


冲压技术丛书

轨道机车车辆 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



中国锻压协会成立于1986年7月,是全国一级社团法人单位,是锻造、冲压和钣金企业的行业组织。中国锻压协会服务于行业、服务于企业、服务于政府,是政府与企业间的桥梁纽带,旨在促进行业交流、进步与繁荣,为行业的共同利益服务。

为冲压行业出版一批适应行业发展、满足企业需求及教学参考的冲压专业书籍,是协会组织编撰“冲压技术丛书”的出发点和归宿点。在历时三年多的编撰过程中,共有110余位来自企业、高校和科研院所的专家、学者和工程技术人员参与其中。秉持博采众长、百花齐放的原则,从多层面、多角度阐述冲压技术涉及的产品、材料、工艺、模具、设备、生产实例,及其相互关系与各自发展。力求以综合性、典型性、纲目化、实用性和新颖性的风格与特点,为冲压业界各方面的读者都带来阅读价值。

希望本套丛书能够成为助力冲压企业取得更大进步和发展的良师益友,成为中国冲压行业迈向更大辉煌的阶梯。

中国锻压协会

北京市海淀区学清路16号学知轩大厦3层

邮政编码: 100083

电话: 010-68465045

传真: 010-68465044

网址: www.chinaforge.org.cn

冲压技术丛书

轨道机车车辆冲压件 制造技术

中国锻压协会 编著

主 编 宋拥政

副主编 侯英玮

参 编 (按姓氏笔画排序)

李 焱 张瑞喜 陈 卫 陈明丹 郑勇福

黄永红 梁继业



机械工业出版社

本书介绍了轨道交通装备行业中机车、客车、货车和城际机车的典型冲压件制造技术，内容涉及冲压的材料、工艺、模具、设备和生产实例，及其相互关系和发展趋势。重点介绍了各车种的分离件、弯曲件、拉深件、胀形件、翻边件和校平件的制造技术。

本书可供轨道交通装备行业冲压领域的工程技术人员参考，也可作为理工科中高等院校教学或培训教材，还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

轨道机车车辆冲压件制造技术/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 978-7-111-43838-0

I. ①轨… II. ①中… III. ①轨道车-机车车辆-冷冲压-生产工艺
IV. ①U270.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 204046 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 王春雨

版式设计: 霍永明 责任校对: 张晓蓉

封面设计: 姚 毅 责任印制: 张 楠

唐山丰电印务有限公司印刷

2014 年 3 月第 1 版第 2 次印刷

184mm × 260mm · 15.5 印张 · 384 千字

3001—4000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-43838-0

定价: 88.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

策划编辑: (010) 88379772

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”也与冲压业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

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，到企业中去的“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  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《轨道机车车辆冲压件制造技术》编写大纲，由丛书主编组织国内轨道机车车辆行业代表性企业、高等院校的专家学者和工程技术人员进行编撰。参编单位有：大连机车车辆有限公司、长春轨道客车股份有限公司、齐齐哈尔轨道交通装备有限责任公司、大连交通大学、中国锻压协会。

本书介绍轨道机车车辆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4章。重点论述轨道机车车辆冲压技术概况（第1章）、机车冲压件制造技术（第2章）、客车冲压件制造技术（第3章）、货车冲压件制造技术（第4章）。

第1章由大连交通大学侯英玮、中国锻压协会宋拥政撰写，第2章由侯英玮、大连机车车辆有限公司黄永红撰写，第3章由长春轨道客车股份有限公司郑勇福、梁继业撰写，第4章由齐齐哈尔轨道交通装备有限责任公司李焱、张瑞喜、陈明丹、陈卫撰写。全书由宋拥政审定和统稿。

在此谨向参与本书编撰的全体专家、学者、工程技术人员和出版工作人员表示衷心感谢！

本书编写过程中，济南轨道装备有限责任公司的韩万智、李淑宗、李庆富、谭华灵等技术专家对本书的编撰提出了宝贵的建议；大连交通大学运新兵，大连机车车辆有限公司程强、张明明、李开，齐齐哈尔轨道交通装备有限责任公司李建军等，都给予了热情帮助，在此一并表示感谢！

编 者

目 录

丛书序一

丛书序二

前言

第 1 章 概论	1	参考文献	26
1.1 轨道机车车辆的概况与划分	1	第 2 章 机车冲压件制造技术	27
1.1.1 机车分类	1	2.1 概述	27
1.1.2 客车分类	3	2.2 机车冲压件材料	27
1.1.3 货车分类	3	2.3 机车冲压生产设备	28
1.1.4 城际机车	3	2.4 分离件制造技术	30
1.2 轨道机车车辆冲压件分类	4	2.4.1 分离工艺内容与类型	30
1.2.1 按结构特点分类	4	2.4.2 分离件模具与生产设备	30
1.2.2 按工艺特点分类	7	2.4.3 典型分离件生产实例	31
1.3 轨道机车车辆冲压件材料	8	2.5 拉深件制造技术	32
1.3.1 冷冲压材料的种类与一般要求	8	2.5.1 拉深件类型	32
1.3.2 冲压件材料应用概况	9	2.5.2 拉深件制造工艺	32
1.4 轨道机车车辆冲压件模具	9	2.5.3 拉深模具划分	33
1.4.1 冲裁模具的典型结构	9	2.5.4 拉深件生产设备	33
1.4.2 压弯模具的典型结构	11	2.5.5 典型拉深件生产实例	34
1.4.3 拉深模具的典型结构	13	2.6 热压成形件制造技术	34
1.4.4 成形模具的典型结构	14	2.6.1 热压成形件的类型与材料	35
1.5 轨道机车车辆冲压生产设备	15	2.6.2 热压成形件制造工艺	35
1.5.1 常用冲压设备分类	15	2.6.3 热压成形的模具与设备	35
1.5.2 板材冲压设备	16	2.6.4 典型热压成形件生产实例	38
1.5.3 板材切割设备	19	2.7 翻边件制造技术	41
1.5.4 其他常用设备	19	2.7.1 翻边件的类型与制造工艺	41
1.6 轨道机车车辆冲压工艺过程	19	2.7.2 翻边件的模具与生产设备	42
1.6.1 冲压工艺设计的主要内容及依据	20	2.7.3 典型翻边件生产实例	42
1.6.2 冲压件工艺性分析	20	2.8 弯曲件制造技术	43
1.6.3 冲压工艺方案制定	20	2.8.1 弯曲件的类型及材料	43
1.6.4 有关工艺计算	23	2.8.2 弯曲件制造工艺	43
1.6.5 模具设计	23	2.8.3 弯曲件的模具与生产设备	50
1.6.6 冲压设备选择	24	2.8.4 典型弯曲件生产实例	51
1.6.7 冲压工艺文件制定	24	2.9 其他成形技术	53
1.7 轨道机车车辆冲压技术发展趋势	25	2.9.1 板式结构压形模具	53

2.9.2 调直	55	3.5.6 数控转塔冲床冲切技术	107
2.9.3 校平	56	3.5.7 数控切割技术	109
2.9.4 辊形	56	3.6 拉深件制造技术	114
2.10 冲压件常见缺陷与解决措施	56	3.6.1 拉深件类型	114
2.10.1 弯曲裂纹	56	3.6.2 拉深件材料	114
2.10.2 表面拉伤	57	3.6.3 拉深件制造工艺	115
2.10.3 大型曲面成形的常见缺陷	57	3.6.4 拉深件模具	118
参考文献	59	3.6.5 拉深件生产设备	120
第3章 客车冲压件制造技术	60	3.6.6 拉深过程中的润滑	120
3.1 概述	60	3.6.7 典型拉深件生产实例	121
3.1.1 轨道客车的分类	60	3.7 胀形件制造技术	124
3.1.2 轨道客车的基本结构	61	3.7.1 胀形件类型	124
3.1.3 轨道客车冲压件制造工艺概况	66	3.7.2 胀形件材料	124
3.1.4 轨道客车的冲压工序名称	67	3.7.3 胀形件制造工艺	124
3.1.5 轨道客车冲压件生产的基本条件	68	3.7.4 加强筋模具设计	125
3.2 轨道客车常用材料	69	3.7.5 胀形件生产设备	125
3.2.1 轨道客车用金属板材	69	3.7.6 典型胀形件生产实例	125
3.2.2 轨道客车用碳钢类材料性能	70	3.8 翻边件制造技术	128
3.2.3 碳钢类板材的供应标准	71	3.8.1 翻边件类型	128
3.2.4 轨道客车用不锈钢材料	74	3.8.2 翻边件材料	129
3.2.5 不锈钢板材的供应标准	75	3.8.3 翻边件制造工艺	129
3.2.6 轨道客车用铝合金材料	76	3.8.4 翻边件模具	131
3.2.7 轨道客车用铝合金材料供货状态	78	3.8.5 翻边件生产设备	131
3.3 模具设计与制造	81	3.8.6 典型翻边件生产实例	132
3.3.1 生产轨道客车冲压件模具	81	3.9 弯曲件制造技术	136
3.3.2 冲压模具设计与制造	82	3.9.1 弯曲件类型	136
3.4 冲压件生产常用设备	86	3.9.2 弯曲件材料	137
3.4.1 钢板开卷设备	86	3.9.3 弯曲件制造工艺	137
3.4.2 下料设备	86	3.9.4 弯曲件模具	144
3.4.3 校平机	88	3.9.5 模具压弯件生产设备	146
3.4.4 机械压力机	89	3.9.6 模具压弯件生产实例	146
3.4.5 折弯机	90	3.9.7 折弯成形技术	149
3.4.6 数控转塔冲床	90	3.9.8 拉弯成形技术	160
3.4.7 数控拉弯机	91	3.9.9 震锤成形技术	168
3.4.8 震锤成形机	92	3.9.10 冷弯成形技术	175
3.4.9 辅助设备	92	3.10 校平技术	180
3.5 分离件制造技术	93	3.10.1 校平工艺	180
3.5.1 分离件类型	93	3.10.2 校平机及其应用	181
3.5.2 分离件制造工艺	93	3.10.3 校直液压机校平	184
3.5.3 冲裁模具	102	3.10.4 摩擦压力机校平	184
3.5.4 分离件生产设备	104	3.10.5 型钢调直机校平	184
3.5.5 典型分离件模具	104	3.10.6 震锤成形机校正	185

3.11 客车冲压件常见缺陷及解决措施	186	4.4.2 板材下料	209
3.11.1 分离件	186	4.4.3 板材切割	209
3.11.2 拉深件	189	4.4.4 板材校平、加工	210
3.11.3 翻边件	190	4.4.5 板材冲压	210
3.11.4 胀形件	191	4.4.6 型材下料、校直	210
3.11.5 弯曲件	191	4.5 分离件制造技术	211
3.11.6 震锤成形件	194	4.5.1 分离件类型及其制造工艺	211
3.11.7 校平件	194	4.5.2 分离件模具	212
3.12 客车冲压件制造技术发展趋势	195	4.5.3 分离件生产设备	212
参考文献	198	4.5.4 典型分离件生产实例	213
第4章 货车冲压件制造技术	199	4.5.5 冲压用料排样及计算	217
4.1 概述	199	4.6 拉深件制造技术	219
4.1.1 铁路货车冲压件用钢材	199	4.6.1 拉深件的类型及其成形工艺	219
4.1.2 铁路货车冲压件特点及工艺 流程	200	4.6.2 拉深件材料	222
4.1.3 铁路货车冲压件生产的基本 条件	201	4.6.3 拉深件模具	222
4.2 常用材料	201	4.6.4 拉深件生产设备	222
4.2.1 铁路货车用钢材发展历程	201	4.6.5 典型拉深件生产实例	222
4.2.2 材料种类与力学性能	201	4.7 翻边件制造技术	227
4.3 模具设计与制造	203	4.7.1 翻边件类型及制造工艺	227
4.3.1 应用三维技术设计模具	203	4.7.2 典型翻边件生产实例	228
4.3.2 模具材料选择	206	4.8 弯曲件制造技术	230
4.3.3 模具使用设备选择	207	4.8.1 弯曲件类型及其制造工艺	230
4.3.4 模具安全性及使用性	208	4.8.2 弯曲件模具	234
4.4 冲压生产常用设备	209	4.8.3 弯曲件生产设备	235
4.4.1 板材、型材预处理	209	4.8.4 典型弯曲件生产实例	236
		4.9 铁路货车冲压件制造技术展望	238
		参考文献	238

第1章 概 论

1.1 轨道机车车辆的概况与划分

铁路车辆是铁路运输的重要装备，是用来运送旅客、装运货物或作其他特殊用途的运载工具。铁路车辆一般没有动力装置，必须连挂成列，由机车牵引才能沿轨道运行。

新中国成立以来，我国轨道机车车辆工业经历了跨越式的发展。从单一依靠蒸汽机车，到自主研发开发了“东风”系列内燃机车、“韶山”系列电力机车，并形成了轨道机车车辆的系列化、型谱化和标准化。截至2008年底，全国铁路机车保有量达到18437台，其中电力机车6305台，占机车总数的34.2%；内燃机车12132台，占机车总数的65.8%。全国主要干线全部实现内燃、电力机车牵引，国家铁路中的蒸汽机车已经全部被淘汰。我国现已普遍运用的25型系列新型空调客车和双层客车，运行速度和舒适性显著提高；相继试制成功的25t轴重C80型重载敞车等，已批量投入使用；“和谐号”动车组也已大范围运行。轨道机车车辆工业为铁路运输装备现代化提供了强大的支撑，为我国经济建设做出了巨大的贡献。

轨道机车车辆可分为：机车、客车、货车和城际机车。

1.1.1 机车分类

机车是铁路运输的牵引动力装备。铁路机车有多种类型，有不同的分类方法。

机车按所用动力分为内燃机车和电力机车两大类。

内燃机车是由柴油机、燃气轮机通过传动装置驱动的机车，为自带能源式机车。目前国内产内燃机车的主车型为东风系列（DF）。

电力机车是一种非自给式机车，是由车顶安装的受电弓从外界获得电能，再由电动机通过传动装置驱动的机车。其代表机型是韶山系列（SS）。

机车按动力配置分为动力集中型和动力分散型两类。

动力集中型是将动力装置集中在机车上，像东风、韶山系列等机车均采用动力集中配置方式，该方式检查维修比较方便，但是轴重比较大。

动力分散型是将部分动力装置安装在不带动力的车辆上，带动力的车辆叫动车，不带动力的车辆叫拖车。动力分散配置一方面可以减小机车的最大轴重，改善列车的牵引和制动性能，另一方面也减小了对线路的影响，降低噪声。大多高速客运列车（动车组）采用动力分散方式。

1. 内燃机车

内燃机车是以内燃机作为原动力的机车。铁路上采用的内燃机绝大多数是柴油机。

内燃机车的优点是热效率高，动力装置体积小、功率大，用水少，利用率高，速度高，劳动条件好。

内燃机车按传动方式的不同，可分为电力传动和液力传动两种类型。

(1) 电力传动内燃机车 根据电机形式不同，有多种组成方式。采用直流发电机和直流电动机配合，为“直-直流电传动”内燃机车；采用交流发电机和直流电动机配合，为“交-直流电传动”内燃机车。现在，还有“交-直-交流电传动”和“交-交流电传动”等类型的内燃机车。

在电力传动内燃机车上，一般都采用直流串励电动机。

(2) 液力传动内燃机车 在液力传动内燃机车上，原动力仍是柴油机，在柴油机和机车动轮之间，装有一套液力传动装置，以改变柴油机的外部特性，适应列车运行的要求。

液力传动与电力传动的内燃机车相比，除传动装置不同外，其余部分都是相似的。

目前我国国家铁路以发展电力牵引为主，主要干线要求实现电气化。但是应当看到，许多二级干线、支线铁路、专用线和其他铁路（地方铁路、工矿铁路和合资铁路等），以及大量的调车小运转作业，还是要大量采用内燃机车。在未来我国铁路机车总保有量中，内燃机车仍会占有较大的比例。报废的内燃机车需要补充，在役的内燃机车需要技改或换型，还有较大的国际市场份额，所以，我国的内燃机车仍有相当大的发展空间，前景看好。

2. 电力机车

电力机车是以外部电力作为牵引动力的机车。电力牵引具有功率大、效率高、起动速度快、易实现多机牵引、运营费用低、不污染环境、司机劳动条件好等优点，是世界各国公认的最佳铁路牵引方式，也是我国铁路牵引动力的主要发展方向。

采用电力机车牵引的铁道称为电气化铁道。电气化铁道由牵引供电系统和电力机车两部分组成。

自1958年以来，我国电力机车经过了50多年的发展历程。交直流传动的电力机车从SS1型发展到SS9型，交流传动的电力机车从DJ1型发展到功率高达10MW以上的“和谐型”。我国电力机车技术成功实现了从有级调速到无级调速、从电子模拟控制到数字计算机网络控制、从交直流传动到交流传动的三次技术飞跃，使我国的电力牵引技术进入了一个新的时代，达到了世界先进水平。

3. 动车组

动车组是带有可操纵动力的固定编组的列车组。带动力的车辆叫动车，不带动力的车辆叫拖车。动车组包含可操纵的动车和不同功能的拖车，以固定编组的方式运行。运行时不能解编；往返运行不需换头，只需改变操纵端；某些动车组允许重联运行。

动车组按动力类型，分为内燃动车组和电动车组。用内燃机作动力，通过电传动装置或液力传动装置的动车组，叫内燃动车组；由电气化铁路接触网供电，驱动牵引电动机的动车组，叫电动车组。世界上已运营的动车组绝大多数为电动车组，这主要是能源、环保、效率及高速的需要。

动车组按照牵引动力的分布方式，分为动力集中型和动力分散型。动力集中动车组的头尾两端为带司机室的动力车，中部为供旅客乘坐的车辆，称为拖车，也有一端为带司机室并

有坐席的可操纵的拖车。动力分散型动车组的头车、尾车和中部，全部或部分车辆带有动力，或部分转向架带有动力，头车和尾车除了带司机室外也有坐席。

动力分散型动车组的优点是：①动力装置分布在列车不同的位置上，能够实现较大的牵引，编组灵活；②由于采用动力制动的轮对多，制动效率高，且调速性能好，制动减速度大，适合于限速区段较多的线路；③列车中一节动车的牵引动力发生故障，对全列车的牵引力影响不大。动力分散型动车组的缺点是：牵引装置的数量多，总质量大。

动力集中型动车组的优点是，动力装置集中安装在2~3节车上，检查维修比较方便。缺点是动车的轴重较大，对线路不利。

动车技术的发展主要表现在以下方面：提高牵引制动功率和运行的速度与舒适性，降低单位功率质量，应用电子技术、微机控制和计算机网络技术等。

1.1.2 客车分类

铁路车辆按用途分为客车、货车及特殊用途车三大类。

主要用来运送旅客和为旅客服务的车辆称为客车。客车车体采用薄壁筒形结构，由底架、侧墙、车顶、外端墙和内端墙、门窗等组成。为了满足旅客旅行生活需要，车体内部一般设有坐卧设施、给水、车电、通风设施和空调取暖设施等。

根据用途客车可分类如下：

(1) 运送旅客的车辆

硬座车、软座车、硬卧车、软卧车、双层客车。

(2) 为旅客服务的车辆

餐车、行李车。

(3) 客车类特种用途的车辆

邮政车、公务车、卫生车、试验车等。

1.1.3 货车分类

主要用来装运货物的车辆称为货车。根据其用途分类如下：

(1) 通用货车 能够装卸多种货物，具有很好的适用性和通用性的车辆称为通用货车。通用货车有：棚车、平车、敞车。

(2) 专用货车 专供装运某些指定种类货物的车辆称为专用货车。专用货车有：罐车、保温车、集装箱车、大平车、毒品车、家畜车、散装水泥车、粮食车、特种车（如铺轨机车辆、长钢轨机组车辆等）。

(3) 货车类特种用途的车辆 主要有发电车、救援车、除雪车、检衡车、专用宿营车等专供铁路特种作业的车辆。

1.1.4 城际机车

城市轨道交通车辆主要指地铁车辆和轻轨车辆，是城市轨道交通工程中最重要装备。城市轨道交通车辆应具有先进性、可靠性和实用性，应满足容量大、安全、快速、舒适、美观和节能的要求。城市轨道交通车辆以地铁车辆为代表。地铁车辆按有无动力可分为两大类：第一类是拖车（T），即本身无动力牵引装置的车辆；第二类是动车（M），即本身装有动力牵

引装置的车辆，动车又分为带有受电弓的动车和不带受电弓的动车，由于动车本身带有动力牵引装置，因而兼有牵引和载客两大功能。地铁车辆在运营时一般采用动拖结合、固定编组，形成电动列车组。

最初，我国城市轨道交通车辆主要采用碳素钢作为车体材料，造价低，但车体自重大、易腐蚀、维修成本高。20 世纪 80 年代，耐腐蚀性能较好的耐候钢在国内地铁车辆上得到广泛应用。随着大型铝合金型材和焊接技术的成熟，铝合金及不锈钢轻型车体结构被大量应用。近年来，我国在引进不锈钢车体生产技术的基础上，自行设计、生产的 DKZ6 无涂装不锈钢地铁车辆，采用高强度不锈钢材料和轻量化结构设计，已成功运行。

我国在生产制造钢轮、钢轨车辆以外，还生产了单轨车辆、直线电动机车辆。首辆自主产权的 CFC -01 型中低速磁浮列车也已实地运行测试成功。

我国城市轨道交通车辆在引进、吸收、消化国际先进技术的同时进行创新，整列车辆的国产化生产取得很大成绩。国产地铁车辆的技术性能和技术水平都已接近和达到了国际先进水平。

1.2 轨道机车车辆冲压件分类

1.2.1 按结构特点分类

1. 转向架构件

转向架是轨道车辆的重要部件，列车在轨道上行驶时，车体与转向架之间、转向架与轨道之间会产生各种力和位移，转向架承受并传递这些力和位移，保证列车沿着轨道安全、可靠地运行。

转向架一般有动车转向架和拖车转向架两种，基本结构相同，主要区别在于驱动系统。动车转向架需要配置牵引电动机、齿轮箱、齿轮箱悬挂装置以及动力轮对等，这是动车转向架和拖车转向架的主要区别。

动车转向架结构如图 1-1 所示，一般由构架、轮对、轴箱、悬挂装置、制动装置、牵引装置、驱动系统组成。

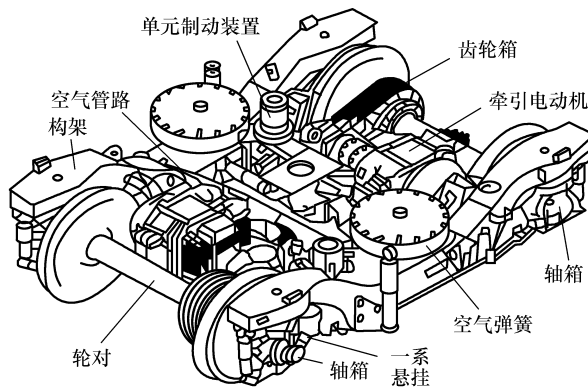


图 1-1 动车转向架

2. 车体构件

(1) 客车车体结构 (25 型客车车体) 图 1-2 为 1996 年以后生产的 25 型硬座客车车体钢结构, 由底架、侧墙、车顶和端墙四大钢结构部分, 焊接成一个上部为圆弧、下部为矩形的封闭壳体, 俗称薄壁筒形车体结构。封闭壳体的内面或外面用纵、横梁和立柱加强, 成为整体承载的合理结构。

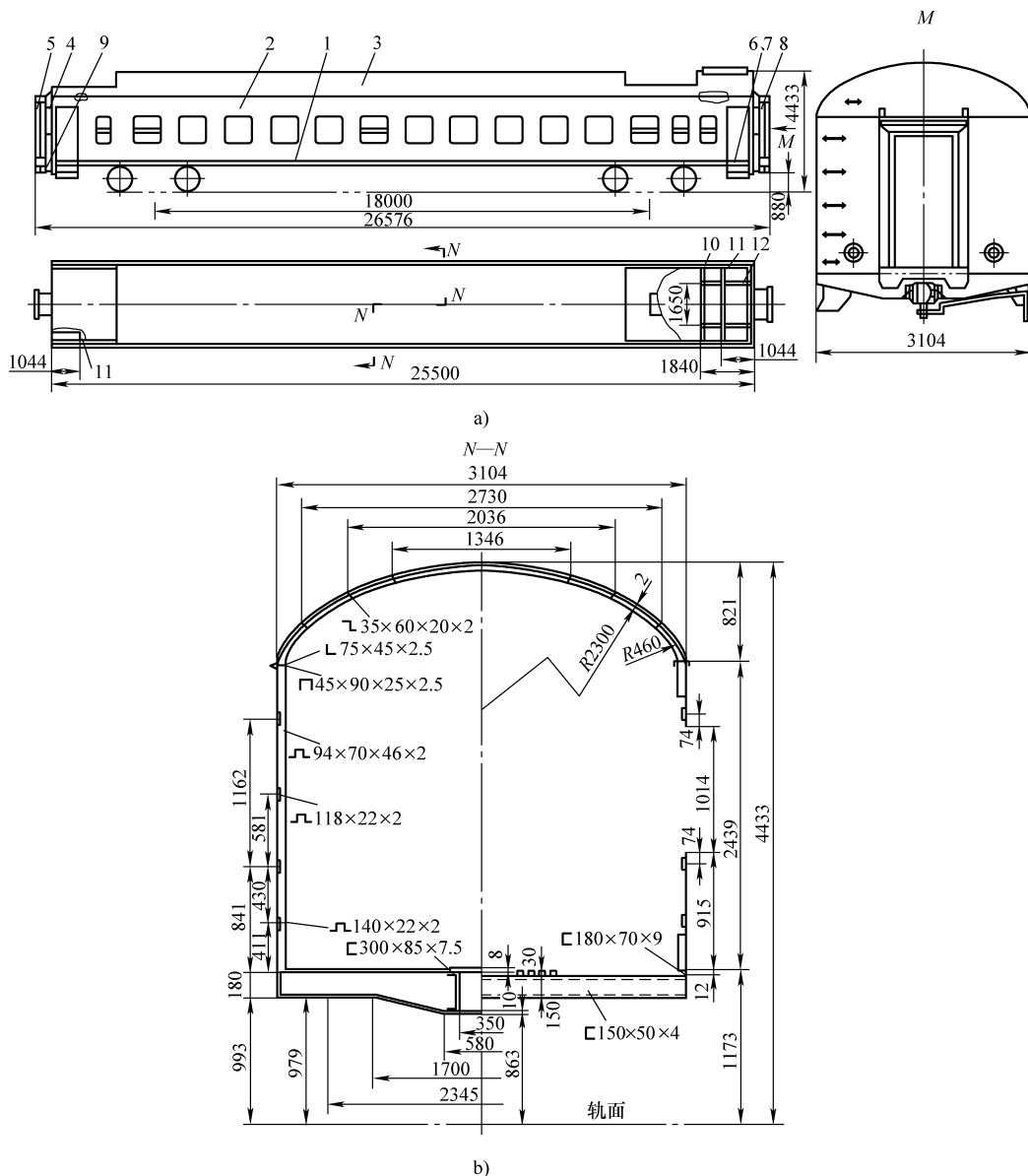


图 1-2 25 型硬座客车车体钢结构

- 1—底架钢结构 2—侧墙钢结构 3—车顶钢结构 4—端墙钢结构 5—风挡 6—四位翻板安装
7—二、三位翻板安装 8—脚蹬组成 9—钩缓装置 10—水箱横梁 11—横梁 12—水箱吊梁

1) 底架由牵引梁、枕梁缓冲梁、下围梁 (或称下侧梁), 枕梁间的纵向金属波纹地板,

及枕外金属平地板等组成。

2) 侧墙外表面为平板无压筋, 在平整的外墙板内侧焊有垂直立柱和水平纵向梁, 形成板梁式平面承载侧墙结构。

3) 车顶由上边梁、车顶弯梁、车顶纵向梁、空调机组安装座平台、水箱盖等组成钢骨架。在骨架的外面焊有车顶板, 共同组成车顶钢结构。

4) 端墙即客车车体钢结构的两外端, 通常称为外端墙。由型材和钢板及其他组件焊接而成。

(2) 货车车体结构 货车车体的一般钢结构如图 1-3 所示, 主要有底架、侧壁(墙)、端壁(墙)、车顶等部分, 由若干纵、横梁和立柱焊接而成。车体底架通过心盘和旁承被支承在转向架上。车体钢结构承担了作用在车体上的各种载荷。

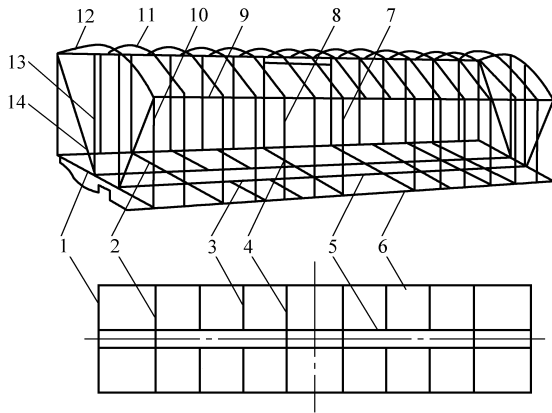


图 1-3 货车车体的一般结构形式

- 1—端梁 2—枕梁 3—小横梁 4—大横梁 5—中梁 6—侧梁 7—门柱
- 8—中间立柱 9—上侧梁 10—角柱 11—车顶弯梁
- 12—顶端弯梁 13—端柱 14—端斜撑

车体按其承载特点可分为底架承载结构、侧墙底架共同承载结构和整体承载结构三类。

(1) 底架承载结构 全部载荷均由底架来承担。因此, 底架的中梁和侧梁都制成中央断面比两端大的鱼腹形, 即为变截面近似等强度梁, 如图 1-4 所示。

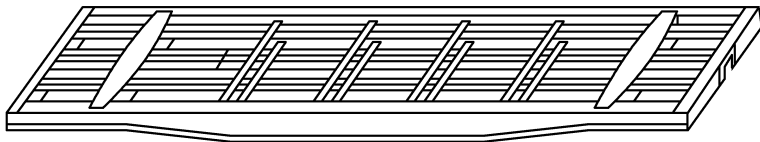


图 1-4 鱼腹形梁的底架结构

(2) 侧墙和底架共同承载结构 载荷由侧墙、端墙与底架共同承担。由于侧墙、端墙参与承载, 提高了车体的整体承载能力, 减轻了底架的负担, 于是中梁、侧梁断面均可减小。侧梁相对中梁来说, 可用断面尺寸较小的型钢制成, 减轻底架的重量。

(3) 整体承载结构 车体的底架、侧墙、端墙、车顶焊接成开口或闭口的箱形结构。整体承载结构的车体骨架是由很多轻便的纵、横梁和立柱组成一个个封闭框，与金属包板组焊在一起，具有较高的结构刚度和承载能力。

综上所述可以看出，客车、货车的车体构件，基本是由冲压件经焊接等工艺组合在一起，形成能载人或载货的车厢。

1.2.2 按工艺特点分类

轨道机车车辆冲压件按工艺特点，可分为分离类和变形类两大类冲压件。

1. 分离类冲压件

分离类冲压件主要包括冲裁（冲孔、落料）、切断、切口、切边、剖切等工序制成的工件或工序件，各工序的工件、模具和工艺特点简要如下（图 1-5）。

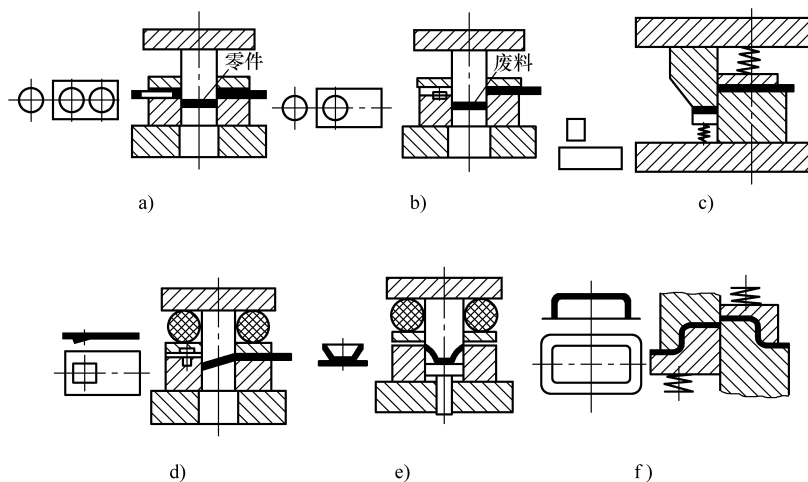


图 1-5 分离类工序及模具简图

a) 落料 b) 冲孔 c) 切断 d) 切口 e) 切边 f) 剖切

(1) 落料 用模具沿封闭轮廓线冲切板料，切下部分是工件，其工序简图及模具简图如图 1-5a 所示。

(2) 冲孔 用模具沿封闭轮廓线冲切板料，切下部分是废料，其工序简图及模具简图如图 1-5b 所示。

(3) 切断 用剪刀或用模具沿不封闭轮廓线分离，其工序简图及模具简图如图 1-5c 所示。

(4) 切口 用模具沿不封闭轮廓将部分板料切开并使其下弯，其工序简图及模简图如图 1-5d 所示。

(5) 切边 用模具将工件边缘的多余材料冲切下来，其工序简图及模具简图如图 1-5e 所示。

(6) 剖切 用模具将冲压成形的半成品切开成为两个或数个工件，其工序简图及模具简图如图 1-5f 所示。

2. 成形类冲压件

成形类冲压件工序主要包括弯曲、拉深、成形（起伏成形、翻边、缩口、胀形、整形）等制成的工件或工序件，各工序的工件、模具和工艺特点如图 1-6 所示。

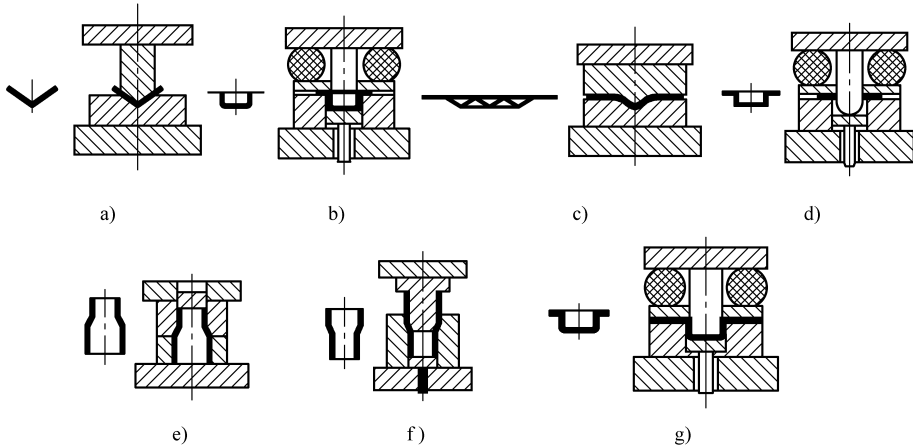


图 1-6 成形类工序及模具简图

a) 弯曲 b) 拉深 c) 起伏成形 d) 翻边 e) 缩口 f) 胀形 g) 整形

(1) 弯曲 用模具将板料弯成各种角度和形状，其工序简图及模具简图如图 1-6a 所示。

(2) 拉深 拉深是用模具将板料毛坯冲制成各种开口的空心件，其工序简图及模具简图如图 1-6b 所示。

(3) 起伏成形 用模具将板料毛坯拉深成凸起和凹进形状，其工序简图及模具简图如图 1-6c 所示。

(4) 翻边 用模具将板料上的孔或外缘翻成直壁，其工序简图及模具简图如图 1-6d 所示。

(5) 缩口 用模具使空心件或管状毛坯的径向尺寸缩小，其工序简图及模具简图如图 1-6e 所示。

(6) 胀形 用模具使空心件或管状毛坯向外扩张，使径向尺寸增大，其工序简图及模具简图如图 1-6f 所示。

(7) 整形 将翘曲的平板件压平或将成形件不准确的地方压成准确形状，其工序简图及模具简图如图 1-6g 所示。

1.3 轨道机车车辆冲压件材料

1.3.1 冷冲压材料的种类与一般要求

1. 冷冲压材料的种类

(1) 金属类 包括各种铁、钢、铜、铝及其合金。

(2) 非金属类 包括塑料、橡胶、纸板、皮革、毛毡、夹布胶板、夹纸胶板、云母片等。

(3) 坯料的类型 如卷料、棒料、管料、型材等。

2. 对冷冲压材料的一般要求

1) 良好的剪切性能。

2) 板料平整光洁, 无锈蚀、划伤、裂纹等缺陷, 厚度均匀一致。

3) 棒料、管料、型材平直, 截面尺寸稳定, 一致性好。表面光洁无机械损伤, 内部组织无晶粒和化学缺陷。

4) 硬度符合规定要求, 全面积、全长度内均匀一致。

5) 有一定的强度。

6) 对非冲裁成形的材料, 必须具有良好的塑性。

1.3.2 冲压件材料应用概况

轨道机车车辆对于材料的大体要求是具有一定的强度和刚度, 同时要耐腐蚀, 并且要进行轻量化设计, 因为轻量化能够大大节约制造用材、降低牵引力消耗和铁路线路的损耗。

目前, 轨道机车车辆材料已由碳素钢发展到耐候钢、不锈钢和铝合金。主要采用耐候钢和不锈钢。耐候钢是低合金高强度耐大气腐蚀钢的简称。

国产耐候钢比普通碳素钢有较高的耐腐蚀性。铜磷系耐候钢的耐腐蚀性, 一般相当于普通碳素钢的2倍左右, 在恶劣环境中相当于2~3倍; 铜磷铬镍系耐候钢的耐腐蚀性相当于普通碳素钢的2~3倍, 在恶劣环境中相当于3倍以上。客车车体用薄板较多, 常选用耐腐蚀性能较好的铜磷铬镍系耐候钢, 例如09CuPTiRE、08CuPVRE、09CuPRE、08CuP、WSPA(09CuPCrNi)、10CrNiCuP等。

不锈钢是铬或镍含量较高的合金钢。我国1987年开始采用奥氏体不锈钢制造客车。

铝合金具有轻量化和防腐蚀的优点, 车体承载结构使用铝合金可以大幅度减轻自重。目前国内外车辆制造中: 底架、框架采用焊接强度高的A7N01材料; 侧墙和端墙的外板、框架采用具有良好焊接性、耐腐蚀性和机械性能的A5083材料; 地板、顶板采用耐腐蚀性和工艺性好的A5005材料。在大型中空挤压型材中, 对材料的挤压性、焊接性、强度、刚度等都有综合性的要求, 可选用A6005A和A7003材料。

铝合金在我国车辆上的应用已经进入快速发展阶段, 铝合金材料在地铁车辆、城市轨道交通车辆、客车以及动车组制造中已经得到越来越广泛的应用。

1.4 轨道机车车辆冲压件模具

1.4.1 冲裁模具的典型结构

1. 采用剪切外形料的冲孔模

图1-7所示为冲孔零件(图a)及其模具结构简图(图b)。冲孔件为小批量生产, 采用剪切出外形的板料, 用模具冲孔的加工工艺。

模具为无导向简单冲孔模, 剪切好外形的坯料由凹模5上的3个定位销定位, 由上模1与

凹模 5 共同冲出圆孔，再由压缩后的聚氨酯 2 推动卸料板 4 将夹在上模 1 冲头上的零件推出。

此类模具结构简单，制造容易，成本低，但使用时模具间隙调整麻烦，冲件质量差，操作也不够安全，主要适用于精度要求不高、形状简单、批量小的冲裁件。

2. 采用剪切条料的落料模

图 1-8 为落料零件、排样图及其模具结构简图。工件为圆形零件，采用剪切条料，直接由模具落料而成。

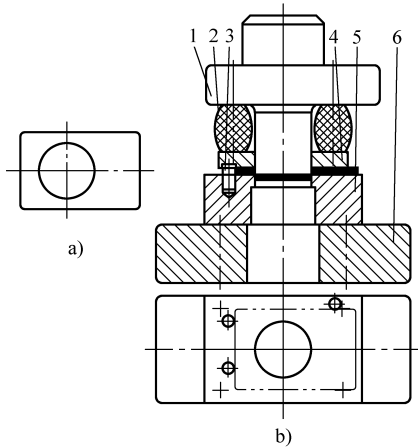


图 1-7 冲孔零件及其模具结构简图

a) 零件简图 b) 模具结构简图

1—上模 2—聚氨酯 3—定位销 4—卸料板
5—凹模 6—下模板

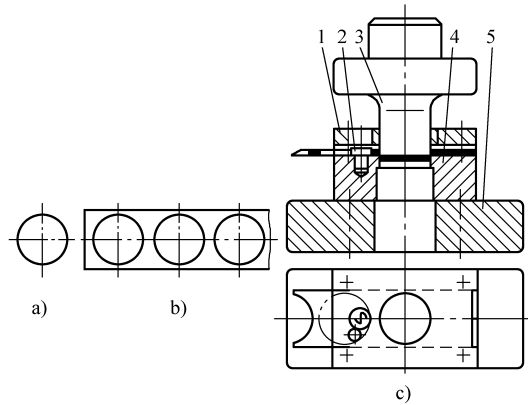


图 1-8 落料零件及其模具结构简图

a) 零件简图 b) 排样图 c) 模具结构简图

1—导板 2—圆柱销 3—凸模 4—凹模 5—下模板

模具为导板式落料模，凸模 3 工作部分与导板 1 以小间隙配合进行导向，一般对冲裁小于 0.8mm 厚的材料，选用 H6/h5 配合；对大于 3mm 厚的材料，选用 H8/h7 配合。导板 1 兼起卸料作用。冲裁时，要保证凸模始终不脱离导板，以保证凸模的导向精度，尤其对多凸模或小凸模，若离开了导板再进入导板时，凸模的锐利刃边易被碰损，同时也将啃坏板上的导向孔，从而影响到凸模的寿命，或使凸模与导板间的导向精度受到影响。

此类模具比无导向模具的精度要高，制造复杂，使用较安全，安装容易，要求压力机行程要小。一般用于形状简单、尺寸不大的冲裁件。对形状复杂、尺寸较大的零件，不宜采用这种结构形式。

3. 采用剪切条料的复合冲裁模

图 1-9 所示零件尺寸要求较高，采用剪切条料，通过复合冲裁模一次冲压加工出来。

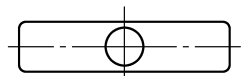


图 1-9 零件简图

采用的复合模有两种不同的结构，图 1-10 为倒装式复合模（落料凹模装于上模）结构简图，图 1-11 为正装式复合模结构简图。

图 1-10 所示的倒装式复合模，采用导柱 12 与导套 2 导向。冲裁前，卸料板 14 先将条料拖起高于凹模上平面；压力机的滑块下行，落料凹模 11 与卸料板 14 将条料压紧；滑块继续下行，落料凹模 11 将卸料板 14 压下，与凸模 9、凸凹模 13 共同作用，将零件形状冲出；滑块回程，卸料板 14 在聚氨酯 15 作用下将条料从凸凹模 13 上卸下，而打料杆 7 受到压力

机上的横杆推动，通过打料板 8、推杆 6 与卸料块 10，将零件从落料凹模 11 型腔中推出，零件落在凸凹模 13 上，冲孔废料则直接从凸凹模 13 的漏孔中经压力机工作台孔落下。

图 1-11 所示的正装式复合模，其工作过程与倒装式相似，冲出的零件借助压力机的下顶缸或弹性装置通过顶杆 14、卸料块 12，被从落料凹模 10 中顶出，冲孔废料则由压力机上的横杆通过打杆 8 推出，条料经由压缩的聚氨酯 4 推动卸料板 9 而被推出凸凹模 5。

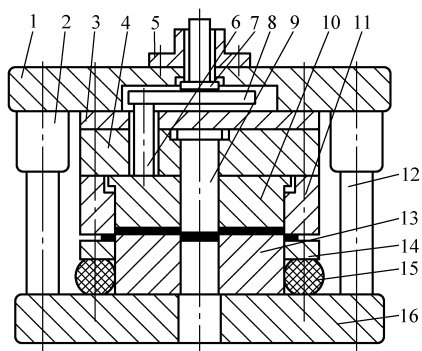


图 1-10 倒装式复合模结构简图

- 1—上模板 2—导套 3—垫板 4—固定板
5—模柄 6—推杆 7—打料杆 8—打料板
9—凸模 10—卸料块 11—落料凹模
12—导柱 13—凸凹模 14—卸料板
15—聚氨酯 16—下模板

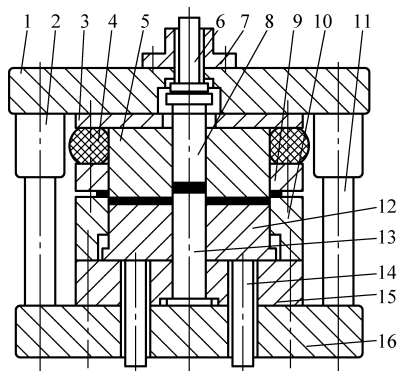


图 1-11 正装复合模结构简图

- 1—上模板 2—导套 3—垫板 4—聚氨酯
5—凸凹模 6—打料杆 7—模柄 8—打杆
9—卸料板 10—落料凹模 11—导柱
12—卸料块 13—凸模 14—顶杆
15—固定板 16—下模板

比较这两种模具的工作特点可以看出，倒装式复合模冲孔废料可以从压力机工作台孔中落下，工件从上模推下，比较容易取出，操作方便、安全，能保证较高的生产率，因此应优先采用。而正装式复合模，冲孔废料由上模带上，再由推料装置推出，工件则由下模的推件装置向上推出，条料由上模卸料装置推出，三者混杂在一起，一旦来不及排出废料或工件进行下一次冲压，就易崩裂模具刃口。然而，正装式复合模的卸料块、卸料板均是弹性的，条料与冲裁件在冲裁过程中同时受到压平作用，对于较软、较薄的冲裁件，能达到平整要求，冲裁件的精度也较高。而倒装式复合模中的卸料块是刚性的，刚性卸料块推件可靠，但在冲裁过程中，刚性卸料块对工件不起压平作用，故冲裁工件的平整度及尺寸精度比用弹性推料块要低些。

1.4.2 压弯模具的典型结构

1. 单面弯曲件压弯模

图 1-12 为单面弯曲件及其压弯模具结构简图，图 1-12a 所示工件除常用 V 形弯曲模外，也常用图 1-12b 所示的压弯模具。

单面压弯最容易出现的问题是坯料偏移，关键是在压弯过程中将坯料压紧。该压弯模具有坯料上的孔通过定位销 5 来定位和抗偏移，并通过压料板 6 和挡块 8 防止偏移，为防止凸模 3 与压料板 6 之间因压力力不足出现坯料偏移，生产中常将凸模 3 底面及压料板 6 顶面的表面粗糙度增大，或开设齿形或沟槽，以增大坯料在压弯时的偏移阻力。

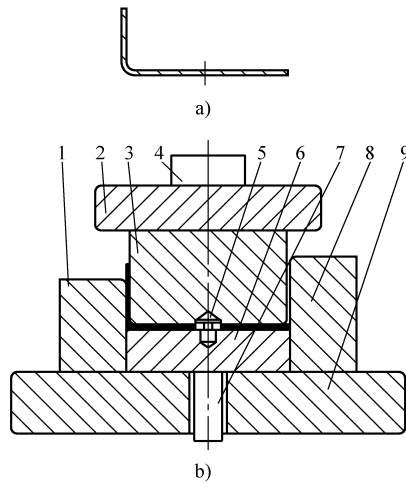


图 1-12 单面弯曲件及其压弯模具结构简图

a) 零件简图 b) 模具结构简图

1—凹模 2—上模板 3—凸模 4—模柄 5—定位销
6—压料板 7—顶杆 8—挡块 9—下模板

2. 单面弯曲件活动压弯模

图 1-13 为单面弯曲件及其活动压弯模具结构简图，图 1-13a 所示的弯曲件，弯曲面长而窄，两端有对称于折弯线的窄长翼面。这是一种形状较典型的折弯件。

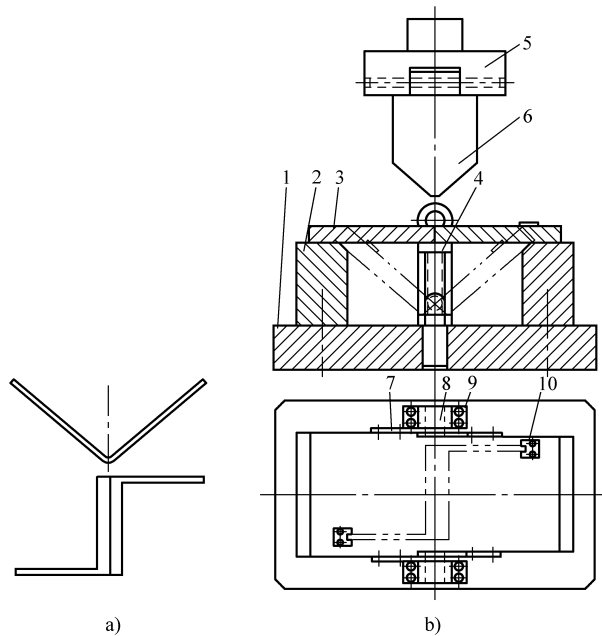


图 1-13 单面弯曲件及其活动压弯模具结构简图

a) 零件简图 b) 模具结构简图

1—下模板 2—靠板 3—活动凹模 4—弹性顶杆 5—模柄
6—凸模 7—铰链 8—销子 9—支架 10—定位块

采用的模具结构如图 1-13b 所示。弯曲前，活动凹模 3 由弹性顶杆 4 顶起展成平面，工件坯料置于该平面上，并由定位块 10 定位；弯曲时，凸模 6 首先压住坯料，凸模再下降时，迫使活动凹模 3 向内转动，并沿靠板 2 向下滑动，使坯料压成 V 形；凸模 6 回程时，弹性顶杆 4 使活动凹模 3 上升，由于凹模的两活动板通过铰链 7 和销子 8 铰接在一起，所以在上升的同时向外转动张开，回复到初始位置，支架 9 控制回程高度，使凹模的两活动板成一平面。

