测数值不够直观，但可以扩大测量范围。

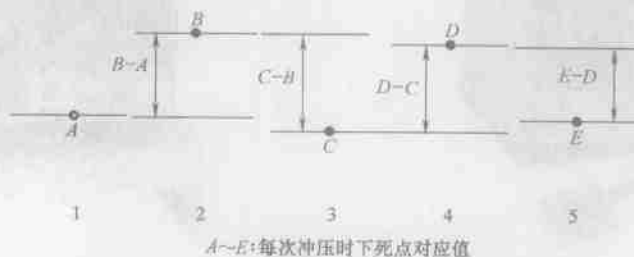


图 8-36 相对值检测

## 3. 波形图检测

如图 8-37 所示。该方法可以检测出在下死点前一段距离内，感应支架和传感器之间的位置数据，通过绘图软件可以绘出在下死点附近区域内，滑块运行的实际位置与对应次数的关系曲线。

### 8.2.2 废料上跳检测仪

高速压力机冲裁时速度很高，冲压材料在经过弹性、塑性变形直至剪切分离的整个过程中，凸模与冲压材料之间容易形成真空，在凸模回程时，会将废料吸附在凸模上，使用冲压油也容易使废料吸附在凸模上，使凸模冲裁下来的废料出现上跳现象，导致冲压材料表面产生压痕和碎屑。可以通过优化模具结构避免废料上跳，也可以通过废料上跳检测仪（见图 8-38）进行实时检测，当出现废料上跳时，高速压力机自动停机。

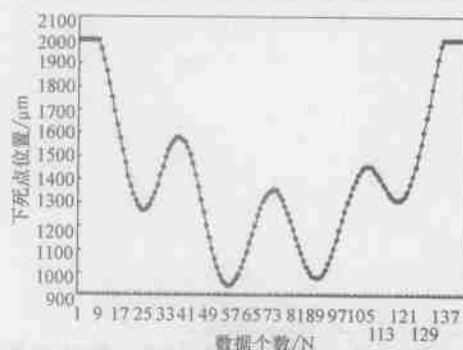


图 8-37 波形图数据曲线

当上、下模具之间存在废料时,废料在冲压过程中被压扁,根据不同的料厚,约20%~40%的厚度残留会使卸料板位置发生变化。废料上跳检测仪通常将传感器安装于下模,通过检测卸料板与下模的间距变化,实现废料上跳检测。废料上跳检测仪采用相对值测量,检测精度达到 $\pm 1\mu\text{m}$ ,检测次数为30~3000次/min,行程一般不低于8mm。废料上跳检测仪也可用来检测下死点精度,采用相对值检测方法。使用中可以忽略工作台温度的影响。

废料检测功能也可集成到下死点检测仪中,检测的高速压力机最小行程可压缩到4mm。

### 8.2.3 送进错误检测仪

图8-39为送进错误检测仪,可与废料上跳检测仪组合使用。可以对冲压过程中的材料送进中断、排出、误送和送料步距等进行检测。



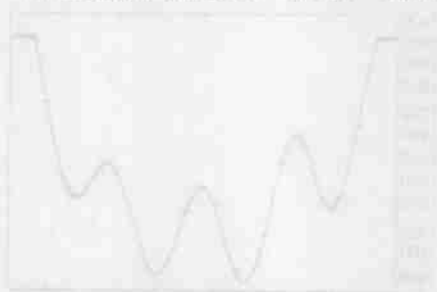
图 8-38 废料上跳检测仪



图 8-39 送进错误检测仪

### 参考文献<sup>①</sup>

- [1] 范宏才,现代锻压机械[M].北京:机械工业出版社,1994.
- [2] 第一机械工业部铸造锻压力机械研究所.国外冲压自动化发展概况[M].北京:机械工业出版社,1978.
- [3] 《冲压机械化与自动化》编写组.冲压机械化与自动化[M].北京:机械工业出版社,1982.



①本章参考了东莞瑞辉机械产品样本、浙江平湖高平产品样本、广州东泰产品样本日本三共送料机产品样本、美国VAMCO送料机产品样本、美国Rapidair送料机产品样本、莱恩光电科技产品样本、理研计器奈良制作所产品样本。