这种模具在弯曲工作过程中，毛坯与凹模始终保持大面积接触，毛坯在活动凹模上不产生相对滑动和偏移，因此，弯曲件表面不受损伤，工件质量较高，它适用于弯曲毛坯没有足够的定位支承面，窄长的形状复杂工件。

1.4.3 拉深模具的典型结构

1. 用于无凸缘圆筒件拉深的拉深模

图 1-14 为用于无凸缘圆筒件拉深的不带压边圈的拉深模结构简图。凹模 2 上平面的浅槽 D 为安置拉深毛坯用。

图 1-15 为用于无凸缘圆筒件拉深的带压边圈的拉深模结构简图。

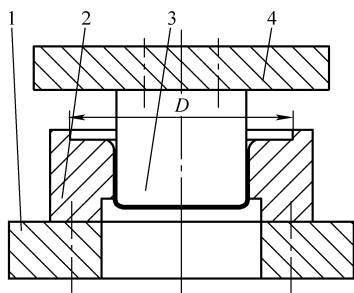


图 1-14 不带压边圈的拉深模结构简图

1—下模板 2—凹模 3—凸模 4—上模板

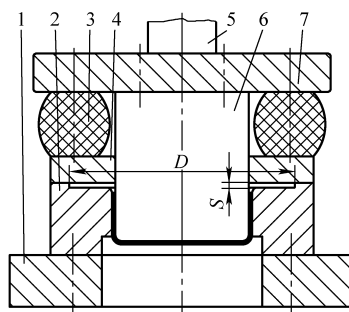


图 1-15 带压边圈的拉深模结构简图

1—下模板 2—凹模 3—聚氨酯块 4—压边圈
5—模柄 6—凸模 7—上模板

如图 1-15 所示，拉深好的零件直接从凹模孔中漏出。其中凹模 2 上平面的浅槽深度 S 应略大于拉深坯料料厚 t ，以保持压边均衡或防止压边圈将毛坯压得过紧。在拉深铝合金工件时， S 取 $1.1t$ ；拉深钢制工件， S 取 $1.2t$ ；拉深带凸缘的工件时， S 取 $t + (0.05 \sim 0.1) \text{mm}$ 。对拉深板料较薄或带有宽凸缘的零件，为防止压边圈将毛坯压得过紧，也可以采用如图 1-17a 所示的带限位装置的压边圈结构。

2. 带弧形压边圈的拉深模

图 1-16 所示的带弧形压边圈的模具结构，用于第一次拉深相对厚度 $(t/D \times 100)$ 小于 0.3，且有小凸缘和很大圆角半径的工件，坯料在凸、凹模间的悬空度大，采用平底压边圈的防皱效果并不理想，而采用弧形压边圈可增加压边的有效作用面积，防止压边圈过早失去作用。

对凸缘特别小或半球形工件，需加大压边力，在工艺上可增大凸缘面积，采用如图 1-17b 所示的带拉深筋的压边圈。

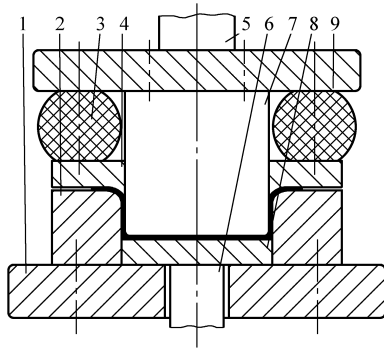


图 1-16 带弧形压边圈的模具结构简图
 1—下模板 2—凹模 3—聚氨酯块
 4—弧形压边圈 5—模柄 6—顶杆
 7—凸模 8—卸料板 9—上模板

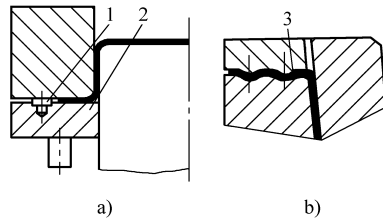


图 1-17 两种压边圈
 a) 带限位柱的压边圈结构 b) 带拉深筋的压边圈结构
 1—限位柱 2—压边圈 3—拉深筋

对一般的带凸缘拉深件，可采用图 1-15 所示的模具结构。若拉深宽凸缘工件，则应考虑减小压边圈与毛坯的接触面积。

3. 带限位柱和带拉深筋的压边圈

图 1-17 所示为带限位柱和带拉深筋的压边圈结构。带限位柱的压边圈（图 1-17a）可防止压边圈将毛坯压得过紧，带拉深筋的压边圈（图 1-17b）可增大压边力。

4. 用于带凸缘圆筒件拉深的双动拉深模

图 1-18 所示为带凸缘拉深件及其双动拉深模结构简图。拉深件如图 1-18a 所示，采用剪切条料由图 1-18b 所示的双动拉深模成形。

由图 1-18b 可见，条料经定位销 2 定位后，由压边圈 7 及下模座 1 共同作用实施落料后，拉深凸模 4 与拉深凹模 3、顶料块 6 共同将落料后的坯料拉深成形，最终由顶杆 5 带动顶料块 6 将拉深好的零件推出拉深凹模 3 的型腔。

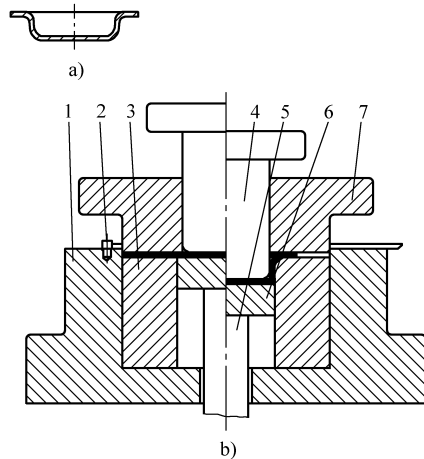


图 1-18 带凸缘拉深件及其双动拉深模结构简图
 a) 拉深件结构 b) 双动拉深模结构简图
 1—下模座 2—定位销 3—拉深凹模 4—拉深凸模
 5—顶杆 6—顶料块 7—压边圈

1.4.4 成形模具的典型结构

1. 用于圆筒件的胀形模

图 1-19 为圆筒件及其胀形模结构简图。圆筒件如图 1-19a 所示，要求在其直壁部分胀形，毛坯经拉深并修边后，采用如图 1-19b 所示模具进行机械式无凸模胀形。

由图 1-19b 可见，凹模分上、下两半，修边后的圆筒置于下巴模内并由其定位，冲压时，芯轴先插入毛坯内，毛坯在上、下巴模和中间芯轴夹持下被镦压，保证筒壁不会失稳，毛坯只有在中部空腔处胀形。

以聚氨酯橡胶作凸模，或以液体、橡胶、石蜡作为传压介质，也可实现零件的胀形。

2. 用于螺杆的搓丝模

图 1-20 为螺杆及其搓丝模结构简图，图 1-20a 所示为 M8 × 50 的螺杆，采用如图 1-20b 所示的搓丝模加工。

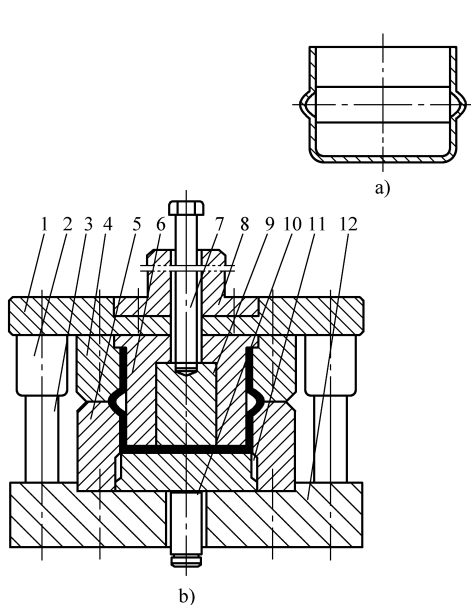


图 1-19 圆筒件及其胀形模具结构简图

a) 圆筒件简图 b) 模具结构简图

- 1—上模板 2—导套 3—导柱 4—上凹模
5—下凹模 6—芯轴 7—打料杆 8—模柄
9—推件块 10—顶杆 11—卸料块 12—下模板

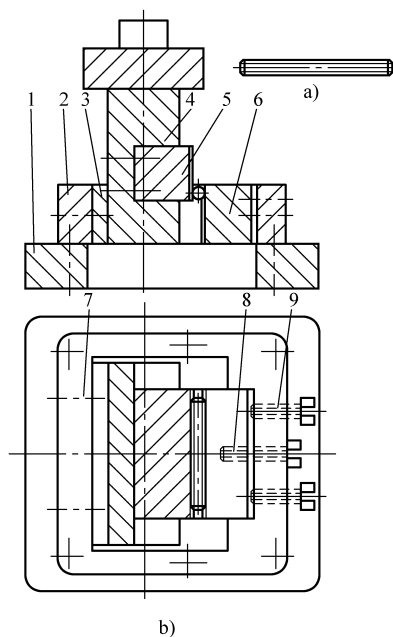


图 1-20 螺杆及其搓丝模结构简图

a) 螺杆简图 b) 搓丝模结构简图

- 1—下模板 2—固定座 3—衬板 4—固定板
5—活动搓丝板 6—固定搓丝板 7—连接螺钉
8—连接螺栓 9—调节螺栓

加工好的螺杆坯料定位于活动搓丝板与固定搓丝板之间，通过压力机滑块的移动，将螺纹加工出来。

固定搓丝板可由调节螺栓 9 调整，用连接螺栓 8 紧固。

1.5 轨道机车车辆冲压生产设备

用于冲压工艺过程的设备统称为冲压设备。冲压设备是为冲压工艺服务的。随着冲压工艺的需求变化和制造与控制技术的进步，冲压设备也在不断地丰富和发展。

1.5.1 常用冲压设备分类

按照冲压工艺过程，轨道车辆冲压生产常用设备可分为以下类型：板材、型材预处理类；板材下料类；板材切割类；板材校平、加工类；板材冲压类；型材下料、校直类。其中，板材冲压类和板材切割类设备，可视为冲压生产的主要设备，余者可视为次要设备，但

这些设备都是不可或缺的。

板材冲压设备是通过模具对金属（或非金属）坯料、半成品料进行压力加工（分离和成形），使之成为所需工件或工序件的设备。板材切割设备是以高能束流对金属（或非金属）坯料、半成品料进行切割（分离），使之成为所需工件或工序件的设备。

1.5.2 板材冲压设备

板材冲压设备主要有：机械压力机、液压机、数控步冲压力机、数控转塔冲床、板料折弯机、卷板机、拉弯机、冷弯成形机、震锤成形机等。

1. 机械压力机

机械压力机主要用于分离和成形工艺，在冲压生产中应用最为广泛。曲柄压力机是机械压力机的主要形式。

曲柄压力机按曲柄形式可分为曲拐轴式、曲轴式和偏心齿轮式。

1) 曲拐轴式压力机又称偏心压力机，其主轴为偏心轴，通过调整偏心套，可使压力机的滑块行程在一定范围内变化。此类压力机适用于中小型零件的冲裁和浅拉深，生产率较高。

2) 曲轴式压力机其主轴为曲轴，滑块行程不可调。此类压力机曲轴支承在机身两侧，机身承受的负荷均匀，公称力和滑块行程较大。

3) 偏心齿轮式压力机采用偏心齿轮代替曲轴，受力、刚性好于曲轴结构，适用于大、中型压力机。

压力机按机身结构形式，可分为开式压力机和闭式压力机。

1) 开式压力机机身结构呈C形，一般吨位较小（25~4000kN），台面尺寸较小，可三面接近工作台，使用方便，但结构刚性弱，工作时产生角变形。

2) 闭式压力机机身结构为框架形，结构刚性好，台面尺寸较大，吨位一般为1600~25000kN。

压力机按滑块上的曲柄施力点数，分有单点、双点和四点压力机。双点压力机台面宽，四点压力机台面左右宽前后也大，抗偏载能力也强。

压力机按对冲压材料的作用方式，分为单动压力机和双动压力机。双动压力机更适合拉深成形。

机械压力机的主要技术参数有：公称力、滑块行程、滑块行程次数、最大封闭高度、滑块底面尺寸、工作台垫板尺寸等。

2. 液压机

液压机主要用于成形工艺，如拉深成形、起伏成形、弯曲、翻边、整形等工序。

液压机按结构特点，分为单柱、四柱和框架式液压机。

单柱液压机为C形机身结构，一般吨位较小，台面较小，可三面接近工作台，使用方便，但结构刚性弱，工作时产生角变形。

四柱液压机是常见结构形式，能满足常规使用，造价较低，由于是立柱与螺母组合结构，其抗偏载能力、精度及精度保持性相对较弱。

框架液压机有整体框架、预应力组合框架、框板组合框架三种形式。框架液压机精度较高，抗偏载能力强。整体框架结构台面通常较小，组合框架结构台面可以较大。

四柱液压机、框架液压机的吨位范围很宽，可从数十吨到数千吨，甚至高达上万吨。

液压机有单缸、双缸、多缸，立式、卧式，上传动、下传动等多种构成方式，灵活多样，可以适应不同工艺需要。

液压机与压力机相比，主要有以下特点：

1) 由于是液压传动，液压机可以实现更高的吨位规格，可以实现更多样的工作曲线方式，液压机的压力、速度和行程可以随机调节，因此，液压机较之机械压力机，具有更宽的工艺适应性。

2) 由于是液压传动，流体的密封、传动的刚性、液压能的过渡过程转换，以及工作过程的稳定性和耐久性等，都存在一定的不足之处，与机械压力机相比，在滑块行程次数、使用可靠性方面，有一定差距。

3) 一般而言，液压机更适合成形，尤其是深拉深和厚板成形，机械压力机则更适合分离和浅成形，以及要求生产率较高的使用场合。

3. 数控步冲压力机

数控步冲机是利用数控技术对板料进行步冲的压力机。被冲板料固定在工作台上，按规定程序移动和定位，冲孔模具安装在压力机模座内，采用单次或步冲冲裁工作方式，适合多品种、小批量生产。

数控步冲压力机有以下特点：①采用高精度滚珠丝杠和滚动导轨，具有较高的运动精度和可靠性；②压力机采用了数控系统，能自动完成冲压工作；③定位精度一般在 $\pm 0.15\text{mm}$ ，最高可达 $\pm (0.05 \sim 0.07)\text{mm}$ ；④与普通冲孔相比，可提高生产率4~10倍；⑤生产准备周期短，工人劳动强度低，节省生产占地面积。

4. 数控转塔冲床

数控转塔冲床是一种高效、精密的板材冲压设备。在转塔冲床的滑块和工作台之间，有一对可储存多套模具的转盘。被加工板料由夹钳夹持，在上、下转盘之间按输入指令沿X、Y轴方向移动。冲床的冲压动作、模具选择、板料移动等均由数控装置进行控制。可以完成冲孔、压窝、翻边、冲百叶窗等工序。具有公称力小、效率高、精度高、柔性化、安全可靠等特点，适合多品种、小批量、复杂件的生产。

转塔冲床与步冲机的主要差别是模具存储方式。步冲机的滑块与工作台之间在垂直方向上只能容纳一套（或几套）模具，而在转塔冲床的转盘中可容纳数十套模具，且能快速自动更换。

5. 板料折弯机

板料折弯机是用简单的通用模具对板料进行各种角度的直线弯曲，是使用最广泛的一种弯曲设备。板料折弯机操作简单，模具成本低，更换方便，机器本身只作上下往复直线运动。常用折弯机有机械式、液压式和数控液压式。

(1) 机械板料折弯机 机械板料折弯机的结构特征及工作原理与机械压力机相同，也是采用曲柄连杆机构将电动机的旋转运动变为滑块的往复运动。

机械折弯机的优点是滑块与工作台的平行精度高，能承受偏载。但是随着液压折弯机的发展，这些优点已不明显。

机械折弯机的缺点是：①行程和速度不能调整；②滑块在大部分行程里达不到公称力；③运行前要对机器的封闭高度进行仔细调整；④难以实现数控化和自动化操作。

由于机械折弯机的滑块速度不能调节,折弯速度高会给操作者带来危险,容易造成人身事故。折弯大的薄板时,板料会产生弯曲回弹,从而影响零件的形状和精度。随着液压技术和液压折弯机的迅速发展,液压折弯机已成为板料折弯设备的主流,机械折弯机已退出折弯机械领域。

(2) 液压板料折弯机 液压板料折弯机是采用液压直接驱动,液压系统能在整个行程中对板料施加全压力,过载能自动保护,且易实现自动控制。与机械折弯机相比,液压折弯机具有明显的优点:①具有过载保护,不会损坏模具和机器;②容易实现数控,调节行程、压力、速度简单方便;③在行程的任何一点都可产生最大压力;④可实现快速趋近、慢速折弯,可任意调整行程转换点。

(3) 数控板料折弯机 从20世纪80年代中期以来,折弯机向着数控方向迅速发展。板料折弯机采用数控后可节省调整时间20%~70%、操作时间20%~50%、检查时间30%~45%,减少劳动力20%~30%,并且提高了弯曲质量,降低了废品率。

数控折弯机有以下优点:①可以实现折弯挠度补偿及折弯数控编程,折弯精度高且整批零件的精度一致;②多道折弯工序可在一台设备上完成,减少了半成品的生产;③折弯数据便于修正和存储,缩短了生产准备时间,操作简便,降低了对操作人员的技能要求。

6. 卷板机

卷板机是将金属板材卷弯成筒形、弧形或其他形状工件的通用设备,分为三辊及四辊卷板机。三辊卷板机可以实现板材预弯功能,根据预弯功能调整方式的不同分为上辊万能调整及下辊水平移动两种;四辊卷板机可以实现板材预弯及全数控自动操作功能,相对三辊卷板机具有较高的卷制效率和精度。

卷板机在轨道机车车辆的冲压件生产中有较多应用。

7. 拉弯机

拉弯成形是一定形状的挤压型材或板弯型材,在专用设备和模具上弯曲成形,同时在毛坯料上施加轴向拉力和弯矩的成形方法。在轨道客车上使用了多种类型的拉弯成形件。

轨道客车用拉弯成形设备为张臂式拉弯机,分卧式、立式两类,均为液压传动。立式拉弯机机型较老,其液压传动为普通开关型控制。卧式数控拉弯机采用现代电液比例控制技术,拉弯过程可实现力学模式和位移模式控制。

8. 冷弯成形机

辊式冷弯成形是以金属带卷为原料,通过多架型辊机组对坯料逐步弯曲成形,从而得到一定截面形状的长条形零件的塑性成形方法。辊式冷弯成形的优点是构件重量轻、生产效率高、节省材料和能源。可利用卷料进行连续生产,特别适合长形大件的制造。

在轨道车辆中大量使用的型材,就是以辊式冷弯成形为主要方式生产的。

冷弯成形设备通常是由开卷机、校平机、成形机组、校正装置、切断装置和出料台组成的生产线。

9. 震锤成形机

震锤成形是利用震锤机的特殊模具和高频锤击,通过人工操作,可对板材或型材进行挤压、拉伸、拱顶、压平、整形,或使之展平、伸直等,逐步地得到预期的零件形状。震锤成形不产生切削和热量,成形稳定,无需专用模具,制造成本低,使用方便灵活,尤其适合多品种、小批量、人工化的冲压生产,在轨道客车冲压件制造中有所应用。

1.5.3 板材切割设备

板材切割设备主要有数控火焰/等离子切割机、数控激光切割机及数控磨料水射流切割机。

等离子、激光、磨料水射流均为高能束流，具有对物料进行能量集束作用的特性，通过高能束流与物料表面保持特定距离下的相对移动，可以实现物料的切割分离。等离子、激光切割为热切割，磨料水射流切割为冷切割，它们互为补充，共同成为了板材（含管材）切割的主流技术。

等离子、激光、磨料水射流切割都是点切割，具有以下相同的特点：①可以作为单点刀具，易于实现数控（NC）、计算机数控（CNC）自动化，且易于结合到柔性加工系统（FMS）中。②为无接触加工，不需要昂贵的模具。③能够进行全方位切割和复杂、细微形状切割。④编程简便，可群组排样，切割产能高。⑤减少加工工序或后序切削量。⑥切割力小，夹具简单，可从材料边缘起切。⑦对多种材料有高的切割速度。⑧切割质量高，切缝窄。⑨运动控制系统与执行机构相似，一定条件下可通用，执行机构可以是单轴、双轴或多轴。

一般而言，激光切割精度最高，等离子切割能力最强。磨料水射流更适合切割中等厚度形状复杂的非铁金属、热敏材料、非金属脆性材料等，以及不适合激光、等离子切割的材料与环境。

在轨道车辆生产中这三种切割设备都有大量应用。

1.5.4 其他常用设备

1. 板材、型材预处理设备

主要有板料与型钢预处理线；钢板开平、预处理线。

2. 板材下料设备

主要有钢板开平、横剪、纵剪线；剪板机（含机械剪板机、简易数控剪板机、数控剪切中心）。

3. 板材校平、加工设备

主要有板材校平机、铣边机/刨边及滚剪倒角机、自行式坡口机。

4. 型材下料、校直设备

主要有高速带锯、液压校直机。

1.6 轨道机车车辆冲压工艺过程

轨道机车车辆冲压件的生产过程包括：坯料准备、冲压工艺过程和其他必要的辅助工序。

冲压工艺文件一般指冲压工艺过程卡片，是模具设计以及指导冲压生产工艺过程的依据。冲压工艺过程的优劣，决定了冲压件的质量和成本。制定冲压工艺过程是一项十分重要的工作。

1.6.1 冲压工艺设计的主要内容及依据

1. 冲压工艺设计的主要内容

冲压工艺设计是针对具体冲压件，从其产量、材料、结构形状、尺寸精度等方面，进行冲压工艺性审查，并根据具体生产条件，制定出技术经济性好的冲压工艺方案。主要包括冲压件工艺分析和冲压工艺方案制定两大方面的内容。

2. 冲压工艺设计的原始依据

(1) 冲压件的零件图及其技术要求 冲压件零件图对冲压件的结构形状、尺寸、精度要求及有关技术条件作出了明确的规定，是制定冲压工艺过程的主要依据。

(2) 冲压件的生产批量及定型程度 是制定冲压工艺过程中必须要考虑的重要内容，直接影响成形方法与模具类型的确定。

(3) 冲压件原材料规格、性能及供应状况 冲压件原材料规格是确定坯料形式和下料方式的依据，材料性能及供应状态对确定冲压件变形程度与工序数量、计算冲压力、是否需热处理等都有重要影响。

(4) 工厂现有的冲压设备 它们的类型、规格、自动化程度等，是确定工序组合、选择各工序压力机规格、确定模具类型的主要依据。

(5) 工厂现有的模具制造条件 决定了模具制造能力，从而影响工序组合程度、模具结构与精度的确定。

(6) 有关技术标准、技术资料与手册 要充分利用与冲压有关的技术标准、技术资料与手册，以简化设计过程、缩短设计周期、提高工作效率。

1.6.2 冲压件工艺性分析

1. 冲压工艺性概念

冲压工艺性是指冲压件对冲压工艺的适应程度，即冲压件的结构形状、尺寸大小、精度要求及所用材料等方面是否符合冲压加工的工艺要求。冲压工艺性既表征了冲压加工方法所达到的加工程度，又表征了零件冲压加工的难易程度。良好的冲压工艺性，可保证材料消耗少，工序数目少，模具结构简单，产品质量稳定，成本低，还能使技术准备工作和生产的组织管理做到经济合理。冲压工艺性分析的目的就是了解冲件加工的难易，为制定冲压工艺方案奠定基础。

2. 冲压件零件图是重要依据

冲压件零件图是进行工艺分析和制定工艺方案的重要依据。可以根据冲压件零件图，分析研究其形状、尺寸、精度、材料、冲压成形性等对冲压加工难易程度的影响，产生回弹、畸变、翘曲、歪扭，偏移等质量问题的可能性。特别要注意零件的极限尺寸（如最小孔间距和孔边距、窄槽的最小宽度、冲孔最小尺寸、最小弯曲半径、最小拉深圆角半径），以及尺寸公差、设计基准等是否适合冲压工艺要求。若发现冲压件的工艺性很差，则应与产品设计人员协商，在不影响产品使用要求的前提下，做出适合冲压工艺性的修改。

1.6.3 冲压工艺方案制定

制定冲压工艺方案，主要是确定冲压工序的性质、数量、顺序和组合方式。冲压工序方

案是冲压工艺过程的主要内容,要综合考虑各方面因素,进行必要的工艺计算。通常应拟定出几套可能的冲压工艺方案,进行分析、比较和最终确定。

1. 冲压工序性质的确定

冲压工序性质是指冲压工序的种类。如分离工序中的冲孔、落料、切边,成形工序中的弯曲、翻边、拉深等。工序性质由多种因素决定,通常可从以下两方面考虑。

(1) 一般的从零件图上直观确定 如平板状零件,常用冲孔、落料等冲裁工序;弯曲件常采用落料、弯曲工序;拉深件常用落料、拉深、切边等工序;各类开口空心件一般采用落料、拉深、切边工序;对于胀形件、翻边(翻孔)件和缩口件,如能一次成形,都是由冲裁或拉深工序制出坯料后,直接采用相应的胀形、翻边(翻孔)、缩口工序成形。

(2) 个别的通过工艺计算或分析确定 有的冲压件一次成形的变形程度较大,有的冲压件精度、变薄量、表面质量等要求较高,都需要通过相关的工艺计算或分析后才能确定其工序性质。

2. 冲压工序数量的确定

冲压工序数量是指冲压件所需工序数(包括辅助工序数)的总和。广义上是指整个冲压加工的全部工序数,狭义上是指同一性质工序重复进行的次数。工序数量由多种因素决定,确定的原则是:在保证质量的前提下工序数量尽可能地少。应考虑到以下的问题:

(1) 生产批量的大小 大批量生产时,尽量合并工序,采用复合冲压或级进冲压,以提高效率,降低成本。中小批量生产时,采用单工序简单模或复合模,也可采用相应的简易模具,以降低模具制造费用。

(2) 零件精度的要求 如对平板冲裁件在冲裁后增加一道整修工序,是为了满足其断面质量和尺寸精度的较高要求;当其表面平面度要求较高时,还需在冲裁后增加一道校平工序。再如,对拉深件增加整形或精整工序,也是为了满足其圆角半径较小或径向尺寸精度要求较高的需要。这虽然增加了工序数量,但却是保证工件精度要求必不可少的工序。

(3) 工厂现有的制模条件和冲压设备情况 为了确保确定的工序数量,所采用的模具结构和精度要求,必须与工厂现有制模条件相适应。如多工序复合会使模具结构变得复杂,加工及装配要求也随之提高,工厂的制模条件要能满足这些要求。

(4) 工艺的稳定性 影响工艺稳定性的因素较多,如原材料的力学性能及厚度波动、模具的制造误差、模具的调整、润滑条件、设备精度等。在确定工序数量时,适当降低冲压工序中的变形程度,避免在接近极限变形状态下进行冲压加工,是提高冲压工艺稳定性的主要措施。另外,适当增加某些附加工序,如冲制工艺孔作为定位孔,冲制变形减轻孔以转移变形区等,都是提高工艺稳定性的有效措施。

3. 冲压顺序的确定

冲压顺序是指冲压生产中各道工序的先后次序。冲压件的冲压顺序,主要取决于冲压变形规律和零件质量要求,可按下列原则确定。

1) 冲压顺序应保证每道工序的变形区为相对弱区,非变形区为相对强区。当冲压过程中坯料上的强区与弱区对比不明显时,对零件上有公差要求的部位应在成形后冲出。

2) 在成形工序得到的符合零件图要求的部分,在以后各道工序中不得再发生变形。

3) 对带孔或有缺口的冲压件,选用单工序模时,通常先落料再冲孔或缺口;选用连续模时,则落料安排为最后工序。

4) 对带孔的弯曲件, 一般情况下, 可先冲孔后弯曲, 以简化模具结构。当孔位于弯曲变形区或接近变形区及孔与基准面有要求时, 则应先弯曲后冲孔。

5) 对带孔的拉深件, 一般先拉深后冲孔。当孔的位置在工件底部且孔的尺寸精度要求不高时, 可以先冲孔再拉深。

6) 对多角弯曲件, 应从材料变形影响和弯曲时材料的偏移趋势, 安排弯曲的顺序, 一般先弯外角后弯内角。

7) 对复杂的旋转体拉深件, 一般先拉深大尺寸的外形, 后拉深小尺寸的内形。对复杂的非旋转体拉深件, 应先拉深小尺寸的内形, 后拉深大尺寸的外形。

8) 整形、校平、切边等工序, 应安排在基本成形以后。

4. 工序组合方式的选择

工序组合是指把多道工序合为一道工序, 用连续模或复合模进行生产。冲压件一般需经多道工序完成, 制定冲压工艺方案时, 须考虑是用单工序模分散冲压, 还是将工序组合起来用复合模或级进模冲压。一般来说, 生产批量大时应尽量采用工序组合方式, 以提高生产率、降低成本; 生产批量小时, 宜采用结构简单、造价低的单工序模, 以缩短制模周期、提高经济效益。

5. 工序定位基准与定位方式的选择

工序定位是使坯料或工序件在各自工序的模具中占有确定位置。合理地选择定位基准和定位方式, 是保证冲压件质量与尺寸精度的基本条件, 对稳定冲压过程、方便操作及安全生产也有直接影响。

(1) 定位基准的选择 定位基准的选择应遵循以下原则:

1) 基准重合原则。就是尽量使工艺定位基准与零件设计基准相重合。基准重合时定位误差接近于零, 可避免繁琐的工艺尺寸链计算和由此产生的误差。

2) 基准统一原则。是指用多工序在不同模具上分散冲压时, 应尽量使各工序都用同一个定位基准。这样, 可消除由不同定位基准引起的多次定位误差, 提高零件尺寸精度, 又能保证各模具上的定位零件一致, 简化了模具的设计与制造。

3) 基准可靠原则。定位基准可靠利于保证冲压件的质量稳定。要做到基准可靠, 所选择的定位基面的位置、尺寸和形状, 都必须具有较高精度, 而且在冲压过程中, 基准面最好不参与冲压变形和作为工件移动表面。

(2) 定位方式的选择 可分为孔定位、平面定位和形体定位三种方式。零件的结构形状不同, 其定位方式也不相同。通常, 在选择定位方式时, 必须考虑定位的可靠性与方向, 操作方便安全。

6. 冲压工序件的形状与尺寸

每个冲压件可分成已成形成部分和待成形部分, 前者与成品零件相同, 在后序中应作为强区不再变形; 后者与成品零件不同, 在后续工序中应作为弱区有待继续变形, 是过渡性的。冲压工序件是毛坯与成品间的过渡件, 其形状与尺寸对每道冲压工序的成败和冲压件的质量具有重要影响, 必须满足冲压变形的要求。一般来说, 工序件形状与尺寸的确定应遵循下述基本原则:

1) 工序件尺寸应根据冲压工序的极限变形参数确定。例如, 多次拉深时每道工序的工序件拉深直径, 多次缩口时各道工序的半成品缩口直径, 在平板或拉深件底部冲孔翻边时的

预冲孔直径，都应分别根据极限拉深系数、极限缩口系数和极限翻边系数来确定。

2) 工序件尺寸应保证冲压变形时金属的合理分配与转移。一方面应注意，工序件上的已成形部分，在以后各道工序中不能产生任何变动；另一方面应注意，工序件上的待成形部分，在以后的各道工序中都必须各自范围内，进行材料的分配与转移。

3) 工序件的形状与尺寸应有利于下道工序的冲压成形。一方面应注意工序件要能起到储料的作用，另一方面工序件的形状应具有较强的抗失稳能力。尤其对曲面形状零件拉深时，常常把工序件做成具有较强抗失稳能力的形状，以防下道拉深时发生起皱。

4) 工序件的形状与尺寸应有利于保证冲压件的表面质量。例如，多次拉深的工序件圆角半径（凸、凹模的圆角半径）都不宜取得过小；拉深深锥形件，采用阶梯形状过渡，所得的锥形件壁厚不均匀，表面会留有明显的印痕，尤其当阶梯处的圆角半径取得较小时，工件表面质量更差，而采用锥面逐步成形或锥面一次成形，则能获得较好的成形效果。

5) 工序件的形状与尺寸应能满足模具强度和定位方便的要求。

1.6.4 有关工艺计算

工艺方案确定后，需要对各道冲压工序进行工艺计算，主要内容包括：

1. 确定排样与裁板方案

要进行排样论证，目的是为了画出正确的模具排样图。一个较好的排样方案必须兼顾冲压件的公差等级、生产批量和材料利用率等因素。如对月产量为3000件的中等批量的生产类型，以单斜排、一模一件、级进排样方案为宜；提高原材料利用率，不能以大幅提高冲裁模结构的复杂程度为代价。

2. 确定各工序件的形状与尺寸

冲压工序件是坯料与成品零件的过渡件。对于冲裁件或成形工序少的冲压件，工艺过程确定后，工序件的形状与尺寸就已确定。而对于形状复杂、需要多工序成形的冲压件，其工序件形状与尺寸的确定需要注意：根据极限变形参数确定工序件尺寸；工序件的形状和尺寸应有利于下一道工序的成形；工序件各部位的形状和尺寸必须按等面积原则确定；工序件形状和尺寸必须考虑成形后零件表面的质量。

3. 计算各工序冲压力

根据冲压工艺方案，初步确定各冲压工序所用冲压模具的结构方案（如卸料与压料方式、推件与顶件方式等），计算各冲压工序的变形力、卸料力、压料力、推件力、顶件力等。对于非对称形状的冲压和级进冲压，还需要计算压力中心。

1.6.5 模具设计

模具设计包括模具结构形式的选择与设计、模具结构参数计算、模具图绘制等内容。

1. 模具结构形式的选择与设计

根据拟定的工艺方案和冲压件的形状特点、尺寸大小、精度要求、生产批量，模具的加工条件及操作方便、使用安全等要求，选定与设计冲模的结构形式。

2. 模具结构参数计算

确定模具结构形式后，需要计算或校核模具构件的有关参数，如模具工作部分（凸、凹模等）的几何尺寸、模具零件的强度与刚度、模具运动部件的运动参数、模具与设备之

间的安装尺寸，选用和核算弹性元件等。

3. 绘制模具图

(1) 模具总装配图 总装配图主要反映整个模具各零件间的装配关系，包括主视图、俯视图、侧视图及局部视图等，此外还有工件图、排样图和零件明细表等。图中应标注的尺寸是：模具闭合尺寸、模架外形尺寸、模柄直径尺寸等，不应标注的尺寸是：几公差和配合尺寸以及上述规定以外的尺寸。

1) 主视图。按冲模正对操作者方向绘制，采用剖视图画法（或局部剖视图画法）。一般为模具在闭合状态下绘制，在上下模间有一完成的冲压件，断面涂黑或红色。按模具的习惯画法，常将模具中心线的右边画成模具闭合位置，也可以全部绘制为闭合位置。

2) 俯视图。放在图纸左下方，与主视图相对应。按习惯画法，常将上模拿掉或拿掉一半（左边）而绘制。俯视图上冲压件和排样图的轮廓用双点画线绘制。侧视图、仰视图及局部视图等，可选择绘制，达到完全清楚表达所有零件位置及尺寸的目的为佳。

3) 工件图。工件图通常画在总图右上角，对于由数套模具完成的工件，则还需绘出前工序的工件图（前工序图画在工件图的左边），注明材料、规格，冲压件的尺寸、公差及冲压方向。

4) 排样图。绘出坯料排样情况，对于连续模最好能画出工序图，画在总图里工件图的下面，注明条料宽度、公差、步距及搭边值。

5) 标题栏和零件明细表。内容包括零件的件号、名称、图号、数量、材料、热处理要求及标准件的代号、规格、备注等。

6) 技术要求及说明。内容包括：凸、凹模间隙，模具闭合高度，所选的模架型号，压力机型号（或吨位）等，还包括模具结构特点及工作时的特殊要求等。

(2) 模具零件图的绘制 绘制除模架和标准件以外的所有零件图。要标注全部尺寸、公差与配合、表面粗糙度、形位公差、材料、热处理及其他技术要求。模具零件在图中的方向，尽量按其装配图中的方向画出，不要随意旋转或颠倒。对于凸、凹模的配作加工，其配制尺寸可不标公差，仅在标称尺寸右上角标“*”，而在技术要求中说明，标“*”按凸、凹模配作加工并保证间隙值应为多少。

1.6.6 冲压设备选择

冲压设备选择是工艺设计中的一项重要内容，直接关系到设备使用、产品质量、模具寿命、生产的效率与成本等。设备选择主要包括设备类型和设备规格两个方面。

1. 冲压设备类型的选择

主要取决于冲压工艺要求和生产批量。设备类型选定后，应进一步根据冲压工艺力（包括卸料力、压力力等）、变形功、模具闭合高度和模板平面轮廓尺寸等，确定设备规格。

2. 冲压设备规格的选择

设备规格主要是指压力机的公称力、滑块行程、装模高度、工作台面尺寸及滑块模柄孔尺寸等技术参数。设备规格的选择与模具设计关系密切，必须使设计的模具与所选设备的规格相适应。

1.6.7 冲压工艺文件制定

冲压工艺文件主要是冲压工艺过程卡和工序卡。冲压工艺过程卡，是表明冲压零件在整

个冲压过程中的相关内容,主要包括工序号、工序名称、工序内容、工序草图(加工图)、工艺装备、设备型号、材料牌号与规格等;而工序卡则是表明每一工序的具体内容。对大批量生产的冲压零件,需要制定每个零件的工艺过程卡和工序卡;对中小批量生产的冲压零件,一般只需制定工艺过程卡。冲压工艺过程卡,是指导生产正常进行的重要技术文件,起着生产过程的组织管理、计划调度、工序协调及工时定额核算等作用。

1.7 轨道机车车辆冲压技术发展趋势

1. 推广应用数字化成形技术

国内企业在设计制造的核心技术方面与工业发达国家的同类企业存在较大差距,在板材冲压成形数字化技术研究与应用方面尤为明显,主要表现在以下两个方面:

(1) 成形件的设计缺乏合理的制造工艺性 在企业中,经常会出现的瓶颈问题是:图样上的板材冲压成形产品不能或难以按设计要求制造出来,或不得不用很大的投入、很高的成本才得以完成。其主要原因是产品的结构设计缺乏合理的制造工艺性。工艺性不合理的产品设计属于先天不足,在生产过程中进行质量和成本控制均无济于事。

(2) 工艺分析和模具设计严重依赖于经验 由于对板材冲压成形数字化技术研究与应用相对滞后,不得不依靠传统的经验和试错方式来解决板材成形中所遇到的各种问题。如失稳起皱、屈服开裂、表面划伤等问题,都是在模具设计制造出来后,需要经过反复试模调整来加以解决,造成了大量人力物力财力的浪费,并且无法满足新产品要求的研制周期。

日益成熟与推广的 CAD、CAE 技术,已成为产品制造业最有潜力的设计和模拟工具,为冲压成形技术实现数字化提供了核心技术基础。CAE 技术的成熟应用,可以改变传统的解决板材成形问题的方式,尤其是解决某些关键质量问题。通过量化的数值模拟分析,可对零件的冲压工艺性,对原材料的成形性能参数,对工艺条件、模具结构等诸多影响成形的因素,作出科学的评价并指导改进相关的技术措施,使冲压工艺方案和模具设计有了科学的预见性。

2. 采用新材料、新工艺

由于轨道机车车辆的特殊性,其冲压成形件不同于其他行业,有以下特点:要适应恶劣环境要求,板材以高强度耐大气腐蚀钢为主,为屈服强度等级在 350MPa 以上的耐候钢或不锈钢;要适应较高载荷要求,板材一般以中厚板为主;成形件的外形尺寸偏大,成形力大。

近年来,在 70t 级以上货车新产品中,已开始大范围推广应用 Q450NQR1 高强耐候钢和 TCS345 的超低碳铁素体不锈钢;已在高速客车中大量使用铝合金材料。

为适应轨道机车车辆的发展,要积极开展对新材料的冲压性能、冲压工艺性的相关研究。新的成形工艺和在其他行业的成功经验也都值得借鉴和采用。

多点成形技术与传统模具成形相比,实现了无模成形。多点成形技术,可用于大的曲面成形,取代传统的整体模具,由此可节省大量的模具费用和修模与调模时间;可用于反复成形,以消除材料的残余应力,并实现少回弹甚至无回弹成形,保证了工件的成形精度;可用于分段成形,以压制超过设备台面尺寸数倍的大型工件。多点成形技术,还可实时控制变形曲面,随意改变板材的变形路径和受力状态,提高了材料的成形极限,实现难加工材料的塑

性变形, 扩大了加工范围。

热冲压与冷冲压相比, 具有明显的技术优势, 主要表现在以下几个方面: ①可以得到高强度的车身零件, 从而减小零件厚度, 实现车身的有效减重; ②成形性相对较好; ③冲压所需的设备吨位较小, 一般而言, 业内现役的液压机就能满足大部分零件的热冲压需要; ④尺寸精度高; ⑤零件表面硬度、抗凹性和刚度特性好; ⑥零件外形设计可以简化。利用这些优点, 克服其存在的缺点, 在选用合适材料的前提下, 可以达到减轻自重, 提高强度的目的。

3. 进一步提高冲压件质量

轨道机车车辆冲压件的质量还需进一步提高, 尤其是高速重载的使用工况下。不锈钢及铝合金材料的普遍应用, 都对冲压件质量提出了更高的要求。

参 考 文 献

- [1] 刘转华, 唐阳. 动车组技术 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2010.
- [2] 张中央, 李晓村, 李益民. 机车新技术 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2009.
- [3] 李晓村, 张中央. 机车新技术概论 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2006.
- [4] 阎国强, 仇海兵. 城市轨道交通概论 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2010.
- [5] 宋永增. 动车组制造工艺 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2011.
- [6] 严隽耄, 傅茂海. 车辆工程 [M]. 3 版. 北京: 中国铁道出版社, 2011.
- [7] 钟翔山, 等. 冷冲模设计案例剖析 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [8] 周本凯. 冷冲压模具设计精要 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [9] 翟建军, 等. 板料和型材的冲压与成形技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [10] 连级三. 电传动列车概论 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2011.

第2章 机车冲压件制造技术

2.1 概述

2010年我国新生产铁路机车2571台，同比增长34.82%；铁路客车7450台，同比增长12.79%；铁路货车48136辆，同比增长20.76%。而2010年我国铁路机车保有量已超过2万辆，铁路客车保有量约5万辆，铁路货车的保有量约80万辆。根据原铁道部“十二五”发展规划，到“十二五”末我国投入运营的大功率机车将达到1.3万台以上，占机车保有量的60%，而新型空调客车将达到3.6万辆，占客车保有量的80%。而根据原铁道部的货车发展规划，到2015年全国重载货车（载质量80~100t）的保有量将达到90万辆以上。运输工具的大型化、高速化、自动化和交通运输工具的一体化，是当代运输业发展的新方向，铁路客运高速化和货运重载化成为趋势。

2.2 机车冲压件材料

目前，轨道机车车辆车体材料有普通钢（含耐候钢）、不锈钢和铝合金三种材料。

普通钢是使用最广泛的材料，20世纪70年代开始试验使用铝合金材料，80年代开始大量使用耐候钢，之后逐步开始使用不锈钢和铝合金材料。

与普通钢相比，耐候钢和铝合金在性能上具有很大的优势。

1. 在轻量化方面

铝合金的密度为不锈钢和普通钢的1/3，从理论上讲，铝合金材料更能使车体轻量化。但是，铝合金的抗拉强度不如不锈钢，铝合金抗拉强度为274~352MPa，而一般不锈钢的抗拉强度为520~685MPa，采用超低碳（ $w_c < 0.03\%$ ）轻量化不锈钢的抗拉强度达到960~1200MPa，是铝合金的2~5倍。而且，铝合金刚度低，其弹性模量为 7.1×10^4 MPa，是不锈钢（ 2.06×10^5 MPa）的1/3。因此，为保证有足够的承载强度和刚度，铝合金车辆必须采用大型中空型材及其组合件。为了提高铝合金车体断面系数，增大抗弯刚度，防止板材产生失稳，必须加大板厚，一般取钢板的1.4倍，最小壁厚2mm，最大壁厚达到6.5mm。而不锈钢车体可采用板梁组合整体承载全焊接结构，车体的梁柱板厚0.8~3mm，车体外板厚0.4~1.2mm，能有效地减轻车体自重，达到实现车体轻量化的目的。为充分保证不锈钢和铝合金

车体的强度和刚度，根据国内外机车车辆车体采用不锈钢和铝合金的实践经验，地铁车辆耐候钢车体自重 9~10t，不锈钢车体自重 6~7t，铝合金车体自重 4~5t。如果以耐候钢车体自重为基准，则不锈钢车体可减轻自重 30% 左右，铝合金车体可减轻自重 50% 左右。因此，铝合金车体轻量化效果比不锈钢车体更明显些。

2. 在耐腐蚀性方面

不锈钢和铝合金车体都具有较好的耐腐蚀性，但不锈钢车体比铝合金车体更优越，由于不锈钢中 $w_{Cr} > 12\%$ ，使铁的电极电位由 $-0.56V$ 突然升至 $+0.2V$ ，使原电池腐蚀不易发生，这就显著提高了不锈钢车体的耐腐蚀性，在制造过程中不用进行防腐保护，完工后也不需涂漆。为提高车辆装饰性，可用彩色胶膜装修。铝合金车体的耐腐蚀性，是由于在空气中铝合金表面形成一层致密的三氧化二铝保护膜，而具有很好的防腐蚀能力。但铝合金车体在长期运营中，特别是在潮湿的环境下，遇到空气介质中的阴离子（如 Cl^- ），就会产生局部原电池发生点蚀、面蚀和变色，影响车体强度和美观。所以大部分铝合金车体都要涂漆。因此，不锈钢车体的耐腐蚀性比铝合金车体要好些。

3. 在制造工艺方面

机车车辆用的是铬镍型奥氏体不锈钢，强度高，冷加工性能好，但不能用热处理强化。奥氏体不锈钢热膨胀系数是钢的 1.5 倍，热导率仅为钢的 1/3，电阻率大。这些就决定了不锈钢车体从设计到制造比钢结构车更复杂，多采用搭接方式，使用过渡件。不锈钢车体的焊接不能用电弧焊，为减少热量的输入，避免晶界腐蚀及热变形，需用水冷却，在 2min 内降至室温，这就需要特殊的点焊机。由于不锈钢车体使用点焊工艺，车体的气密性较差，因而在高速车辆上使用受到限制。但对于低速的地铁、轻轨车辆是适用的。铝合金的焊接工艺复杂，手工操作难，容易产生较大的热应力、变形、裂纹和气孔，焊缝区域机械强度低于母材。但铝合金具有良好的塑性，采用现代铝挤压成形技术，大型中空铝合金型材组成的铝合金车体得到了很快发展。目前，大型中空铝合金型材的铝合金车体可以是整体焊接结构，利用自动焊机连续焊接；也可用模块化结构，采用特殊螺栓连接方式组合成铝合金车体。因此，铝合金车体和不锈钢车体虽具有不同的工艺性能，但通过采用不同的工艺手段，都能实现批量化生产。就冲压工艺而言，不锈钢和铝合金的冲压工艺要复杂一些，工艺要求也高些，但是都是可以满足设计要求的。

2.3 机车冲压生产设备

在轨道机车车辆的制造过程中，需要许多各式各样的加工设备，在众多设备中，冲压设备是非常重要的部分。

冲压设备的种类很多，按照用途分类，可以分为材料分离、材料校正和材料成形三大类。在常用的冲压设备中，还可以分为专用设备和通用设备。

1. 材料分离设备

(1) 开卷机 是用于板材卷料的开卷专用设备。

(2) 剪板机 是用于板材分离的专用设备。用剪板机进行材料分离是板材分离方式中效率最高和耗能最低的方式。

由于板材在剪切时,材料的厚度和抗剪强度对剪床的功率与剪刀的间隙有着严格的要求,因此,利用剪板机进行板材分离时,要将板材按照材料厚度进行分类。

板材的剪切分类一般分为薄板和中板两种。厚度在4mm以下的为薄板,厚度在5~12mm的为中板。由于板材在剪切过程中,会使板材出现扭转和弯曲现象,随着板厚的加大这种扭转和弯曲也会随之加大。

剪切造成的扭转会给之后校平带来一定的困难,所以,对厚度大于12mm以上的板材,建议不要采用剪板机进行材料分离。

(3) 压力机 是用于板材分离、成形和型材分离的设备。

在压力机上安装相应的模具对材料进行分离称之为冲裁。用冲裁的方式获得的工件精度较高,而且具有效率高、制作成本低的优势,因而被广泛地应用。但是,模具的制作成本较高,因此,是否采用冲裁这种材料分离方式,要根据工件的批量大小来决定。

(4) 转塔冲床 是用于板材分离的专用设备。这是一种柔性的薄板冲裁设备,与冲床最大的不同是其装有多种子模的转盘模具,将工件的设计尺寸、形状编制好程序输入到设备里,设备即可以将板材冲压出非常精准的工件。

2. 材料校平(正)设备

(1) 校平机 是用于板材校平的专用设备。校平机一般根据辊子的数量,分为7辊、9辊、11辊、13辊校平机,辊子的数量越多其校平的效果就越好。薄板校平机的辊数一般都多于厚板校平机。采用校平机进行板材校平的方式与其他校平方式相比,具有效率高、平整度好和能使板材内部应力达到均衡的优点,因此,绝大多数的板材校平均是由校平机来完成的。

(2) 角钢机 是用于角钢调直的专用设备。

3. 材料成形设备

(1) 液压机 是用于板材与型材的成形和校正的通用或专用设备。液压机根据压力的传递介质不同,分为水压机和油压机。根据机体结构的不同又分为单柱式(C型)、双柱式(门式)、四柱式、框架式,按安装位置有立式、卧式,按传动方式有上传动、下传动等形式,不同的形式可适应不同的工艺需要。

(2) 折弯机 是用于板材弯曲成形的专用设备。折弯机多用于板材小曲率半径的弯曲,有单机和双机联动两种。其中,双机联动折弯机既可以单机作业,也可以在弯曲件长度超过单机长度时,采用双机联动方式。由于滑块下行距离可控,所以,在不更换模具的情况下可以对板材进行 90° ~ 179° 的弯曲。近些年出现的新折弯机大都是数控形式的,只要将所需弯曲工件的材质、厚度和弯曲截面的尺寸、形状等参数输入到设备的控制系统中,设备就会自动锁定定位、弯曲。

折弯机的模具多以数块镶块拼接起来,使用时,应定期调整镶块的排列位置,以避免镶

块局部磨损过大，导致长大件弯曲不良。定期调换镶块的位置，可以延长模具的使用寿命。

(3) 卷板机 是用于板材卷筒的专用设备。卷板机由两个主动辊和一个被动辊组成，两个主动辊是在固定位置上作旋转运动的，而被动辊可以上下移动位置，板材在卷板机上卷制时，通过调节被动辊的上下位置，可以改变板材的卷制曲率。

(4) 弯管机 是用于型材成形的专用设备。弯管机不仅可以对管材进行弯制，也可以对型材进行弯制。只要配置相应的模具即可以进行不同型材的弯制。

(5) 拉弯机 是用于型材成形的专用设备。在轨道机车车辆制造中，拉弯机主要用于各种截面形状型材顶棚梁的制作。

(6) 震锤成形机 是用于板材和型材成形的专用设备，是通过安装不同的锤头，锤击材料，对材料进行碾展和收缩，使材料改变形状的一种柔性设备。主要用于板材球形曲面的成形和厚度较薄的角钢、槽钢成形。

2.4 分离件制造技术

2.4.1 分离工艺内容与类型

1. 分离工艺内容

- 1) 切断：将毛坯沿不封闭的轮廓分离。
- 2) 落料：沿封闭轮廓将制件或毛坯与板材分离。
- 3) 冲孔：在毛坯上或废料上，沿封闭的轮廓分离出废料，得到带孔制件。
- 4) 切口：从毛坯上或半成品制件的内外边缘上，沿不封闭的轮廓分离出废料。
- 5) 剖切：沿不封闭轮廓将半成品制件切离为两个或数个制件。
- 6) 切边：切去成形制件多余的边缘。
- 7) 整修：沿半成品制件的外缘或内孔修切掉一层材料，以提高制件尺寸精度和冲裁光滑度。
- 8) 切废料：利用镊子和硬板使板料与工件分离。

2. 分离工艺类型

- 1) 剪切分离：在剪床上进行的剪切工艺。
- 2) 切割分离：气割方法、等离子弧切割法、激光切割法及水切割法等切割工艺。
- 3) 冲裁分离：在压力机或液压机上用模具进行的冲裁工艺。
- 4) 手工分离：靠采用某些工具进行分离的工艺。

2.4.2 分离件模具与生产设备

1. 分离件模具分类

- 1) 按工序性质：可分为落料模、冲孔模、切断模、切口模、切边模、剖切模等。
- 2) 按工序组合方式：可分为单工序模、复合模和级进模。

2. 分离件生产设备

有横、纵剪开平线，锯床、剪板机，数控等离子弧（火焰）切割机、数控激光切割机、高压水切割机，机械压力机、液压机、数控转塔冲床。

2.4.3 典型分离件生产实例

1. 散热片冲孔翻边落料连续模

图2-1所示为散热片冲孔翻边落料连续模。该模具为四工位连续模。第一工位由冲孔凸模13与冲孔凹模14完成冲孔。第二工位由翻边凸模11与翻边凹模12完成翻边。第三工位考虑凸模安装位置和凹模强度，为空位。第四工位由落料凸模7和落料凹模10完成落料。

该模具凸模和凹模分别固定在凸、凹模固定板上，便于备品更换，保证制件加工精度。采用弹性卸料板，冲压前压平坯料。

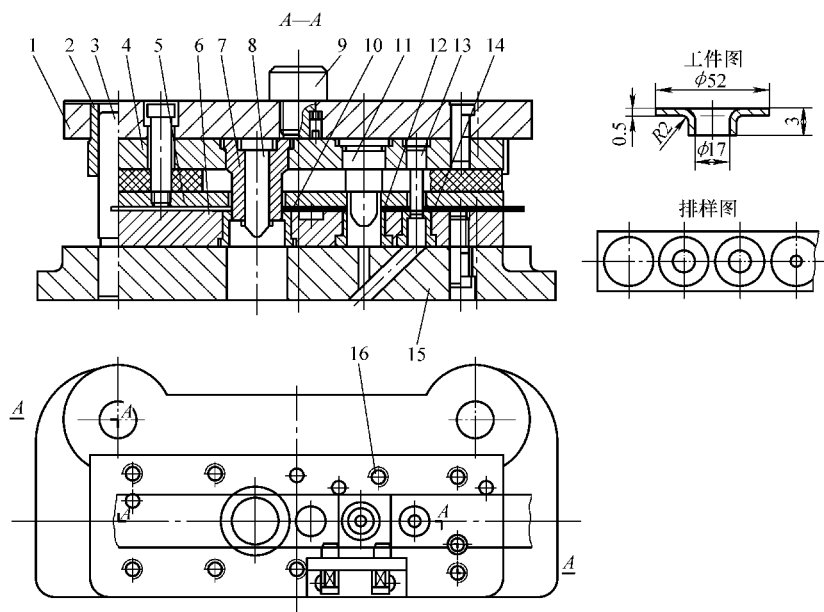


图2-1 散热片冲孔翻边落料连续模

- 1—上模座 2—导套 3—导柱 4—凸模固定板 5—卸料板 6—凹模固定板 7—落料凸模
8—导正销 9—模柄 10—落料凹模 11—翻边凸模 12—翻边凹模 13—冲孔凸模
14—冲孔凹模 15—下模座 16—挡料销

2. 制动缸前盖冲孔、切边复合模

图2-2为制动缸前盖冲孔、切边复合模。该模具一次完成冲孔（ $6 \times \phi 18$ 和 $\phi 77$ ）、切边三道工序，生产效率高，产品质量好。在模具工作前，将压好的半成品前盖放入下模腔。当上模下行时，由凸模14和凹模13冲出 $\phi 77$ 大孔，由凸模8和凸凹模11工作，冲出 $6 \times \phi 18$ 的孔，由切边凹模7和凸凹模11切边，同时废料切刀24将废料切断，上模上行卸料板10、19和卸料橡皮9、18将工件脱开凸模8、14，使工件落到下模腔内，由弹簧25、顶料销22将工件托起，然后由操作者将工件取出。

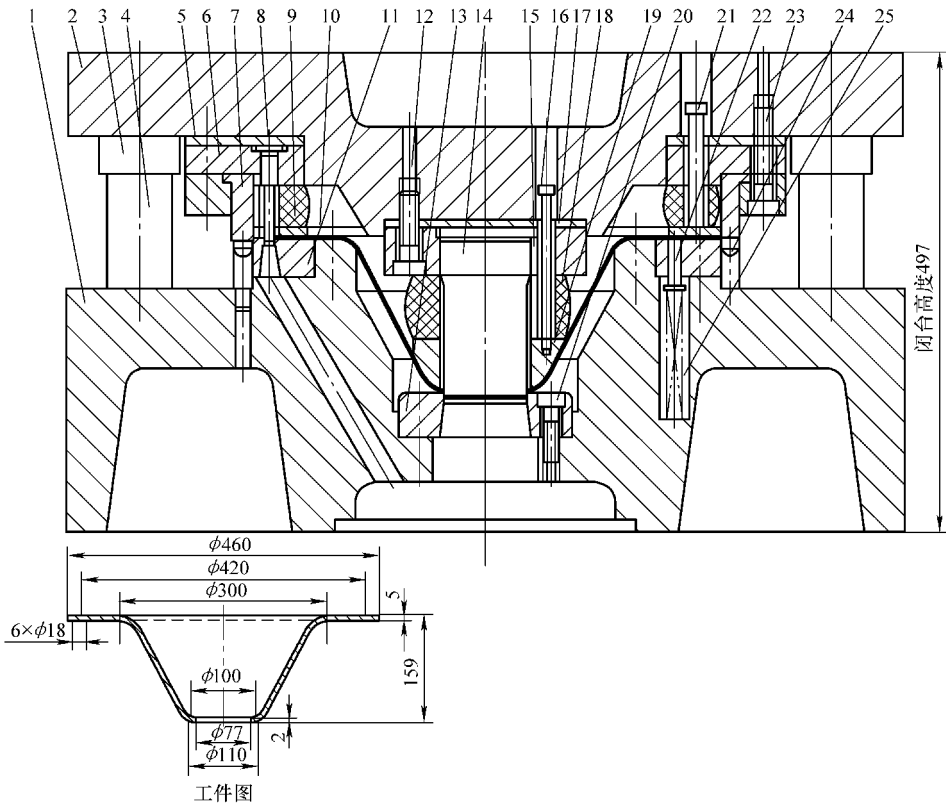


图 2-2 制动缸前盖冲孔切边复合模

- 1—下模体 2—上模体 3—导套 4—导柱 5、17—垫板 6—凸模固定板 7—凹模 8、14—凸模
 9、18—卸料橡皮 10、19—卸料板 11—凸凹模 12、20、23—螺钉 13—凹模 15—凸模固定板
 16、21—卸料螺钉 22—顶料销 24—废料切刀 25—弹簧

2.5 拉深件制造技术

2.5.1 拉深件类型

拉深成形件的类型有：无凸缘拉深件、带凸缘拉深件、矩形拉深件、阶梯拉深件、锥形拉深件、深锥形拉深件、底部凸筋拉深件。

2.5.2 拉深件制造工艺

1. 拉深工艺内容

拉深件的制造一般是使用模具，在压力机或液压机上完成。在制订拉深工艺时需要考虑的内容较多，主要包括：工艺性分析、计算拉深系数、计算毛坯展开尺寸、计算拉深力、设

计拉深模具、考虑毛坯的工艺处理：是否退火，是否酸洗等。

2. 拉深工艺要点

(1) 保证配合或装配关系尺寸 拉深成形不太可能同时保证内外尺寸要求，通常应保证有配合关系或装配关系的尺寸，否则，只能安排补充加工。

(2) 保证厚度变化在允许范围内 拉深件受变形过程多种因素影响，会出现厚度不均的现象，要保证其厚度变化在允许的范围内。

(3) 应有足够大小的圆角半径 拉深件各转角处应有足够大小的圆角半径，正常拉深不能达到最小圆弧成形时，可以在最后安排整修工序。

(4) 预留适当的切除余量 拉深完成后，坯料端部不可能是规则的，要预留适当余量，作为切边工序切除的部分。

(5) 其他方案 对于板材塑性较差或板厚过厚的材料，可以考虑退火软化后拉深，或采用热拉深工艺。

2.5.3 拉深模具划分

拉深模具按照制件的规格，可分为中小件单动压机初拉深模、中小件单动压机多次拉深模、中小件双动压力机拉深模和大中型件拉深模。

1. 中小件单动压机初拉深模

- 1) 无压边圈下漏件的初拉深模：适用于厚度大于2mm的拉深件。
- 2) 无压边圈工件为顶出形式的初拉深模：适用于拉深深度较浅的工件，底部有凸台的制件或底部有平整度要求的制件。
- 3) 带刚性压边圈下漏件的初拉深模：适用于小批量生产和试制产品。
- 4) 带弹性压边圈下漏件的初拉深模。
- 5) 上模有弹性压边圈，凹模内有顶出装置的初拉深模。
- 6) 下模有靠气垫压力的压边圈，上模内有打料杆的初拉深模，这是应用最广泛的形式。

2. 中小件单动压机多次拉深模

- 1) 无压边圈下漏件的多次拉深模：用于直径缩小的情况或整形等。
- 2) 带压边圈用打料杆推件的多次拉深模：为应用较广泛的结构。

3. 中小件双动压力机拉深模

- 1) 中小件双动压力机初拉深模。
- 2) 中小件双动压力机多次拉深模。

4. 大中型件拉深模

- 1) 无气垫压力机拉深模。
- 2) 有气垫与打料装置的压力机拉深模。

2.5.4 拉深件生产设备

拉深件一般在机械压力机或液压机上完成成形过程。压力机可以是单动拉深机型，也可以是双动拉深机型。厚板件、深形件的拉深，主要在液压机上进行。

2.5.5 典型拉深件生产实例

1. 棚车顶板成形

棚车顶板件的材料为09CuPTi，板厚2mm，为浅拉深成形件。以前由剪切机、仿形滚剪、压形、剪切两端等四道工序完成。工序多、成形质量差。后改进设计，采用复合模，在水压机上同时完成成形、落料两道工序，既能减少工序、提高工效，又能保证工件的质量。

图2-3为棚车顶板成形落料复合模的结构示意图。

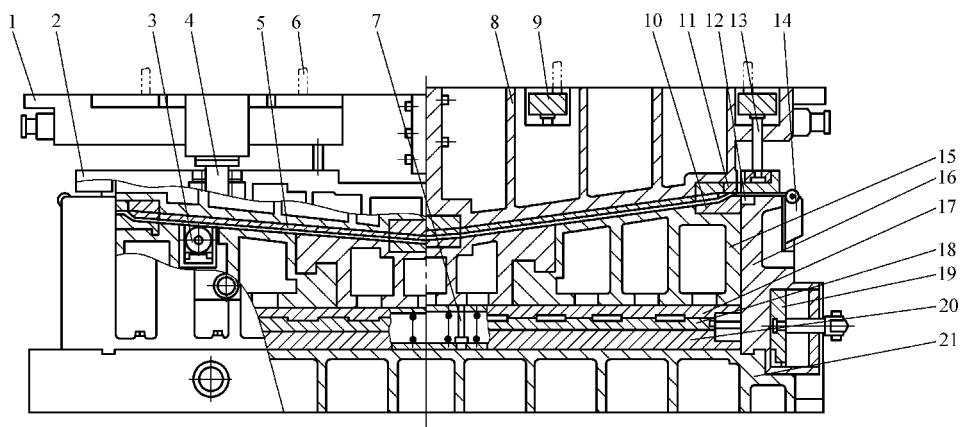


图2-3 顶板成形落料复合模

- 1—上模座 2—压边圈组成 3—升降滚道 4—导向装置 5—上模镶块 6—打料杆 7—弹簧装置
8—上模座 9—压板 10—下模镶块 11—落料凸模 12—落料凹模 13—压杆 14—上下料滚道
15—浮动块 16—下模框 17—上搓动块 18—下搓动块 19—搓动块风动装置 20—滑板 21—下模座

2. 顶板成形复合模特点

(1) 成形与落料 工件在下模上先完成成形工序，再完成落料工序。在下模上采用上、下齿条形搓动块，上搓动块固定在浮动块上，下搓动块在风缸作用下有两个位置。当上、下搓动块二齿顶相接时，下模处于成形位置；齿顶与齿根相对时，下模处于落料位置。

(2) 镶块间隙 上、下模压筋镶块都在模具中间，模具组装后很难调整，在设计凸、凹模镶块时，须留有必要的间隙，以便于调整和互换。

(3) 弹簧推料 为将工件从落料凹模内推出，在浮动块下设有弹簧推料盒，由34个 $\phi 16$ 的螺旋弹簧和上、下盖板等组成一体，可以整体吊运，便于解体修复。

(4) 模具滚道 在模具两端和中间设有滚道，中间滚道置于成形凹模中间，为了不影响成形工序，中间滚道可以升降。模具滚道减轻了工人在上下料时的劳动强度。

2.6 热压成形件制造技术

热压成形通常包括热弯曲和热拉深两种工序。

钢在加热后，其极限强度随之降低。因此，所需的冲压力也降低。同时有利于工件成形，获得所需的形状。

在机车车辆制造中,有很多零件是用厚板或型钢压成的。对于板料厚度为10~12mm和每边厚度在8~10mm的型钢进行弯曲与拉深时,为减小冲压力,一般都采用热压。

另外,在制造含铬等特种钢的零件时,因在常温下加工,会有严重的硬化、翘曲和裂纹产生,所以也必须采用热压。

2.6.1 热压成形件的类型与材料

热压成形主要在弯曲工艺和成形工艺中采用。因此,热压成形件主要是厚板的弯曲件和成形件。

热压件材料主要是低碳钢、耐候钢。

2.6.2 热压成形件制造工艺

1. 热压温度

为了保证产品的质量,热压温度应控制在一定的范围内。软钢(低碳钢)及耐候钢的热压温度通常为900~950℃(橙黄色),而且在压形时所有的变形过程必须在温度降到750℃之前结束。热压不锈钢件时加热温度为1000~1100℃,热压的终了温度为900℃。

板料加热温度,一般是凭观察火色来判断。应该说明,观察火色与环境的明暗有关。一般手册中给出的,是从暗处观察火色所判断的温度。白天观察火色情况又有所不同。例如,从暗处观察,板料加热到770~800℃时呈樱红色。如果在很明亮的环境下观察火色,当钢料呈樱红色时,其温度早已超过800℃。

2. 热压成形时应注意的问题

在热弯曲时,材料的拉伸变形是不能事先进行准确计算的,所以对于重要的零件,为了得到规定的长度,最好在压弯后进行机械加工。

对于弯曲件,其最小弯曲半径可取为:

$$R_{\min} \geq (0.2 \sim 0.3) t$$

式中 t ——板料的厚度(mm)。

对于拉深件,转弯部分的圆角半径不宜小于材料厚度的1~1.5倍。

2.6.3 热压成形的模具与设备

1. 热压模的间隙

板料加热后,由于膨胀使厚度增加,同时热压变形使工件上部厚度也有所增加,尤其是热拉深件。所以热压模的间隙要比冷压模大些。

2. 凸、凹模工作部分的设计

(1) 凸、凹模工作部分尺寸的计算 在设计热压模时,必须考虑到工件的冷缩现象。凸模、凹模工作部分尺寸要相应放大以弥补冷缩量。一般冷缩量可取0.6%~0.75%之间。

此外,由于冷缩的原因,热压后工件紧紧地箍在凸模上,所以不论工件要求外部尺寸准确,还是要求内部尺寸准确,热压模的设计均以凸模的尺寸为基准,间隙均以扩大凹模尺寸得到,如图2-4所示。

当工件标注内尺寸时:

$$L_{\text{凸}} = L_1 (1 + \alpha) + 0.3\Delta$$

当工件标注外尺寸时:

$$L_{凸} = (L_2 - 2t) (1 + \alpha) + 0.3\Delta$$

$$L_{凹} = L_{凸} + 2t + 2Z$$

式中 L_1, L_2 ——工件的内外最小极限尺寸;
 α ——冷缩量 (0.6% ~ 0.75%);
 Δ ——工件公差;
 Z ——单侧间隙 (不包括料厚);
 t ——板料厚度。

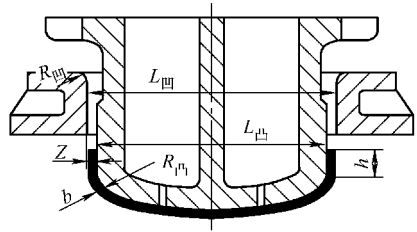


图 2-4 热压模的尺寸

(2) 凸模和凹模的制造公差 对于圆形及方形件, 可以规定凹模按 IT11 级精度制造, 凸模可按 IT9 级精度制造。对于非圆形及其他较复杂的工件, 可规定凹模按 IT11、IT12 级精度制造, 而凸模则按凹模配制 (保证间隙在一定范围内)。此外也可以专画一张凹、凸模关系图, 供制造加工样板用, 凸模与样板的偏差应不大于 0.14mm, 凹模不得大于 0.28mm。

(3) 凸、凹模工作部分尺寸计算实例

按图 2-5 所示的机车风缸的尺寸, 试算凸、凹模工作部分的尺寸。

① 凸模工作部分尺寸:

直径 $\phi 560^{+2}_0$ mm

模具尺寸应为: $L_{凸} = L_1 (1 + \alpha) + 0.3\Delta$
 $= 560 (1 + 0.7\%) \text{ mm} + 0.3 \times 2 \text{ mm} = 564.6 \text{ mm}$

圆弧 $R700$ mm

模具尺寸应为: $R = 700 (1 + 0.7\%) \text{ mm} = 705 \text{ mm}$

圆角 $R60$ mm

模具尺寸应为: $R = 60 (1 + 0.7\%) \text{ mm} = 60.4 \text{ mm}$

② 凹模工作部分尺寸:

模具尺寸应为: $L_{凹} = L_{凸} + 2t + 2Z = 564.6 \text{ mm} + 14 \text{ mm} + 1 \text{ mm} = 579.6 \text{ mm}$

圆弧 R : $705 \text{ mm} + 7 \text{ mm} + 0.5 \text{ mm} = 712.5 \text{ mm}$

圆角 R : $60.4 \text{ mm} + 7 \text{ mm} + 0.5 \text{ mm} = 67.9 \text{ mm}$

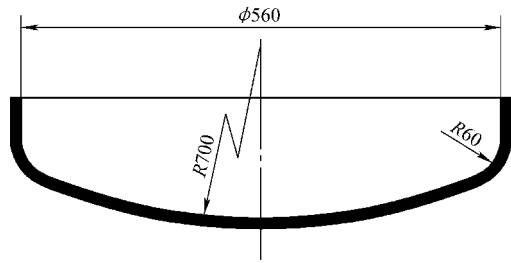


图 2-5 机车风缸零件图

(4) 凸、凹模圆角半径的确定 关于热压模凸模的圆角半径 r_1 , 根据工件的圆角半径决定, 一般不应小于板料厚度的 1 ~ 1.5 倍。凹模的圆角半径 r_1 一般为板料厚度的 2 ~ 3 倍。

(5) 凸、凹模结构要点与用料 拉深凸模应开通气孔。对于弯曲凸模, 当弯曲槽形件时, 其中间的连边可能发生后弯与不平, 连边越长, 材料越薄, 这种现象也越严重。为了消除这种现象, 可以在凸模上加工通气孔, 最好在凹模内设有活动的托料板 (图 2-6), 以免加热后的板料下垂。

热压模的凸、凹模一般应采用铸铁 (如 HT200、HT250), 对于尺寸较小的凸、凹模, 也可采用合金工具钢 5CrMnMo 或 5CrNiMo。

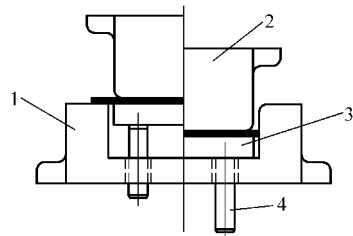


图 2-6 有托料板的弯曲模

1—凹模 2—凸模 3—托料板 4—顶杆

3. 压边装置

热压件的板料厚度虽然较大,但当圆筒形拉深件侧壁的高度较大时,也会产生起皱现象。

(1) 采用压边圈的条件 一般认为不产生起皱的最极限条件是:

$$b = h + \frac{1}{3} \times (R_{凸} + t)$$

式中的符号见图 2-4。

如果 b 的数值超过此极限时,就需要用压边圈。

(2) 几种压边装置 在热拉深中,为了消除起皱现象。通常都不采用冷冲压模中的弹性压边装置,而是采用刚性压边装置。

1) 在单动压力机上拉深时,采用的压边装置如图 2-7 所示。像固定刚性卸料板那样,用螺钉将压边圈固定在凹模上。图 2-8 所示为悬挂式刚性压边圈,用链条悬挂在压力机滑块上,拉深时压边圈先接触板料,此时用铰接在凹模上的螺杆将压边圈紧固,压制完毕后松开螺杆,压边圈又随凸模一起上升。这种结构的缺点是旋动螺杆是手工的,效率较低,适用于小批量生产。

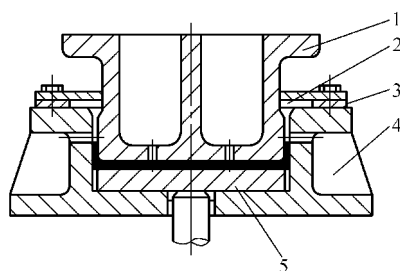


图 2-7 有刚性压边圈的拉深模

1—凸模 2—刚性压边圈
3—定位挡铁 4—凹模 5—顶板

2) 在双动压力机上拉深时,压边圈可固定在外滑块上,如图 2-9 所示。

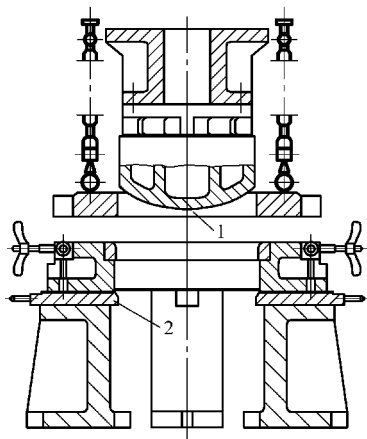


图 2-8 悬挂式刚性压边圈

1—压边圈 2—卸料板

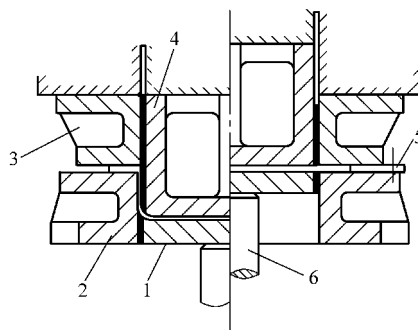


图 2-9 双动压力机用拉深模

1—顶板 2—凹模 3—外环（压边兼卸料）
4—凸模 5—挡铁 6—顶杆

4. 卸件装置

热压时,由于冷缩现象使工件紧紧箍在凸模上,所以热压模都要有卸件装置。

影响热压模卸件力的因素很多,如工件在拉深前后的温度差,凸、凹模的间隙,工件表面的光洁程度等,但其中主要因素是工件拉深前后的温度差。

为了减小卸件力,便于卸件,在产品许可的条件下,可使凹模和凸模的侧壁向外倾斜 $1^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 。

常用的卸件装置有下列几种形式：

(1) 弹簧式卸件装置 弹簧式卸件装置（图 2-10），是在凹模 3 侧壁上留几个槽，将方形的卸件铁 1 置于槽中。卸件铁的外端用弹簧片 2 压住，卸件铁的内端制成过渡圆弧状的斜坡。当凸模 4 带着工件往下时，卸件铁由于斜坡的作用会自动退回。而当凸模带工件继续往下时，只要超过卸件铁的位置，由于弹簧片的作用使卸件铁推向模膛而抵住凸模。当凸模上升时，工件被挡住而自动从凸模上卸下。

(2) 螺栓固定挡板式卸件装置 螺栓固定挡板式卸件装置（图 2-11）的优点是不影响拉深件的表面质量，但采用这种卸件装置时，操作不便，效率较低。有时由于工件在凸模上箍得太紧，卸件板刚度较差时，可能会拉弯卸件装置。

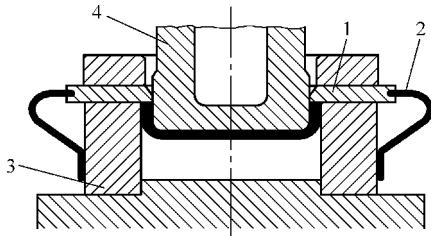


图 2-10 弹簧式卸件装置

1—卸件铁 2—弹簧片 3—凹模 4—凸模

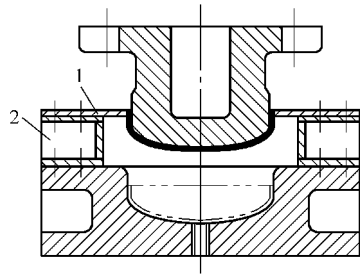


图 2-11 螺栓固定挡板式卸件装置

1—卸件装置 2—支承座

(3) 链条式卸件装置 当拉深带有凸缘的工件时，常采用链条式卸件装置，如图 2-12 所示，其卸件板不仅用于卸件，还能压平凸缘，并在一定程度上起压边圈的作用（尤其当卸件板自重较大时）。

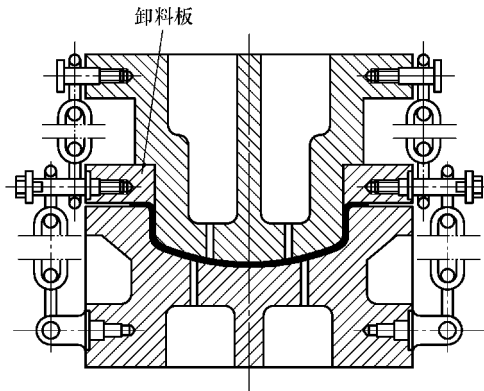


图 2-12 链条式卸件装置

5. 热压成形件生产设备

一般情况下，热压成形在液压机上完成。

2.6.4 典型热压成形件生产实例

1. 机车上围板及其热压模

机车上围板形状比较复杂，尺寸很大，由几段不同曲率半径的曲线组成，断面是由大圆

角半径构成的弧形，宽边是倾斜的，而且角度是变化的。此件若按设计整体成形，需要较大规格的压力机和模具。将工件沿中心分开，作为一个近似槽形件进行热压成形，压完以后再对接而成完整工件，这样一来，采用较小规格的压力机和模具就能完成。图 2-13 为机车上围板分片热压模示意图。

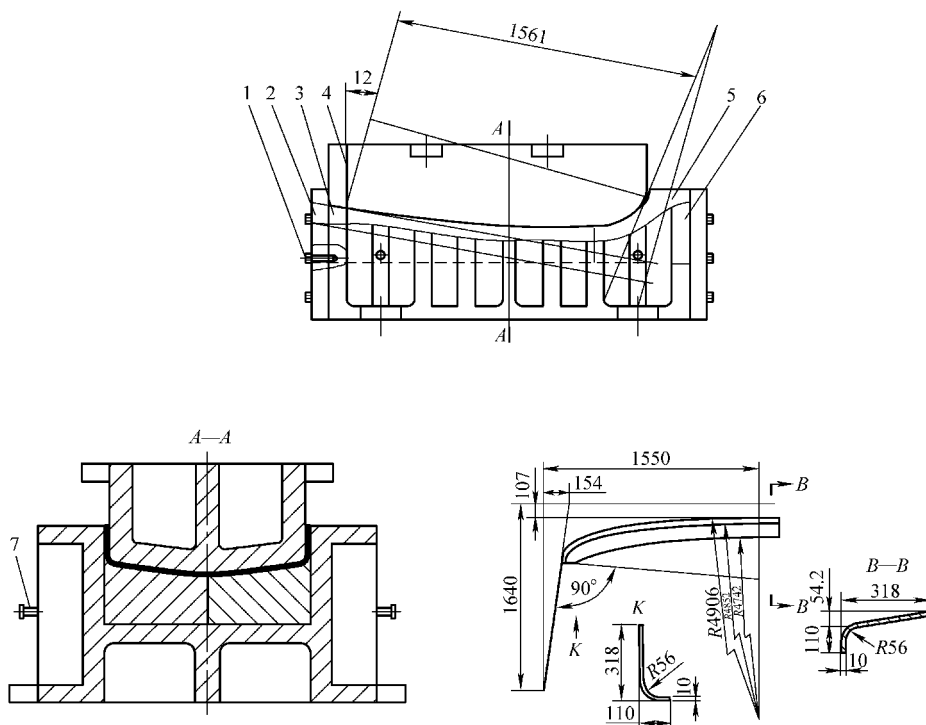


图 2-13 机车上围板热压模

1—螺栓 2—端板 3、5—镶块 4—凸模 6—凹模 7—吊柱

2. 转向架侧梁及其热压模

侧梁是焊接转向架上的一个重要零件，整根侧梁是由两个槽形梁焊接成的框形断面梁。沿着梁的长度方向是鱼腹形的，所以焊前需先压成鱼腹形的槽形断面梁。工件材质为 Q235B，板厚为 14mm。因工件庞大，且外形复杂，需要较大的成形力，故采用热压成形。

图 2-14 为转向架侧梁工件图及其热压模具结构图。

模具的主要工作部分由凸模 15、凹模 16、垫 2、顶件板 13，顶杆 14、上顶料杆 5、过渡杆（3、4、6）、顶杆 9 等组成。

凸模与凹模均为钢板焊接结构，内部设有水道，可通过循环水冷却模具。在凹模工作部位堆焊耐磨耐热合金。

凹模内有顶件板 13，借助液压气垫与顶杆可将工件顶出凹模。为防止工件包在凸模上，

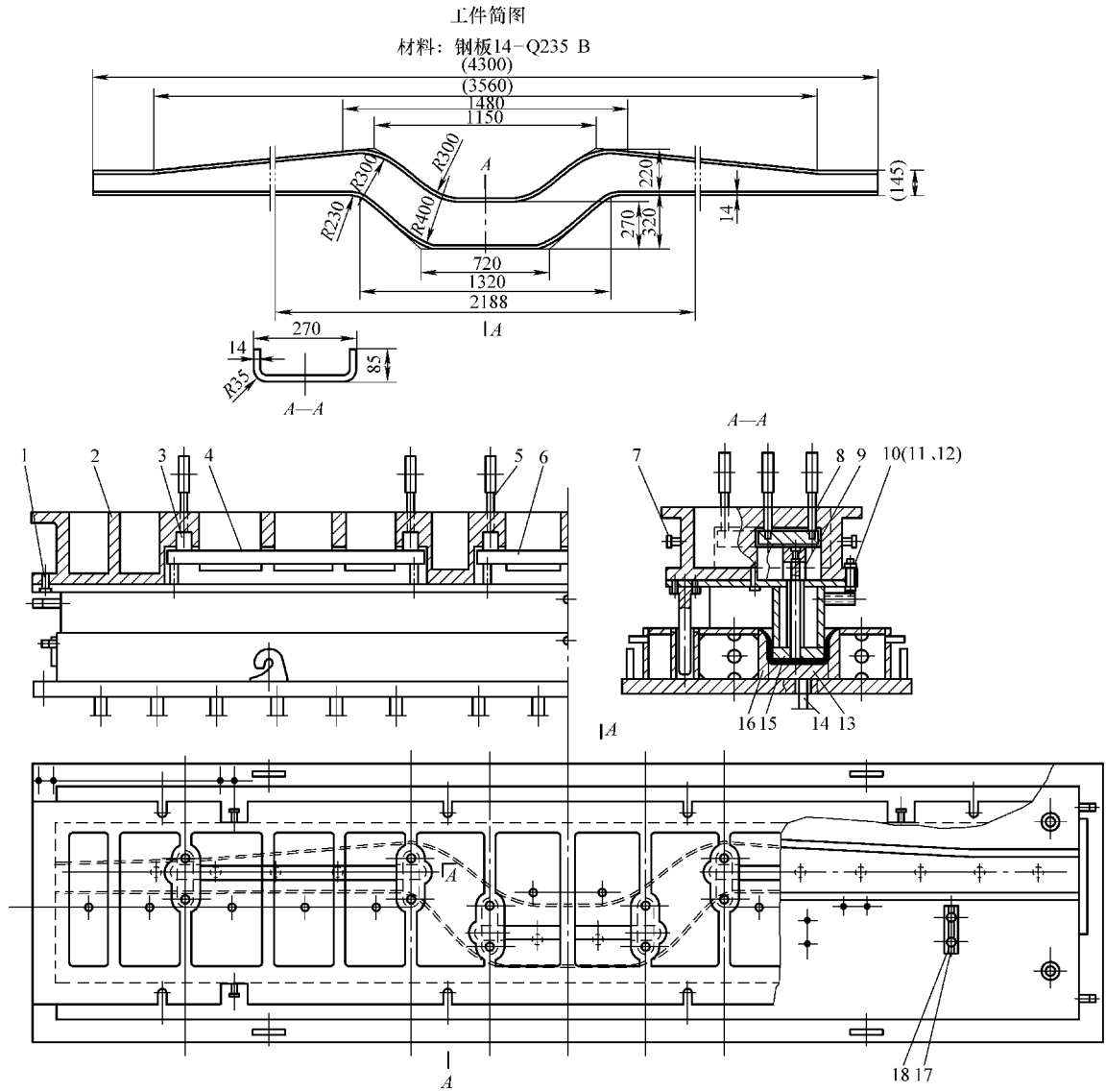


图 2-14 转向架侧梁工件图及其热压模具结构图

1—销 2—垫 3、4、6—过渡杆 5、9、14—顶杆 7—吊柱 8—螺钉 10、18—螺栓
11—垫圈 12—螺母 13—顶件板 15—凸模 16—凹模 17—挡料板

在凸模上也设有卸件装置。

3. 机车支座板及其热压模

机车支座板的材质为 Q235B，板厚为 16mm，断面呈槽形，采用热压成形。图 2-15 为机车支座板工件图及其热压模结构图。

模具的主要工作部分由上模 5、下模 9、定位支座 1、定位板 4、挡料板 8、风缸 11、顶

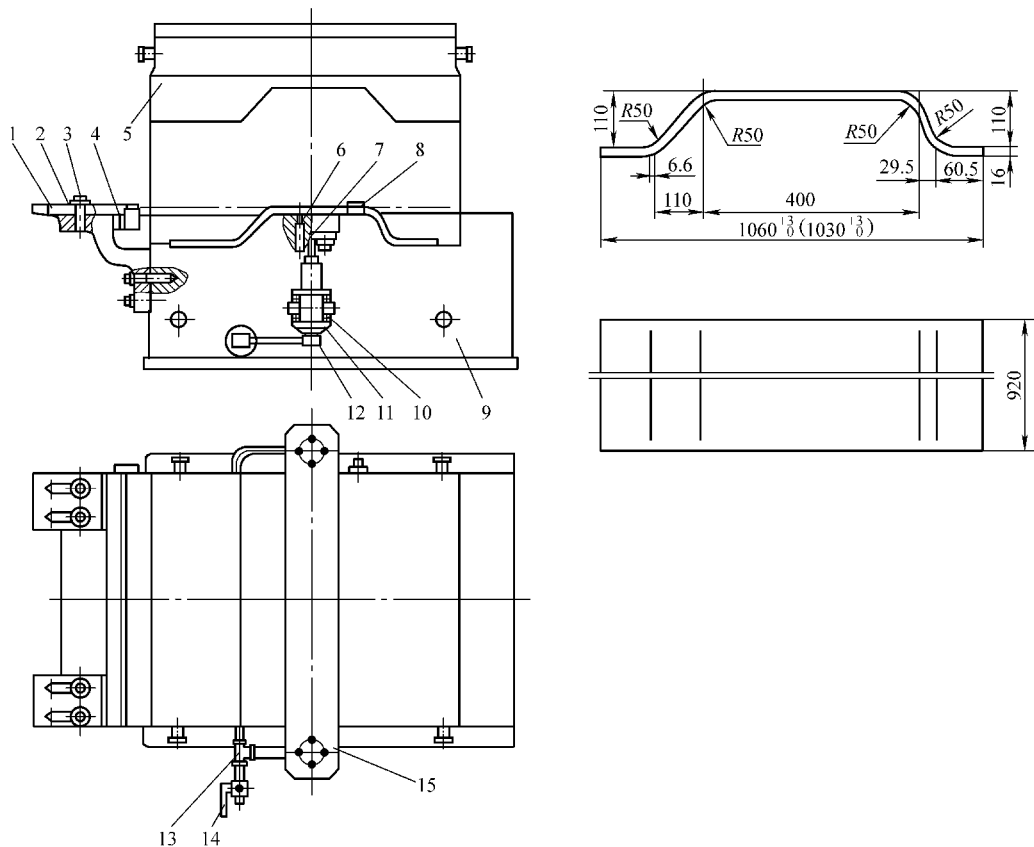


图 2-15 机车支座板工件图及其热压模结构图

- 1—支座 2—垫圈 3—螺钉 4—定位板 5—上模 6—螺钉 7—螺母 8—挡料板
9—下模 10—螺栓 11—风缸 12—管接头 13—管路 14—三通阀 15—顶件板

件板 15 等组成。上模与下模均采用 HT200 铸铁，顶件板采用 Q235A 钢板。

在工件的长度方向由定位板 4 定位，宽度方向由挡料板 8 定位，放料时可用叉车将坯料送入下模，出件时可由风缸 11 通过顶件板 15 把工件托起，再由叉车将工件运出。

2.7 翻边件制造技术

翻边是在成形坯料的平面部分或曲面部分上，使板料沿一定的曲线翻成竖立边缘的成形方法。利用模具将工序件的孔边缘或外边缘翻成竖立的直边，称为翻边。利用翻边加工可使立体零件具有很好的刚性，这也是翻边加工的主要目的。

2.7.1 翻边件的类型与制造工艺

对工件的孔进行翻边称为内缘翻边，或简称为翻孔；对工件的外缘进行翻边称为外缘翻边。

翻边包括：圆孔翻边、非圆孔翻边和外缘翻边。

制订翻边件工艺时，要根据不同情况进行工艺分析和计算。

要进行的工作有：计算并评价翻边工艺性，计算孔的翻边系数，进行孔翻边的工艺计算，计算翻边力，计算翻边凸模和凹模之间的间隙，确定翻边模的形式。

2.7.2 翻边件的模具与生产设备

翻边模具的结构与拉深模具相似，也分为正装和倒装、压边与不压边形式。如果没有冲裁加工，翻边模具一般不需要设置模架。

中小件的翻边可以在机械压力机上进行，大中型件可以在液压机上进行。

2.7.3 典型翻边件生产实例

机车的外窗框先进行落料冲孔，最后以内孔定位进行翻边。图 2-16 为机车外窗框的工件图及其翻边模结构图。

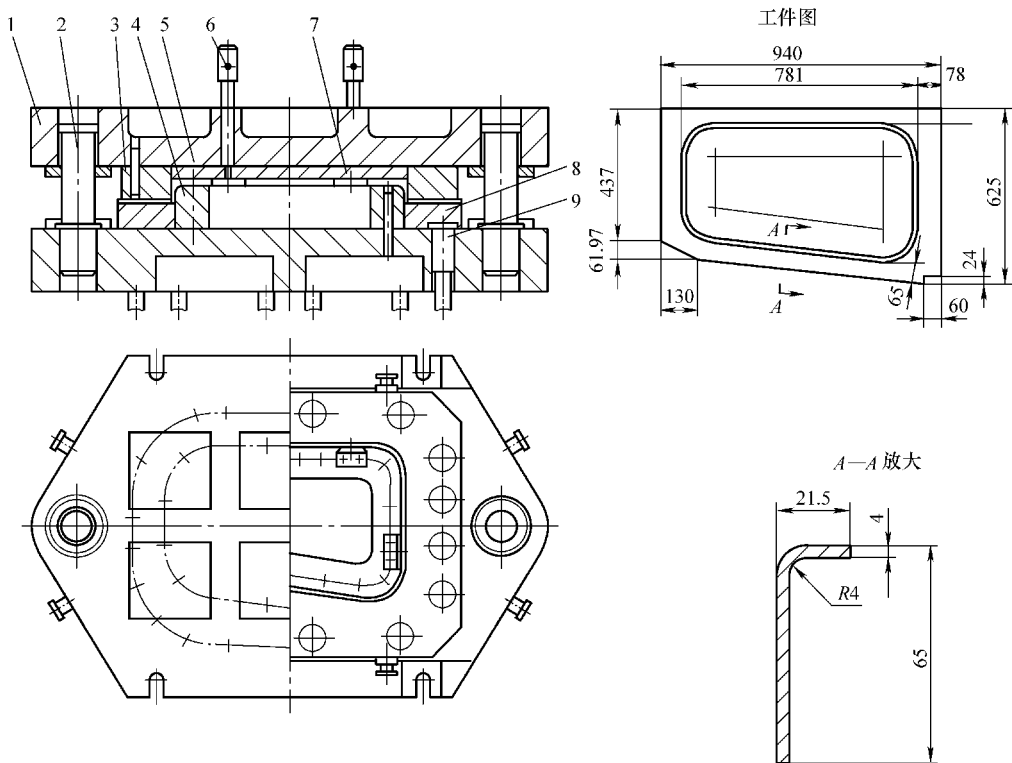


图 2-16 机车外窗框工件图及其翻边模结构图

1—上模板 2—导柱 3—压形凹模 4—压形凸模 5—推杆板 6—推件杆 7—定位销 8—压边圈 9—顶杆

由图 2-16 可见，翻边模具借助压力机下方的液压气垫，通过顶杆 9 将压边圈托起，使之与凸模在同一水平面上，当滑块下行时，工件外缘被凹模和压边圈压紧，随着滑块下行，工件完成非圆孔内缘翻边。翻边完成后，滑块回程，压边圈在顶杆作用下升起，将工件从凸

模中推出。如果因材料回弹或其他原因工件置于凹模内，则工件可被推件杆从凹模推出。

2.8 弯曲件制造技术

将材料弯成一定的角度、曲率和形状的工艺方法称为弯曲。弯曲是材料成形中最常用的工艺方法之一，被广泛地应用在金属结构的零部件制作上。

弯曲分为板材、棒材、管材和型材弯曲。由于截面形状不同，在弯曲变形过程中，材料的内部应力对变形的影响不尽相同，因此，其规律也有所区别。

2.8.1 弯曲件的类型及材料

按照原材料的形状，弯曲件可以分为：板材弯曲、管材弯曲、棒材弯曲和型材弯曲。还可以按照所使用的工具及设备不同，将弯曲工序分为，使用模具在普通压力机上进行的压弯，及在专门的弯曲设备上进行的折弯、辊弯、拉弯等。

弯曲件材料主要为钢板、铝合金板、轧制的型材。

2.8.2 弯曲件制造工艺

1. 弯曲件的变形特点

(1) 最小相对弯曲半径 板材在弯曲时，要考虑的问题是相对弯曲半径 (R/t)。材料的最小弯曲半径、弯曲件的展开和弯曲件的回弹，都要涉及相对弯曲半径。在进行工艺分析计算时，要保证相对弯曲半径大于其最小弯曲半径。

(2) 弯曲回弹 当弯曲件完成压制撤除外力后，由于弯曲时存在着弹性变形，会使工件的角度、圆角半径和弧长发生变化，与在模具里未取消压制外力时的形状不一致，这种现象称为回弹。要考虑弯曲回弹问题，要针对弯曲材料修正模具相关尺寸。

(3) 影响回弹的因素 主要有材料的机械性能、相对弯曲半径和形状，模具的尺寸、间隙和弯曲校正力。

1) 材料的机械性能。材料屈服点越高，弹性模量越小，回弹越大。

2) 材料的相对弯曲半径 R/t 。 R/t 的值越小，回弹就越小。

3) 弯曲工件的形状。一般来说，一次压制出的 U 形工件的回弹比 V 形工件的回弹小。

4) 模具的尺寸。当凸模的半径 r 一定，V 形弯曲件的回弹因凹模的开距增大而减小。U 形凹模开口越深，回弹越小。

5) 模具间隙。U 形弯曲模的凸、凹模的间隙越大则回弹就越大。

6) 弯曲校正力。增加校正力可以减小回弹量。

2. 板材弯曲

关于板材弯曲计算与模具设计，需考虑以下问题。

1) 弯曲坯料的相关尺寸是先经过计算，再通过试验弯曲来确定。

2) 弯曲模的凸、凹模尺寸，根据外形尺寸标注的不同要求，分别予以考虑。

3) 弯曲件上有孔时，必须使孔处于变形区之外，达到一定距离，否则弯曲导致孔变形。

孔边至弯曲半径 r 中心的距离 L 与板厚有关 (见图 2-17)，

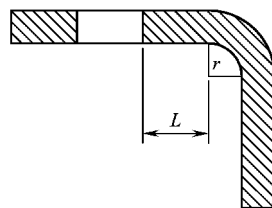


图 2-17 弯曲件上孔的位置

当板厚 t 小于 2mm 时, 距离 L 应大于 $1.5t$; 当板厚 t 在 2mm 以上时, 距离 L 应大于 $2t$ 。如果距离 L 过小, 则最好在弯曲后再开孔。

4) 有些复杂形状工件的弯曲次数须根据实际情况而定。

如图 2-18 所示形状复杂的一类弯曲件, 需要专用模具来完成, 所需的弯曲次数须根据实际情况而定。

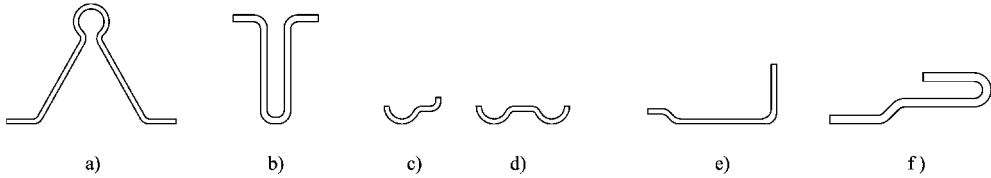


图 2-18 复杂形状的弯曲成形零件

图 2-18a 所示工件用冷压成形效果不好, 采用热压成形比较合适。其模具与成形方式如图 2-19 所示。

图 2-18b 所示工件用热压成形较好, 但效率低、耗能大、易出现拉伤。采用两次冷压方式为好, 其模具及压弯方式如图 2-20 所示。

图 2-18c 所示工件的截面不对称, 压弯时两边的材料流动会不均匀不稳定, 应在模具上增加顶料装置。同时也利于工件脱模。其模具及压弯方式如图 2-21 所示。

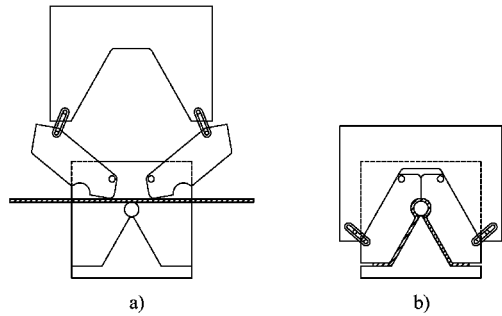


图 2-19 专用弯曲模及其成形方式

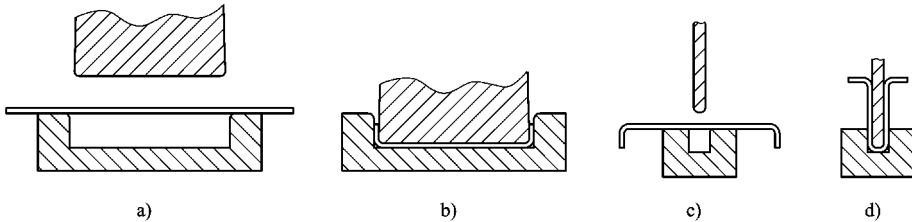


图 2-20 两次弯曲模及其压弯方式

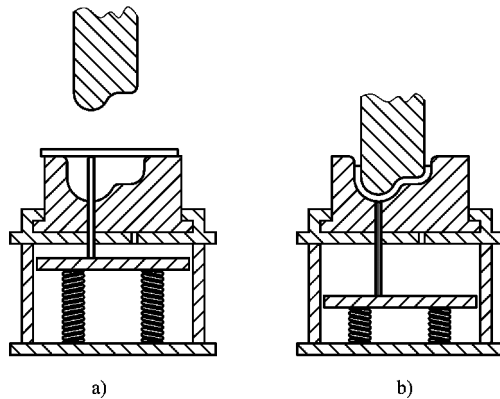


图 2-21 带顶料装置的弯曲模

图 2-18e 和图 2-18f 所示工件的一端都有正反曲的折弯，用通用模具无法完成，用两次压弯方式为好，先将一端的正反曲折弯完成后（图 2-22），再进行后面的弯曲。

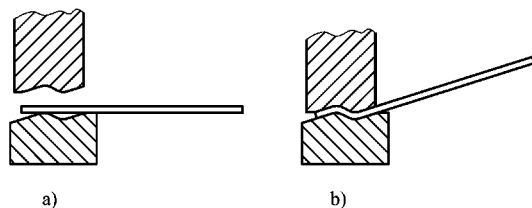


图 2-22 正反曲折弯模

图 2-18e 所示工件完成第一次压弯后，用 V 形胎进行第二次压弯。图 2-18f 所示工件则须采用如同图 2-18b 所示工件第二次压弯模的方式，来完成后面的压弯。

3. 型材弯曲

图 2-23、图 2-24 所示是机车常用的典型的型材再弯曲件。

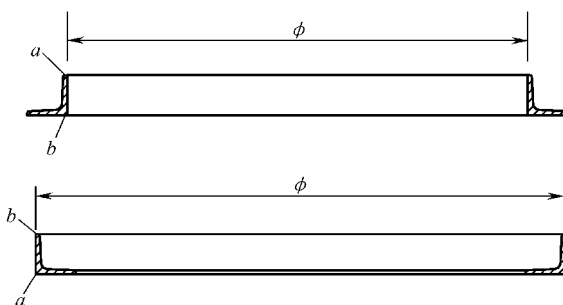


图 2-23 角钢弯曲件

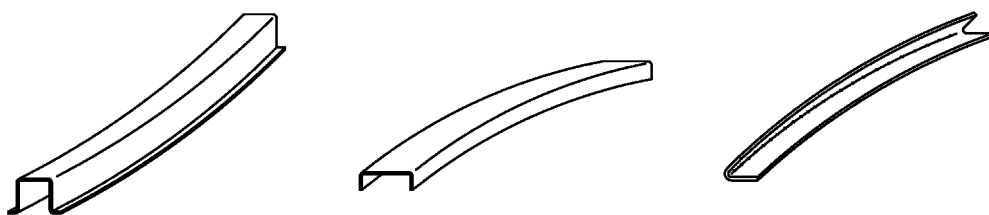


图 2-24 型材弯曲件

(1) 型材弯曲时的翼面回弹 型材弯曲与板材弯曲有所不同，主要与型材断面形状及其是否对称有关。一般而言，由于型材的刚性较强，型材的弯曲回弹要小于板材的弯曲回弹，但有的型材因断面形状不对称，弯曲时其翼面的回弹会不一致，导致材料失稳，使之出现扭曲变形。

图 2-23 所示的角钢弯曲件，为典型的回弹不对称弯曲件。弯曲时其翼面的 a 处回弹最大， b 处回弹较小，致使角钢弯曲件出现螺旋扭转。在设计角钢弯曲模具时，必须考虑这种回弹不一致的情况。

图 2-24 所示的型材弯曲件，为典型的回弹对称弯曲件，弯曲时翼面回弹趋于一致，型材弯曲件没有扭转现象。

型材翼面对回弹存在影响，但到底有多大，目前还没有准确的结论。

(2) 型材弯曲模具设计的经验公式及系数值
在型材弯曲的实践中，总结了一个型材弯曲模具设计的经验公式及系数值，供大家参考（见图 2-25 和表 2-1）。

$$R_{凸} = \frac{R}{1 + K \frac{R}{A \times H}}$$

- 式中 $R_{凸}$ ——凸模圆弧半径；
- R ——弯曲件内圆弧半径；
- K ——材料的弹性模量系数；
- A ——型材翼面的系数；
- H ——型材的翼面尺寸。

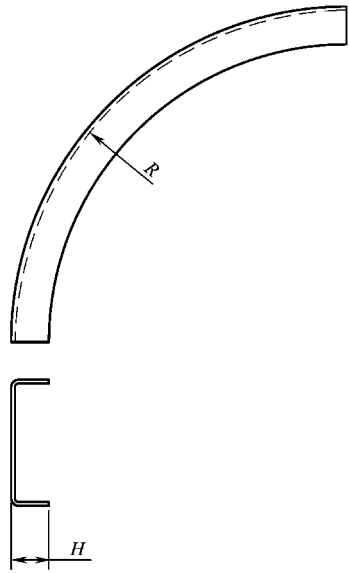


图 2-25 槽钢弯曲示意图

表 2-1 槽钢弯曲回弹 A 值

序号	R/H 值	A 值	序号	R/H 值	A 值	序号	R/H 值	A 值
1	5	0.2	7	11	0.45	13	17 ~ 23	0.68
2	6	0.24	8	12	0.49	14	24 ~ 38	0.70
3	7	0.28	9	13	0.53	15	39 ~ 57	0.72
4	8	0.34	10	14	0.57	16	58 ~ 65	0.76
5	9	0.39	11	15	0.61	17	66 ~ 76	0.86
6	10	0.42	12	16	0.65	18	大于 88	1.00

(3) 槽钢弯曲时的扭曲控制 槽钢弯曲模的设计，应考虑槽钢弯曲时，翼面会失稳出现扭曲的情况，要采取一定的措施。这里介绍两种模具的控制方式，供参考。

方式一，当压力设备自身既有垂直液压缸，又有水平液压缸时，用垂直力压弯，用水平力抑制扭曲，模具结构如图 2-26 所示。这种模具制作简单，使用方便，工件压弯时易于脱模。

方式二，当压力设备只有垂直液压缸时，可采用图 2-27 所示的模具结构。

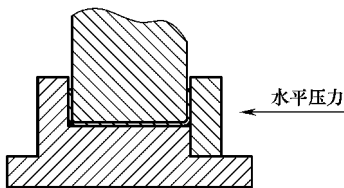


图 2-26 型材弯曲模结构

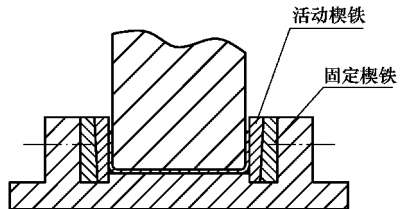


图 2-27 采用楔铁的型材弯曲模结构

模具中的活动楔铁，可在压弯后凸模上升时随之上移，使凸、凹模的间隙加大，易于工件脱模。

4. 特殊弯曲

(1) 瓦楞板的弯曲成形 瓦楞板是常见的弯曲件又称起伏件（图 2-28），这种起伏件不能通过一次成形来完成，只能一个波形再一个波形地压制，其模具形式如图 2-29 所示。

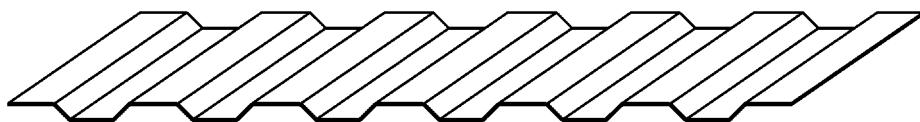


图 2-28 瓦楞板零件图

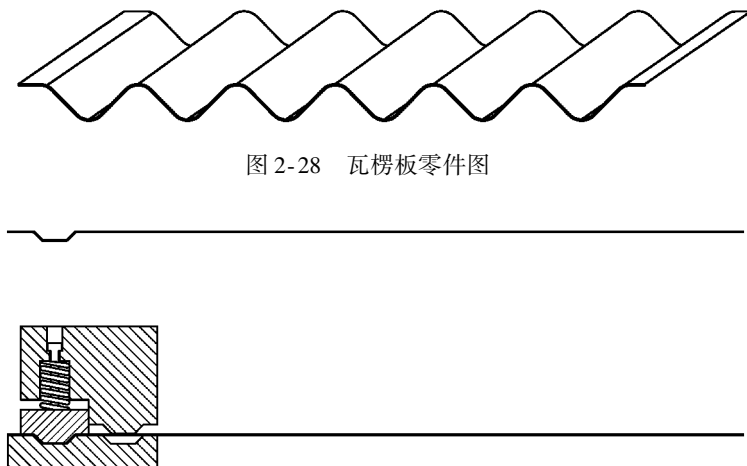


图 2-29 瓦楞板弯曲模

如图所示，这是一个双波形的模具。先将板材一端压制出一个波形来，压第一个波形时，材料从模具左右两侧向模具中心流动，为材料双向流动。当压成第一个波形后，将其放入左侧的定位凹模，凸模下行，带弹簧的凸模先把第一个波形压住，凸模继续下行，开始压制第二个波形，模具右侧材料向左流动，为材料单向流动，可对压制第二波形进行材料补充。

(2) 槽钢的侧弯曲 槽钢的侧向弯曲比较少见（图 2-30），其弯曲方式也比较特殊。弯曲槽钢之前，需要在槽钢变形区的槽内放置支撑板。弯曲时，须采用加热压制的方式。

(3) 盆形槽钢的弯曲 盆形槽钢的弯曲模具是多块组合在一起的（图 2-31），凸模左和凸模中是固定在连接板上的，凸模右是用螺栓连接的，凸模右的连接要与凸模中留有 1 ~ 2mm 的间隙。凸模的左、中、右通过螺栓连为一体，固定在连接板上。

弯曲工件时，将盆形槽钢放入凹模中，然后，用水平液压缸推动活动挡板，使其与凹模体贴紧，再驱动垂直液压缸使凹模体下行进行压弯。

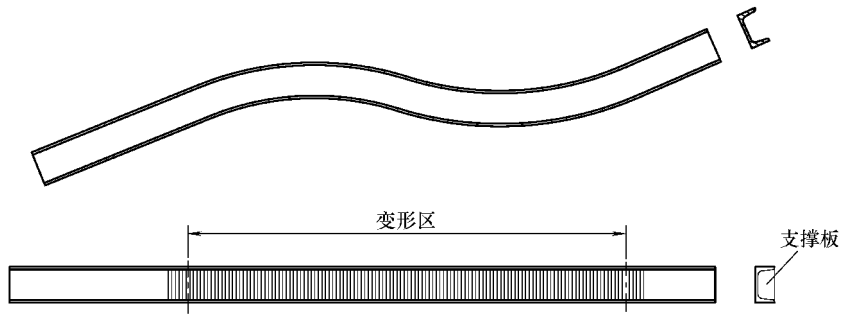


图 2-30 槽钢的侧向弯曲

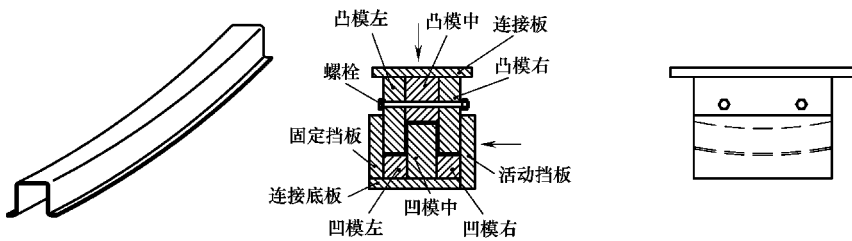


图 2-31 盆形槽钢的弯曲模具

5. 弯曲定位问题

弯曲件的质量优劣，很大程度取决于定位是否精准，弯曲顺序和定位基准是否合理。

弯曲定位大致分为前端定位、后端定位、侧辅定位、中心线定位和辅助线定位。任何一种定位方式都有其特点，合理的选用至关重要。

(1) 前端定位（后挡料）是一种最常用的简捷的定位方式。目前折弯机上都配有多轴数控后端定位装置，使用方便，定位准确。但多道弯曲时，由于要变换定位基准，所以，后续的定位基准容易受到前期弯曲精度的影响（图 2-32）。

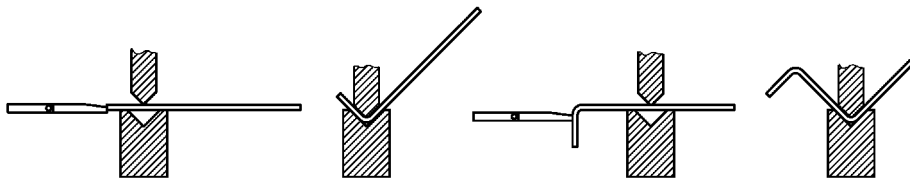


图 2-32 前端定位弯曲模

(2) 后端定位 后端定位虽不及前端定位方便，但这种方式无论进行几道弯曲，始终使用同一个定位基准，因此，弯曲尺寸不至于受到其他因素影响（图 2-33）。

(3) 侧辅定位 对窄长件进行平行的多道弯曲时，为了确保每道弯曲线相互平行，除设置前端定位或者后端定位外，还应在材料边缘沿长度方向设置侧面辅助定位（图 2-34）。

(4) 中心线定位 有些弯曲件很难用前、后端定位方式进行准确定位，建议采用中心线定位方式，如图 2-35 所示。

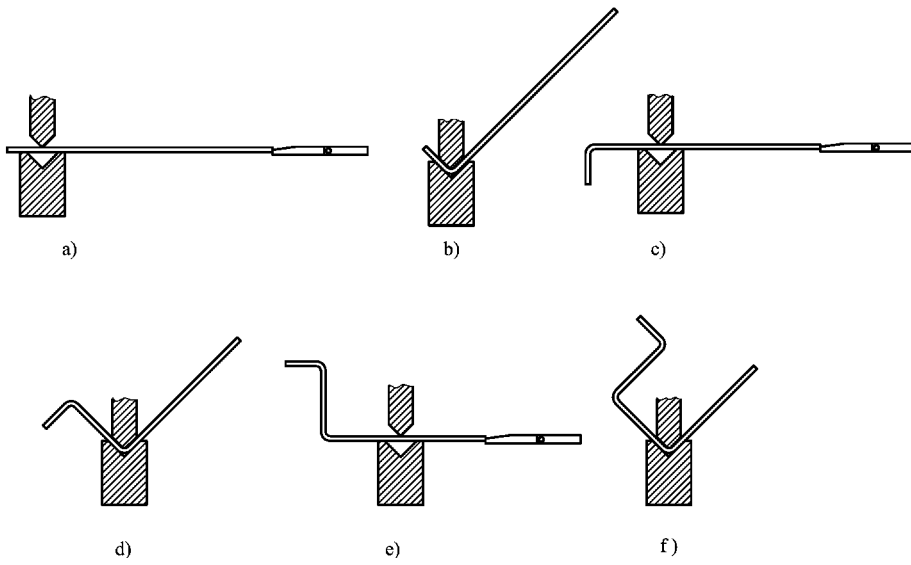


图 2-33 后端定位弯曲模

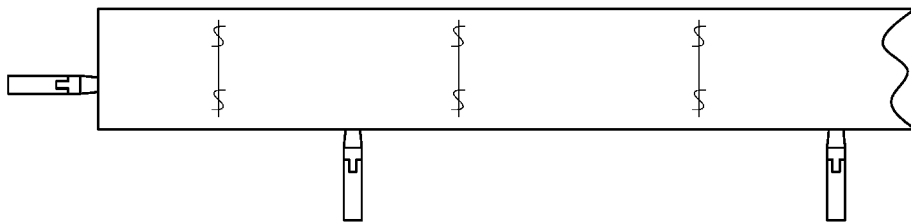


图 2-34 窄长件的多道平行弯曲的定位

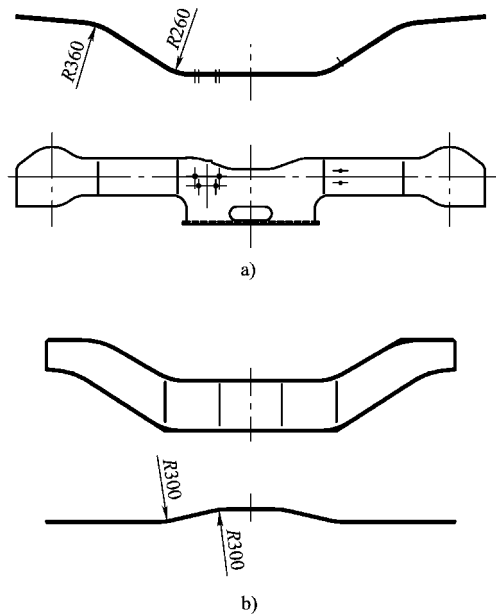


图 2-35 弯曲时用中间定位的工件

(5) 辅助线定位 在进行多道大曲率半径弯曲时，当凸模难以精准地捕捉到弯曲线的时候，建议采用辅助线定位的方式（图 2-36）。

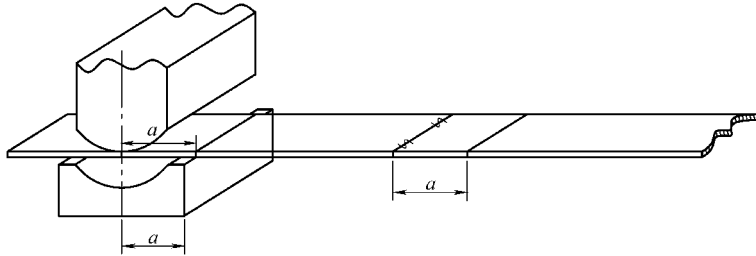


图 2-36 弯曲时的辅助线定位

6. 组合弯曲模

图 2-35a 是一个窄长的弯曲件，共有四道弯曲，弯曲半径两两相同。按照弯曲顺序，应当先对两端进行 $R360$ 的弯曲，再对中间进行 $R260$ 的弯曲，需换两次模具，比较麻烦，且搬动工件的次数较多。在此介绍一种组合弯曲模具，供参考。

组合弯曲模具如图 2-37 所示。设计时，两种弯曲半径的模具均不要过长，只需略宽于工件的宽度尺寸。要求模具（一）与模具（二）的凸模尺寸 $A = a$ ，凹模尺寸 $B = b$ 。

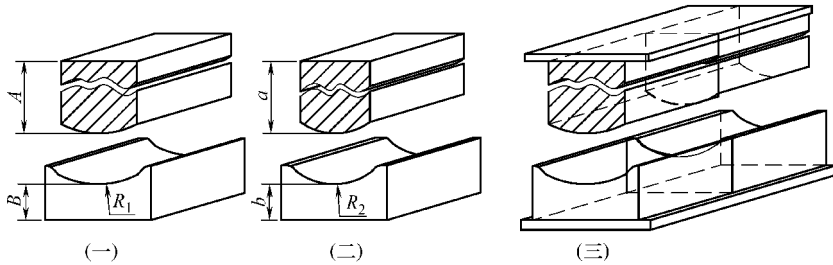


图 2-37 组合的弯曲模

模具（一）与模具（二）加工好后，组合成模具（三）的形式，即两组等高的凸模与上座板组成模具（三）的上模，两组等高的凹模与下座板组成模具（三）的下模。这种组合模在使用时，不仅减少了模具安装次数，也减少了工件搬抬次数，降低了劳动强度，而且便于工件在弯曲过程中的质量检测。

2.8.3 弯曲件的模具与生产设备

1. 弯曲件模具类型

弯曲件的模具类型，可按弯曲件形状、弯曲件材料、模具材质、模具适用的设备来划分。这些弯曲模具在结构上有很大的差别。

(1) 按弯曲件形状 分为单角弯曲模、双角弯曲模（Z 形弯曲、U 形弯曲）、多角弯曲模。

(2) 按弯曲件材料 板料弯曲模、型材弯曲模、管材弯曲模、杆（线）材弯曲模。

(3) 按模具材质 分为全金属模具、聚氨酯橡胶弯曲模（用聚氨酯橡胶替代钢质凹模）。

(4) 按模具适用的设备 分为通用压力机用弯曲模、折弯机用弯曲模、弯曲机用弯曲模。

2. 弯曲件生产设备

弯曲工艺主要在机械压力机和板料折弯机上完成。

2.8.4 典型弯曲件生产实例

1. U形连接件及其弯曲模

图2-38为U形连接件及其弯曲模结构。

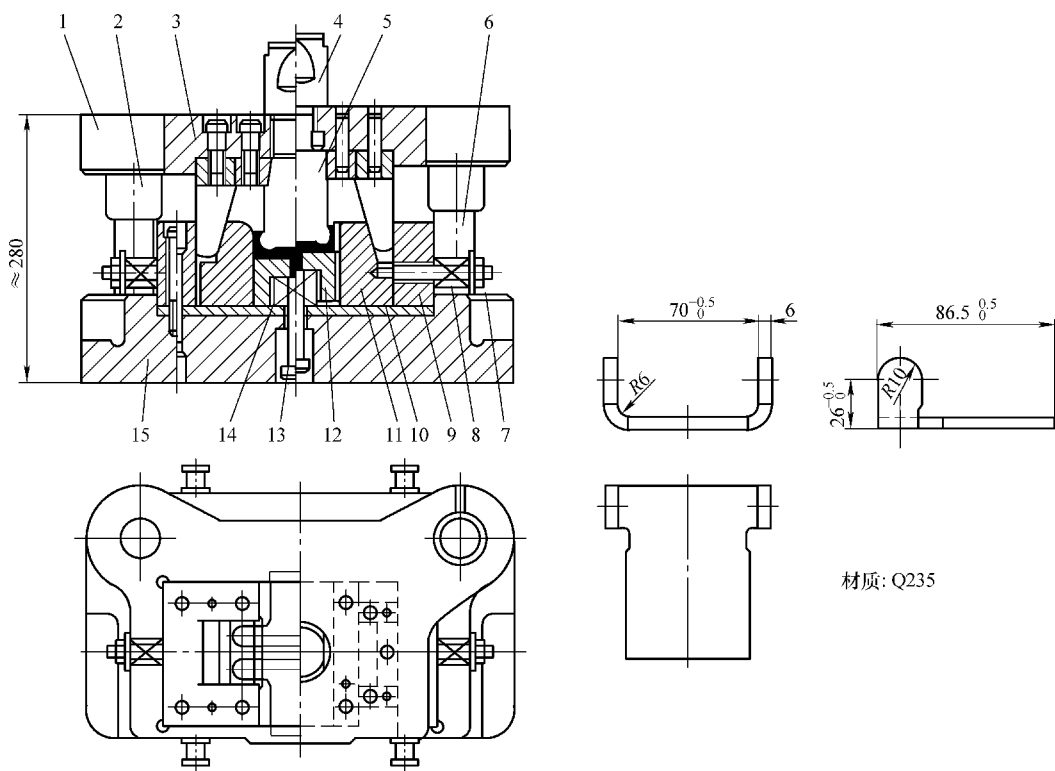


图2-38 U形连接件及其弯曲模结构

1—上模座 2—导套 3—斜楔 4—模柄 5—凸模 6—导柱 7、13—螺栓 8、14—弹簧
9—凹模座 10—垫板 11—滑楔形凹模 12—托料块 15—下模座

该模具将落料后的坯料一次压弯成形，一次压制两件。

坯料放在托料块12上，托料块上加工有槽，工件定位精度较高。当压力机滑块下行时，凸模5先与坯料接触，压住坯料下行，坯料沿滑楔形凹模11的圆角滑动，进入凹模型腔内，坯料被压弯成U形。滑块继续下行，斜楔3与滑楔形凹模11接触，使滑楔形凹模11在凹模座9的槽内向模具中心移动，对工件两侧进行校正。

当压力机滑块回程时，斜楔3向上，滑楔形凹模11在螺栓7、弹簧8作用下向模具外侧移动，托料块12在弹簧14作用下向上移动，将工件从凹模内推出。

2. 内燃机车百叶窗叶片及其弯曲模

内燃机车百叶窗叶片由 1mm 厚的钢板弯曲而成，需五道工序才能成形。图 2-39 为百叶窗叶片一至三工序弯曲模结构图及叶片弯曲示意图；图 2-40 为叶片四至五工序弯曲模及叶片最终成形图，即工件图。模具为一副大模架上设置几副单工序模，类似多工位组合模具。

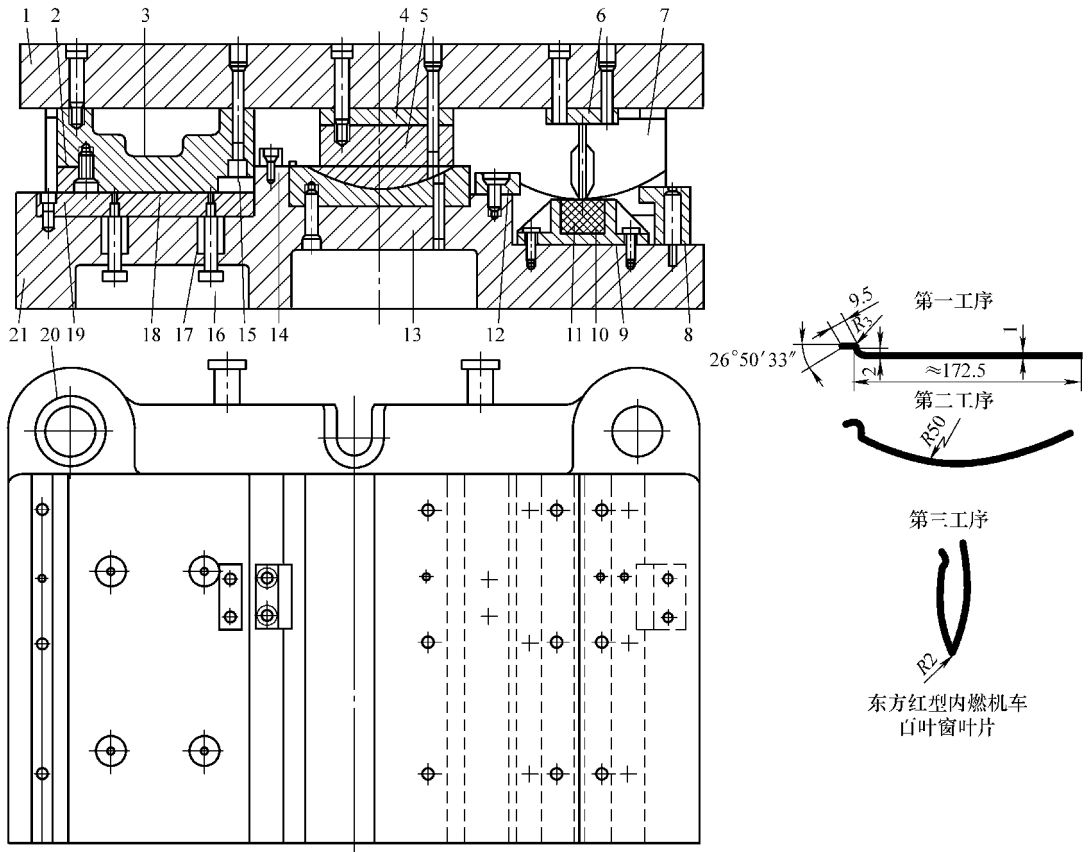


图 2-39 叶片一至三工序弯曲模

- 1—上模座 2—镶块 3—凸模 4—垫板 5—凸模 6—凸模 7—导柱 8—定位板 9—容框 10—圆钢 11—橡胶块
- 12—定位板 13—凹模 14—定位板 15—定位板 16—螺栓 17—弹簧 18—托料板 19—镶块 20—导套 21—下模座

在图 2-39 所示弯曲模上，将坯料放在第一工序压弯模的托料板 18 上，由定位板 15 定位，滑块下行压制出坯料一端的钩形头；将压出钩头的坯料置于第二工序压弯模的凹模 13 上，由定位板 14 定位，压制出坯料中间部分的圆弧；将压出圆弧的坯料置于第三工序压弯模的橡胶块 11 上，由钩头定位板 12 定位，凸模 6 将坯料弯曲对折。

在图 2-40 所示弯曲模上，将已对折成形的坯料置于第四工序压弯模的浮动凹模（一）9 上，由对折一端定位，压弯出另一端的折边；将已折边的坯料置于第五工序弯曲模的凹模（二）7 上，折弯端对准镶块（二）6 的凹槽内，将有钩头一端的折边压弯，使之与中间弧面吻合，工件最终成形。

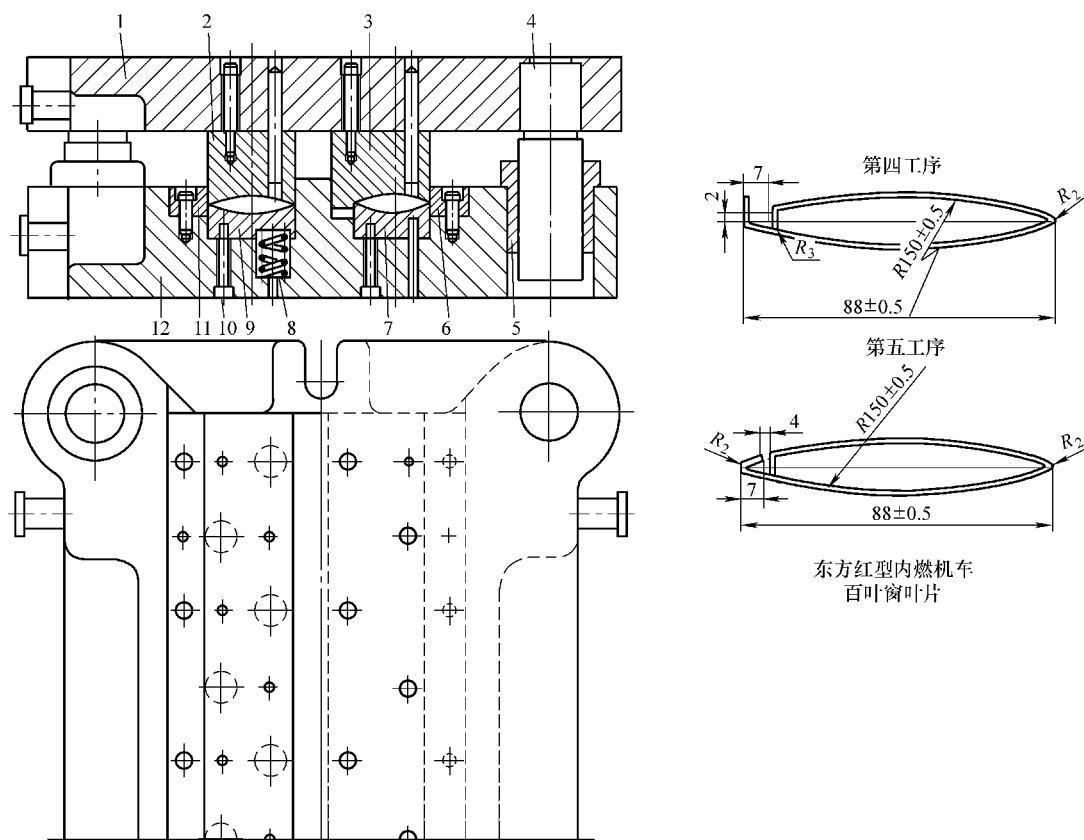


图 2-40 叶片四至五工序弯曲模

1—上模座 2—凸模（一） 3—凸模（二） 4—导柱 5—导套 6—镶块（二）
7—凹模（二） 8—弹簧 9—凹模（一） 10—螺栓 11—镶块 12—下模座

2.9 其他成形技术

2.9.1 板式结构压形模具

目前，许多轨道车辆都设计成流线形状，这就使得许多覆盖件是球形曲面或者是不规则的曲面形状。

拉深模成形覆盖件精度高、质量好，但模具投入成本巨大。汽车制造由于批量大，拉深模的投入成本易于收回。而轨道机车的产量远低于汽车产量，根本无法收回拉深模具成本。因此，在轨道机车冲压生产中，还没有采用拉深模具成形覆盖件的。

在这里，介绍一种经济、简便、实用的板式结构压形模，这种模具是用钢板组焊而成，组焊后稍作打磨即可以使用，不需要进行机械加工。

1. 方格板式结构压形模具的设计与制作

球形曲面在成形过程中，由于经向和纬向变形后的相互制约，其回弹很小。在设计时，

为简化设计过程，对工件材料的回弹量可以忽略不计。这样，也能够满足压制出工件基本形状的要求。

板式结构模具主要由纵向立板、横向立板、连接盖板、模具面板和填充物（混凝土）组成。

首先将 ACEG 这个曲面，设定在有利于压制的空间位置。根据模具的强度、面板的刚度以及特殊点的需要，做纵向和横向的垂直切面，以获得不同位置的坐标点和不同的切面形状，这些切面形状就是立板的形状，如图 2-41 所示。

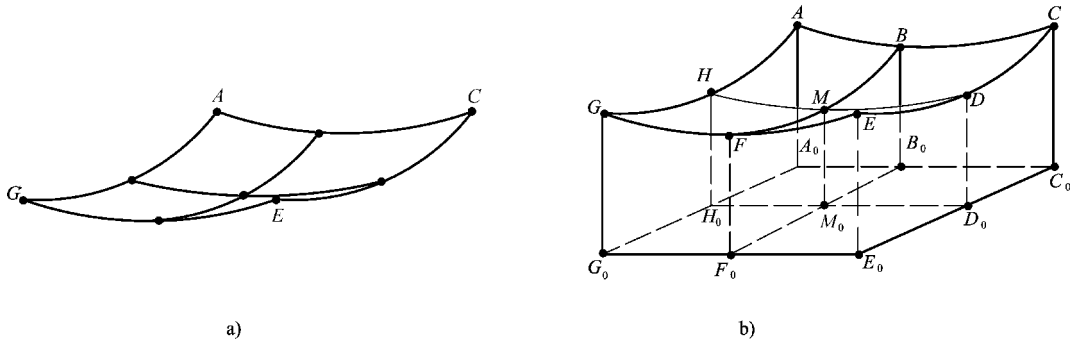


图 2-41 曲面和曲面的立板位置

立板的间距在 120 ~ 150mm 为宜，立板和面板采用厚度为 8 ~ 10mm 的普通碳素结构钢板材即可。立板要采用数控切割的方式进行材料分离。在纵向和横向立板交叉处要开出宽度略大于立板厚度的插口（2mm 左右），插口的长度要比立板交叉处高度的 1/2 多 2 ~ 3mm。以图 2-41 为例，立板的情况如图 2-42 所示。

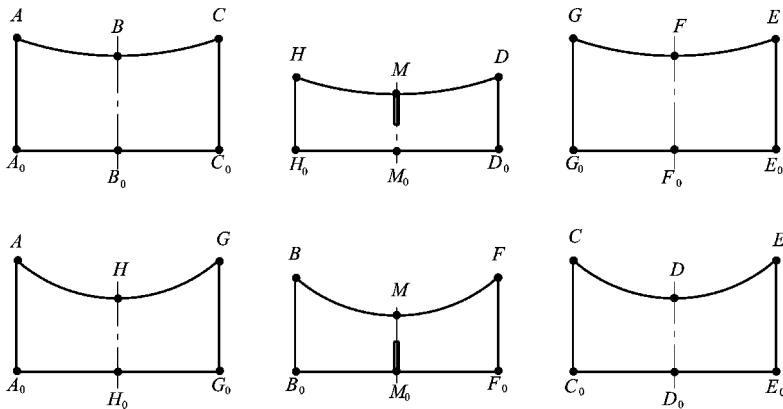


图 2-42 立板的形状

将切割好的立板，按照坐标位置组对在连接板上。连接板是模具中用来与压力设备连接的部分，其尺寸大小需根据模具和压力设备的实际情况而定，如图 2-43 所示。组对好后，要对内外施焊，这样，就制成了该曲面压形模的基本骨架。然后，用混凝土将方格内的空间填满，用泥瓦工具按照立板的高度抹平，一个模具的形态就出来了。

以上所述为凹模制作的一个步骤过程，凸模的制作与其相同。凸、凹模的制作完成到这

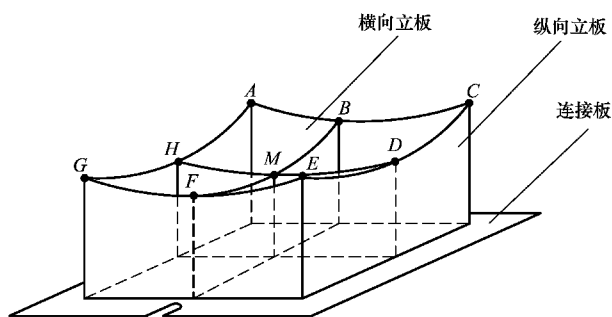


图 2-43 组合后的立板

一步后，待混凝土的养生期满，就可以进行面板的组焊了。

组对面板前，要将凸、凹模的基本骨架先安装在压力机上，并将其固定好（按正常模具安装进行）。然后，按照正常压制工件的方式，将凸、凹模具的面板分别放入模具基本骨架里进行压制，如有因材料失稳出现面板起皱的情况，需将起皱现象消除后，再行组对。组对时，将压好的面板重新放入模具基本骨架里，用压力机压紧，使其与模具骨架紧密地贴合在一起，用电焊点固后，对其进行施焊，施焊结束压形模具的制作就全部完成了。

2. 平行板式结构压形模

图 2-44 为钢板制作的板式结构压形模。

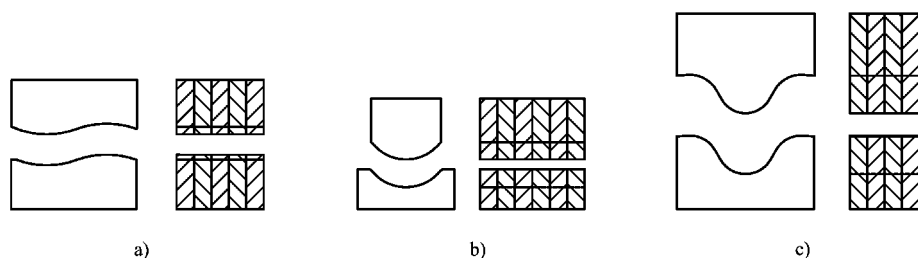


图 2-44 板式结构压形模

根据实际情况选用相应厚度的钢板和需要切割的块数，用数控切割的方式将钢板按照形状切割出来，并把边缘用气割的方式割出倒角（作为焊接坡口）。然后，把数块切割好的钢板摺在一起使边缘对齐，用电弧焊焊在一起。

这种方式要比采用锻造、铸造和用方钢进行加工方式制作模具更快捷，而且费用更低。

按照图 2-45 的形式，用钢板还可以制作压制圆台形状弯曲件的模具。

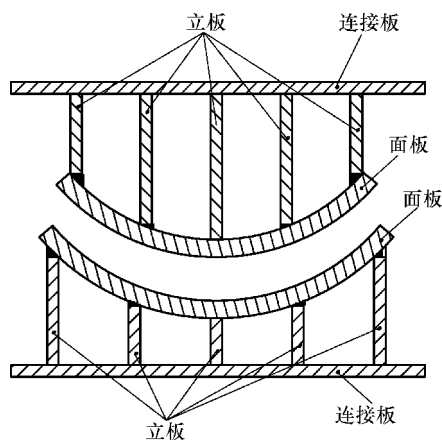


图 2-45 板式结构弯曲模

2.9.2 调直

调直指的是对型材和焊接结构件的校正。调直

分为手工、火焰、机械以及火焰与机械综合校正的方式。

机械校正是一种比较常用的一种校正方式。型材校正有拉伸方式、专用型材调直机校正方式，也有压力机校正方式和其他方式，要视具体情况合理选用。

在这里，介绍一种巧用卷板机对槽钢、方管进行调直的方法。

卷板机是进行弯曲的常用设备，板材卷筒一般都需用到这种设备。在设备条件允许的情况下，也可将其用来进行槽钢和方管的调直和辊曲成形。调节卷板机被动辊升降，即可调节卷筒的曲率大小，同理，也可用作槽钢和方管的调直。

2.9.3 校平

板材在进行材料分离前和分离后，一般需进行校平方能够满足使用要求。板材校平常用的方式有：辊平、压平和手工校平三种。

1. 辊平

辊平是用专用校平机对板材进行校平，效率高、质量好，校平的过程能够使板材内部的应力达到均衡，为后期制作提供良好基础。这是辊平独有的优势，所以，校平机被广泛采用。

2. 压平

压平是在装有校平工装的压力机上进行的，其效率远不如辊平方式，多数被作为辊平方式的补充。当板材厚度过厚，校平机功率不足，以及待校平材料的长度不大于2个辊距时，校平机无法对板材进行校平。这时，压平方式就成了很好的选择。

3. 手工校平

手工校平是用手工锤击和搬扭对板材进行校平的方式。尽管这种方式看似落后，但是在生产实践中，手工校平仍是不可或缺的方式。

2.9.4 辊形

辊形是指利用卷板机对材料进行辊压成形，这种方式常用于板材的圆筒和弧形板的辊压成形。辊形之前，须在材料的两端预先弯曲出一段与工件要求相同曲率半径的圆弧，如图2-46所示，圆弧的长度要大于两个主动辊间距的二分之一。

卷板机除了对板材进行辊形之外，还可以对槽钢和方管进行大曲率的辊形和调直。

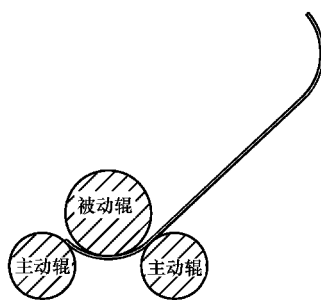


图 2-46 卷板机上的滚形

2.10 冲压件常见缺陷与解决措施

2.10.1 弯曲裂纹

裂纹是弯曲件的严重质量问题，因此，避免弯曲过程出现裂纹，是进行弯曲时应注意的重点。

1. 造成弯曲件裂纹的主要原因

- 1) 材料的机械性能状态差（伸长率）。
- 2) 材料的表面有缺陷或内部有杂质。
- 3) 材料的轧制方向与弯曲线方向处于平行状态。
- 4) 弯曲半径过小。
- 5) 材料的剪切飞刺。
- 6) 材料预处理时的喷砂，造成的材料表面冷作硬化状态。

2. 避免弯曲件裂纹的措施

避免弯曲时出现裂纹，就要在弯曲前消除造成裂纹的影响因素，消除工作须从弯曲件的设计开始。

- 1) 一般所说的弯曲，是处于冷弯曲状态。弯曲半径在设计时，要考虑材料的伸长率和无法避免材料轧制方向与弯曲线平行的情况。常用的 Q235 和 Q345 板材，弯曲半径不应小于 $1.5t$ 。
- 2) 表面有缺陷、有裂纹的材料不能用于弯曲件。
- 3) 弯曲件材料在进行材料分离时，要考虑避免轧制方向与弯曲线平行的问题。
- 4) 去除剪切飞刺。
- 5) 弯曲前对材料进行退火，可以改善弯曲时的裂纹情况。
- 6) 必要时，需调整喷砂除锈与弯曲的先后顺序。

2.10.2 表面拉伤

拉伤是成形件常见的质量问题，造成工件拉伤的主要原因，是成形过程材料流动时的摩擦力过大以及模具耐磨性差所致。

避免拉伤，可采取以下措施：加大凹模的倒角、改善凹模的表面粗糙度、凹模选用耐磨材料制作、在凹模上涂抹润滑剂。

2.10.3 大型曲面成形的常见缺陷

大型曲面成形中常见的缺陷有：裂纹和破裂、皱纹和折纹、棱线不清、刚度小、表面划痕和表面粗糙等。

1. 裂纹和破裂

大型曲面成形时裂纹和破裂产生的原因，主要是由于局部毛坯的拉应力超过了强度极限所致，具体影响的原因有：

- 1) 材料的冲压性能不符合工艺要求。如伸长率（ A ）、屈强比（ R_{eL}/R_m ）晶粒度大小和均匀度等不符合规定，均能引起开裂。
- 2) 板料厚度超差。当板料厚度超过上偏差时，在局部间隙小的区域，容易把材料卡死，使材料冲压变形困难，不易通过该处流入凹模内而被拉断。当板料厚度超过下偏差时，材料变薄，横断面单位面积上的压应力增大，或者由于材料变薄，阻力减少，流入凹模内的板料过多而先形成皱纹，材料因流动受阻而被拉裂。
- 3) 材料表面质量差。如表面有划痕时，在冲压过程中，该处易引起应力集中而产生裂纹。或表面有锈而大大增加材料补充中的摩擦阻力，材料变形和流动困难而引起开裂。

4) 压料面的进料阻力太大。造成压料面进料阻力过大的原因有：毛坯外形尺寸过大，造成压料面积过大而阻力增大；凹模圆角半径过小，引起材料流动困难；压料面和凹模圆角半径不光滑，造成阻力大，材料流动困难。

5) 局部拉深量太大。工件局部拉深变形超过材料变形极限。材料在一次成形工序中拉深变形超过极限伸长率。

6) 凸、凹模因制造和组装误差，导致凸、凹模间隙偏斜，造成进料阻力不均。

7) 不按工艺规定涂润滑剂，摩擦阻力增大，造成进料困难而开裂。

8) 在操作过程中，把毛坯放偏，造成一边过大，一边过小。过大的一边进料困难，造成开裂；过小的一边阻力过小，进料过多，易起皱，起皱后进料困难，引起破裂。

2. 皱纹和折纹

皱纹产生的原因，主要因局部毛坯受压引起失稳和材料流向不均，引起局部材料堆积而产生皱纹，具体影响的因素有：

1) 制件的冲压工艺性差，冲压方向和压料面形状确定不当，很难控制材料流动速度而引起的皱纹。

2) 压料面的压料力不够，进料阻力太小，进料过多而起皱。

3) 压料面接触不好，引起压料面压料力不均匀，造成局部区域压料力不够而产生皱纹。

4) 凸、凹模无间隙，或间隙不合理。因凸、凹模制造和组装误差导致凸、凹模局部压严，而大部分没有压严，造成工件大面积不平。

3. 棱线不清

制件从外表观察，成形棱线不清晰。主要是凸、凹模没有压严，造成没有压严的原因有：

1) 压力机的压力不够，在成形工序中，压力机的最大压力小于工件的成形力。即凸、凹模没有贴严，凸模不能继续向下，导致棱线不清。

2) 凸、凹模镶块的制造和组装误差，使凸、凹模实际间隙不均匀，压力机的压力都消耗于凸、凹模间隙较小的局部区域。该部分工件被碾压变薄，而大部分凸凹模没有压严，造成棱线不清。

3) 压模的导向不好和压力机平行度不好等，都能引起凸凹模压不严而使制件棱线不清。

4. 刚性差

形成刚性差的主要原因除制件工艺性不好外，主要是压料面的进料阻力太小，材料塑性变形不够引起的。

5. 表面划痕

产生表面划痕的原因：

1) 凹模圆角部分不够光滑，在成形过程中材料被划伤，并有可能使材料粘附在凹模上，而形成划痕。

2) 脏物落入凹模中或润滑油不干净而划伤制件表面。

3) 成形凹模由数块镶块组成时，由于镶块拼接处接合不好而造成划痕。

参 考 文 献

- [1] 中国铁路机车车辆工业总公司. 冲压模具设计手册 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1996.
- [2] 李奇涵. 冲压成形工艺与模具设计. [M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2012.
- [3] 周本凯. 冷冲压模具设计精要. [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [4] 侯英玮. 材料成型工艺. [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2002.
- [5] 周述积, 侯英玮, 茅鹏. 材料成型工艺 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [6] 沈兴东, 韩森和. 冲压工艺与模具设计 [M]. 济南: 山东科学出版社, 2005.
- [7] 翟建军, 等. 板料和型材的冲压与成形技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [8] 王卫卫. 材料成型设备 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [9] 郭泽阔, 杨中平, 闫雪燕. 城市轨道交通车辆车体材料的选型分析 [J]. 西部交通科技, 2009 (10).
- [10] 2012 - 2016 年中国铁路机车行业投资分析及深度研究咨询报告 [R/OL]. <http://www.51report.com/research/256880.html>.

第3章 客车冲压件制造技术

3.1 概述

3.1.1 轨道客车的分类

轨道客车分为铁路客车和城市轨道交通用的电动客车两类。铁路客车主要用于主干城市间的长途运输，城市轨道交通主要是用于城市内部的公共交通运输。

1. 铁路客车

铁路客车分类方式很多，主要有以下三种分类方式：按速度等级分类、按使用用途分类、按结构分类。

(1) 按速度等级分类

铁路客车按速度等级分为普通铁路客车、准高速铁路客车、高速铁路客车三大类。

普通铁路客车一般指运行速度等级在 120km/h 的铁路客车；

准高速客车一般指速度等级在 160km/h 的铁路客车；

高速铁路客车是指速度等级在 200km/h 以上铁路客车，现在高速铁路客车有以下四种型号：CRH1 型（四方和庞巴迪合资公司生产）、CRH2 型（青岛四方轨道客车股份有限公司生产）、CRH3 型（长春轨道客车股份有限公司和唐山机车车辆股份有限公司生产）、CRH5 型（长春轨道客车股份有限公司生产）。

(2) 按用途分类

按铁路客车的用途分为 15 种类型，见表 3-1 所示。

表 3-1 铁路客车的种类

序号	车种	基本型号	序号	车种	基本型号
1	软座车	RZ	9	公务车	GW
2	硬座车	YZ	10	医疗车	YL
3	软卧车	RW	11	卫生车	WS
4	硬卧车	YW	12	试验车	SY
5	行李车	XL	13	维修车	WX
6	邮政车	UZ	14	特种车	TZ
7	餐车	CA	15	救援车	JY
8	空调发电车	KD			

(3) 按结构分类

按车辆结构分为单层铁路客车和双层铁路客车。

2. 城市轨道交通用的电动客车

城市轨道交通用的电动客车按照住房和城乡建设部发布的有关文件分类如下（表3-2）：

表 3-2 城市轨道交通车辆分类

大类	小类	备注
地铁系统	A型地铁车辆	高运量，适用于地下、地面或高架
	B型地铁车辆	大运量，适用于地下、地面或高架
	L _B 型地铁车辆	大运量，适用于地下、地面或高架
轻轨系统	C型地铁车辆	中运量，适用于高架、地面或地下
	L _C 型地铁车辆	中运量，适用于高架、地面或地下
单轨车辆系统	跨座式单轨车辆	中运量，适用于高架
	悬挂式单轨车辆	中运量，适用于高架
有轨电车系统	单厢或铰接式有轨电车（含D型车）	低运量，适用于地面（独立路权）、街面混行或高架
	导轨式胶轮电车	
磁悬浮车辆系统	中低速磁悬浮车辆	中运量，适用于高架
	高速磁悬浮车辆	中运量，适用于郊区高架
自动导向轨道车辆系统	胶轮特制车辆	中运量，主要适用于高架或地下
市域快速轨道车辆系统	地铁车辆或专用车辆	适用于市域中、长距离客运交通

3.1.2 轨道客车的基本结构

轨道客车由五大部分组成：车体部分、走行部分（转向架）、制动装置、连接装置、车辆内部设备。这些组成部分的结构件大部分由冲压件组成。图3-1为轨道客车示意图。

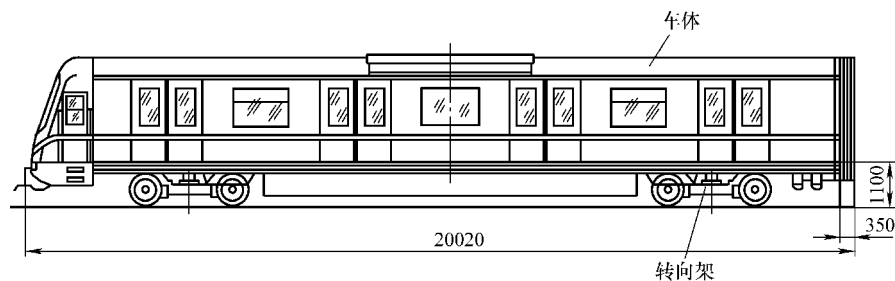


图 3-1 轨道客车示意图

1. 轨道客车车体结构

轨道客车的车体按所用材料分为碳钢车体、不锈钢车体和铝合金车体三种。

图3-2为碳钢铁路客车的钢结构。它的主要材料是耐候钢。表3-3给出每个部位零件的断面形状。

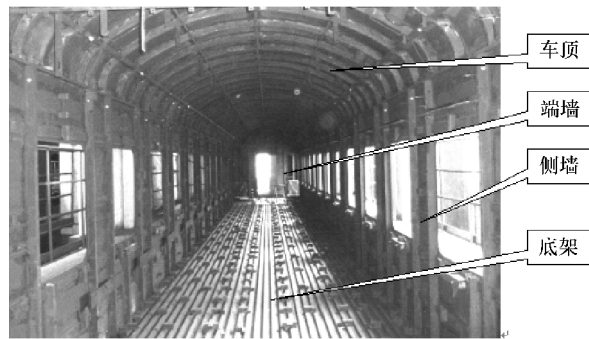


图 3-2 碳钢铁路客车车体钢结构示意图

表 3-3 碳钢铁路客车钢结构梁柱断面图

部位	零件名称	断面	材料	成形方式
端墙	立柱		2.5 - 05CuPCrNi	折弯
	墙板		2 - 05CuPCrNi	折弯
	门板		2.5 - 05CuPCrNi	折弯
	端角柱		2.5 - 05CuPCrNi	折弯
	角柱		2.5 - 05CuPCrNi	折弯
	折棚柱		[200 - Q235B	热轧型材
侧墙	侧柱		2 - 05CuPCrNi	模具压形
	纵梁		2 - 05CuPCrNi	冷弯成形
	上边梁		2.5 - 05CuPCrNi	冷弯成形
	门立柱		2.5 - 05CuPCrNi	折弯
	侧墙板	平板	2.5 - 05CuPCrNi	剪切

(续)




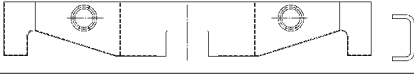
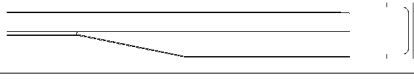
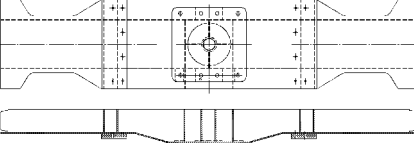
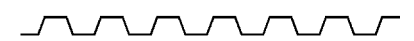



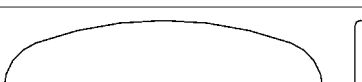




部位	零件名称	断面	材料	成形方式
底架	横梁		4-09CuPCrNi-B	折弯
	边梁		[180-Q235B	热轧型材
	端梁		6-09CuPCrNi-A	折弯
	缓冲梁		6-09CuPCrNi-A	折弯
	牵引梁		[30-Q235B	热轧型材
	枕梁组成		10-09CuPCrNi-A	激光切割、 模具压形
	波纹地板		1.5-05CuPCrNi	冷弯成形
车顶	车顶弯梁		2-05CuPCrNi	折弯后 拉弯成形
	顶端弯梁		2.5-05CuPCrNi	折弯后 拉弯成形
	端弯梁		L63x45x5-Q235B	热轧型钢 拉弯成形
	顶端板		2-05CuPCrNi	模具压形
	纵梁		2-05CuPCrNi	折弯
	侧顶板		2-05CuPCrNi	冷弯成形
	下边梁		2.5-05CuPCrNi	冷弯成形
小弯梁		2-05CuPCrNi	模具压型	

图 3-3 为不锈钢城铁客车车体钢结构示意图。它的主要材料是奥氏体不锈钢。表 3-4 给出了每个部位零件的断面形状。

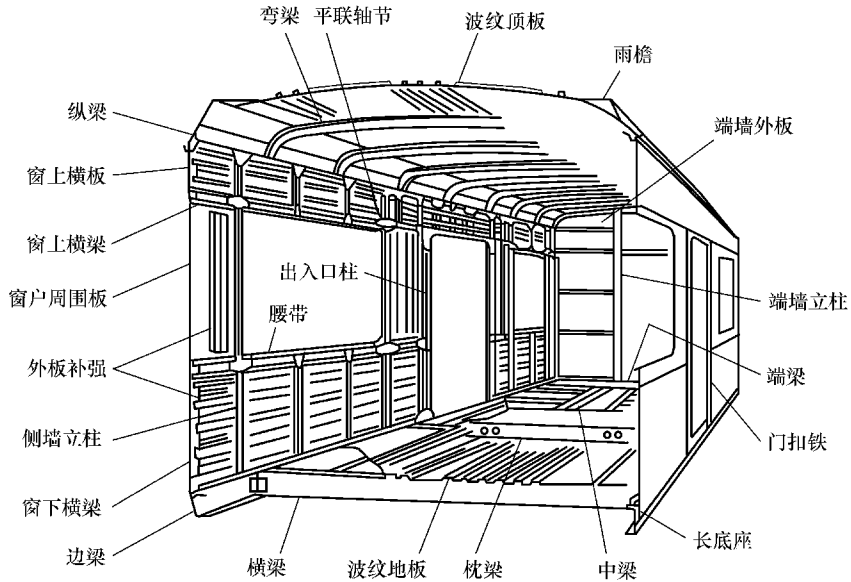


图 3-3 不锈钢车体钢结构示意图

表 3-4 不锈钢车体梁柱断面图

部位	零件名称	断面形状	材料	成形方式
端墙	立柱		1 - SUS301L - HT	折弯
	端墙板	平板	1.5 - SUS301L - DLT	切割
	横梁		1.5 - SUS301L - DLT	折弯
	下边梁		1.5 - SUS301L - DLT	折弯
	上墙板	平板	1.5 - SUS301L - DLT	折弯
侧墙	门立柱		1 - SUS301L - HT	折弯、拉弯成形
	窗立柱		1 - SUS301L - HT	折弯、拉弯成形
	窗下立柱		1 - SUS301L - HT	折弯、拉弯成形

(续)


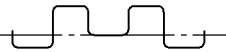
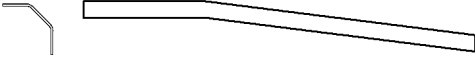



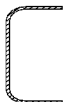


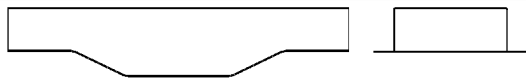



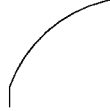


部位	零件名称	断面形状	材料	成形方式
侧墙	横梁		1 - SUS301L - HT	折弯
	上墙板、中墙板	平板	1.5 - SUS301L - DLT	切割、 模具压形
	外板补强梁		0.8 - SUS301L - HT	折弯、 模具压形
	门框		4 - SUS301L - LT	折弯、 拉弯成形
	侧墙下边梁		1.5 - SUS301L - HT	折弯
底架	主横梁		3 - SUS301L - DLT	折弯
	地板梁		3 - SUS301L - DLT	折弯
	边梁		4 - SUS301L - HT	冷弯成形
	端梁		4 - SUS301L - LT	折弯
	牵引梁		8 - 09CuPCrNi - A	折弯
	枕梁组成		8 - 09CuPCrNi - A 10 - 09CuPCrNi - A	折弯
	波纹地板		0.6 - SUS301L - MT	冷弯成形
车顶	车顶弯梁		1 - SUS301L - ST	拉弯成形
	端弯梁		1 - SUS301L - ST	拉弯成形
	侧顶板		1.5 - SUS301L - ST	冷弯成形
	下边梁		1.5 - SUS301L - HT	冷弯成形
	波纹顶板		0.6 - SUS301L - MT	冷弯成形

图 3-4 所示是铝合金地铁车体铝结构，主要是由各种铝合金挤压型材组焊而成。门框等各种开口或中空的铝合金型材是通过弯曲成形。图 3-5 所示为铝合金地铁车门框。

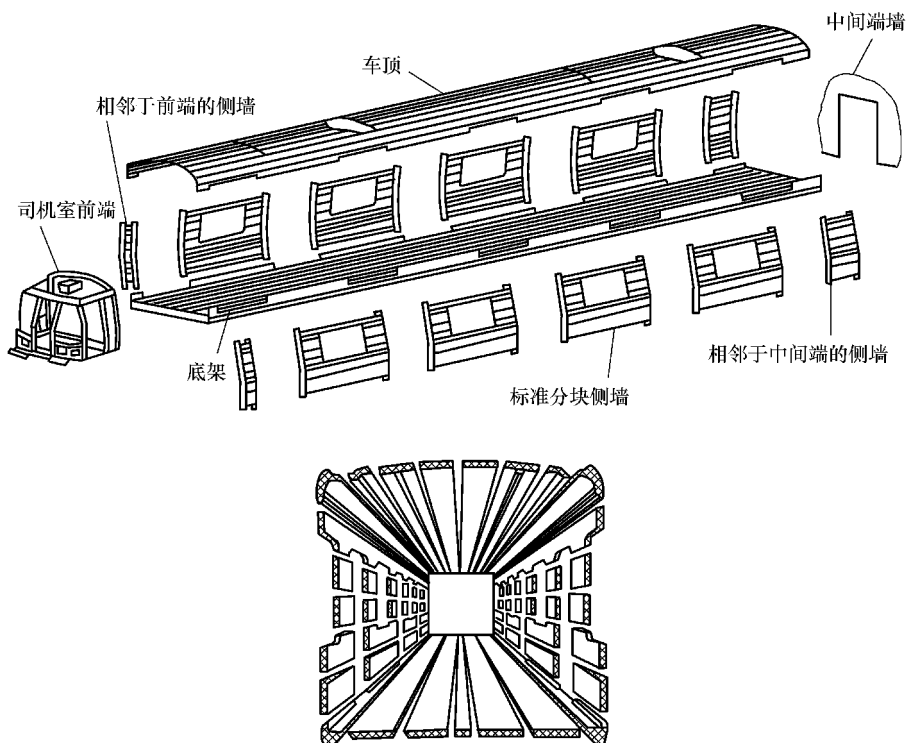


图 3-4 铝合金地铁车体铝结构示意图

2. 轨道客车转向架

轨道客车的转向架由轮对轴箱装置、弹簧悬挂装置、构架、制动装置、牵引电动机与齿轮传动装置、转向架支承车体装置等六大部分组成，其中构架是转向架的基础，它把转向架的各大部分组成一个整体，承受和传递各种载荷及作用力。构架的主要部件由冲压件组焊而成。图 3-6 所示为转向架构架及零件，形状上主要以平板件和弯曲件为主。所用主要材料是板厚 6mm 以上的低合金高强度钢。

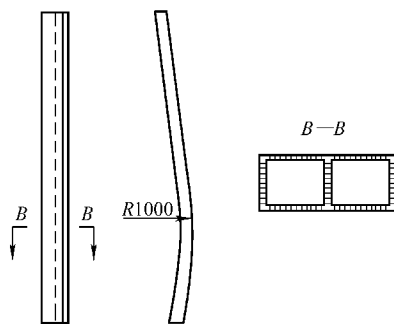


图 3-5 铝合金地铁车门框

3.1.3 轨道客车冲压件制造工艺概况

轨道客车冲压工艺不同于汽车、电器等行业的大批量加工工艺模式，是典型的多品种小批量生产。原因是铁路客车装备行业的生产特点不适合大批量连续生产。冲压件特点如下：

- 1) 零件种类多、数量少，每辆客车大约有 600 种冲压件，总数量上约 5000 件，而每年的产量为 30 多个品种，2000 辆左右。
- 2) 零件种类多，涵盖各种冲压工艺方法，工艺方法大约有 30 种以上。

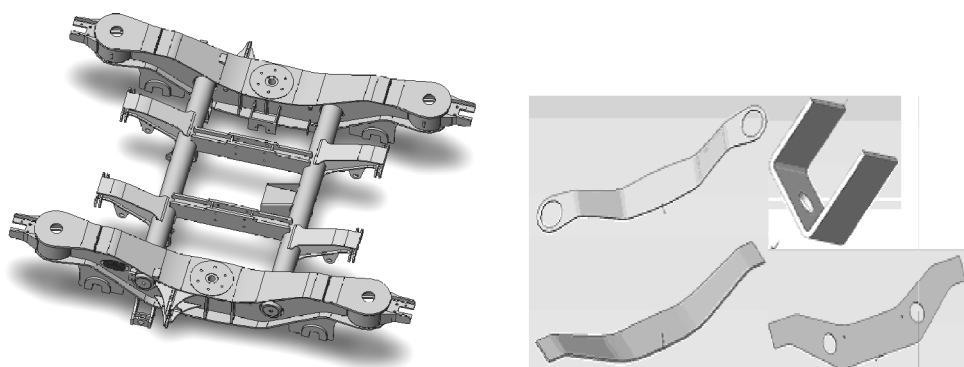


图 3-6 转向架构架及零件

3) 工艺投入的成本限制, 需要有大量的手工调修工序辅助生产。

所以, 在冲压工艺设计时, 考虑加工工艺的经济性和工艺准备周期等因素, 尽可能使用柔性化的通用冲压设备、通用工装模具进行生产, 工序较长。

图 3-7 表示轨道客车冲压件和典型件的加工流程。

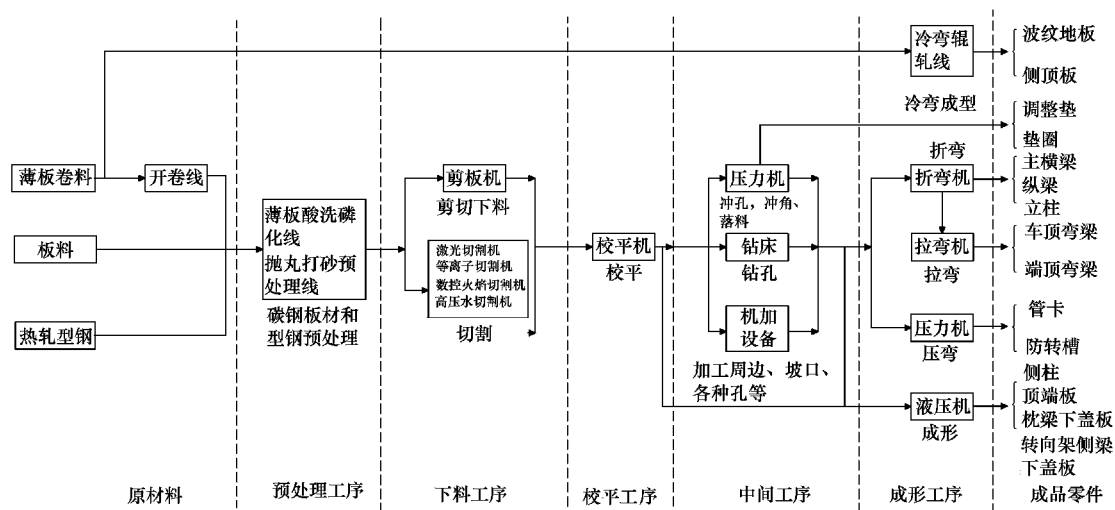


图 3-7 冲压件和典型件的加工流程

3.1.4 轨道客车的冲压工序名称

1. 模具冲裁分离工序

- (1) 剪切 用剪板机沿直线轮廓对材料进行分离的工序。
- (2) 冲角 利用通用冲模在工件角部沿敞开的轮廓从材料和工件上分离的工序。
- (3) 冲孔 利用模具将中间废料封闭的轮廓从材料和工件上分离的工序。
- (4) 落料 利用模具将外周废料封闭的轮廓从材料和工件上分离的工序。
- (5) 冲 R 利用通用冲模把零件角部沿 R 轮廓分离的工序。
- (6) 冲口 (冲槽) 将废料沿敞开的轮廓从材料和工件上分离的工序。

- (7) 修边 把成形件用模具把工艺余料部分进行分离的工序。
- (8) 剖切 利用模具把成形零件一分为几块的工序。
- (9) 剪形 利用振剪、联合冲剪或剪板机等设备将平板毛坯剪切成简单形状件的工序。
- (10) 步冲机冲孔和冲切 利用步冲机模具按照程序对平板进行冲孔和冲切的工序。

2. 切割分离工序

(1) 激光切割 利用数控激光切割机通过编程,把板材按要求切割成不同形状零件的工序。

(2) 数控火焰切割 利用数控火焰切割机通过编程,把碳钢板材按要求切割成不同形状零件的工序。

(3) 精细等离子切割 利用精细等离子切割机通过编程,把碳钢板和不锈钢板材按要求切割成不同形状零件的工序。

(4) 高压水射流切割 利用高压水射流切割机通过编程,把金属板材和非金属板材按要求切割成不同形状零件的工序。

(5) 手工切割工序 用空气等离子切割机或火焰切割机手工划线切割的工序。

(6) 砂轮锯切割工序 利用无齿锯进行型材切断。

3. 校平工序

(1) 校平 利用校平机和压力机提高零件和局部或整体平面度的工序。

(2) 调直 利用设备或其他手工手段提高零件直线度的工序。

4. 弯曲工序

(1) 折弯 利用折弯机上的通用模具对毛坯板进行弯曲成形的工序。

(2) 拉弯 在拉力和弯矩共同作用下实现弯曲成形的工序。

(3) 模具压弯 利用模具对坯料进行压弯,得到一定断面形状零件的工序。

(4) 辊弯 在辊弯设备上通过三辊对板料或型材按一定的曲率半径弯曲成形的工序。

(5) 冷弯 以金属薄板和带卷为原料,并通过多架装配了具有一定形状的成形辊的成形机,对坯料逐步变形,从而得到均一截面的产品的塑性加工方法。

(6) 卷边 将工序件边缘卷成接近封闭圆形的一种冲压工序。

5. 成形工序

(1) 拉深 利用模具将平板毛坯或开口空心毛坯冲压成容器状零件的工序。

(2) 翻孔 沿内孔周围将材料翻成侧立端边的工序。

(3) 翻边 沿外形曲线周围将材料翻成侧立端边的工序。

(4) 压筋 利用模具在零件上以筋形式局部起伏成形的工序。

6. 震锤成形

利用震锤模具进行弯曲和起伏成形的工序。

7. 手工调修工序

利用锤子、千斤顶、虎钳等简易工装工具对冲压件进行校形。

3.1.5 轨道客车冲压件生产的基本条件

轨道客车冲压件的生产,根据前面介绍的所需相应工序和产能,需配备适宜的生产场地、设备、工装模具和辅助设施等。人员方面要配备冲压工艺人员、模具设计和维护人员、

生产和材料管理人员、质量管理人员等。模具制造一般都委托专业厂家制造，不需要设置专人管理。

在产能规划上，一般按每年生产各种车型 2000 辆计算，需要准备生产场地 15000m²，员工 400 人左右。轨道车辆冲压件虽然结构简单，在技术上不像汽车冲压件那样复杂，但也有一些专有技术，并且涵盖范围广，所以必须配备具有丰富经验的工艺师和模具设计师。设备配备上要以柔性加工设备为主，实现工艺上的快速反应，制造高精度的冲压件。

3.2 轨道客车常用材料

轨道客车是运送旅客的交通工具，要具有很高的安全可靠。所以轨道客车车体钢结构和转向架所用的材料必须有很高的强度、刚度和抗疲劳性，有很强的耐腐蚀能力。另外应具有良好的冲压性能和焊接性能。这样才能保能行车安全和制造工艺性。现在的轨道客车主要选用耐候钢、不锈钢、低合金高强度钢、铝合金等材料。

3.2.1 轨道客车用金属板材

表 3-5 中列出了轨道客车车体和转向架构架所用板材和采用标准。

表 3-5 轨道客车车体和转向架构架所用板材和采用标准

序号	材料种类		材料牌号	采用标准	使用部位
1	碳素结构钢		Q235C	GB 700—2006 GB 708—2006 GB 709—2006 GB 14977—2008	车体、转向架
2	耐候钢		09CuPCrNi - B、09CuPCrNi - A、 05CuPCrNi	GB 708—2006 GB 709—2006 TB 1979—2003 GB 14977—2008	车体
3	压力容器用钢	国产	Q345R (16MnR)	GB 708—2006 GB 709—2006 GB 1591—2008 GB 713—2008	转向架
	低合金高强度钢	进口	S275J2G3、S355J2G3、 S275J2G3W 等	EN 10155—1993 BS EN 10025—2—2004 BS EN 10149—1—1996 BS EN 10025—4—2004 BS EN 10025—5—2004 BS EN 10025—6—2004	转向架
4	高强度结构用调质钢板	国产	Q460、Q500、Q550、 Q620、Q690	GB 708—2006 GB 709—2006 GB/T 16270—2009 GB 14977—2008	车体
		进口	E460、E500、E550、E620、E690	BS EN 10149—1—1996	

(续)

序号	材料种类	材料牌号	采用标准	使用部位
5	奥氏体不锈钢板	SUS301L - LT、SUS301L - DLT、 SUS301L - ST、SUS301L - HT、 SUS304 (0Cr18Ni9)	GB 20878—2007 GB 3280—2007 GB 4237—2007 JIS G 43054—1991	车体
6	铁素体不锈钢板	1. 4003 TCS300 TCS345	EN 10088/2—1995 GB 20878—2007 GB 3280—2007 GB 4237—2007	车体
7	铝合金板	5A02、5052、5083、6005A、 6083、7005、7020	GBT 16474—1996 GB 26494—2011 GB 16475—2008 GB 3880. 1—2006 GB 3880. 2—2006 GB 3880. 3—2006 GB 3190—2008	车体

3.2.2 轨道客车用碳钢类材料性能

表 3-6 ~ 表 3-9 给出了碳钢板种类、牌号、力学性能和供应状态。

表 3-6 碳素结构钢力学性能 (GB/T 700—2006)

牌号	等级	拉伸试验										
		下屈服强度 R_{eL} /MPa					抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 (%)				
		≤16	>16 ~ 40	>40 ~ 60	>60 ~ 100	>100 ~ 150		≤16	>16 ~ 40	>40 ~ 60	>60 ~ 100	>100 ~ 150
		不大于						不小于				
Q235	C	235	225	215	205	195	375 ~ 500	26	25	24	23	22

表 3-7 铁道车辆用耐大气腐蚀钢力学性能 (TB/T 1979—2003)

牌号	交货状态	厚度 /mm	下屈服强度 R_{eL} /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	屈强比 R_{eL}/R_m	断后伸长率 A (%)	180° 弯曲试验
09CuPCrNi - B	热轧	≤6	≥295	≥431	≤0.75	≥24	$d = a$
>6							
09CuPCrNi - A		≤6	≥345	≥480		≥22	$d = a$
>6		$d = 2a$					
05CuPCrNi	冷轧	≤4	≥310	≥440	≥26	$d = a$	
09CuPCrNi - B			≥265	≥402			≥27

注：表中 d 为弯心直径， a 为钢材厚度

表 3-8 压力容器用钢的力学性能 (GB/T 713—2008)

牌号	交货状态	厚度 /mm	下屈服强度 /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A (%)	180° 弯曲试验
Q345R	热轧 控轧或正火	3 ~ 16	≥345	510 ~ 640	21	$d = 2a$
		> 16 ~ 36	325	500 ~ 630		$d = 3a$
		> 36 ~ 60	≥345	≥480		

表 3-9 高强度结构用调制钢板力学性能 (GB/T 16270—2009)

牌号	拉伸试验						断后伸 长率 A (%)
	下屈服强度 R_{eL} /MPa, 不小于			抗拉强度 R_m /MPa, 不小于			
	厚度/mm			厚度/mm			
	≤50	>50 ~ 100	>100 ~ 150	≤50	>50 ~ 100	>100 ~ 150	
Q500C Q500D Q500E Q500F	500	480	440	590 ~ 770		540 ~ 720	17
Q550C Q550D Q550E Q550F	550	530	490	640 ~ 820		590 ~ 770	16
Q620C Q620D Q620E Q620F	620	580	560	700 ~ 890		650 ~ 830	15
Q690C Q690D Q690E Q690F	690	650	630	770 ~ 940	760 ~ 930	710 ~ 900	14

3.2.3 碳钢类板材的供应标准

1. 冷轧钢板和钢带的厚度允许偏差 (GB/T 708—2006)

规定的最小屈服强度小于 280MPa 的钢板和钢带的厚度允许偏差符合表 3-10 的规定。

表 3-10 厚度允许偏差

(单位: mm)

公称厚度	厚度允许偏差					
	普通精度 PT. A			较高精度 PT. B		
	公称宽度			公称宽度		
	≤1200	>1200 ~ 1500	>1500	≤1200	>1200 ~ 1500	>1500
≤0.40	±0.04	±0.05	±0.06	±0.025	±0.035	±0.045

(续)

公称厚度	厚度允许偏差					
	普通精度 PT. A			较高精度 PT. B		
	公称宽度			公称宽度		
	≤1200	>1200 ~ 1500	>1500	≤1200	>1200 ~ 1500	>1500
>0.40 ~ 0.60	±0.05	±0.06	±0.07	±0.035	±0.045	±0.050
>0.60 ~ 0.80	±0.06	±0.07	±0.08	±0.040	±0.050	±0.050
>0.80 ~ 1.00	±0.07	±0.08	±0.09	±0.045	±0.060	±0.060
>1.00 ~ 1.20	±0.08	±0.09	±0.10	±0.055	±0.070	±0.070
>1.20 ~ 1.60	±0.10	±0.11	±0.11	±0.070	±0.080	±0.080
>1.60 ~ 2.00	±0.12	±0.13	±0.13	±0.080	±0.090	±0.090
>2.00 ~ 2.50	±0.14	±0.15	±0.15	±0.100	±0.110	±0.110
>2.50 ~ 3.00	±0.16	±0.17	±0.17	±0.110	±0.120	±0.120
>3.00 ~ 4.00	±0.17	±0.19	±0.19	±0.140	±0.150	±0.150

距钢带焊缝处 15m 内的厚度允许偏差比表 3-10 规定值增加 60%；距钢带两端各 15m 内的厚度允许偏差比表 3-10 规定值增加 60%。

注：规定的屈服强度为 280 ~ 360MPa 的钢板和钢带的厚度允许偏差比表 3-10 规定值增加 20%；规定的最小屈服强度为 360MPa 的钢板和钢带的厚度允许偏差比表 3-10 规定值增加 40%。

2. 冷轧钢板和钢带的不平度 (GB/T 708—2006)

冷轧钢板和钢带的不平度应符合表 3-11 的规定值。

表 3-11 冷轧钢板和钢带的不平度

(单位: mm)

规定的最小屈服强度/MPa	公称宽度	不平度 不大于					
		普通精度 PF. A			较高精度 PF. B		
		公称厚度					
		<0.70	0.70 ~ 1.20	≥1.20	<0.70	0.70 ~ 1.20	≥1.20
<280	≤1200	12	10	8	5	4	3
	>1200 ~ 1500	15	12	10	6	5	4
	>1500	19	17	15	8	7	6
280 ~ 360	≤1200	15	13	10	8	6	5
	>1200 ~ 1500	18	15	13	9	8	6
	>1500	22	20	19	12	10	9

3. 热轧钢板和钢带厚度允许偏差 (GB/T 709—2006)

表 3-12 给出的是热轧钢板和钢带的厚度允许偏差。

4. 热轧钢板和钢带不平度 (GB/T 709—2006)

表 3-13 和表 3-14 列出了热轧钢板和钢带的不平度。

单轧钢板按下列两类钢，分别规定钢板的不平度：

钢类 L：规定的最低屈服强度值 ≤460MPa，未经淬火或淬火加回火处理的钢板。

钢类 H: 规定的最低屈服强度 > 460 ~ 700MPa, 以及所有淬火或淬火加回火处理的钢板。

表 3-12 热轧钢板和钢带 (包括连轧钢板) 的厚度允许偏差 (单位: mm)

公称厚度	钢带的厚度允许偏差							
	普通精度 PT. A				较高精度 PT. B			
	公称宽度							
	600 ~ 1200	>1200 ~ 1500	>1500 ~ 1800	>1800	600 ~ 1200	>1200 ~ 1500	>1500 ~ 1800	>1800
0.8 ~ 1.5	±0.15	±0.17	—	—	±0.10	±0.12	—	—
>1.5 ~ 2.0	±0.17	±0.19	±0.21	—	±0.13	±0.14	±0.14	—
>2.0 ~ 2.5	±0.18	±0.21	±0.23	±0.25	±0.14	±0.15	±0.17	±0.20
>2.5 ~ 3.0	±0.20	±0.22	±0.24	±0.26	±0.15	±0.17	±0.19	±0.21
>3.0 ~ 4.0	±0.22	±0.24	±0.26	±0.27	±0.17	±0.18	±0.21	±0.22
>4.0 ~ 5.0	±0.24	±0.26	±0.28	±0.29	±0.19	±0.21	±0.22	±0.23
>5.0 ~ 6.0	±0.26	±0.28	±0.29	±0.31	±0.21	±0.22	±0.23	±0.25
>6.0 ~ 8.0	±0.29	±0.30	±0.31	±0.35	±0.23	±0.24	±0.25	±0.28
>8.0 ~ 10.0	±0.32	±0.33	±0.34	±0.40	±0.26	±0.26	±0.27	±0.32
>10.0 ~ 12.5	±0.35	±0.36	±0.37	±0.43	±0.28	±0.29	±0.30	±0.36
>12.5 ~ 15.0	±0.37	±0.38	±0.40	±0.46	±0.30	±0.31	±0.33	±0.39
>15.0 ~ 25.4	±0.40	±0.42	±0.45	±0.50	±0.32	±0.34	±0.37	±0.42

规定最小屈服强度 $R_e \geq 345$ MPa 的钢带, 厚度偏差应增加 10%。

表 3-13 单轧钢板和钢带的不平度 (单位: mm)

公称厚度	钢类 L				钢类 H			
	下列公称宽度钢板的 不平度, 不大于							
	≤3000		>3000		≤3000		>3000	
	测量长度							
	1000	2000	1000	2000	1000	2000	1000	2000
3 ~ 5	9	14	15	24	12	17	19	29
>5 ~ 8	8	12	14	21	11	15	18	26
>8 ~ 15	7	11	11	17	10	14	16	22
>15 ~ 25	7	10	10	15	10	13	14	19
>25 ~ 40	6	9	9	13	9	12	13	17
>40 ~ 400	5	8	8	11	8	11	11	15

表 3-14 连轧钢板和钢带的 不平度 (单位: mm)

公称厚度	公称宽度	不平度, 不大于		
		规定的屈服强度 R_{eL}		
		< 220MPa	220 ~ 320MPa	> 320MPa
≤2	≤1200	21	26	32
	>1200 ~ 1500	25	31	36
	>1500	30	38	45
>2	≤1200	18	22	27
	>1200 ~ 1500	23	29	34
	>1500	28	35	42

3.2.4 轨道客车用不锈钢材料

轨道车辆用不锈钢材料有以下几种：SUS301L 系列钢、SUS304 钢和 1.4003 铁素体不锈钢。

表 3-15 给出的是 SUS301L 系列钢板和 SUS304 钢的机械性能。

表 3-15 SUS301L 系列钢板和 SUS304 钢的机械性能 (JS G 4305—1991)

钢种	调质	板厚	表面加工	屈服强度		拉伸强度		断后伸长率 (%)(最小)	弯曲试验 弯曲半径	缩略 符号
				最小	最大	最小	最大			
SUS301L	—	1.6mm 以下	2D	205	—	520	—	50	180° 无间隙	LT
		1.6mm 以上							180° 1/2t	
		—	2B	215	—	550	—	45	180° 1/2t	
	1/4H	—	2B	345	485	690	865	40	180° 1/2t	DLT
	1/2H	—	2B	410	550	760	930	35	180° 3/4t	
	3/4H	—	2B	480	655	820	1000	25	135° 1t	ST
	H	0.6 以下	2B	685	830	930	1140	20	180° 1t	MT
0.6 ~ 1.1		180° 3/2t							HT	
1.1 以上		180° 3/2t								
SUS304	—	—	2B	205	—	520	—	40	180°无间隙	—

注：t—板厚。

表 3-16 给出的是 1.4003 铁素体不锈钢的机械性能。

表 3-16 1.4003 铁素体不锈钢的机械性能 (DIN EN 10088—2 (8/95))

牌号		产 品	屈服强度 $R_{p0.2}$		抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 最小 (纵向 + 横向)
名称	材料号		MPa (最小) (纵向)	MPa (最大) (纵向)		
X2CrNi12	1.4003	C 冷轧卷	280	32	450 ~ 650	20
		H 热轧卷				
		P 热轧板	250	280		18

太原不锈钢股份有限公司开发的 TCS300、TCS345、TCS400 系列板的机械性能如下：
经热处理的钢板（带）的力学性能应符合表 3-17 的规定。

表 3-17 经热处理的钢板（带）的力学性能

牌号	$R_{p0.2}$ /MPa	R_m /MPa	A_{50} (%)	硬度 HBW	冷弯 180° $d = 2a$
TCS300	≥300	450 ~ 650	≥22	≤200	完好
TCS345	≥345	450 ~ 650	≥20	≤250	完好
TCS400	≥400	450 ~ 750	≥18	≤300	完好

3.2.5 不锈钢板材的供应标准

1. 不锈钢板及钢带的表面加工

不锈钢板及钢带的表面加工见表 3-18 的说明。

表 3-18 不同表面的处理方式

表面处理符号	说 明
2D	冷轧后进行热处理、酸洗或以此为基准进行加工
2B	冷轧后进行热处理、酸洗或以此为基准进行加工。为取得一定光泽，进行一定程度的冷轧加工
BG	依据 JI S R 6001（研磨材料粒度）之规定，用适当粒度的研磨材料研磨
HL	依据 JIS R 6001（研磨材料粒度）之规定，用适当粒度的研磨材料研磨。为留下研磨痕迹连续研磨
DF	通过横向螺旋模辊轻度冷轧

注：根据表中所示的加工符号，轨道车辆用板材的表面加工有各种方法，骨架材料等可采用进行调质轧制的原状态（2B 加工）。外墙板材料要求有光泽时用 BG 加工（Belt grinder finish）和 HL 加工（Hair line finish）等；不要求有光泽时用 DF 加工（Dull finish）等。另外 DF 加工必须有相当高的表面处理技术。有两种加工方法：①在板材表面上喷丸的方法；②预先对冷轧辊进行喷丸，然后用这种轧辊对原料进行冷轧，将轧辊面上的凹凸转印至板材表面上的方法，而后者的方法要比前者的方法表面加工均匀，并且板子的平坦度也好，因此外墙板材料大多使用这种方法。

2. 厚度的误差范围

钢板及钢带的两者厚度的公差见表 3-19 所示。

表 3-19 钢板及钢带的厚度公差

（单位：mm）

厚 度	宽 度	
	1220 以下	≥1220
<0.40	±0.038	±0.050
0.40 ≤ t < 0.80	±0.07	±0.09
0.80 ≤ t < 1.00	±0.09	±0.10
1.00 ≤ t < 1.25	±0.10	±0.12
1.25 ≤ t < 1.60	±0.12	±0.15
1.60 ≤ t < 2.00	±0.15	±0.17
2.00 ≤ t < 2.50	±0.17	±0.20
2.50 ≤ t < 3.15	±0.22	±0.25
3.15 ≤ t < 4.00	±0.25	±0.30
4.00 ≤ t < 5.00	±0.35	±0.40
5.00 以上	±8%	±10%

注：1. 板厚（t）的误差范围，以负值为目标值；

2. 对于卷材，误差要求取负值。

3. 不锈钢板的平面度

不锈钢板的平面度见表 3-20、表 3-21。

表 3-20 不锈钢板的平面度 (单位: mm)

宽	长	最大值
小于 1220	小于 2438	3.0
	2438 以上	6.0
1220 以上	小于 2438	6.0
	2438 以上	6.0

注: 非特定场合下表 3-21 的数据也适用。

表 3-21 平面度的最大值 (平面度没有校正的情况下) (单位: mm)

板厚	板宽	最大值
小于 1.6	小于 914	12.0
	914 以上	19.0
1.6 以上	小于 1524	12.0
	1524 以上	19.0

注: 不适用于无调质 (LT)、H (DLT)、H (ST) 材料。

3.2.6 轨道客车用铝合金材料

铝合金材料不同于碳钢材料和不锈钢材料, 它牌号种类很多, 但是轨道车辆上常用的只有 3 个系列 (表 3-22), 在选择铝合金材料时不仅选择牌号种类, 更要注意选择热处理状态, 因为不同的热处理状态下材料的力学性能、冲压性能都不同。

表 3-22 轨道车辆用铝合金材料

序号	种类	牌号
1	5000 系列	5A02、5052、5083
2	6000 系列	6005A、6083
3	7000 系列	7005、7020

表 3-23 ~ 表 3-25 给出的是轨道客车用铝合金材料的力学性能。

表 3-23 EN AW 5083 (铝镁 4.5 锰 0.7) 铝合金力学性能 (GB/T 3880.2—2008)

状 态	公称厚度/mm		R_m /MPa		$R_{p0.2}$ /MPa		断后伸长率 (%) 最小		硬度 HBW
	超过	至	最小	最大	最小	最大	$A_{50\text{毫米}}$	A	
O/H111	0.5	1.5	275	350	125	—	12	—	75
	1.5	3.0	275	350	125	—	13	—	75
	3.0	6.0	275	350	125	—	15	—	75
	6.0	12.5	275	350	125	—	16	—	75
	12.5	50.0	275	350	125	—	—	15	75
	50.0	80.0	270	345	115	—	—	14	73
	80.0	120.0	260	—	110	—	—	12	70
	120.0	150.0	255	—	105	—	—	12	69

表 3-24 EN AW 6082 (铝硅镁锰) 铝合金力学性能 (GB/T 3880.2—2008)

状 态	公称厚度 /mm		R_m /MPa		$R_{p0.2}$ /MPa		断后伸长率 (%) 最小		硬度 HBSW
	超过	至	最小	最大	最小	最大	A_{50mm}	A	
O	1.5	3.0	—	150	—	85	16	—	40
	3.0	6.0	—	150	—	85	18	—	40
	6.0	12.5	—	150	—	85	17	—	40
	12.5	25.0	—	150	—	—	—	16	40
T4	1.5	3.0	205	—	110	—	14	—	58
	3.0	6.0	205	—	110	—	15	—	58
	6.0	12.5	205	—	110	—	14	—	58
	12.5	40.0	205	—	110	—	—	13	58
	40.0	80.0	205	—	110	—	—	12	58
T6	1.5	3.0	310	—	260	—	7	—	94
	3.0	6.0	310	—	260	—	10	—	94
	6.0	12.5	300	—	255	—	9	—	91
	12.5	60.0	295	—	240	—	—	8	89
	60.0	100.0	295	—	240	—	—	7	89
	100.0	150.0	275	—	240	—	—	6	84
	150.0	175.0	275	—	230	—	—	4	83

表 3-25 EN AW 7020 (铝锌 4.5 镁 1) 铝合金力学性能 (GB/T 3880.2—2008)

状 态	公称厚度 /mm		R_m /MPa		$R_{p0.2}$ /MPa		断后伸长率 (%) 最小		硬度 HBSW
	超过	至	最小	最大	最小	最大	A_{50mm}	A	
O	≥0.4	1.5	—	220	—	140	12	—	45
	1.5	3.0	—	220	—	140	13	—	45
	3.0	6.0	—	220	—	140	15	—	45
	6.0	12.5	—	220	—	140	12	—	45
T4	≥0.4	1.5	320	—	210	—	11	—	92
	1.5	3.0	320	—	210	—	12	—	92
	3.0	6.0	320	—	210	—	13	—	92
	6.0	12.5	320	—	210	—	14	—	92
T6	≥0.4	1.5	350	—	280	—	7	—	104
	1.5	3.0	350	—	280	—	8	—	104
	3.0	6.0	350	—	280	—	10	—	104
	6.0	12.5	350	—	280	—	10	—	104
	12.5	40.0	350	—	280	—	—	9	104

(续)

状 态	公称厚度 /mm		R_m /MPa		$R_{p0.2}$ /MPa		断后伸长率 (%) 最小		硬度 HBSW
	超过	至	最小	最大	最小	最大	A_{50mm}	A	
T6	40.0	100.0	340	—	270	—	—	8	101
	100.0	150.0	330	—	260	—	—	7	98
	150.0	175.0	330	—	260	—	—	6	98

3.2.7 轨道客车用铝合金材料供货状态

1. 冷轧板、带材的厚度及允许偏差

冷轧板、带材的厚度允许偏差分为普通级和高精度级。厚度 $\geq 4.00\text{mm}$ 的5A05、5A06等含镁量大于3%的合金，其厚度允许偏差普通级为名义厚度的 $\pm 5\%$ ，其他板的普通级厚度允许偏差符合表3-26的规定。冷轧板和带材的高精级厚度允许偏差应符合表3-27的规定。

表 3-26 普通级厚度允许偏差 (GB/T 3880.3)

(单位: mm)

厚度	规定的宽度									
	≤ 1000		$> 1000 \sim 1250$		$> 1250 \sim 1600$		$> 1600 \sim 2000$		$> 2000 \sim 2500$	
	厚度允许偏差 (\pm)									
	A类	B类	A类	B类	A类	B类	A类	B类	A类	B类
$> 0.20 \sim 0.40$	0.03	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	—	—	—	
$> 0.40 \sim 0.50$	0.05	0.05	0.06	0.08	0.07	0.08	0.08	0.08	0.12	
$> 0.50 \sim 0.60$	0.05	0.05	0.07	0.08	0.07	0.08	0.08	0.09	0.13	
$> 0.60 \sim 0.80$	0.05	0.06	0.07	0.08	0.07	0.08	0.09	0.10	0.15	
$> 0.80 \sim 1.00$	0.07	0.08	0.08	0.09	0.08	0.09	0.10	0.11	0.15	
$> 1.00 \sim 1.20$	0.07	0.08	0.09	0.10	0.09	0.10	0.11	0.12	0.15	
$> 1.20 \sim 1.50$	0.09	0.10	0.12	0.13	0.12	0.13	0.13	0.14	0.15	
$> 1.50 \sim 1.80$	0.09	0.10	0.12	0.13	0.12	0.13	0.14	0.15	0.15	
$> 1.80 \sim 2.00$	0.09	0.10	0.12	0.13	0.12	0.13	0.14	0.15	0.15	
$> 2.00 \sim 2.50$	0.12	0.13	0.14	0.15	0.14	0.15	0.15	0.16	0.16	
$> 2.50 \sim 3.00$	0.13	0.15	0.16	0.17	0.16	0.17	0.17	0.18	0.18	
$> 3.00 \sim 3.50$	0.14	0.15	0.17	0.18	0.17	0.18	0.22	0.23	0.19	
$> 3.50 \sim 4.00$	0.15		0.24		0.24		0.26		0.28	
$> 4.00 \sim 5.00$	0.23		0.24		0.24		0.26		0.28	
$> 5.00 \sim 6.00$	0.25		0.26		0.26		0.26		0.28	
$> 6.00 \sim 8.00$	0.28		0.29		0.29		0.30		0.35	
$> 8.00 \sim 10.00$	0.30		0.30		0.30		0.30		0.35	
$> 10.00 \sim 12.00$	0.48		0.50		0.50		0.62		0.70	

(续)

厚度	规定的宽度									
	≤1000		>1000 ~ 1250		>1250 ~ 1600		>1600 ~ 2000		>2000 ~ 2500	
	厚度允许偏差 (±)									
	A类	B类	A类	B类	A类	B类	A类	B类	A类	B类
>12.00 ~ 15.00	0.50		0.50		0.50		0.68		0.76	
>15.00 ~ 20.00	0.57		0.66		0.68		0.72		0.81	
>20.00 ~ 25.00	0.60		0.69		0.72		0.75		0.84	
>25.00 ~ 30.00	0.68		0.75		0.80		0.83		0.90	
>30.00 ~ 40.00	0.75		0.83		0.87		0.90		0.99	
>40.00 ~ 50.00	0.83		0.90		0.95		0.98		1.05	

表 3-27 高精级厚度允许偏差 (GB/T 3880.3)

(单位: mm)

厚度	规定的宽度									
	≤1000		>1000 ~ 1250		>1250 ~ 1600		>1600 ~ 2000		>2000 ~ 2500	
	厚度允许偏差 (±)									
	A类	B类	A类	B类	A类	B类	A类	B类	A类	B类
>0.20 ~ 0.40	0.02	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	—	—	—	
>0.40 ~ 0.50	0.03	0.03	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.09	
>0.50 ~ 0.60	0.03	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.09	
>0.60 ~ 0.80	0.03	0.04	0.06	0.06	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	
>0.80 ~ 1.00	0.04	0.05	0.06	0.08	0.07	0.08	0.08	0.09	0.11	
>1.00 ~ 1.20	0.04	0.05	0.07	0.08	0.07	0.08	0.09	0.10	0.14	
>1.20 ~ 1.50	0.05	0.07	0.08	0.09	0.08	0.09	0.11	0.13	0.15	
>1.50 ~ 1.80	0.06	0.08	0.09	0.10	0.09	0.10	0.12	0.14	0.15	
>1.80 ~ 2.00	0.06	0.08	0.09	0.10	0.09	0.10	0.14	0.14	0.15	
>2.00 ~ 2.50	0.07	0.08	0.09	0.10	0.09	0.10	0.15	0.15	0.16	
>2.50 ~ 3.00	0.08	0.10	0.12	0.13	0.12	0.13	0.17	0.18	0.18	
>3.00 ~ 3.50	0.10	0.12	0.15	0.17	0.16	0.17	0.18	0.19	0.19	
>3.50 ~ 4.00	0.15		0.17		0.17		0.19		0.19	
>4.00 ~ 5.00	0.18		0.22		0.22		0.25		0.28	
>5.00 ~ 6.00	0.20		0.24		0.24		0.26		0.28	
>6.00 ~ 8.00	0.24		0.28		0.28		0.30		0.35	
>8.00 ~ 10.00	0.27		0.28		0.28		0.30		0.35	
>10.00 ~ 12.00	0.32		0.38		0.40		0.41		0.47	
>12.00 ~ 15.00	0.36		0.42		0.43		0.45		0.51	
>15.00 ~ 20.00	0.38		0.44		0.46		0.48		0.54	
>20.00 ~ 25.00	0.40		0.46		0.48		0.50		0.56	
>25.00 ~ 30.00	0.45		0.50		0.53		0.55		0.60	
>30.00 ~ 40.00	0.50		0.55		0.58		0.60		0.65	
>40.00 ~ 50.00	0.55		0.60		0.63		0.65		0.70	

2. 热轧板、带材的厚度允许偏差

热轧板、带材的厚度允许偏差应符合表 3-28 的规定。

表 3-28 热轧板、带材的厚度允许偏差 (GB/T 3880.3) (单位: mm)

厚度	规定的宽度			
	≤1250	>1250 ~ 1600	>1600 ~ 2000	>2000 ~ 2500
	厚度允许偏差 (±)			
>2.50 ~ 4.00	0.28	0.28	0.32	0.35
>4.00 ~ 5.00	0.30	0.30	0.35	0.40
>5.00 ~ 6.00	0.32	0.32	0.40	0.45
>6.00 ~ 8.00	0.35	0.40	0.40	0.50
>8.00 ~ 10.00	0.45	0.50	0.50	0.55
>10.00 ~ 15.00	0.50	0.60	0.65	0.65
>15.00 ~ 20.00	0.65	0.70	0.75	0.80
>20.00 ~ 25.00	0.65	0.75	0.85	0.90
>25.00 ~ 30.00	0.75	0.85	1.0	1.1
>30.00 ~ 40.00	0.90	1.0	1.1	1.2
>40.00 ~ 50.00	1.1	1.2	1.4	1.5
>50.00 ~ 60.00	1.4	1.5	1.7	1.9
>60.00 ~ 80.00	1.7	1.8	1.9	2.1
>80.00 ~ 100.00	2.2	2.2	2.7	2.8
>100.00 ~ 150.00	2.8	2.8	3.3	3.3

3. 不平度

A 类板材的普通级不平度应符合表 3-29 的规定。

表 3-29 A 类板材的普通级不平度 (GB/T 3880.3) (单位: mm)

厚度	下列宽度板材上除端头部位外, 板材的纵向及横向不平度					端头部位 翘曲高度	局部不平度
	≤1200	>1200 ~ 1500	>1500 ~ 1660	>1660 ~ 2000	>2000 ~ 2400		
>0.50 ~ 1.20	6	8	8	10	12	≤20	波距应大于 100mm
>1.20 ~ 4.50	7	9	9	12	13		
>4.50 ~ 10.00	8	12	12	14	14		
>10.00 ~ 20.00	6mm/m	7mm/m	8mm/m	8mm/m	8mm/m		
>20.00 ~ 150.00	5mm/m	5mm/m	6mm/m	6mm/m	6mm/m		

注: 端头部位是指沿板材长度方向上两端 300mm 长度范围内所包含的端部整个板面。若板材为正方形, 端头部位为沿边缘四周 300mm 所包含的正方形圈的板面。

B 类板材的普通级不平度应符合表 3-30 的规定。

A、B 类板材的高精级不平度应符合表 3-31 的规定。

表 3-30 B 类板材的普通级不平度 (GB/T 3880.3) (单位: mm)

合金	厚度	下列宽度板材上除端头部位外, 板材的纵向及横向不平度						端头部位 翘曲高度
		≤1200	>1200 ~ 1500	>1500 ~1800	>1800 ~2000	>2000 ~2200	>2200 ~2400	
含镁量 (质量分数) 平均值大于3% 的高镁合金及可热 处理强化合金	>0.50 ~1.20	6	8	8	10		12	≤20
	>1.20 ~4.50	7	9	9	12		13	
	>4.50 ~10.00	8	12	12	14		14	
	>10.00 ~20.00	6mm/m	7mm/m	8mm/m	8mm/m	6mm/m	8mm/m	
	>20.00 ~80.00	5mm/m	5mm/m	6mm/m	6mm/m	6mm/m	6mm/m	
	>80.00 ~50.00	5mm/m	5mm/m	6mm/m	6mm/m	6mm/m	6mm/m	
其他 B 类合金	>0.50 ~1.20	纵向: ≤17mm /2000 横向: ≤12mm	纵向: ≤17mm/2000 横向: ≤15mm			纵向: ≤18mm/2000 横向: ≤15mm		≤40
	>10.00 ~20.00	8mm/m	8mm/m	10mm/m	10mm/m	10mm/m	10mm/m	
	>20.00 ~80.00	6mm/m	6mm/m	7mm/m	7mm/m	7mm/m	7mm/m	
	>80.00 ~150.00	8mm/m	8mm/m	9mm/m	9mm/m	9mm/m	9mm/m	

注: 端头部位是指沿板材长度方向上两端 300mm 长度范围内所包含的端部整个板面。若板材为正方形, 端头部位为沿边缘四周 300mm 所包含的正方形圈的板面。

表 3-31 A、B 类板材的高精级不平度 (GB/T 3880.3) (单位: mm)

厚度/mm	纵向不平度 d/L	横向不平度 d/W	局部不平度 (弦长 R 不小于 300mm) d/R
>0.20 ~0.50	双方协定		
>0.50 ~3.00	≤0.4%	≤0.5%	≤0.5%
>3.00 ~6.00	≤0.3%	≤0.4%	≤0.35%
>6.00 ~50.00	≤0.2%	≤0.4%	≤0.3%

注: L —板材长度; W —板材宽度; R —任意弦长; d —波高。

3.3 模具设计与制造

冲压模具是在冲压加工中将金属板材加工成零件 (或半成品) 的一种特殊工艺装备, 称为冲压模具。

3.3.1 生产轨道客车冲压件模具

近 20 多年来, 激光切割机等具有的数控切割技术和数控转塔冲床具有的冲切技术, 正在逐步取代传统的专用模具冲裁加工。因为这些技术具有高柔性和高精度优势, 特别适合现

在的小批量多品种生产模式。但是在一定生产条件下，传统专用模具冲裁加工还是很经济，生产效率也高。大部分成形件还是要依靠传统冲压模具来完成成形。在轨道客车冲压件生产中，传统冲压模具依然占据重要位置。

1. 生产轨道客车冲压件用冲模的分类

生产轨道客车冲压件用冲压模具分类如图 3-8 所示。

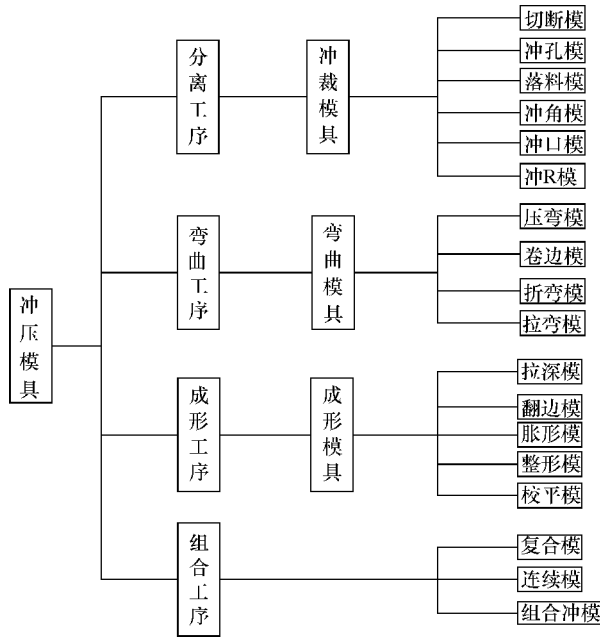


图 3-8 生产轨道客车冲压件模具分类

2. 冲模的基本结构

冲压生产轨道客车冲压件的模具，主要以单工序模、复合模和简单连续模为主。模具通常由上模、下模两部分构成，组成模具的零件主要有两类：

(1) 工艺零件 直接参与工艺过程并和坯料有直接接触零件，包括：凸凹模、定位零件、卸料与压料零件等。

(2) 结构零件 不直接参与完成工艺过程，也不和坯料直接接触，只对模具完成工艺过程起保证作用，或对模具功能起完善作用的零件，包括：导向零件、紧固零件、标准件及其他零件等。

在实际的模具设计中，模具的具体结构取决于冲压零件的工艺和设备。

3.3.2 冲压模具设计与制造

轨道客车冲压模具的设计和制造工作主要包括以下三大过程：

- 1) 冲压工艺设计和模具设计任务书的编制。
- 2) 模具设计。
- 3) 模具制造和调试。

以上三大工作中，冲压工艺设计是最关键的一步，工艺的合理性直接影响零件质量和生

产成本,直接影响生产能否顺利进行下去。在工艺设计中必须考虑生产批量、周期、现场设备条件、产品质量要求、经济成本等因素。片面追求生产效率、模具精度和使用寿命,必然导致成本的增加,相反,只顾降低成本和缩短制造周期,而忽视模具精度和使用寿命,必然导致冲压件质量的下降。

1. 工艺设计的主要内容和步骤

(1) 分析冲压件的工艺性 根据产品图样,分析冲压件的结构、尺寸大小、精度要求及所使用的材料,是否符合冲压工艺性要求。如果冲压件的结构工艺性很差,则需立即反馈给设计师,在保证产品使用要求的条件下,对冲压件的形状、尺寸、精度及原材料进行必要的修改。对于成形零件,必要时通过计算机成形模拟对成形工艺进行确认。

(2) 制定加工工艺方案 工艺方案的内容包括:总的加工工序、各工序的加工内容、每道工序工作图的绘制、生产设备选择和模具基本结构的确定。

(3) 编制模具设计任务书 在模具设计任务书中,详细绘(写)出该冲压件零件图和精度要求、该冲压件的总加工工艺流程、工序工作图、选用设备型号、模具使用日期。

2. 模具设计

模具设计的主要步骤:

(1) 对零件图和工艺方案进行确认。

(2) 模具结构形式的确认 根据工艺师所提供的冲压零件图和模具设计任务书,对初定的模具结构进行确认。对比较典型的冲压件和模具结构,必要时编制设计计算书。

(3) 冲压设备的确认 通过理论计算初步确认冲压设备能力是否满足要求。一般情况下一个公司冲压设备不会太全,所以在压力机选择上存在一定局限性。所选设备的能力必须大于理论计算值。

1) 压力机类型的选择,要根据工序性质、生产批量、冲压件质量等要求进行选择。

2) 压力机规格的选择有以下几点:

① 公称力:滑块下行到距下死点某一特定的距离 S_p ,或曲柄旋转到下死点某一特定角度 α 时,所产生的冲击力称为压力机的公称力。冲裁、弯曲时压力机的吨位应比计算的冲压力大30%左右。拉深时压力机吨位应比计算出的拉深力大60%~100%。图3-9为压力机的许用压力曲线。

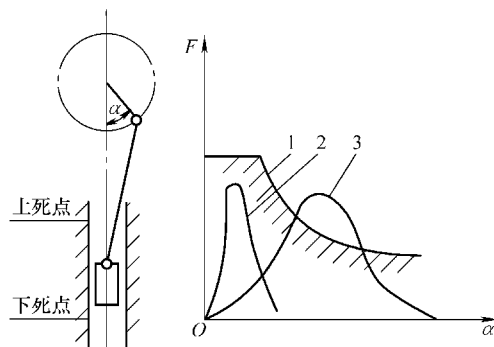


图 3-9 压力机的许用压力曲线

1—压力机许用压力曲线 2—冲裁工艺冲裁力实际变化曲线 3—拉深工艺拉深力实际变化曲线

② 闭合高度：模具的闭合高度 H 是指冲模在最低工作位置时，上模座上平面至下模座下平面之间的距离；压力机的闭合高度 (H_{max} 、 H_{min}) 是指滑块在下死点时，滑块底面到工作台上平面（即垫板下平面）之间的距离（图 3-10）；压力机的装模高度是指压力机的闭合高度减去垫板厚度的差值。

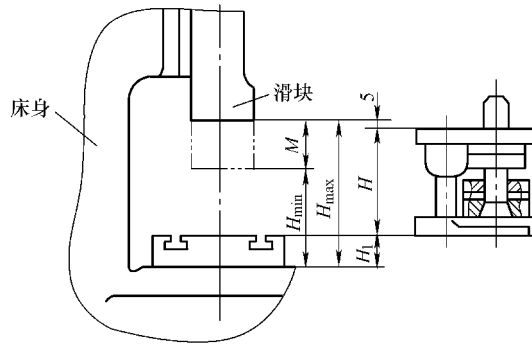


图 3-10 模具闭合高度与装模高度的关系

模具的闭合高度理论上应为： $H_{min} - H_1 \leq H \leq H_{max} - H_1$
 而实际上模具的闭合高度为： $H_{min} - H_1 + 10 \leq H \leq H_{max} - H_1 - 5$
 (4) 模具设计流程：模具设计的流程见图 3-11。

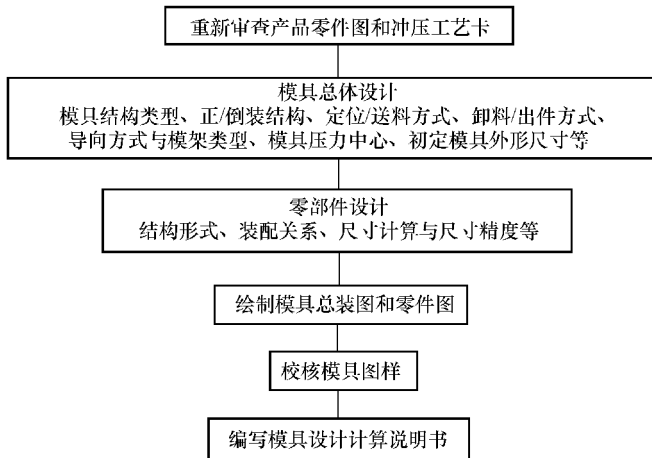


图 3-11 模具设计流程

(5) 模具材料的选择 模具凸、凹模材料的选择是模具设计的关键。近几年轨道车辆行业大量生产不锈钢材料的城铁客车和铝合金客车，这些材料对模具工作部分的材料有特殊的要求。不锈钢板成形时，要求模具材料耐高压、高温，耐磨。

模具材料选择原则：①满足耐磨性和强韧性工作要求；②满足可加工性、可锻性、热处理性能等要求；③满足经济性要求，在满足使用性能的前提下，首选价格较低的，能用碳钢就不用合金钢，能用国产材料就不用进口材料。

表 3-32 给出了轨道客车常用模具材料及热处理状态。

表 3-32 冲压模具常用材料及热处理状态

序号	分类	模具零件名称	使用材料	最终热处理状态
1	工艺零件	凸模	T10A、Cr12MoV	热处理硬度：56~60HRC
		凹模	T10A、Cr12MoV	热处理硬度：58~62HRC
		定位销	45	热处理硬度：40~45HRC
		卸料板	45	
		压料板	T10A、Cr12MoV	热处理硬度：58~62HRC
		导正销	T8A	热处理硬度：50~54HRC
		推杆	45	热处理硬度：40~45HRC
		打板	45	热处理硬度：40~45HRC
2	结构零件	上模板	HT20-40、HT25-47、ZG25、45	热处理退火
		下模板	HT20-40、HT25-47、ZG25、45	热处理退火
		导柱	20	渗碳 0.8~1mm，58~62HRC
		导套	20	渗碳 0.8~1mm，58~62HRC
		模柄	45	
		固定板	45	

3. 模具制造

模具多为专用部件，属于单件生产的高精度产品，制造难度大，附加值较高。

随着数控和特种加工技术的发展，模具制造业已转变成技术密集型行业，基本上淘汰了依靠手工技巧来完成模具的加工制造，而是依靠高精度的数控机床，对零件进行无余量加工后，直接进行高精度装配。现代模具制造集中了制造技术的精华，体现了先进制造技术，已成为技术密集型的综合加工技术。模具制造流程如图 3-12 所示。

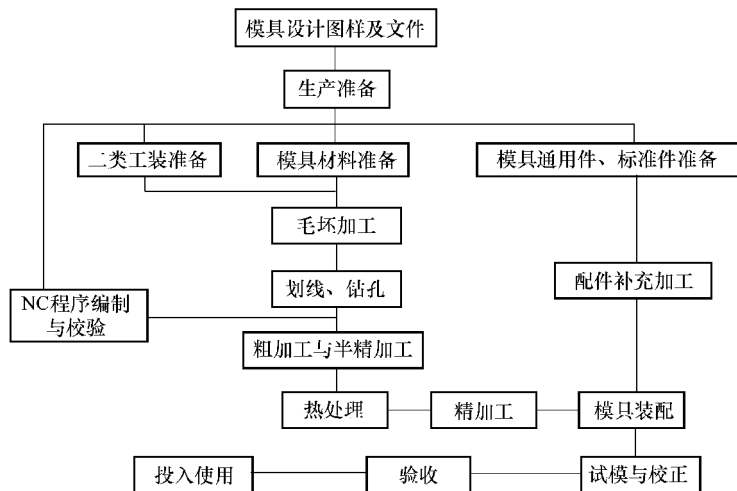


图 3-12 模具制造流程

生产轨道客车冲压件的模具由于产量不大，一般不设立专门的模具制造车间，而是自己

设计,委托专业厂家生产。制造完后在制造厂家进行初步验收。在生产现场进行最终实件调试。

3.4 冲压件生产常用设备

冲压件生产设备的配置,要根据冲压件的产品特点、生产批量等情况综合考虑。轨道客车冲压件的特点是种类多、数量少,因此,其冲压生产设备配置,要考虑满足大部分自制冲压件生产需要,又要考虑满足经济性方面的要求。

轨道客车冲压设备配置原则是:

- 1) 生产设备要能满足涉及轨道客车运营安全的主要结构件的生产需要。
- 2) 考虑多品种、小批量生产特点,要选择通用性好、柔性化的设备,一机多能。
- 3) 对于拉弯机一类的专用设备,要考虑替代工艺,或出现故障时由替代设备继续完成生产。

下面分别介绍轨道客车冲压件生产用冲压常用设备。

3.4.1 钢板开卷设备

钢板开卷设备用于钢板卷料开卷。轨道客车冲压件产量小,所需板材的规格种类较多,采购比较困难。如果减少规格,则降低材料利用率,成本提高。从降低成本的角度,采购卷料、内部开卷方式比较经济合理。轨道客车生产厂家使用的开卷设备是针对板厚为6mm以内的卷料开卷。图3-13为钢板开卷线,表3-33为钢板开卷线的基本参数。



图 3-13 钢板开卷线

表 3-33 钢板开卷线的基本参数

参数	数值范围	单位
卷料宽度	500 ~ 1500	mm
卷料厚度	1.0 ~ 6.0	mm
卷料质量	≤10000	kg
剪切长度	500 ~ 4500	mm
剪切次数	20 ~ 60	次/min
剪切长度精度	≤ ±1	mm
校平精度	≤1	mm/m

3.4.2 下料设备

主要用于准备后续加工的毛坯料。除了传统的剪切下料设备之外,近些年出现了激光切

割机、高压水射流切割机数控切割设备，使平板加工工序集成化，可一次加工到位。

图 3-14 为数控剪板机，表 3-34 为剪板机用途及基本参数。

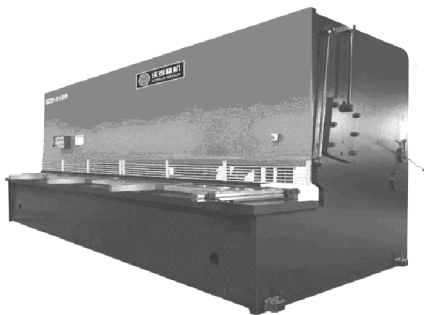
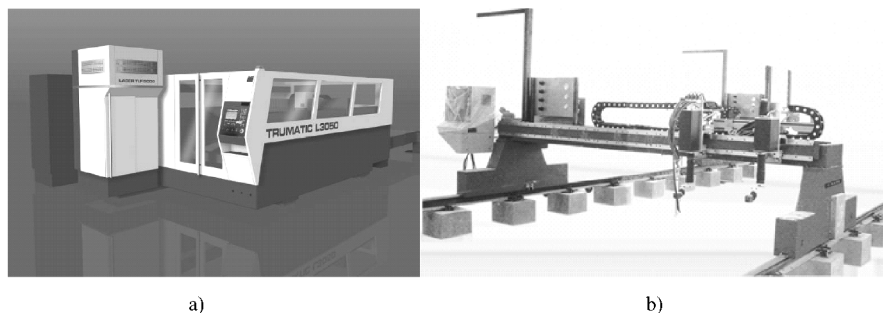


图 3-14 数控剪板机

表 3-34 剪板机用途及基本参数

序号	设备名称	设备说明
1	数控薄板剪板机	(1) 用于厚度 $\leq 10\text{mm}$ 钢板的剪切下料 (2) 最大剪切厚度：碳钢 10mm，不锈钢 6mm (3) 最大剪切长度：4000mm (4) 带防扭曲装置 (5) 带后托料装置 (6) 剪切角度、刃口间隙可数控调整
2	数控厚板剪板机	(1) 用于厚度 $\leq 16\text{mm}$ 钢板的剪切下料 (2) 最大剪切厚度：碳钢 16mm，不锈钢 8mm (3) 最大剪切长度：4000mm (4) 带后托料装置 (5) 剪切角度、刃口间隙可数控调整

图 3-15 为数控切割下料设备，表 3-35 为切割设备种类及基本参数。



a)

b)

图 3-15 数控切割下料设备

a) 激光切割机 b) 数控火焰切割机

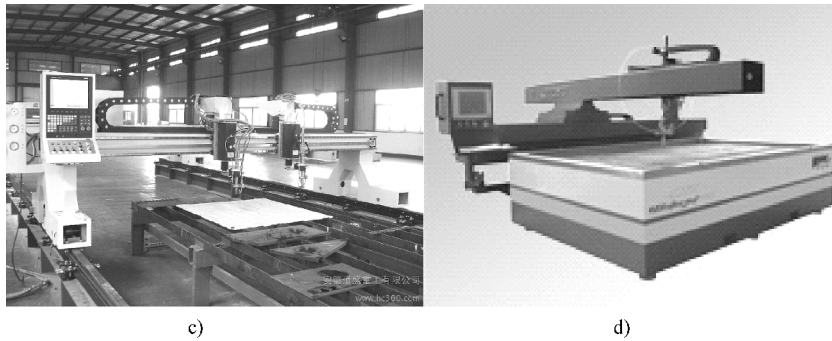


图 3-15 数控切割下料设备 (续)
c) 精细等离子切割机 d) 高压水射流切割机

表 3-35 切割设备种类及基本参数

序号	设备名称	设备说明
1	激光切割机	(1) 用于厚度 $\leq 20\text{mm}$ 金属板的切割下料 (2) 切割功率 $\geq 4\text{kW}$ (3) 可交换工作台尺寸 $2\text{m} \times 4\text{m}$ (4) 切割板厚: 碳钢板 20mm 、不锈钢板 12mm 、铝合金板 8mm
2	数控火焰切割机	(1) 用于厚度 $\leq 200\text{mm}$ 碳钢板的切割下料 (2) 工作台尺寸 $3\text{m} \times 40\text{m}$, 多龙门架式结构 (3) 最大切割能力: 200mm 厚碳钢板
3	精细等离子切割机	(1) 用于厚度 $\leq 30\text{mm}$ 钢板的切割下料 (2) 干式切割, 带有同步吸尘装置 (3) 工作台尺寸 $3\text{m} \times 20\text{m}$ (4) 切割板厚: 碳钢板 30mm 、不锈钢板 20mm
4	高压水切割机	(1) 用于厚度 $\leq 300\text{mm}$ 铝合金板的切割下料 (2) 最大切割板厚 300mm (3) 工作台尺寸 $2\text{m} \times 4\text{m}$

3.4.3 校平机

图 3-16 为钢板校平机, 表 3-36 为校平机的基本功能参数。由于钢板原材料不平或在加工中钢板变形, 需要进行校平。

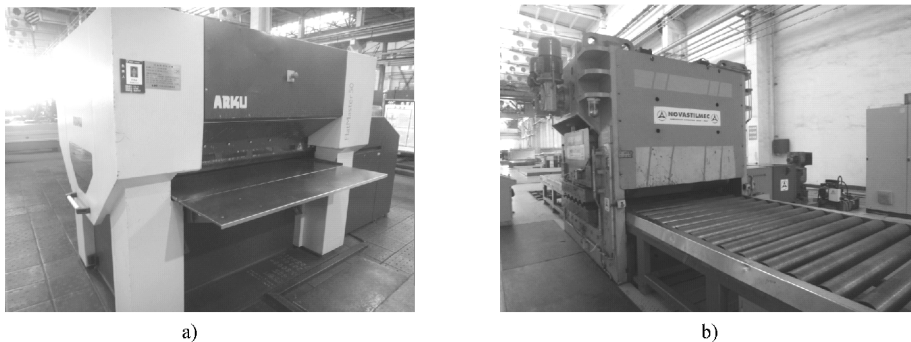


图 3-16 钢板校平机
a) 19 辊薄板校平机 b) 厚板校平机

表 3-36 校平机的基本功能参数

序号	设备种类	设备说明
1	薄板校平机	(1) 用于 0.5 ~ 8mm 厚的板材校平 (2) 最大校平板宽 1500mm (3) 最小校平长度 100mm (4) 校平精度 1mm/m (5) 校平钢板的最大屈服强度 800MPa
2	厚板校平机	(1) 用于 6 ~ 22mm 厚的板材校平 (2) 最大校平半宽 2000mm (3) 最小校平长度 400mm (4) 校平精度 1mm/m (5) 校平钢板的最大屈服强度 800MPa
3	调直机	(1) 用于各种型钢的调直 (2) 公称力 2000kN

3.4.4 机械压力机

表 3-37 是机械压力机的参数。这些压力机主要用于冲裁、成形工序。根据轨道客车冲压件的种类主要配备 5 种压力机。

表 3-37 机械压力机参数

项 目	单位	设备种类					
		JC21 - 160A 压力机	J36 - 250 压力机	500t 压力机	2000t 压力机	100t 摩擦压力机	
公称力	kN	1600	2500	5000	20000	1000	
滑块行程范围	mm	160	400	500	630	300	
连杆调整长度	mm	130	220	200	270		
滑块行程次数	次/min	50	17	9	6	18	
滑块中心至床身距离 (喉深)	mm	380					
导轨间距离	mm		800	1085			
导轨下端与工作台距离	mm	620	600	1340	920		
工作台尺寸	上滑块	mm	440 × 600	1000 × 2300	1440 × 1800	1700 × 3710	500 × 500
	工作台	mm	710 × 1120	1250 × 2450	1505 × 1800	1900 × 4000	
气垫	数量	mm	3	2	2	3	
	每个气垫力	kN	65	300	300	3000	
	行程	mm	200	250	200	250	
允许模具闭合高度	mm	190 ~ 320	225 ~ 445	410 ~ 600	375 ~ 645	120 ~ 420	
模柄孔尺寸	mm	φ80					
标准托杆或托杆尺寸	mm		φ35 × L	φ48	φ58 × L		

3.4.5 折弯机

数控折弯机是轨道客车冲压件生产使用最广泛的设备，大约成形件的 80% 以上在数控折弯机上成形。图 3-17 所示为数控折弯机，表 3-38 为数控折弯机参数。需要注意的一点是，设备数控轴数为 3 + 2 形式，即后挡尺 2 轴，不仅有前后动作，还必须有上、下数控动作。工作台长度超过 3m 的折弯机，后挡尺定位块数量大于等于 3 个。



图 3-17 数控折弯机

a) 3200kN 数控折弯机 b) 800kN 数控折弯机

表 3-38 数控折弯机参数（黄石 LVD 公司产品）

机床型号	80/3200	160/3200	320/4000	400/4000
公称力/kN	800	1600	3200	4000
折弯长度/mm	3200	3200	3200	4000
立柱间距/mm	2700	2700	2700	3500
喉口深度/mm	400	400	400	500
滑块行程/mm	170	170	170	200
工作台高度/mm	800	800	800	800
装模高度/mm	600	600	600	600
主电动机功率/kW	5.5	11	18.5	22.5
补偿油缸数量	3	3	3	4
控制轴数	3 + 2	3 + 2	3 + 2	3 + 2
后挡料 X 轴行程/mm	500	500	500	500
后挡料 X 轴速度/ (mm/s)	200	200	200	200

3.4.6 数控转塔冲床

图 3-18 为数控转塔冲床，表 3-39 为数控转塔冲床的部分技术参数。数控转塔冲床主要用于 5mm 以下板材的冲孔、冲切、成形和翻边。



图 3-18 数控转塔冲床

表 3-39 数控转塔冲床部分参数

1	工作台尺寸	2500mm × 1250mm
2	最大冲裁板厚	8mm
3	最大冲压作用力	220kN
4	最大冲压频率 ($E = 1\text{mm}$)	1400 次/min
5	安装面积	6760mm × 6100mm

3.4.7 数控拉弯机

图 3-19 为美国 CYRIL BATH 公司生产的 V75 型数控拉弯机，主要用于轨道客车车顶弯梁等型材大曲率半径的弯曲成形，是一种专用弯曲设备，表 3-40 为其技术参数。



图 3-19 V75 型数控拉弯机

表 3-40 V75 型数控拉弯机技术参数

项 目	技 术 参 数
机床拉伸缸最大拉力	750kN
机床拉伸缸最小拉力	50kN
钳口旋转	$\pm 180^\circ$ (手工调节)

(续)

项 目	技 术 参 数
两钳口最大距离	7000mm
两钳口最小距离	1000mm
拉伸缸最大行程	762mm
拉伸缸最大速度	最大 762mm/min
拉伸缸最大摆角	$\pm 28^\circ$
摇臂摆角范围	$+10^\circ \sim -90^\circ$
成形速度范围	$(0.5^\circ \sim 3^\circ) / s$
返回速度	$3^\circ / s$
地面到模具工作台面的距离	978mm
钳口中心到模具安装平台表面的距离	267mm
电源要求	3 相 380V, 50Hz
拉弯过程控制模式	位置控制和拉力控制
夹钳内径	$\phi 250\text{mm}$

3.4.8 震锤成形机

震锤成形机又称万能成形机(图 3-20),主要用于部分型材的弯曲成形,蒙皮类零件的成形,部分折弯件的调修等。所选的设备型号为 KF665,其工作能力为:

- 1) 普通软钢 ($R_{eL} = 400\text{MPa}$): 最大 6.0mm。
- 2) 不锈钢 ($R_{eL} = 600\text{MPa}$): 最大 4.0mm。
- 3) 普通铝合金 ($R_{eL} = 250\text{MPa}$): 最大 8.0mm。



图 3-20 震锤成形机

3.4.9 辅助设备

除以上设备外,还有一些辅助设备,主要是钻床、抛丸及喷砂清理设备、手工切割设备等。见表 3-41。

表 3-41 辅助设备

序号	设备名称	用途
1	钻床	用于冲压件钻孔
2	抛丸喷砂和涂装设备	用于对碳钢板在加工前的抛丸喷砂除锈，并在表面涂一层防腐底漆
3	手工切割设备	利用空气等离子切割机或火焰切割机进行手工切割
4	毛刺清理设备	切割和冲裁加工后零件产生毛刺，利用此设备对平板件打磨毛刺

3.5 分离件制造技术

分离工序是将零件或毛坯从原材料上分离下来的工序。分离件质量对后续质量产生影响，分离工序与原材料利用率和生产成本直接相关。

3.5.1 分离件类型

轨道客车冲压件中的分离件种类很多，主要有：剪切件、数控切割件、模具冲裁件、数控转塔冲床冲孔冲切件。数控切割件又分为激光切割件、高压水切割件、等离子切割件、火焰切割件。

3.5.2 分离件制造工艺

轨道客车分离件制造方法包括剪切、数控切割（激光切割、高压水射流切割、等离子切割和火焰切割）、模具冲裁（冲孔、落料、切断、修边、冲角、冲口、冲圆角等）、数控转塔冲床冲孔冲切。

1. 剪切工艺

剪切是利用剪板机和刀具，将板料分离成矩形、三角形、梯形等简单形状零件的加工方法。剪切下料具有生产效率高、剪断面比较光洁等优点。在客车冲压件生产中，剪切工序是比较重要的工序之一，为后续的冲裁、弯曲、拉深、成形等工序准备毛坯料。

(1) 剪切下料的板材种类及精度要求 由于设备能力和剪切工艺所能达到的质量等级等原因，轨道客车冲压件剪切板材种类有三种：碳钢板（板厚 $\leq 16\text{mm}$ ）、不锈钢板（板厚 $\leq 6\text{mm}$ ）、铝合金板（板厚 $\leq 18\text{mm}$ ）。剪切件尺寸公差见表 3-42。一些特殊尺寸精度要求和断面精度要求的冲压件不宜采用剪切下料，需考虑其他下料方式来满足冲压件精度要求，或者剪切下料后增加机械加工工序。

表 3-42 剪切件未注尺寸的极限偏差

(单位: mm)

基本尺寸	钢板厚度			
	≤ 1.5	$> 1.5 \sim 3$	$> 3 \sim 6$	> 6
≤ 100	± 0.5	0.6	0.7	0.8
$> 100 \sim 350$	± 0.6	0.7	0.8	0.9
$> 350 \sim 600$	± 0.8	0.9	1.0	1.2
$> 600 \sim 850$	± 1.0	1.2	1.3	1.5
$> 850 \sim 1250$	± 1.2	1.5	1.6	1.8
$> 1250 \sim 1500$	± 1.5	1.8	1.9	2.0
$> 1500 \sim 2000$	± 1.8	2.0	2.0	2.5
$> 2000 \sim 4000$	± 2.0	2.3	2.5	2.5

(2) 剪切工艺相关参数设定 剪切时要保证剪切质量, 需要根据所剪切材料设定工艺参数。合理的工艺参数能得到优质断面和几何精度的工件。

1) 剪刀夹角: 剪刀夹角在剪切中起到至关重要的作用, 夹角的大小取决于被剪材料、板厚、剪切件尺寸等。在剪切过程中, 由于夹角的存在, 材料是被逐渐分离的, 若夹角增大, 可减少所需的剪切力。但是由于剪切夹角的存在, 在剪切过程中, 被剪下的材料将发生弯扭组合变形, 剪切窄条料时, 尤其明显。夹角越大, 变形越大。所以在生产中, 夹角不宜过大。不同材料剪切夹角见表 3-43 ~ 表 3-45。

表 3-43 不锈钢材料剪刀夹角数值表

板厚/mm	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
夹角/ (°)	0.5	1	1.5	1.75	2	2.25	2.5

表 3-44 碳钢材料剪刀夹角数值表

板厚/mm	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
夹角/ (°)	0.5	0.75	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5

表 3-45 铝合金材料剪刀夹角数值表

板厚/mm	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
夹角/ (°)	0.5	0.65	0.8	0.98	1.15	1.33	1.5	1.63	1.75	1.88	2	2.13	2.25	2.38	2.5

2) 剪刀间隙: 是剪板机上下刀片刃口之间的间隙, 是为避免上下剪刀碰撞, 减小剪切力及控制剪切断面质量而设定的, 在剪切之前必须根据原材料种类及板厚设定合理的间隙。合理的间隙值对剪切断面质量起到关键作用。不同剪切材料剪刀间隙参考值见表 3-46 ~ 表 3-48。

表 3-46 不锈钢材料剪刀间隙数值表

板厚/mm	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
间隙/mm	0.06	0.1	0.13	0.22	0.3	0.35	0.4

表 3-47 碳钢材料剪刀间隙数值表

板厚/mm	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
间隙/mm	0.06	0.1	0.16	0.22	0.31	0.4	0.48	0.56	0.63	0.69	0.75

表 3-48 铝合金材料剪刀间隙数值表

板厚/mm	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
间隙/mm	0.06	0.09	0.12	0.17	0.22	0.26	0.31	0.36	0.41	0.45	0.5	0.56	0.63	0.69	0.75

(3) 剪切毛刺对后序的影响及清理方法 材料剪切时由于剪切间隙、刀具磨损等原因, 在断面上产生剪切毛刺。这些毛刺一般情况下不超过规定值 (一般 $\leq 0.3\text{mm}$), 对使用不产生影响。但对于不锈钢客车因采用点焊工艺, 要求零件无毛刺。此时, 需要增加毛刺清理工序。

剪切毛刺清理方法有三种, 分别是手动刮刀清理、砂轮打磨清理和机械加工清理三种

方式。

1) 手动刮刀清理: 剪切工序完成之后, 使用手动工具对毛刺进行清理, 操作简便易行。图3-21为手动刮刀。

2) 砂轮打磨清理: 剪切工序完成之后, 使用电动或风动砂轮清理毛刺。图3-22为风动砂轮机。



图 3-21 手动刮刀

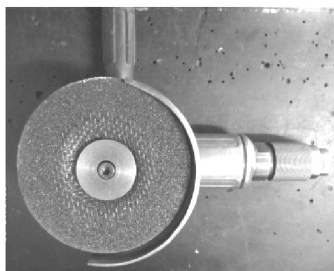


图 3-22 风动砂轮机

3) 机械加工清理: 对中厚板剪切时周边留余量, 通过机械加工方式去除余量。

(4) 剪切旁弯及调整方法 由于剪板机刀片有一定的相对夹角, 剪切过程中板材产生弯扭组合变形。剪切窄的条料, 如不锈钢地铁客车的车顶弯梁、侧墙立柱等零件, 变形尤为明显。车顶弯梁剪切下料尺寸为 $1\text{mm} \times 131\text{mm} \times 3400\text{mm}$, 侧墙立柱剪切下料尺寸为 $1.5\text{mm} \times 186\text{mm} \times 3000\text{mm}$, 用普通剪板机剪切产生 2mm 旁弯, 影响后续折弯工序定位, 必须经过校直处理后才能满足折弯定位需求, 生产效率很低。为了尽可能减少剪切过程产生弯扭组合变形, 使用装有防扭曲装置的剪板机, 效果显著, 剪切之后产生的变形能满足折弯工序的定位要求, 生产效率高。

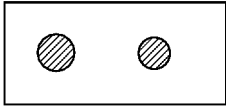
2. 模具冲裁工艺

模具冲裁是利用冲模使材料分离的一种冲压工艺, 包括切断、落料、冲孔、修边、切口等多种工序。冲裁工艺用途极广, 可直接冲出成品零件, 又可为其他成形工序制备毛坯。

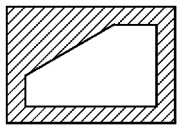

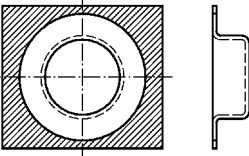



轨道客车冲压件的生产, 在数控激光切割机广泛使用之前, 模具冲裁工艺是冲压件的主要制造方式。由于现在轨道客车冲压件为多品种小批量产品, 不宜大量使用专用冲裁模具, 一次直接冲出成品件, 故大部分冲压件采用多工序流动冲裁加工法, 即剪切下料后, 针对零件的形状, 分别流转到冲孔、冲角、冲圆角、冲口、切断等工序, 进行加工。而模具都是通用的, 工序较长, 效率低, 但比较经济。

(1) 轨道客车冲压件冲裁工序种类 (表 3-49)

表 3-49 冲裁工序种类

工序名称	例 图
冲孔	

(续)

工序名称	例 图
落料	
切断	
修边	
冲口	
冲角	
冲圆角	

(2) 轨道客车冲裁件质量标准 冲压件冲裁工序执行的公差标准见表 3-50 ~ 表 3-53。

表 3-50 平板冲压件未注尺寸的极限偏差

(单位: mm)

基本尺寸	钢板厚度			
	≤1.5	>1.5 ~ 3	>3 ~ 6	>6
≤100	±0.5	0.6	0.7	0.8
>100 ~ 350	±0.6	0.7	0.8	0.9
>350 ~ 600	±0.8	0.9	1.0	1.2
>600 ~ 850	±1.0	1.2	1.3	1.5
>850 ~ 1250	±1.2	1.5	1.6	1.8
>1250 ~ 1500	±1.5	1.8	1.9	2.0
>1500 ~ 2000	±1.8	2.0	2.0	2.5
>2000 ~ 4000	±2.0	2.3	2.5	2.5

表 3-51 平板冲压件冲裁圆弧半径 R 极限偏差 (单位: mm)

基本尺寸	钢板厚度		
	≤ 1	$> 1 \sim 4$	> 4
	圆弧半径 R 极限偏差		
$> 0.5 \sim 3$	± 0.15	± 0.30	—
$> 3 \sim 6$	± 0.40	± 0.40	± 0.60
$> 6 \sim 30$	± 0.60	± 0.60	± 1.00
$> 30 \sim 120$	± 1.00	± 1.00	± 2.00
$> 120 \sim 400$	± 1.20	± 1.20	± 2.40
> 400	± 2.00	± 2.00	± 3.00

表 3-52 冲压件冲裁角度未注极限偏差 (单位: mm)

短边尺寸	≤ 10	$> 10 \sim 25$	$> 25 \sim 63$	$> 63 \sim 160$	$> 160 \sim 400$	$> 400 \sim 1000$	$> 1000 \sim 2500$
极限偏差	$\pm 1^{\circ}30'$	$\pm 1^{\circ}$	$\pm 45'$	$\pm 30'$	$\pm 20'$	$\pm 15'$	$\pm 10'$

表 3-53 孔组间距的未注极限偏差 (单位: mm)

孔组间距	≤ 260	$> 260 \sim 500$	$> 500 \sim 1200$	> 1200
极限偏差	± 1.0	± 1.2	± 1.5	± 1.8

冲裁毛刺: 普通冲裁方法产生毛刺不可避免, 一般零件的冲裁工序毛刺, 允许极限高度小于等于 0.3mm 可以使用。但对点焊结构的不锈钢车体冲压件, 要求无毛刺, 应清除毛刺。

(3) 冲裁件的结构要素

1) 冲裁零件外形: 零件外形应尽可能设计成对称平滑, 无急剧的转折、锐角长槽及细长的悬臂部分。冲裁零件的最小尺寸, 根据板料厚度, 应符合图 3-23a。冲裁零件的外形凸出与凹入部分的尺寸, 应符合图 3-23b。

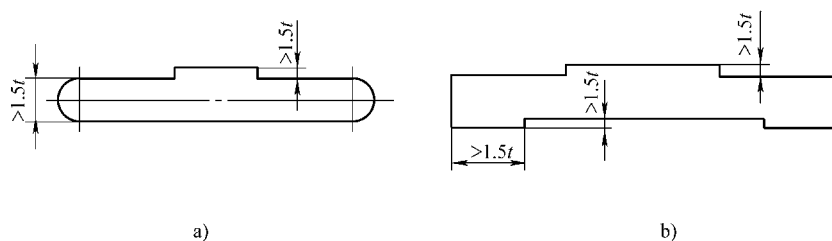


图 3-23 冲裁件外形

2) 冲裁零件的圆角半径: 冲裁零件外形转折处, 应设计成圆角如图 3-24 所示, 其最小圆角半径应符合表 3-54 的规定。在采用无废料排样冲裁时, 应使其冲边以直角相连。

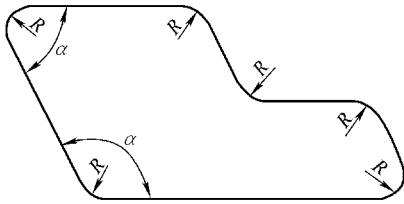


图 3-24 冲裁件外圆角

表 3-54 冲裁件外圆角

连接角	外圆角半径
$\alpha > 90^\circ$	$R \geq 0.5t$
$\alpha \leq 90^\circ$	$R \geq 0.8t$

3) 冲孔时应避免内轮廓的尖角, 而采用内圆角连接 (见图 3-25), 其最小圆角半径应符合表 3-55 的规定。

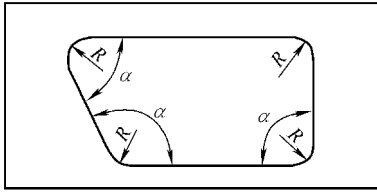


图 3-25 冲裁件内圆角

表 3-55 冲裁件内圆角半径

连接角	外圆角半径
$\alpha > 90^\circ$	$R \geq 0.8t$
$\alpha \leq 90^\circ$	$R \geq t$

4) 冲孔时, 突缘部分的尺寸不应小于板料的厚度, 即 $B > t$ (图 3-26)。

5) 由条料或带料冲裁成圆弧边缘时, 零件端部的圆角半径应大于条料或带料宽度尺寸的一半。即 $R > 0.5B$ (图 3-27 所示)。

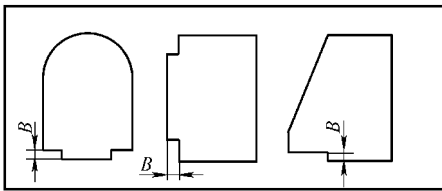


图 3-26 冲带突缘孔件

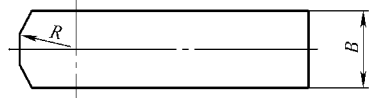


图 3-27 条料冲圆弧

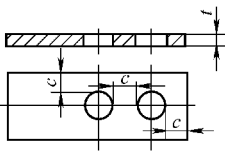
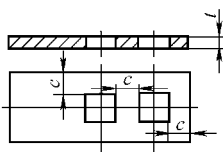
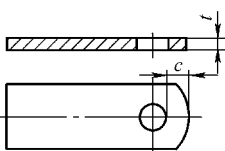
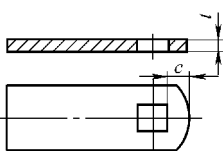
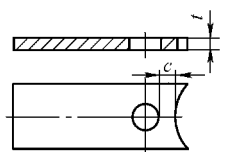
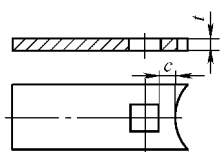
6) 零件冲孔时, 孔的尺寸、形状与材料的力学性能有关。在不影响结构要素的情况下, 应尽量采用圆形孔。零件上冲孔的最小尺寸应符合表 3-56 的规定。

表 3-56 零件冲孔的形状

材 料						
钢	$R_m < 392$ MPa	$d > t$	$B \geq 0.9t$	$B \geq 0.7t$	$B > 0.8t$	$K > 1.5t$
	$392\text{MPa} <$ $R_m < 686\text{MPa}$	$d > 1.3t$	$B \geq 1.2t$	$B \geq 0.9t$	$B > t$	
	$R_m > 686$ MPa	$d > 1.5t$	$B \geq 1.35t$	$B \geq 1.1t$	$B > 1.2t$	
纯铜、青铜	$d > 0.9t$	$B \geq 0.8t$	$B \geq 0.7t$	$B > 0.8t$		
铝、锌	$d > 0.8t$	$B \geq 0.7t$	$B \geq 0.6t$	$B > 0.6t$		

7) 零件上冲孔时, 孔边缘距外形的最小尺寸和各孔之间的边距, 应符合表 3-57 的规定。

表 3-57 孔边缘距外形的最小尺寸和各孔之间的边距

冲孔零件简图	c		冲孔零件简图	c	
	R_m/MPa			R_m/MPa	
	<490	>490		<490	>490
	> 1.4t	> 1.2t		> 1.4t	> 1.2t
	> 1.2t	> t		> 1.3t	> t
	> 1.2t	> t		> 1.2t	> t

8) 在弯曲零件上冲孔时, 孔的尺寸除符合上述要求外, 其中心与工件垂直壁之间的距离, 应符合图 3-28 的规定。
 $t < 2mm$ 时, $L \geq t$; $t \geq 2mm$ 时, $L \geq 2t$ 。

9) 压延工件底部的孔, 可在压延行程结束时同时冲出, 也可用单独工序冲出。但突缘上的孔, 只能在压延的单独工序中冲出。其尺寸应符合图 3-29 的规定: $d < (D - 2t - 2r)$, $D_1 > (D + 2t + 2r_1 + d_1)$ 。

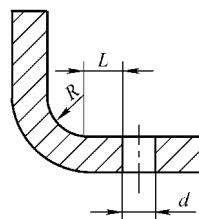


图 3-28 弯曲零件上的孔要求

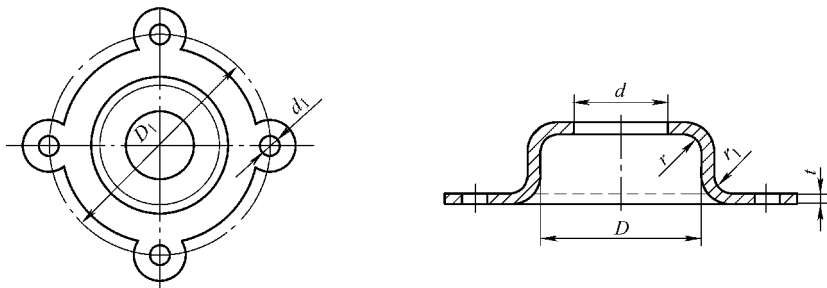


图 3-29 在压延工件上冲孔的规定

3. 冲裁力

(1) 冲裁力的计算 冲裁力是选择冲压设备吨位和设计模具零件的一个重要依据。在生产中, 由于条件限制, 冲裁某种零件可供选用的设备有限, 当零件的冲裁力接近车间现有设备的名义吨位时, 准确地计算冲裁力就显得非常重要。若计算准确, 就可以采用车间现有设备进行冲压, 以充分发挥设备的潜力; 若计算不准确, 就有可能使设备超载而损坏, 引起事故。

平刃冲模的冲裁力:

$$P = k \cdot L \cdot t \cdot \tau \quad (3-1)$$

式中 P ——冲裁力 (N);

L ——冲裁周边长度 (mm);

t ——材料厚度 (mm);

τ ——材料抗剪强度 (N/mm^2);

k ——修正系数, 根据模具间隙的波动和不均匀性、刃口的钝化、板料力学性能和厚度的波动等因素给出, 根据经验, 一般取 $k = 1.3$ 。

(2) 降低冲裁力的措施 降低冲裁力的目的主要是保护模具和压力机, 提高模具寿命, 减少冲裁卸荷时压力机的振动。降低冲裁力的措施有以下几种:

1) 刃口采用斜刃结构: 落料时凹模做成斜刃, 凸模做成平刃; 冲孔时凸模做成斜刃, 凹模做成平刃。图 3-30 为斜刃结构形式, 表 3-58 为普通冲裁用的斜刃数值。

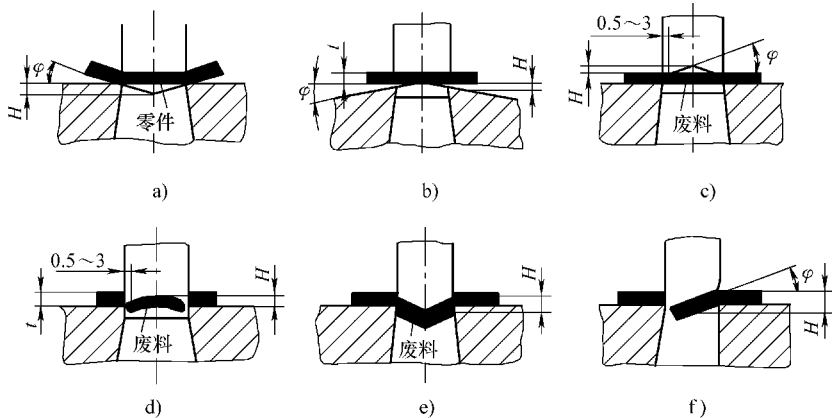


图 3-30 斜刃结构形式

表 3-58 普通冲裁用的斜刃数值

材料厚度 t/mm	斜角高度 H	斜角 α	平均冲裁力为平刃口的
<3	$2t$	< 5°	30% ~ 40%
3 ~ 10	$t \sim 2t$	$5^\circ \sim 8^\circ$	60% ~ 65%

2) 在多凸模结构的冲模中, 将凸模做成不同高度, 可使冲裁时的冲裁力峰值不同时出现 (图 3-31)。

3) 卸料力、推料力和顶料力的计算

① 卸料力: 是指卸下包覆在凸模上的制件所需的力 (图 3-32), 计算公式为

$$P_x = K_x P \quad (3-2)$$

式中 P_x ——卸料力 (N);
 K_x ——卸料力系数 (见表 3-59);
 P ——冲裁力 (N)。

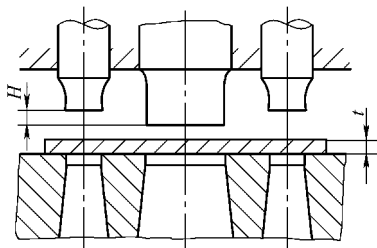


图 3-31 高低冲头的模具结构

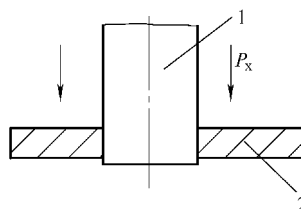


图 3-32 卸料力示意图
 1—凸模 2—工件或材料

表 3-59 卸料力系数 K_x

单面间隙比值 $z/2t$	正常搭边		多孔或孔边距大	
3% ~ 5%	0.02 ~ 0.04		0.04 ~ 0.06	
6% ~ 9%	0.015 ~ 0.03		0.025 ~ 0.04	
10% ~ 12%	0.01 ~ 0.03		0.015 ~ 0.03	

② 推料力：是指沿着冲裁方向推出卡在凹模里的工件或废料所需的力 (图 3-33)。计算公式为：

$$P_T = n \cdot K_T \cdot P \quad (3-3)$$

式中 P_T ——推料力 (N);
 K_T ——推料力系数 (表 3-60);
 n ——卡在凹模里的件数 h/t ，其中 h 为凹模刃壁垂直部分的高度 (mm)， t 为板厚 (mm)。

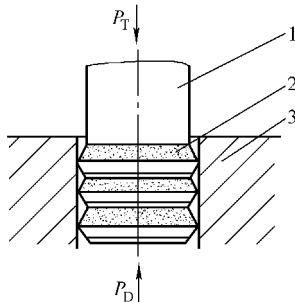


图 3-33 推料力和顶料力
 1—凸模 2—工件或废料 3—凹模
 P_T —推料力 P_D —顶料力

表 3-60 推料力系数 K_T 和顶料力系数 K_D

单面间隙比值 $z/2t$	推料力系数	顶料力系数
3% ~ 5%	0.04 ~ 0.06	0.05 ~ 0.08
6% ~ 9%	0.03 ~ 0.05	0.04 ~ 0.06
10% ~ 12%	0.02 ~ 0.03	0.03 ~ 0.04

③ 顶料力：是指逆着冲裁方向顶出卡在凹模里的工件或废料所需的力（图 3-33）。计算公式为：

$$P_D = K_D \cdot P \quad (3-4)$$

式中 P_D ——顶出力（N）；

K_D ——顶出力系数（表 3-60）。

3.5.3 冲裁模具

1. 冲裁模具的设计内容

（1）选择模具结构形式 冲裁方案确定之后，即可选定模具类型（单工序模、复合模、级进模等）和模具的各部分的具体结构，包括模架及导向方式、毛坯定位方式、卸料、压料和出件方式等。在进行模具结构设计时，还应考虑模具的维修、保养和吊装方便，同时要在各个细小环节上，尽可能考虑到操作者的安全等。

（2）工艺计算 工艺计算包括：①排样设计与计算；②计算冲裁力，初步选取压力机的吨位；③计算模具压力中心；④计算凸、凹模工作部分尺寸并确定其制造公差；⑤弹性元件的选取与计算；⑥必要时对模具主要零件进行强度验算。

（3）确定模具主要零件的结构 主要是确定工作零件、定位零件、卸料和出件零件、导向零件及连接与固定零件的结构形式和固定方法。同时要考虑上述零件的加工工艺性和装配工艺性。

（4）校核模具闭合高度及压力机有关参数 冲裁模的总体结构尺寸，必须与选用的压力机相适应，要点如下：①模具的总体平面尺寸，应与压力机工作台或垫板、滑块下平面的尺寸相适应；②模具的闭合高度，应与压力机的装模高度或闭合高度相适应。模具的其他外形结构尺寸也必须与压力机相适应，如模具的模柄与滑块的模柄孔尺寸；模具下顶装置的尺寸与压力机工作台孔的尺寸等。

（5）绘制模具总装图及零件图 绘制模具总装图时，应清楚表达各零件之间的装配关系及固定连接方式。

2. 冲裁间隙的选择

图 3-34 所示为冲裁模具间隙示意图。

模具间隙的理论计算：

$$Z = 2(t - h_0) \tan \beta = 2t \left(1 - \frac{h_0}{t}\right) \tan \beta \quad (3-5)$$

在冲压实际生产中，主要根据冲裁件断面质量、尺寸精度和模具寿命这三个因素综合考

虑，给冲裁间隙规定一个范围值。考虑到在生产过程中，磨损使间隙变大，故设计与制造新模具时应采用最小合理间隙 Z_{\min} 。

实际生产中模具间隙值按表 3-61 选取。

3. 冲裁设备选择

模具冲裁一般选用机械压力机，根据冲裁所需的冲裁力、工作台尺寸大小、闭合高度等选择压力机。

对冲裁工艺选择压力机时，压力机的吨位应比计算的冲压力大 30% 左右。

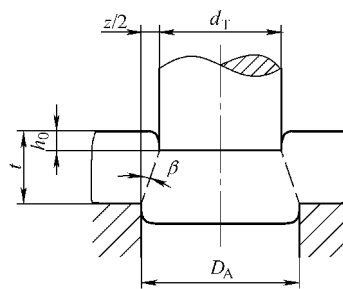


图 3-34 冲裁模具间隙示意图

表 3-61 模具单面间隙 $z/2t$ (%) 推荐值

材料	低碳钢	高碳钢	不锈钢	铝合金	硬铝
模具间隙	8 ~ 10	14 ~ 16	9 ~ 11	6 ~ 8	9 ~ 10

4. 冲裁模具结构设计

图 3-35 为冲裁模具典型结构，由上下模板、导向零件、工作零件（凸、凹模）、弹性压料板、定位零件等组成。其中弹性压料板是冲裁模具不可缺少的零件，只有在压紧毛坯板的状态下进行冲裁，冲裁件才不会变形，冲裁质量也比较好。

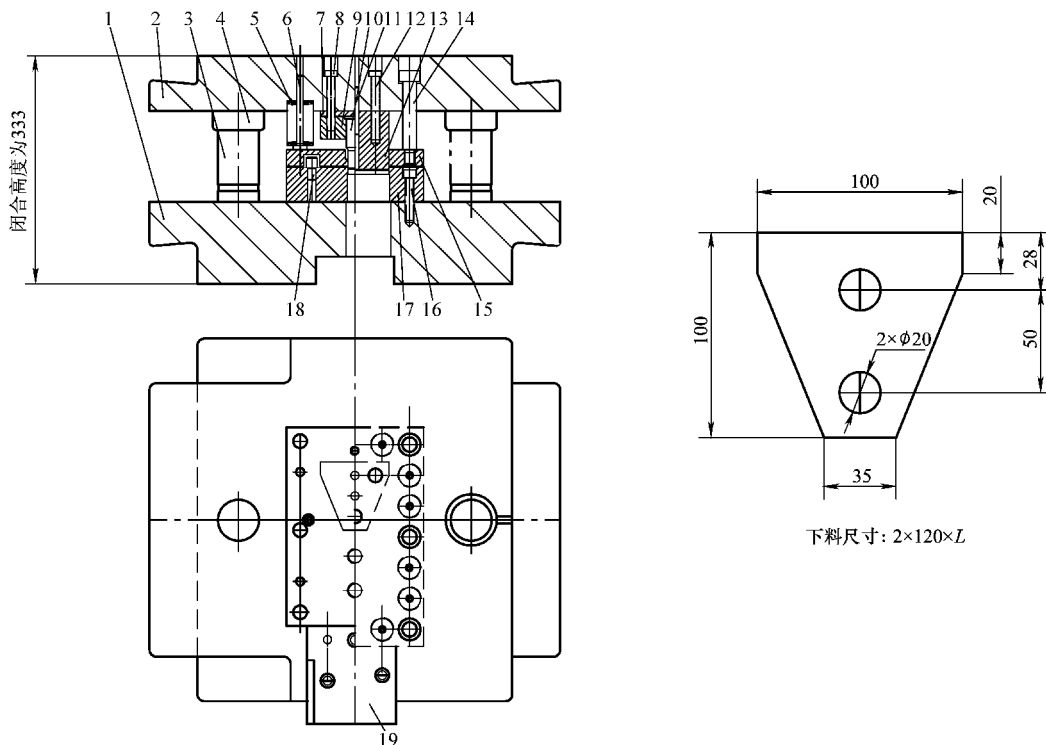


图 3-35 堵板冲孔落料模

- 1—下模板 2—上模板 3—导柱 4—导套 5—碟簧 6—导杆 7—垫板 8—螺钉 9—凸模固定板 10—凸模
11—销 12—螺钉 13—落料凸模 14—退料螺钉 15—退料板 16—螺钉 17—凹模 18—挡料销 19—托料架

5. 不锈钢件冲裁时的润滑

冲裁时模具与坯料产生摩擦,影响零件质量,模具出现磨损,尤其是冲裁不锈钢板情况尤为严重。所以在冲裁时应适当涂润滑剂,以保护模具和提高冲裁质量。在一般情况下,在凸、凹模处涂少量机油进行润滑。

3.5.4 分离件生产设备

用于分离工序的设备种类有:剪板机、压力机、转塔冲床、激光切割机、等离子切割机、火焰切割机和高压水切割机。

压力机及规格配置为:1600kN 开式压力机、2500kN 闭式双点压力机、5000kN 双柱曲轴压力机、12500kN 双柱曲轴压力机。

3.5.5 典型分离件模具

1. 通用冲角模具

通用冲角模具是专用于去除客车冲压件角部的模具。零件冲角形状如图 3-36 所示,零件外轮廓上的冲角 $\geq 90^\circ$,材料为厚度为 1~6mm 的碳钢、不锈钢和铝合金等。模具共分三套,根据模具间隙的取值,分别冲 0.5~1.5mm、2~3mm、4~6mm 的板材。最大冲角尺寸为 170mm×340mm,尺寸超过此值可以分步冲。使用设备为 1600kN 的冲床。

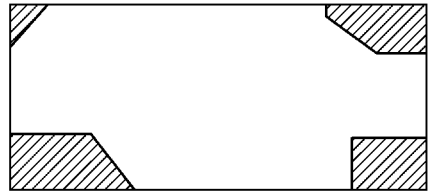


图 3-36 零件冲角形状

图 3-37 为通用冲角模结构图。

2. 通用模架快换冲孔模具

通用模架快换冲孔模具,是在通用模架和专用冲孔机上,仅更换凸、凹模和压料部分,可进行不同形状孔的冲孔。模具结构简单,凸、凹模可快速制造,准备周期短,适应于小批量件的生产。冲孔材料为板厚 6mm 以内的碳钢、不锈钢、铝合金等。

图 3-38 为通用模架快换冲孔模具结构图。

3. 组合冲模

图 3-39 为组合冲模结构示意图。由图可见,组合冲模是在通用模架上基础上,由连接件、卸料零件和工作零件组合而成。

(1) 组合冲模的结构特点 组合冲模具有标准化、系列化、通用化的特点,外形和槽距都有一定的规律。各元件采用平键或 T 形键定位,用双头螺栓或槽用螺栓紧固。因此,组合冲模有较好的刚性和可拆卸性。组合冲模元件可重复使用。组合模具结构适用于多品种、小批量生产。

(2) 冲压件类型 根据冲压件的几何形状,可分为三类,如图 3-40 所示。

- 1) 全部由直线组成的冲压件(图 3-40a)。
- 2) 全部由圆弧组成的冲压件(图 3-40b)。
- 3) 由若干直线和圆弧组成的冲压件(图 3-40c)。

根据冲压件的特点,主要分为对圆孔、方孔、长圆孔、长方孔、圆缺口和方缺口进行冲裁。表 3-62 为由组合模冲裁的冲压件尺寸规格。

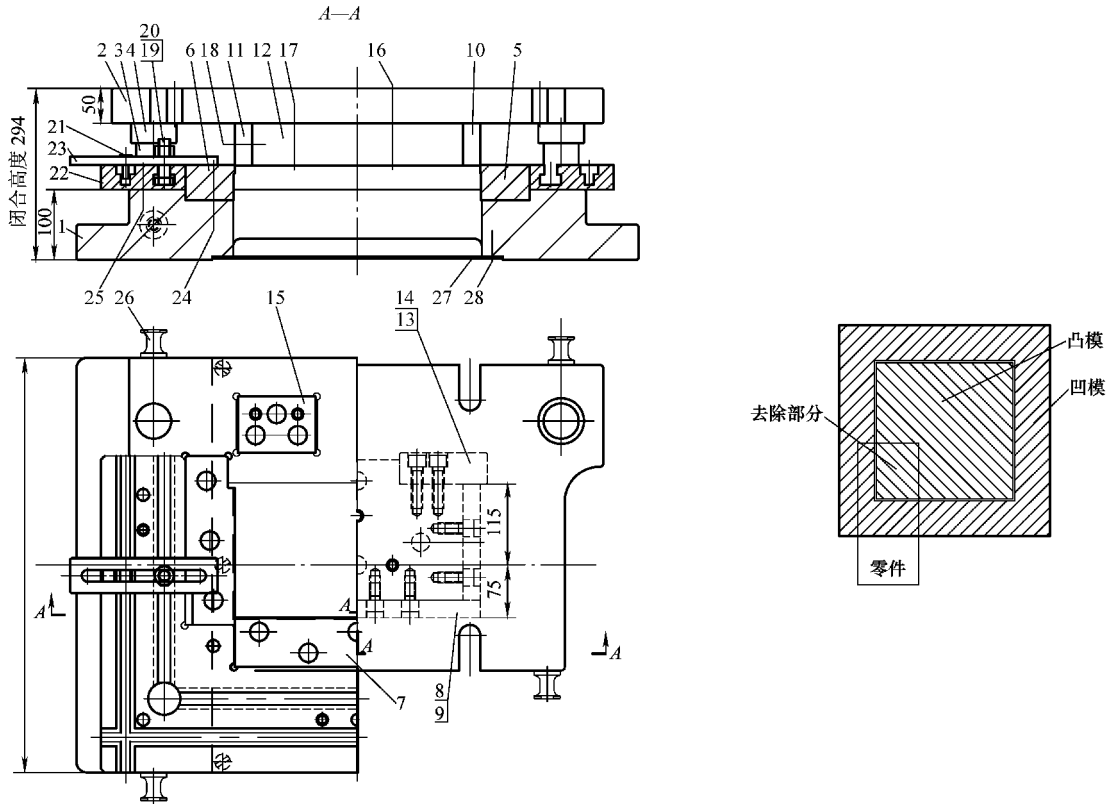


图 3-37 通用冲角模结构图

- 1—下底板 2—上底板 3—导柱 4—导套 5—凹模镶块(右) 6—凹模镶块(左) 7—凹模镶块(前)
 8—凸模镶块(前右) 9—凸模镶块(前左) 10—凸模镶块(右) 11—凸模镶块(左) 12—固定板 13—反侧压块(右)
 14—反侧压块(左) 15—侧压块 16—销 17—螺钉 18—螺钉 19—六角螺栓 20—六角螺母 21—导向销 22—托料板
 23—定位板 24—螺钉 25—螺钉 26—吊柱 27—盖板 28—沉头螺钉

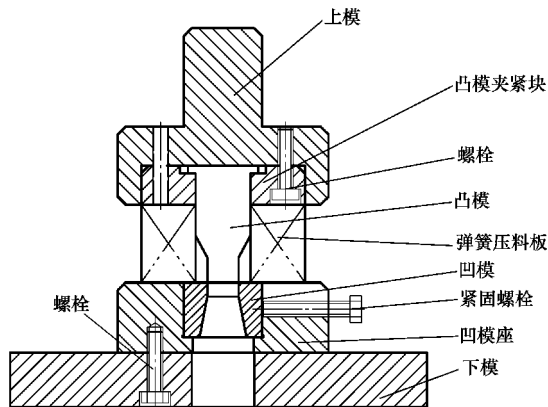


图 3-38 通用冲孔模

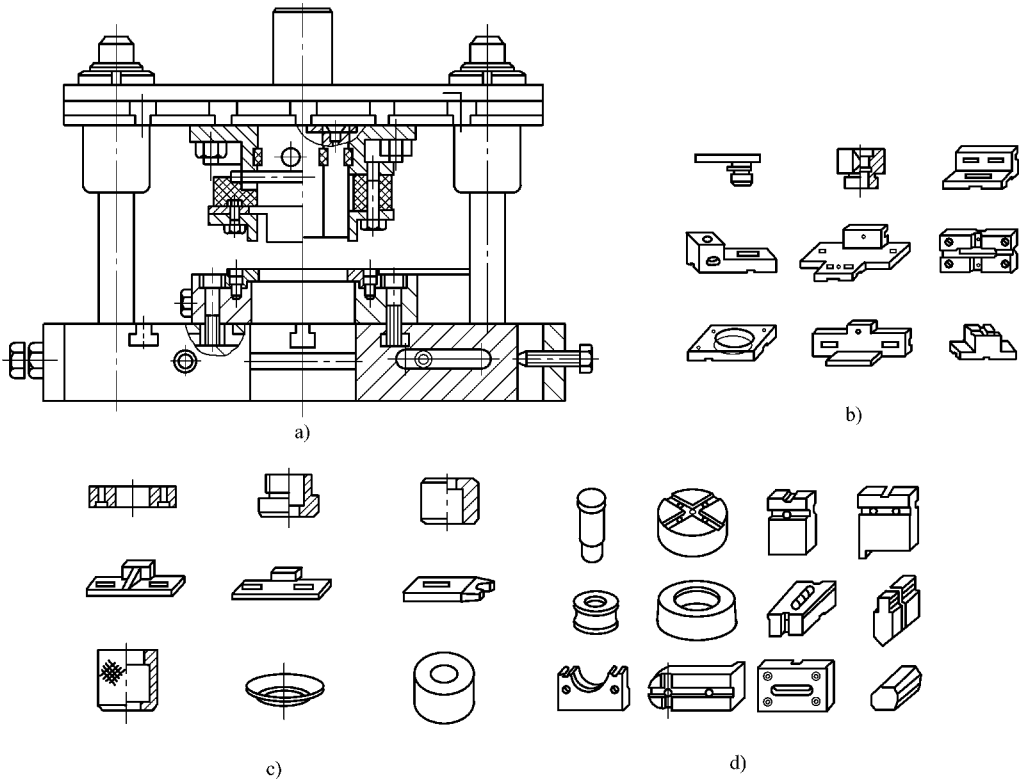


图 3-39 组合冲模结构示意图

a) 模具结构 b) 连接件 c) 卸料零件 d) 工件零件

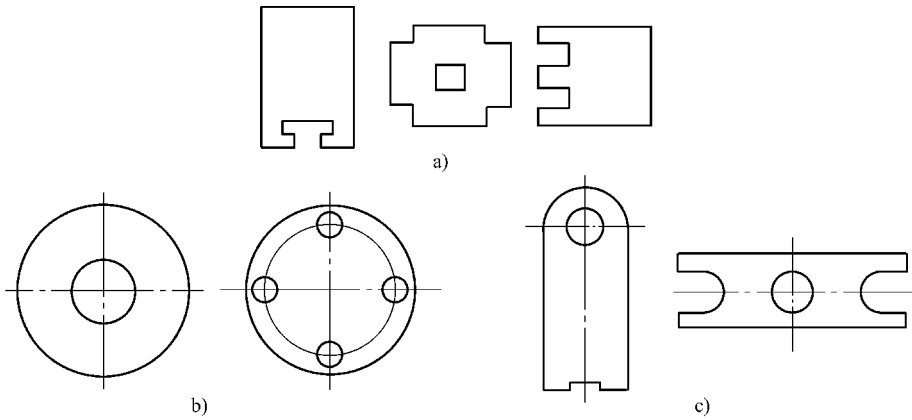


图 3-40 冲压件分为三种类型

a) 直线组成的冲压件 b) 圆弧组成的冲压件 c) 圆弧和直线组成的冲压件

表 3-62 由组合模冲裁的冲压件尺寸规格

(单位: mm)

工序	尺寸规范	料厚	备注
冲圆孔	$d = \phi 12 \sim \phi 50$	1 ~ 5	多次冲孔尺寸可再增大
冲方孔	$A \times A = 30 \times 30 \sim 80 \times 80$	1 ~ 5	
冲长方孔	$A \times B = 10 \times 30 \sim 80 \times 100$	1 ~ 5	
冲长圆孔	$A \times B = 7 \times 12 \sim 17 \times 80$	1 ~ 5	

(续)

工序	尺寸规范	料厚	备注
冲缺口	$A \times B \leq 80 \times 100$ $R = 5 \sim 45$	1 ~ 5	
冲弧	$R = 5 \sim 45$	1 ~ 5	
弯曲	$\theta = 60^\circ \sim 90^\circ$		
异形孔冲裁	少量专用件与组合冲模单元结合使用, 构成半组合冲模, 完成异形孔冲裁及拉深等工序		

3.5.6 数控转塔冲床冲切技术

图3-18所示为数控转塔冲床, 表3-63为通快公司TRUMATIC 500型数控转塔冲床的技术参数。

表3-63 TRUMATIC 500型数控转塔冲床技术参数

冲压操作	2500mm × 1250mm
最大板厚	8mm
最大冲压作用力	220kN
最大刀具数量	使用3个夹爪时: 18件数 使用4个夹爪时: 21件数
刀具切换时间(多子模模式下)	0.7s
最大冲程冲压($E = 1\text{mm}$)	1400次/min
安装面积	6760mm × 6100mm

1. 数控转塔冲床的特点

- 1) 采用高精度的滚珠丝杠和滚动导轨结构, 具有较高的运动精度和可靠性。
- 2) 转塔冲床的上、下转盘中装有多副模具, 供加工时自行选用, 且具有多种冲压工艺功能。
- 3) 采用数控系统, 输入程序就能自动完成冲压工作, 并具有程序存储功能。
- 4) 板料一次装夹, 就能把其上的孔依次分步全部冲出。可用组合冲裁法, 冲出较复杂的孔, 或用分步冲裁法, 冲出所需冲孔力大于冲床公称力的孔。
- 5) 冲压件精度高, 定位精度一般在 $\pm 0.15\text{mm}$ 内, 最高可达 $\pm (0.05 \sim 0.07)\text{mm}$ 。
- 6) 生产率高, 比普通冲孔提高效率4~10倍, 对于单件或小批量生产, 提高效率20~30倍, 很适合单件、多品种、中小批量冲压生产。
- 7) 可无间断冲压加工, 机床操作便捷, 生产过程安全, 材料利用率提高10%, 可对废料进行破碎处理等。
- 8) 生产准备周期短, 且可减少模具设计与制造费用。

图3-41为数控转塔冲床组合冲孔的示例。

2. 数控转塔冲床的功能模具

数控转塔冲床的模具具有结构标准化、模芯功能化的特点。图3-42所示为数控转塔冲床的模具结构图。按功能则有冲孔、冲切模具, 成形模具, 打标模具和滚筋模具等。

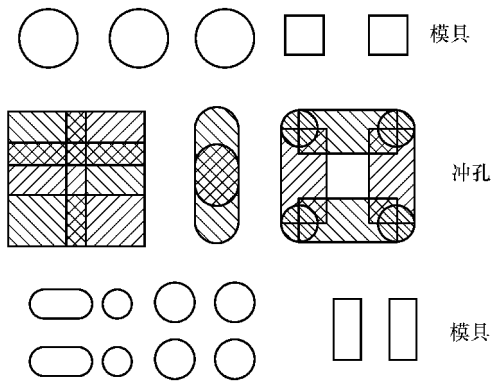


图 3-41 数控转塔冲床组合冲孔的示例

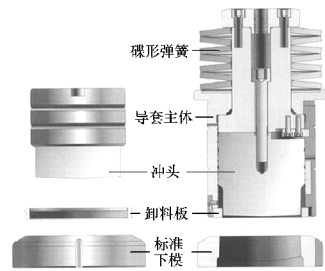


图 3-42 数控转塔冲床模具结构图

(1) 冲孔、冲切模具 图 3-43 为冲裁模具外形图。



图 3-43 冲裁模具外形图

(2) 成形模具 图 3-44 为成形模具及成形件示例。

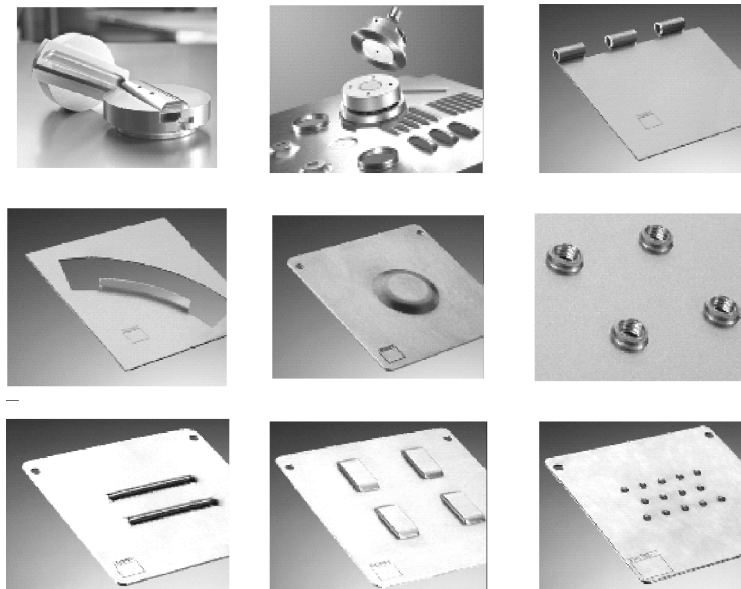


图 3-44 成形模具及成形件示例

(3) 打标模具 图 3-45 为打标模具及打标件示例。

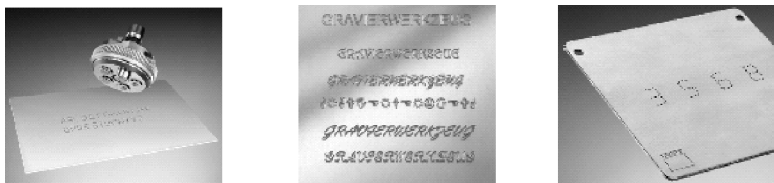


图 3-45 打标模具及打标件示例

(4) 滚筋模具 图 3-46 为数控转塔冲床的滚筋模具外形图。



图 3-46 滚筋模具外形图

3.5.7 数控切割技术

数控切割技术近几年发展迅猛，以其柔性化、工序复合化，正在替代模具冲裁方法，在轨道客车冲压件加工中，占据非常重要的位置，广泛使用的有以下几种：数控激光切割、数控等离子切割、数控火焰切割和数控高压水射流切割。切割材料为碳钢板、不锈钢板和铝合金板。

1. 数控激光切割技术

激光切割是一种先进的利用高能激光束对材料进行热切割的加工方法，可以切割各种金属、非金属板材，在轨道客车制造中被广泛应用。图 3-47 为激光切割板材图片。

(1) 激光切割原理 激光切割是利用经聚焦的高能激光束照射工件，使其迅速熔化、汽化、烧蚀或达到燃点，同时借助与光束同轴的高速气流吹除熔融物质，将工件割开。激光切割属于热切割方法之一。

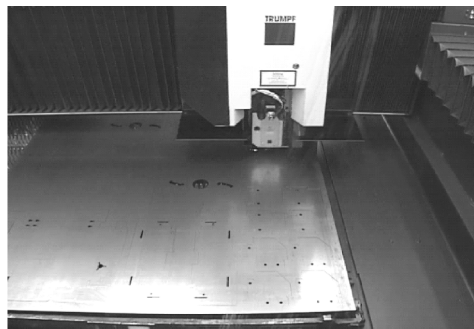


图 3-47 激光切割板材

(2) 激光切割的特点

1) 切缝细，达 0.15~0.4mm（与板厚有关），且与表面垂直，切面光洁美观，热影响区小，工件变形小，切割精度高，切割零件的尺寸精度可达 $\pm 0.05\text{mm}$ ，材料利用率高。

2) 一般配有交换工作台，切割过程可实现连续切割，切割速度快，最高达 70m/min，为非接触式切割，可切割不同形状的零件，切割过程噪声低、污染小。

3) 切割中薄板材质量好, 速度快, 随着板材厚度的增加, 切割速度明显下降, 断面质量也下降。

(3) 激光切割在轨道客车领域的应用。

激光切割工艺在轨道客车制造中, 主要用于板厚 16mm 以下碳钢板, 12mm 以下不锈钢板的下料, 在所有下料技术中效率最高、精度最好。

2. 数控等离子弧切割技术

等离子弧切割是以高能等离子弧和高速等离子流, 将熔化金属从割口处吹走, 形成连续割口。等离子弧切割速度快, 工件变形小, 适合于切割各种金属材料。

(1) 常用的等离子弧切割法 有空气等离子弧切割和精细等离子弧切割两种方法。

1) 空气等离子弧切割: 为手动等离子弧切割, 主要完成碳钢、不锈钢、铝合金冲压件中间工序, 如割孔、割口、割边、割头、割缝等。

2) 精细等离子弧切割: 为数控切割, 可切割板厚小于 30mm 的碳钢、不锈钢等材料。

(2) 精细等离子弧切割工艺 适合所有金属和部分非金属材料, 是切割不锈钢、铝及铝合金、铜及铜合金等有色金属的有效方法。最大切厚可达 180 ~ 200mm。目前客车生产中用来切割板厚 5 ~ 25mm 的碳钢, 4 ~ 20mm 厚的不锈钢。

(3) 等离子弧切割工艺参数 包括切割电流、切割电压、切割速度、气体流量和喷嘴距工件的高度。

1) 切割电流和电压决定等离子弧的功率。随等离子弧功率的提高, 切割速度和切割厚度均可相应增加。通常根据板厚及切割速度选择切割电流。切割电流过大, 易烧损电极和喷嘴, 产生双弧, 形成 V 形割口。

2) 切割电压提高利于切割厚板, 切割效果较好, 虽然可以通过提高电流增加切割厚度及切割速度, 但单纯增加电流会使弧柱变粗, 切口加宽。

3) 切割速度是切割生产率的主要指标, 切割速度对切割质量有较大影响, 合适的切割速度是切口表面平直的重要条件。切割速度取决于材质厚度、切割电流、气体种类及流量、喷嘴结构等。在同样功率下, 提高切割速度将导致切口变斜。

4) 气体流量要与喷嘴孔径相适应。适当地增大气体流量, 可加强电弧的热压缩效应, 使等离子弧更加集中, 切割电压也会随之增加, 利于提高切割能力和切割质量。

5) 喷嘴距工件的高度一般为 6 ~ 8mm, 空气等离子和水再压缩等离子弧的喷嘴距工件的高度可略小于 6 ~ 8mm。当割距增加时, 等离子弧柱显露在空间的长度增加, 导致有效热量减少, 还增加了出现双弧的可能性。当距离过小时, 喷嘴与工件间易短路而烧坏喷嘴, 破坏切割过程的正常进行。

表 3-64 为 HiFoucs100 精细等离子弧切割低碳钢参数, 表 3-65 为 HiFoucs100 精细等离子弧切割不锈钢参数。

(4) 等离子弧切割质量 切口质量主要以切口宽度、切口垂直度、切口表面粗糙度、切纹深度、切口底部熔瘤及切口热影响区硬度和宽度来评定。

良好切口的标准是宽度要窄, 切口横断面呈矩形, 切口表面光洁, 无熔渣或挂渣, 切口表面硬度应不妨碍切割后的机械加工。

表 3-64 HiFoucs100 精细等离子弧切割低碳钢参数

板厚 /mm	电流 /A	喷嘴 型号	直径 /mm	切割 气体 Air/bar	切割 气体 O ₂ /bar	涡流 气体 O ₂ /bar	涡流 气体 N ₂ /bar	穿孔 延迟 /s	割炬 间距 /mm	点火 高度 /mm	电弧 电压 /V	切割 速度 /(m/min)	切口 宽度 /mm
2	120	Z2112	3	6/20	6/60	6/10	6/70	0.1	2	4	116	7	1.9
3	130	Z2114	3	6/20	6/60	6/10	6/70	0.1	2	4	111	6	1.8
6	80	Z2112	3	6/40	6/70	6/10	6/70	0.1	2.5	4	128	1.6	1.8
6	115	Z2114	4	6/40	6/70	6/10	6/70	0.1	2.5	4	119	2.5	2
8	130	Z2114	4	6/40	6/70	6/20	6/70	0.1	3	5	125	2.45-2.7	2.2
10	130	Z2114	4	6/40	6/70	6/10	6/75	0.3	3	5	127	2.2-2.4	2.4
12	130	Z2114	4	6/40	6/70	6/10	6/75	0.4	3	5	128	1.8-2	2.5
16	130	Z2114	4	6/40	6/75	6/10	6/75	0.4	3	5	132	1.4	2.7
18	130	Z2114	4	6/40	6/60	6/20	6/85	0.5	3	5	136	0.8-1.2	2.8
20	130	Z2114	4	6/40	6/80	6/20	6/85	0.6	4	6	138	0.7-1.1	3
25	130	Z2114	4	6/40	6/80	6/20	6/85	0.7	4	6	140	0.7-0.8	3.4

表 3-65 HiFoucs100 精细等离子弧切割不锈钢参数

板厚 /mm	电流 /A	喷嘴 型号	直径 /mm	切割 气体 Air/bar	切割 气体 O ₂ /bar	涡流 气体 O ₂ /bar	涡流 气体 N ₂ /bar	穿孔 延迟 /s	割炬 间距 /mm	点火 高度 /mm	电弧 电压 /V	切割 速度 /(m/min)	切口 宽度 /mm
1	30	Z2007	2	6/10	6/45	6/100	6/100	0	2.5	3	119	4.5	0.9
2	45	Z2008	2	6/10	6/40	6/100	6/60	0.1	2	3	125	3.2	1.1
3	45	Z2008	2	5/10	5/40	5/70	5/55	0.1	2	3	115	2.4	1.1
4	50	Z2008	2	5/10	5/45	5/75	5/60	0.1	2	3.2	116	2	1.3
5	50	Z2008	2	5/10	5/45	5/80	5/60	0.1	2	3.2	116	1.8	1.3
6	50	Z2008	2	5/10	5/45	5/90	5/50	0.2	3	4	117	1.5	1.5

3. 数控火焰切割技术

(1) 火焰切割原理 火焰切割是指利用可燃气体与氧气火焰和切割氧的一种热切割工艺。加热火焰释放出的热量，使切割氧不断燃烧将金属熔化，产生的熔化金属与氧化物，被切割氧火焰所产生的动能吹散，形成切口。

(2) 火焰切割分类 主要包括手工切割、半自动切割、数控火焰切割三类。

(3) 火焰切割应用范围 主要用于切割碳钢板，不宜切割不锈钢板。手工切割用于型材、成形零件的后续切割，和形状简单、质量要求不高的工件切割；半自动切割用于厚板矩形小件切割；数控火焰切割适用于形状复杂零件的切割。

(4) 火焰切割工艺参数 包括预热火焰功率[⊖]、氧气压力、切割速度、喷嘴距工件距离及切割倾角等。

⊖ 预热火焰功率用乙炔消耗量表示。

1) 预热火焰功率是影响火焰切割质量的重要工艺参数。切割时一般应选用中性焰或轻微的氧化焰, 火焰强度要适中。应根据工件厚度、割嘴种类和工件质量要求选用预热火焰。预热火焰功率要随着板厚增加而增大, 氧-乙炔预热火焰功率与切割板厚的关系见表 3-66。

表 3-66 氧-乙炔预热火焰功率与切割板厚的关系

板厚/mm	3~25	25~50	50~100	100~200	200~300
火焰功率(乙炔消耗量) L/min ⁻¹	4~8.3	9.2~12.5	12.5~16.7	16.7~20	20~21.7

2) 切割氧压力取决于割嘴类型和嘴号, 可根据工件厚度选择氧气压力, 其推荐值见表 3-67。切割氧压力过高, 易使切口变宽、粗糙; 压力过低, 使切割过程缓慢, 易造成粘渣。实际切割中, 最佳切割氧压力可用释放风线的办法来确定, 当风线最清晰且长度最长时, 即为合适值, 可获得最佳的切割效果。

表 3-67 切割氧气压力推荐值

工件厚度/mm	3~12	12~30	30~50	50~100	100~150	150~200	200~300
切割氧压力/MPa	0.4~0.5	0.5~0.6	0.5~0.7	0.6~0.8	0.8~1.2	1.0~1.4	1.0~1.4

3) 切割速度与工件厚度、割嘴形式有关, 一般随工件厚度增大而减慢。切割速度必须与切口内金属的氧化速度相适应。切速太慢会使切口上缘熔化, 太快则后拖量过大, 甚至切不透。在切割操作中, 切割速度可根据熔渣火花在切口中落下的方向来掌握, 当火花呈垂直或稍偏向前方排出时, 即为正常速度。表 3-68 为数控氧乙炔火焰切割速度参数表。

表 3-68 数控氧乙炔火焰切割速度参数表

材料厚度/mm	18~25	30~50	60~80	90~100	100~150	160~200
切割速度/(mm/min)	440~350	300~250	240~180	160~120	110~80	80~50

4) 喷嘴与工件距离根据工件厚度及预热火焰长度来确定。喷嘴与工件距离过小, 切口上边缘会发生熔塌及增碳, 飞溅时易堵塞割嘴, 甚至引起回火。喷嘴与工件距离过大, 对切口前缘的加热作用减弱, 预热不充分, 且切割氧流动能下降, 使排渣困难, 影响切割质量。同时, 进入切口的氧纯度也降低, 导致后拖量和切口宽度增大。预热火焰焰心一般应距工件表面 2~4mm。喷嘴与工件表面距离推荐表见表 3-69。

表 3-69 喷嘴与工件表面距离推荐表

材料厚度/mm	3~10	10~25	25~50	50~100	100~200	200~300	>300
割嘴与工件距离/mm	2~3	3~4	3~5	4~6	5~8	7~10	8~12

5) 切割倾角直接影响切割速度和后拖量。

6) 数控氧乙炔火焰切割参数见表 3-70 所示。

表 3-70 数控氧乙炔火焰切割参数表

材料厚度/mm	割嘴型号	乙炔压力/MPa	氧气压力/MPa	切割速度/(mm/min)
18~25	II	1	4	440~350
30~50	III	1.1	5	300~250
60~80	IV	1.2	6	240~180

(续)

材料厚度/mm	割嘴型号	乙炔压力/MPa	氧气压力/MPa	切割速度/(mm/min)
90 ~ 100	V	1.3	7	160 ~ 120
100 ~ 150	VI	1.4	8	110 ~ 80
160 ~ 200	VII	1.4	10	80 ~ 50

(5) 数控火焰切割编程 为了保证数控火焰切割零件的断面精度,避免出现切割缺陷,在切割编程时应注意以下几点。

- 1) 引弧点设置在有后续加工的切割面上。
- 2) 编程时将引弧和收弧的交汇处进行特殊处理,留工艺凸台,切割后通过后续加工或打磨将凸台处理掉。
- 3) 编程时将尖角改为圆弧过渡,切割后不会出现切割缺陷。
- 4) 用一条割缝同时完成两个件的切割,即共边切割,以提高生产效率和材料利用率。
- 5) 厚板切割采用不间断切割,从引弧到完成一个切割过程。引弧从材料边缘开始,用锁扣形式起始,防止切割变形。

(6) 火焰切割熔渣处理工艺 氧乙炔火焰切割客车冲压件的后续处理工艺为手工清理、手工打磨、抛丸处理和机械滚筒清理。

(7) 数控火焰切割工装 数控火焰切割需要将材料放在格栅上,根据切割材料的厚度,格栅形式有所不同。点接触格栅可显著减少切割缺陷,提高切割的断面精度和产品质量。

4. 高压水射流切割技术

高压水射流切割是一种新型的切割方法,可以切割各种金属和非金属材料。在切割过程中不产生热影响区,切口边缘的材质不发生变化,切割精度较高,适于加工精度要求较高的零件。

(1) 高压水射流切割原理 是将水加压至超高压(100 ~ 400MPa)后,经节流小孔($\phi 0.15 \sim \phi 0.4\text{mm}$)射出,是由水压势能转变为水射流动能(流速可高达900m/s),以高速密集束流的冲蚀作用来进行切割。

(2) 高压水射流切割种类 高压水射流切割有纯水型和加磨料型两类。

1) 纯水型高压水射流切割法,仅用从喷嘴射出的高速水射流进行切割,切割能力较低,适合切割非金属软材料。应用水压在200 ~ 400MPa之间。

2) 加磨料型高压水射流切割法,是在水射流中经混合管混入磨料颗粒,形成磨料水射流后在进行切割。在磨料水射流中,水射流作为载体使磨料颗粒加速,由于磨料质量大、硬度高,故磨料水射流的动能大,切割能力强。

(3) 高压水射流切割的特点

1) 切割范围广。几乎可以切割所有的金属和非金属材料,特别是各种热切割方法难以切割或不能切割的材料。

2) 无热效应。由于水的冷却作用,被切割工件不产生热变形及热影响区,不会改变其材料性能,尤其适合切割合金钢、有色金属等热敏材料。

3) 切口质量高。切面无毛刺、挂渣,垂直、平整、光洁,没有撕裂或硬化等现象,切割金属薄板无卷口现象。

4) 切口宽度较窄。纯水型切割时,水射流的直径通常在 0.1~0.5mm 之间,加磨料型的喷嘴孔径约为 1.2~2.5mm,在切割套料时有利于提高材料的利用率。

5) 可以从工件上的任意一点开始或停止切割,开起切孔也比较容易。切割反作用力小,切割头易用机器人来操纵,能用来切割三维形状的工件。

6) 不产生对人体健康有害的有毒气体、粉尘等,对石棉、毛织物及各种纤维合成材料的加工尤为合适。在严禁明火作业的区域,如海洋石油钻井及采油平台、炼油厂、大型油气储罐区,以及油气输送管道等场合,均可实现安全切割。

7) 高压水射流切割的缺点是,设备成本比其他切割形式高;切割硬质材料时切割速度较低;切割精度与机械加工相比稍差;在某些切割场合,需对废水进行处理;加磨料型的切割成本较高。

(4) 高压水射流切割的质量水平见表 3-71。

表 3-71 高压水射流切割的质量水平

项 目	质量水平	备 注
切口宽度/mm	0.8~2	取决于水喷嘴孔径和磨料混合管的孔径
上下切口宽度差/mm	0.2~2	在切割参数匹配最佳时能获得两侧切割面平行的切口
切割面表面粗糙度/ μm	20	结晶组织不均匀的材料,如石材等,表面粗糙度较大
尺寸精度/mm	± 0.5	

3.6 拉深件制造技术

3.6.1 拉深件类型

轨道客车拉深件,从形状上分为圆筒形、长圆筒形、矩形和异形拉深件,并且有带凸缘和不带凸缘之分,如图 3-48 所示。轨道客车拉深件在结构上,没有太复杂的形状和太大的成形难度,一般一次拉深成形即可完成。

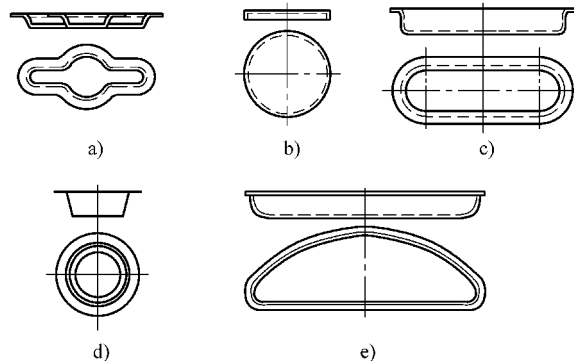


图 3-48 轨道客车拉深件种类

3.6.2 拉深件材料

轨道客车拉深件的主要材料为:

耐候钢: 05CuPCrNi, 09CuPCrNi - B。

不锈钢：SUS304 (0Cr18Ni9)、SUS301L-LT、SUS301L-DLT、1.4003。

随着不锈钢材料车体的生产，采用不锈钢材料的拉深件越来越多，成形难度也越来越大。

3.6.3 拉深件制造工艺

利用具有一定圆角半径的拉深模，将平板毛坯或开口空心毛坯冲压成容器状零件的冲压过程称为拉深。拉深工艺可以在普通的单动和双动压力机上进行，也可在专用拉深压力机或液压机上进行。

拉深过程中金属材料在凸、凹模的作用下产生流动，是拉深成形的特点。凸缘部分的毛坯材料流入凹模，依据凹模轮廓形状的不同，其变形状态分为三类，如图3-49所示。
①凸缘部分材料以压缩形式流入凹模；②凸缘部分材料以平行单向拉伸形式流入凹模；③凸缘部分材料以双向拉伸形式流入凹模。

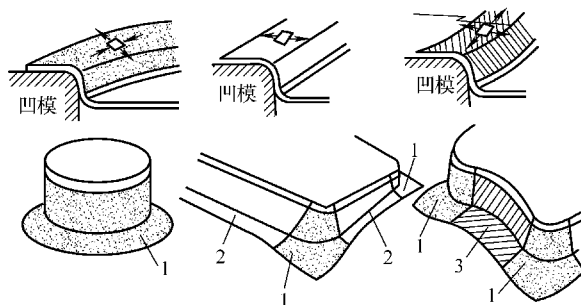


图 3-49 拉深成形时凸缘流入凹模的不同状态

1—以压缩形式流入凹模 2—以平行单向拉伸形式流入凹模 3—以双向拉伸形式流入凹模

1. 拉深工艺的变形分析

下面以圆筒形件为例，进行拉深过程的受力分析。

图3-50所示为拉深过程某一阶段材料的应力应变状态，图中的 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 分别代表材料径向、厚度方向、切向的应力； ε_1 、 ε_2 、 ε_3 分别代表材料径向、厚度方向、切向的应变。

由图3-50可见，在拉深过程中，按受力状态，分为五个区域：

(1) 筒底区域 材料受拉伸，但实际上由于材料受凸模圆角部分的摩擦作用，变形不大，可忽略不计。

(2) 凸模圆角区域 材料受径向和切向拉伸作用，板厚方向受凸模压力作用。

(3) 筒壁部分 因凸、凹模的间隙，板厚方向压力可忽略不计，材料受径向和切向拉伸作用。筒壁部分是凸、凹模圆角间的拉力传递区。

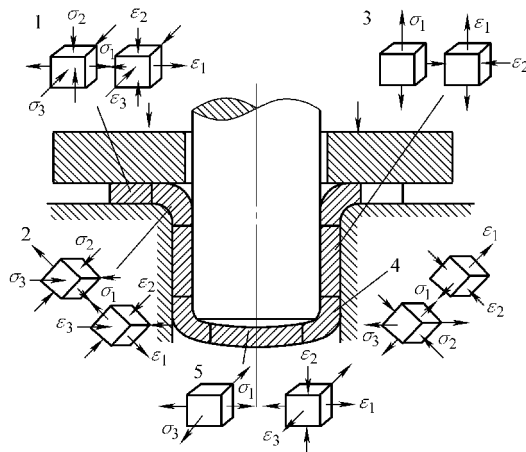


图 3-50 拉深过程中材料的应力与应变

(4) 凹模圆角区 为材料变形过渡区，是材料变形最为剧烈的区域。材料受径向和切向拉伸作用，板厚方向受凹模压力作用，这部分材料将变薄。

(5) 凸缘部分 此处材料径向受拉应力，切向受压应力作用。若模具上带有压边圈，则材料厚向受压应力作用。

2. 拉深件的应变及变形测量

根据图 3-51 所示的应力应变状态，分析实际拉深过程中的变形状态，主要是板厚方向的变形状态。可通过网格法在坯料上印刷网格，拉深后对其变形进行测量，得出径向应变 ε_1 、切向应变 ε_3 ，并根据体积不变定律，计算出厚向应变 ε_2 ($\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0$)。

对变形量也可以通过实测法得到。图 3-51、图 3-52 和图 3-53 为实测后的变形分析结果。

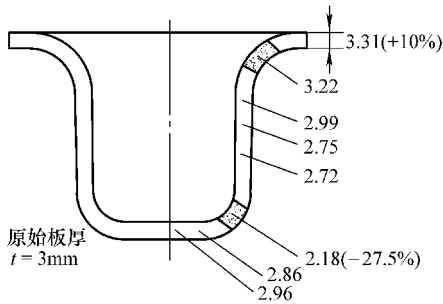


图 3-51 拉深件厚度变化实测值

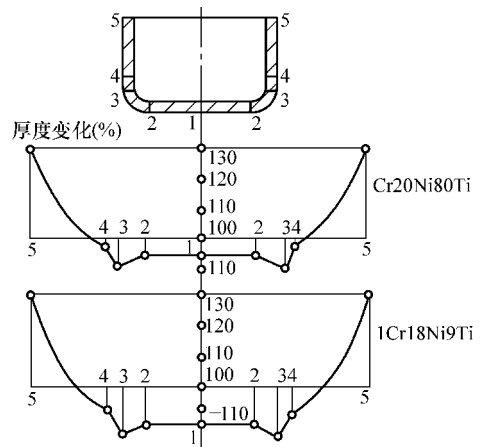


图 3-52 拉深件沿高度方向的厚度变化曲线
(试验条件: 拉深系数 $m=0.54$; 凹模圆角半径 $r_{凹}=8.5t$; 凹模圆角半径 $r_{凸}=4t$; 凸凹模间隙 $z=1.25t$)

3. 拉深力计算

拉深力精确计算十分复杂，实际生产中用经验公式近似计算。轨道客车拉深一般都是一次成形，拉深力计算公式如下：

$$P = \pi d \cdot t \cdot R_m \cdot K \quad (3-6)$$

式中 P ——拉深力 (N);

d ——拉深件直径 (mm);

t ——板厚 (mm);

R_m ——材料的抗拉强度 (MPa);

K ——与拉深系数有关的修正系数，具体数值可查表 3-72。

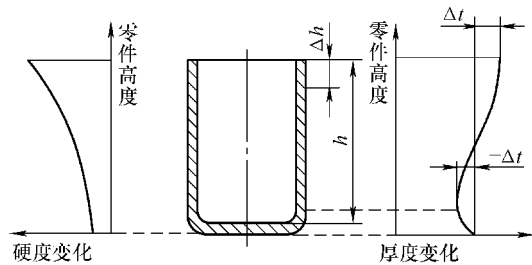


图 3-53 拉深件沿高度方向的硬度和厚度变化

表 3-72 修正系数 K

拉深系数 m	0.55	0.57	0.60	0.62	0.65	0.67	0.70	0.72	0.75	0.77	0.80
修正系数 K	1.00	0.93	0.86	0.79	0.72	0.66	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40

对于横截面为矩形、椭圆形等拉深件，拉深力可按以下公式求得：

$$P = LtR_m K \quad (3-7)$$

式中 L ——横截面周边长度 (mm)；

K ——修正系数，一般取 0.5 ~ 0.8。

4. 压边力

(1) 拉深成形时是否压边的判断依据 拉深时是否压边参考表 3-73 所示的经验数据。

表 3-73 拉深压料近似参考数据

项目	坯料相对厚度 $100t/D$	拉深系数
压料	< 1.5	≤ 0.6
不压料	> 2	> 0.6

(2) 压边力计算 压边力由下式计算：

$$P_Y = Sp \quad (3-8)$$

式中 P_Y ——压边力 (N)；

S ——压料面积 (mm^2)；

p ——单位面积压边力 (MPa)。

部分材料的单位压边力见表 3-74。

表 3-74 部分材料的单位压边力

材料名称		单位压边力/MPa
铝		0.8 ~ 1.2
纯铜、硬铝 (退火状态)		1.2 ~ 1.8
黄铜		1.5 ~ 2.0
软钢	$t < 0.5\text{mm}$	2.5 ~ 3.0
	$t > 0.5\text{m}$	2.0 ~ 3.0
高合金钢、高锰钢、不锈钢		3.0 ~ 4.5
高温合金 (软态)		2.8 ~ 3.5

(3) 压边方式与压边力 压边分为弹性压边和刚性压边。弹性压边力由压力机弹簧或气垫给出，其模具结构见图 3-54 和图 3-55。弹簧压边随着压力机行程压边力增大，适用于浅拉深。气垫压边压边力稳定，效果较好，可用于深拉深工艺。

刚性压边一般用于双动压力机，压边力不随行程发生变化，效果较好，适合于深拉深，且模具结构简单 (图 3-56)。

5. 拉深系数

在拉深过程中能否拉深成形，取决于材料的变形程度，这种变形量常用拉深系数 m 来表示。拉深系数 m 等于拉深件直径与毛坯直径之比 d/D 。影响拉深系数 m 的因素很多，包括材料性能、材料的相对厚度，拉深方式 (指有无压边圈)，拉深次

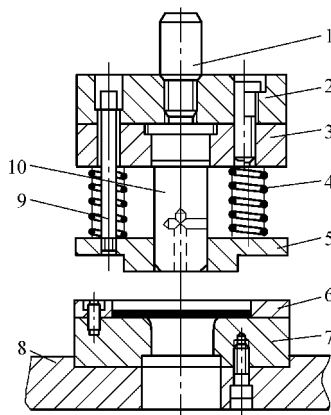


图 3-54 弹簧压边示意图

1—模柄 2—上模座 3—凸模固定板 4—弹簧
5—压边圈 6—定位板 7—凹模 8—下模座
9—卸料螺钉 10—凸模

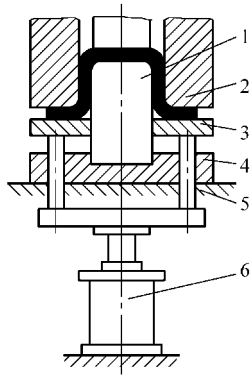


图 3-55 气垫压边示意图

1—凸模 2—凹模 3—压边圈 4—下模板
5—压力机工作台 6—气缸

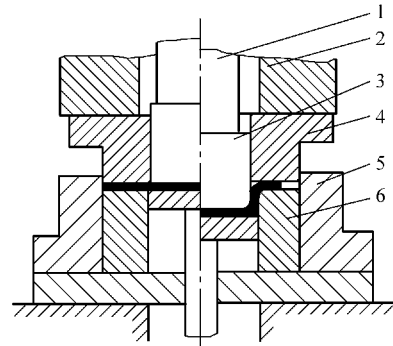


图 3-56 双动压力机刚性压边示意图

1—内滑块 2—外滑块 3—拉深凸模 4—落料凸模兼压边圈
5—落料凹模 6—拉深凹模

数，拉深速度，凸、凹模圆角半径，润滑等。

表 3-75、表 3-76 为圆筒形件带压边圈时的极限拉深系数，表 3-77 为不锈钢的拉深系数。

表 3-75 圆筒形件带压边圈时的极限拉深系数

拉深系数	毛坯相对厚度 $(t/D) \times 100$					
	2.0 ~ 1.5	1.5 ~ 1.0	1.0 ~ 0.6	0.6 ~ 0.3	0.3 ~ 0.15	0.15 ~ 0.08
m	0.48 ~ 0.50	0.50 ~ 0.53	0.53 ~ 0.55	0.55 ~ 0.58	0.58 ~ 0.60	0.60 ~ 0.6

表 3-76 圆筒形件不带压边圈时的极限拉深系数

拉深系数	毛坯相对厚度 $(t/D) \times 100$				
	1.5	2.0	2.5	3.0	> 3.0
m	0.65	0.60	0.55	0.53	0.50

需要注意的是：表 3-75 和表 3-76 的拉深系数适于 08、10、15 钢等低碳钢材料；对于拉深性能稍差的 20、25 钢及 Q235 钢等，应将表中数值增大 15% ~ 20%；耐候钢 09CuPCrNi（热轧）、05CuPCrNi（冷轧）其拉深性能相对差（ n 值、 r 值都小），应参考表中数值增大 20% ~ 24%，即 $m = 0.60 \sim 0.62$ 左右；表中较小值适于大的凹模圆角半径 $r_d = (8 \sim 15)t$ 工况，较大值适于小的凹模圆角半径 $r_d = (4 \sim 8)t$ 工况。

表 3-77 不锈钢的拉深系数

材料	试验值 m_1	推荐值 m_n
奥氏体型	0.46 ~ 0.50	0.53 ~ 0.59
铁素体型	—	0.57 ~ 0.65

3.6.4 拉深件模具

1. 拉深模设计原则

1) 确定合理的拉深方向，尽可能使拉深深度差最小，以减小材料流动和变形分布的不

均匀性。

- 2) 成形方向有利于防止表面缺陷, 保证拉深时不出现偏移线和波纹线等表面缺陷。
- 3) 在异形件成形中可采用附加余料的方法, 使其处于平衡状态。
- 4) 选择凹模作为工作面应尽量将其简化, 尽可能使得成形深度均匀。

2. 拉深模间隙确定

拉深模间隙对拉深力和拉深件质量影响很大。间隙大, 则摩擦力小, 能减小拉深力, 但影响成形精度; 间隙小, 则摩擦力大, 会增加拉深力, 因此需要增大拉深系数 m 。当间隙小于材料厚度时, 会出现变薄拉深的影响, 拉深件精度降低, 工件表面变得粗糙。

拉深模间隙值 $z/2$ 按下面公式进行计算:

$$z/2 = t_{\max} + Kt \quad (3-9)$$

式中 t_{\max} ——材料的最大厚度 (mm);

t ——材料的公称厚度 (mm);

K ——拉深模具间隙系数, 见表 3-78。

表 3-78 拉深模具间隙系数

材料厚度 t/mm	一般精度		较精密拉深	精密拉深
	一次拉深	多次拉深		
<0.4	0.07 ~ 0.09	0.08 ~ 0.10	0.04 ~ 0.05	0 ~ 0.04
≥0.4 ~ 1.2	0.08 ~ 0.10	0.10 ~ 0.14	0.05 ~ 0.06	
≥1.2 ~ 3	0.10 ~ 0.12	0.14 ~ 0.16	0.07 ~ 0.09	
≥3	0.12 ~ 0.14	0.16 ~ 0.20	0.08 ~ 0.10	

注: 1. 对于强度高的材料, K 值取较小值;

2. 精度要求高的拉深件, 建议最后一道采用拉深系数 $m = 0.7 \sim 0.9$ 的整形拉深。

3. 拉深模凸、凹模圆角半径的选择

轨道客车拉深件都是一次拉深成形件, 对于有凸缘的成形件, 凸、凹模圆角半径按产品图设计, 如果凸、凹模圆角半径过小, 则反馈给设计部门, 在不影响使用功能的条件下修改设计。

(1) 凹模圆角半径数值 拉深凹模圆角半径 r_d 经验计算公式如下:

$$r_d = 0.8 \sqrt{(D-d)t} \quad (3-10)$$

式中 D ——毛坯料直径 (mm);

d ——拉深件直径 (mm);

t ——材料厚度 (mm)。

一般情况下, 凹模圆角半径不宜小于上式的计算值。但对于拉深性能良好的材料, 凹模圆角半径可以适当减小。

(2) 凸模圆角半径 凸模圆角半径可以取与凹模圆角半径相同的值。

4. 模具材料的选择

对于碳钢件的拉深, 模具材料一般选用 T10A、Cr12MoV。对于不锈钢件的拉深, 在批量不大的情况下, 模具材料可选用 T10A、Cr12MoV, 但需要提高模具工作零件的硬度和光洁度, 在拉深时要加强润滑, 否则因摩擦等原因, 模具表面将产生挂瘤, 会拉伤工件。

对一定批量的不锈钢拉深件, 选用的模具材料应该具备以下条件:

- (1) 散热性好 不锈钢材料拉深成形会产生很多热量，需要通过模具散发出去。
- (2) 表面有微孔 材料表面应有微孔，以便于存储水基拉伸油。
- (3) 自润滑性好 材料的自润滑性要好，还要有一定的硬度。
- (4) 耐磨性好 材料要有良好的耐磨性能。
- (5) 摩擦系数低 材料要有良好的表面抗咬合性能，低的表面摩擦系数。

现在有些企业的不锈钢拉深模具选用铜合金材料，生产使用效果较好，但成本较高。

3.6.5 拉深件生产设备

轨道客车拉深件的生产一般都在液压机上进行。因为液压机工作速度慢，压力稳定，在滑块行程终了时可进行保压，以减小工件回弹，提高成形精度。配置的液压机有 3150kN、8000kN 和 12500kN 三种规格。近几年出现了伺服机械压力机，有液压机的功能，可编程控制，正在推广使用。

3.6.6 拉深过程中的润滑

1. 润滑对拉深加工的影响

在板料拉深过程中，摩擦阻力对金属流动产生一定影响，降低了工件的成形极限和表面质量等，必须通过增加润滑来改善金属流动条件，提高变形程度、模具寿命和拉深件表面质量。

- 1) 良好的润滑可提高模具的抗粘着性能，防止工件擦伤，提高模具寿命。

所谓模具的粘着就是指在拉深成形时，板料沿着毛坯表面滑动，因润滑不好，摩擦太大而发生局部烧结，材料表面被粘在模具表面上，若继续拉深成形，在模具表面上反复烧结、粘着，因而堆积在模具表面上，结果划伤了拉深件表面，造成模具的磨损。有 70% 以上的模具是因此而损坏的。

耐候钢材料强度极限高，在深拉深时所需单位压边力大，容易产生粘着。不锈钢材料强度高，且与碳钢材料有一定的亲合力，粘着力最强，所以应采用高粘度润滑油进行润滑。

- 2) 良好的润滑可大大降低拉伸系数 m ，提高变形能力。
- 3) 良好的润滑可以使整个工件变形均匀，有利于冲压成形；润滑特别有利于金属板材边缘部分的塑性流动，从而提高其成形极限。
- 4) 良好的润滑可大大降低拉深力。

2. 润滑剂的选择

润滑剂的种类很多，在生产中应根据拉深件材料、工件的复杂程度、变形温度等工艺特点合理选用。常用润滑剂见表 3-79、表 3-80。

表 3-79 拉深低碳钢和耐候钢用润滑剂

润滑剂成分	含量 (质量分数)/(%)	附 注
锭子油	43	用这种润滑剂可得到最好的效果，硫黄应以粉末状态加进去
鱼肝油	8	
石墨	15	
油酸	8	
硫黄	5	
钾肥皂	6	
水	15	

表 3-80 拉深非铁金属及不锈钢用润滑剂

金属材料	润滑方式
铝合金	(1) 植物油(豆油)、工业凡士林 (2) 植物油乳化液 (3) 菜籽油或肥皂与油的乳液(将油与浓肥皂水溶液混合)
铁素体型不锈钢 奥氏体型不锈钢	(1) 用氯化乙烯漆(GO1-4)喷涂坯料表面,拉深时另涂机油 (2) 氯化石蜡油+速干冲压油按1:1比例混合

3. 润滑剂的涂敷及注意事项

拉深加工中是在凹模侧进行润滑,即单面润滑,凸模侧少润滑或不润滑,这样效果很好,特别是对深拉深加工。

涂敷润滑油有以下几点注意事项:

- 1) 预先规定涂敷位置和涂敷量,涂敷要均匀。
- 2) 两种以上的液体混合时,混合液体密度不同时容易分离,要定时自动搅拌,使之充分混合。
- 3) 在拉深过程中油膜不能破裂,为此如果模具结构允许,在离开凹模入口一定距离处,要开台阶躲避零件,使凹模与零件不接触。
- 4) 在阶段性停用模具时,要及时清除模具上残留的旧润滑油,否则,这些润滑油如果流到模具里或蒸发,就会产生质量问题:一是在压料面、凹模、卸料板处残留油膜,模具不能压靠,将降低拉深高度;二是残留油膜会使润滑剂粘性增加,拉深条件发生变化,容易发生褶皱。为此,需要除去旧油→添加新油→使机器空转→再度擦拭→添加新油。

3.6.7 典型拉深件生产实例

1. 端盖成形

图 3-57 所示为不锈钢水箱的端盖。使用材料为 3mm 厚的 06Cr19Ni10 不锈钢板。该件结构简单,为典型的圆筒形拉深成形件。

该件拉深时为压料成形,材料进入凹模时产生弯曲,凹模入口处的圆角半径 $r_{凹} = 8\text{mm}$,大约产生 7~10mm 左右的弯曲,此部分需要加工去除,所以,拉深高度约增加 10~15mm (图 3-58)。

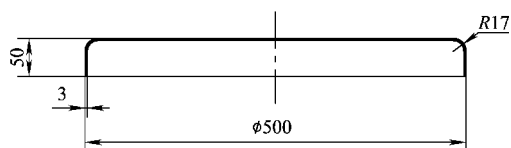


图 3-57 端盖零件图

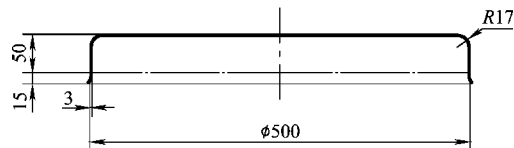


图 3-58 端盖工艺图

该件的拉深系数为 $m = 0.81$,远小于工件材料的极限拉深系数,可以一次成形。

端盖制造工艺设计如下:激光切割下料(下料尺寸为 $3 \times \phi 615$)→拉深成形→等离子弧切割修边→零件清洗。

图 3-59 为端盖模具图,在 8000kN 液压机上成形。拉深成形时,需在凹模和毛坯料上均匀涂不锈钢专用润滑剂,或在凹模侧敷保护膜进行拉深。

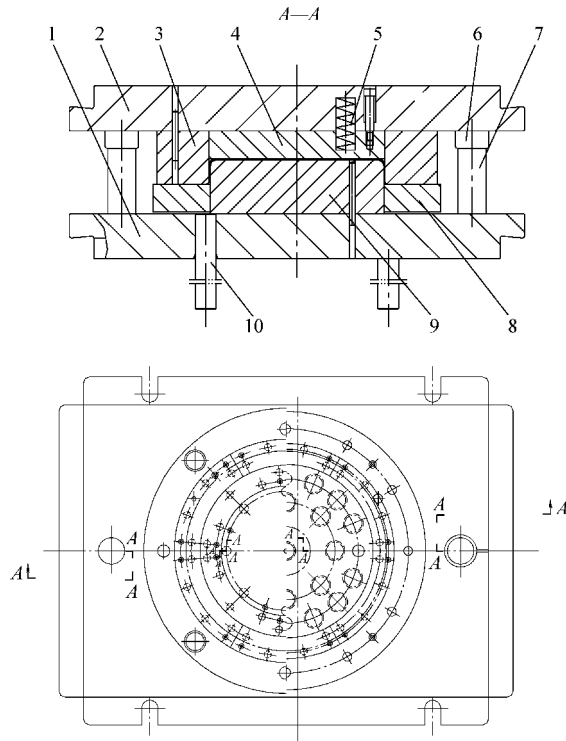


图 3-59 端盖压型模

- 1—下模板 2—上模板 3—凹模 4—退料板 5—退料弹簧
- 6—导套 7—导柱 8—压料板 9—凸模 10—托杆

2. 顶端板成形

图 3-60 为顶端板零件图。

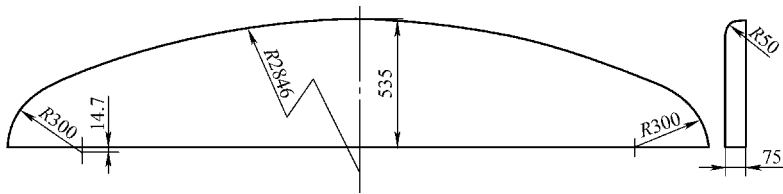


图 3-60 顶端板零件图

顶端板是铁路客车车顶端部封头，是钢结构重要零件，所用材料为 2mm 厚 05CuPCrNi 耐候钢和 2mm 厚 1.4003 铁素体不锈钢。顶端板为开口型结构，若直接压型，材料产生侧向力，变形不均，零件底部不平，影响使用。而且，为防止材料向一侧移动，需要设备提供足够的压料力。在工艺设计时，原则上把冲压件设计成拉深结构件，使之变形时材料得到充分的延伸，对零件形状定形有很大的帮助。为此对零件进行余料补充，把它变成封闭的拉深成形件，如图 3-61 所示，设计成封闭形状，一次拉深成形。

该工件较大，底部不能做到完全平整，且底部成形时参与变形的程度不均，两端会有一些的翘曲，导致零件变短，装配困难。所以，在总宽度方向上适当给出放长量，一般放长量给出 2~3mm。在拉深成形时，R300 处变形比较剧烈，因压边力不足，径向压缩变形增大，

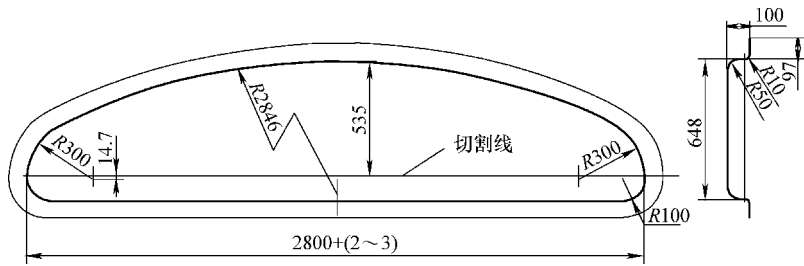


图 3-61 顶端板工艺图

有可能出现起皱。在此处可适当加压料筋，以加大拉伸变形量，提高成形精度。并且此处的模具间隙小于中间部分 ($z=t$)，目的是增加变形量。

顶端板制造工序设计为：激光切割下料→表面喷涂预处理底漆→拉深成形→切割修边→调修角度。

图 3-62 为顶端板拉延成形模具图。

该工件由于底部圆弧半径为 $R50$ ，无法完全克服回弹，所以，最后要增加角度调修工序，切割完后对角度进行手工调修。

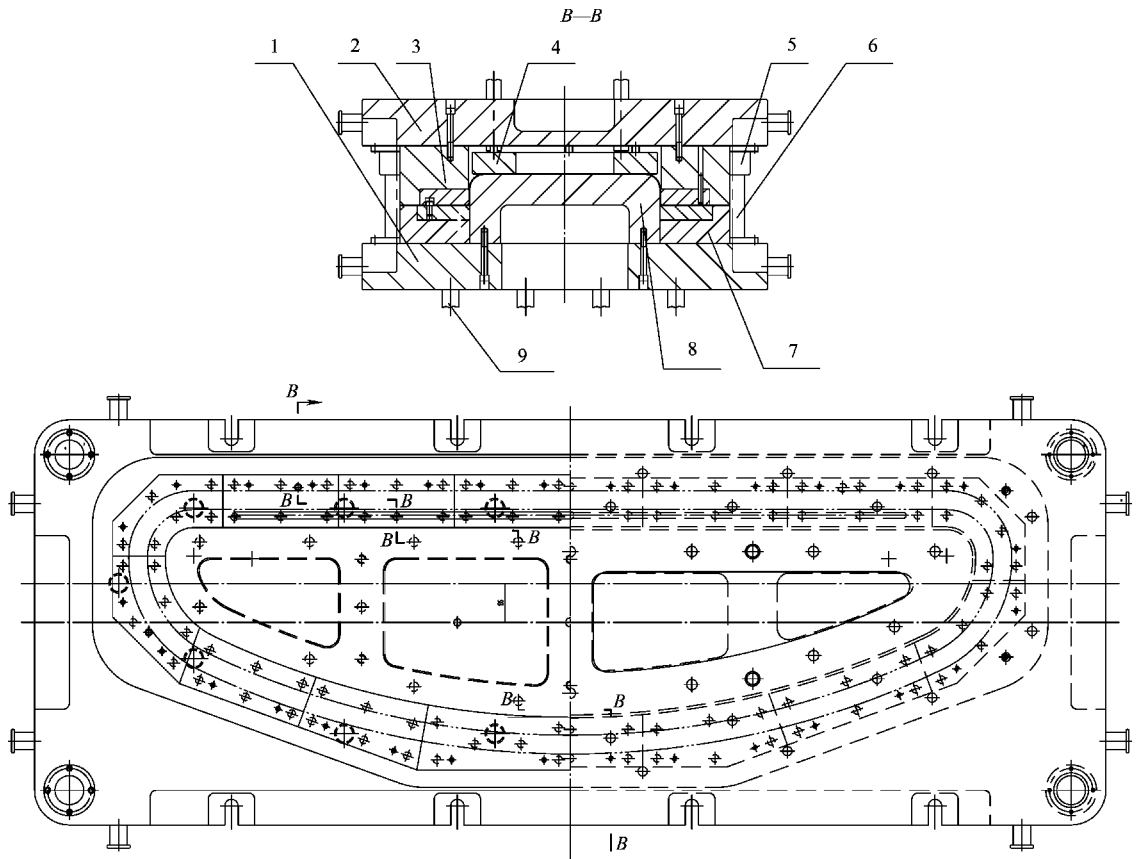


图 3-62 顶端板拉延模

1—下模板 2—上模板 3—凹模组成 4—退料板 5—导套 6—导柱 7—压料板组成 8—凸模 9—托杆

3.7 胀形件制造技术

3.7.1 胀形件类型

轨道客车胀形件的主要类型是压筋件。这些压筋件的表面形状要求很高，压筋部位仅靠自身变形来成形，又称局部成形。图 3-63 为轨道客车胀形件。

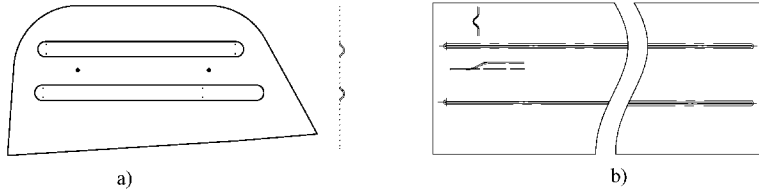


图 3-63 轨道客车胀形件
a) 侧盖板 b) 不锈钢侧墙板

3.7.2 胀形件材料

轨道客车胀形件所用材料有以下三种类型：

- (1) 耐候钢 05CuPCrNi、09CuPCrNi - B
- (2) 不锈钢 SUS304 (0Cr18Ni9)、SUS301L - LT、SUS301L - DLT
- (3) 铝合金板 5083-H111

以上三类材料中铝合金板的胀形性能最差。在工艺设计时需要特别注意，材料性能能否承受实际变形量。

3.7.3 胀形件制造工艺

轨道客车冲压件采用胀形工艺，主要为了补强刚性和用做外装饰件，对其整体表面的平整度要求很高，不允许翘曲变形，不锈钢侧墙板由于不涂装使用，还要求表面无滑伤、坑包等缺陷。所以，胀形件成形时只需要加强筋处发生变形，其他部位尽可能不产生或少产生变形。

1. 加强筋胀形变形特点

加强筋成形时周边金属被模具紧紧压住，完全依赖于加强筋处的金属变薄、表面积增大而成形。图 3-64 为胀形变形区示意图。

压加强筋是简单的起伏成形，其极限变形程度可按下式近似确定：

$$\frac{l-l_0}{l_0} < (0.7 \sim 0.75) [A] \quad (3-11)$$

式中 l ——变形后的弧长 (mm)；

l_0 ——变形前的弧长 (mm)；

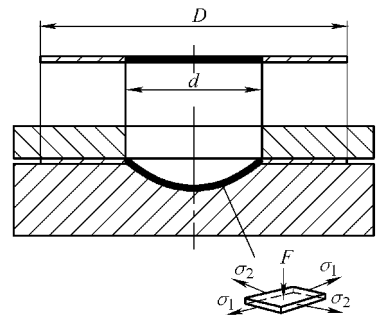


图 3-64 胀形变形区示意图

A ——材料伸长率。

图 3-65 所示为压筋成形前后材料长度的变化。

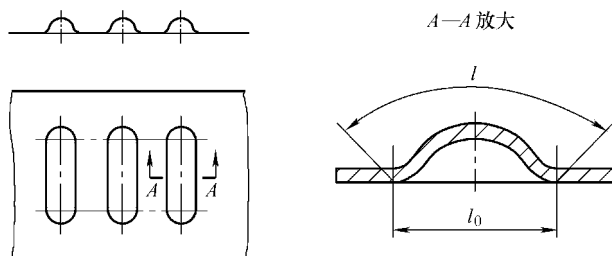


图 3-65 压筋成形前后材料长度的变化

2. 胀形力计算

加强筋所需成形力按下式进行近似计算。

$$P = LtR_m K \quad (3-12)$$

式中 P ——压力 (N);

L ——加强筋周长 (mm);

K ——系数, 与加强筋的宽度和深度有关, 一般取 $K = 0.7 \sim 1$;

t ——材料厚度 (mm);

R_m ——材料的抗拉强度 (MPa)。

3.7.4 加强筋模具设计

加强筋胀形模具结构基本上与拉延成形模具相似, 唯一区别在于如何控制非成形部分的材料流动, 材料流动主要靠模具的压边力来控制。

3.7.5 胀形件生产设备

轨道客车冲压件压加强筋采用液压机, 这种液压机要有很高且稳定的压边力, 压边力由液压缸提供。

3.7.6 典型胀形件生产实例

1. 墙板加强筋成形

(1) 工艺性分析 图 3-66 所示为不锈钢城铁客车用侧墙板, 上面有两条加强筋。侧墙板所用材料为板厚 1.5mm 和 2mm 的 SUS301L-DLT 不锈钢。不锈钢车体侧墙板表面无涂装状态下使用, 要求表面状态平整, 不能有翘曲变形和划伤、坑包、波浪等缺陷, 不能产生裂纹。所以在设计模具时应注意压边力要足够大。图 3-67 是压边力不足情况下的胀形件缺陷示意图。这种状态不能满足使用要求。因此, 在胀形时要求模具将平板部分紧紧压住, 不能让其参与变形, 只让压筋部分自身变薄成形。

(2) 加强筋成形的模具与专用液压机 图 3-68 为加强筋成形示意及其模具结构原理。

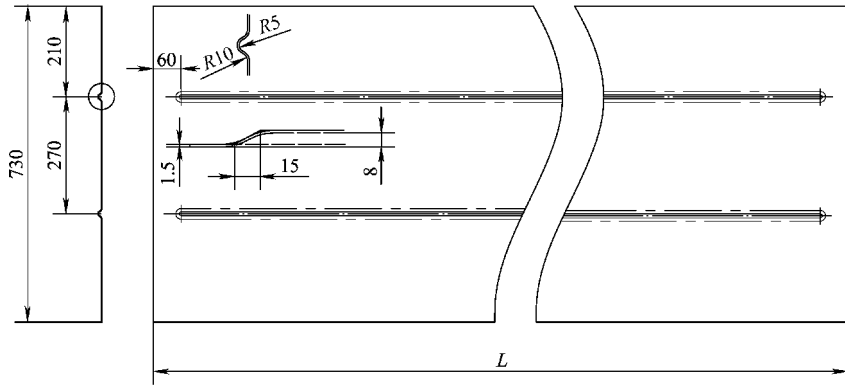


图 3-66 不锈钢侧墙板

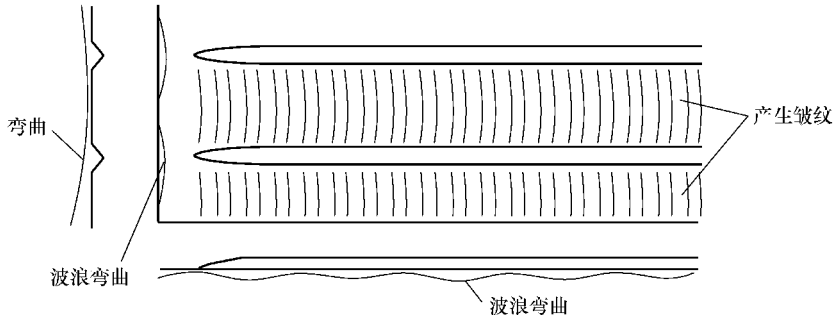


图 3-67 胀形件缺陷示意图

模具结构上要求胀形成形力为 2000kN 以上，而压边力要求达到 8000kN 才能压住板料，以保证墙板的压形质量。图 3-69 所示为墙板加强筋专用液压机。该液压机上油缸压力为 8000kN，下油缸压力为 5000kN，并且压力无级可调。该专用液压机的技术参数见表 3-81。

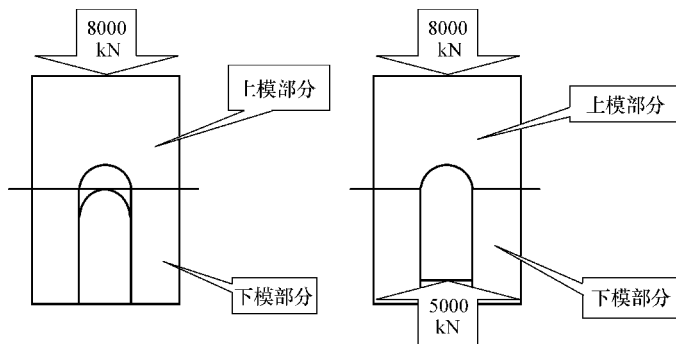


图 3-68 加强筋成形示意及其模具结构原理

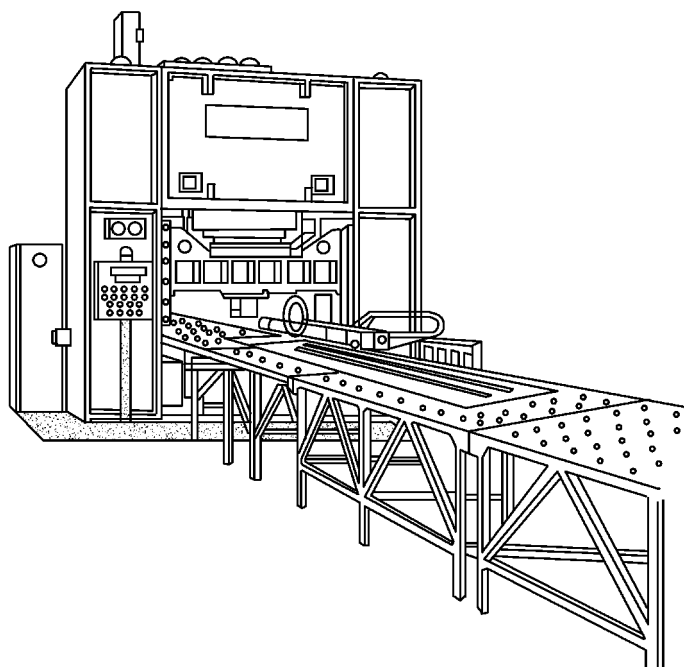


图 3-69 墙板加强筋专用液压机

表 3-81 8000kN 墙板加强筋液压机技术参数

液压机能力	上液压缸压力 8000kN, 下液压缸压力 5000kN	
设备外形尺寸	1400mm (L) × 3500mm (W) × 5000mm (H)	
工作台尺寸	1400mm × 2000mm	
滑块尺寸	1080mm × 1820mm	
液压缸行程	300mm	
液压装置	使用压力 210MPa, 最大流量为 40L/min	
主电动机功率	55kW	
运送作业装置	X 方向行程	620mm
	Y 方向行程	3000mm
	Y 方向传送距离	100mm
	Y 方向传送速度	6000mm/min (加工)
		12000mm/min (回程)
总质量	约 42000kg	

(3) 液压机工作过程 上滑块下行, 上模与下模压料部分完全接触将板料压紧, 下液压缸上行带动凸模压筋。客车侧墙板长度有多种, 加强筋的长度也随之变化。所以加强筋是以逐步成形的方式压得。模具长度为 100 ~ 150mm, 每压一次, 设备附带的传动装置向前移动一个步距, 再次压下, 如此循环, 直到压出设计要求的加强筋长度。

2. 侧盖板加强筋成形

图 3-70 所示为侧盖板零件图, 平板上压两道加强筋。材料为 2mm 厚 5083-H111 铝合金板。

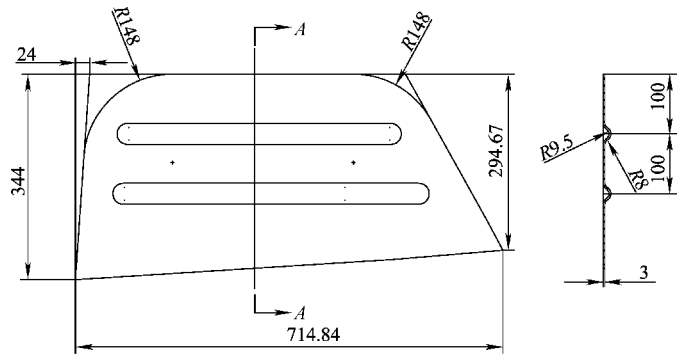


图 3-70 侧盖板

(1) 工艺性分析 侧盖板的变形量按 (3-11) 计算为 21.1%，超过成形极限值 11%，理论上会出现开裂，不能成形。因此，首先在材料采购时对伸长率提出新的要求，尽可能超过 21% 以上。其次，成形时需要从外部补充材料来减小加强筋部的变形。为此需要减少压边力和加强润滑，可增大圆角半径以利于材料流动，但会导致零件不平。此件表面涂装使用，对表面状态要求不高，且零件尺寸不大，成形后其平面度可用震锤调平。

(2) 制造工艺流程设计 高压水切割下料→校平→压加强筋→震锤调平。

(3) 成形工艺方法 侧盖板的成形在 8000kN 压力机上进行，采用气垫压料。根据实际材料情况，在成形时调整压料力。为了减少摩擦，增加材料流动，毛坯料两面用聚乙烯薄膜包住压形。材料成形后不产生开裂，但工件产生翘曲变形。

(4) 成形模具示意 图 3-71 为侧盖板压筋模具示意图。

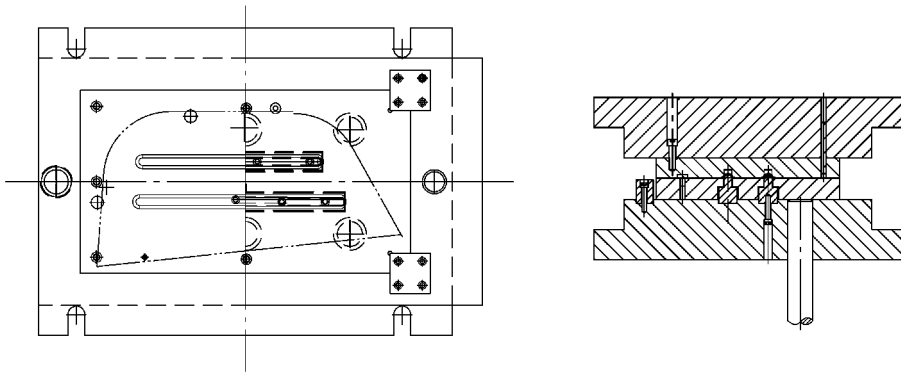


图 3-71 侧盖板压筋模具示意图

3.8 翻边件制造技术

翻边是在模具的作用下，将坯料的孔边缘或外边缘翻成竖立直边的成形方法。分为内孔翻边和外缘翻边。

3.8.1 翻边件类型

轨道客车翻边件类型如图 3-72 所示。

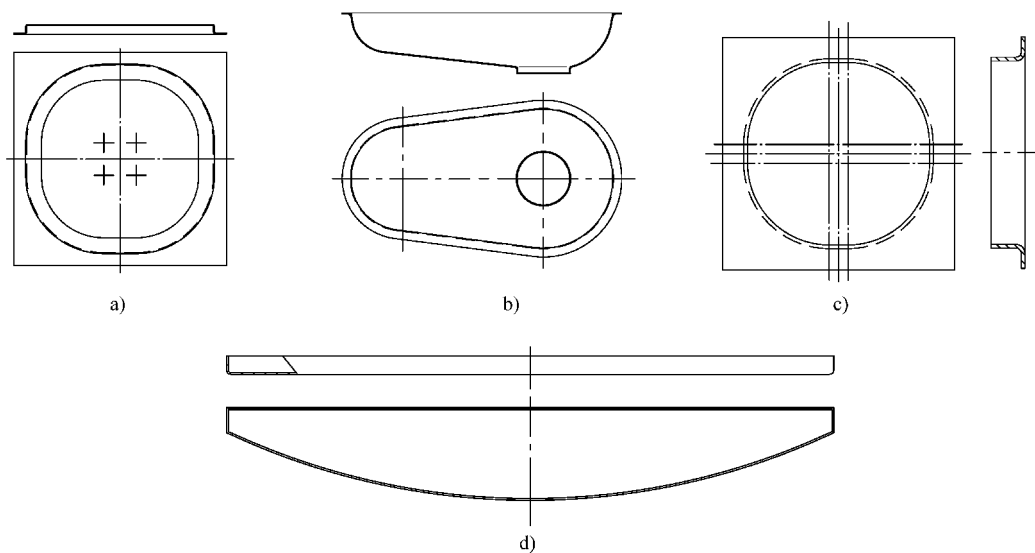


图 3-72 轨道客车翻边件类型

a) 窗角带底翻孔 b) 便器拉深后翻孔 c) 门角翻边 d) 水箱端板外缘翻边

3.8.2 翻边件材料

轨道客车用翻边件材料为：

碳素结构钢钢板 Q235C；

耐候钢钢板：05CuPCrNi、09CuPCrNi - B；

不锈钢钢板：SUS301L - LT、SUS301L - DLT、SUS301L - ST、SUS301L - HT、SUS304 (0Cr18Ni9)、1.4003；

铝合金板材和型材：5A02、5052、5083。

3.8.3 翻边件制造工艺

1. 内孔翻边

(1) 圆孔翻边的变形程度按如下公式计算

$$K = \frac{d}{D} \quad (3-13)$$

式中 K ——表示极限翻边系数，极限翻边系数 K_{\min} 见表 3-82；

D ——表示翻孔直径；

d ——表示预冲孔直径。翻边后竖边边缘的厚度，可按式估算

$$t' = t \sqrt{\frac{d}{D}} = t \sqrt{K} \quad (3-14)$$

t' ——翻边后的板厚；

t ——母材板厚。

表 3-82 各种材料的首次和极限翻边系数

材料名称	首次翻边系数 K_0	极限翻边系数 K_{\min}
普通钢 $t \leq$	0.72	0.68
普通钢 $2 < t \leq 4$	0.78	0.75
铝 $0.5 < t \leq 5$	0.70	0.64
耐候钢 $2 < t \leq 2.5$	0.77	0.712
耐候钢 $2.5 < t \leq 4$	0.84	0.77

注：非圆孔翻边系数： $K'_{\min} = (0.90 \sim 0.85) K_0$ ，其中 K_0 为圆孔翻边时的首次翻边系数。

耐候钢材料取表中值的 0.90，普碳钢材料取表中值 0.85。

(2) 翻边尺寸计算

1) 平板坯料翻边 (图 3-73)：

预冲孔直径 d ：

$$d = D - 2(H - 0.43r - 0.72t) \tag{3-15}$$

竖边高度 H ：

$$H = \frac{D-d}{2} + 0.43r + 0.72t$$

或

$$H = \frac{D}{2}(1 - K) + 0.43r + 0.72t \tag{3-16}$$

极限高度：

$$H_{\max} = \frac{D}{2}(1 - K_{\min}) + 0.43r + 0.72t \tag{3-17}$$

2) 先拉深后冲底孔再翻边 (图 3-74)：

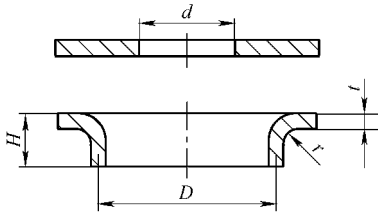


图 3-73 圆孔翻边

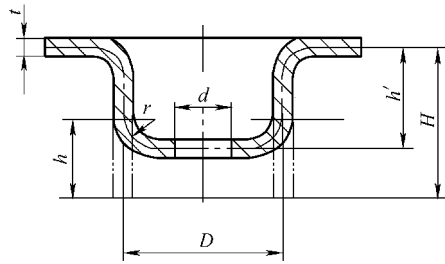


图 3-74 先拉深后冲底孔再翻边

先拉深后翻边的高度 h ：

$$h = \frac{D-d}{2} + 0.57r = \frac{D}{2}(1 - K) + 0.57r \tag{3-18}$$

翻边的极限高度：

$$h_{\max} = \frac{D}{2}(1 - K_{\min}) + 0.57r \tag{3-19}$$

预制孔直径：

$$d = K_{\min}D \quad \text{或} \quad d = D + 1.14r - 2h_{\max} \tag{3-20}$$

拉深高度：

$$h' = H - h_{\max} + r \tag{3-21}$$

(3) 翻边力计算 用圆柱形平底凸模翻边时, 翻边力可按下式计算: $F = 1.1\pi (D - d)tR_{eL}$ 用锥形或球形凸模翻边时, 翻边力略小于上式计算值。

(4) 非圆孔翻边系数 (图 3-75)

非圆孔翻边系数 K_f (一般指小圆弧部分的翻边系数), 可小于圆孔翻边系数 K , 可按下式计算:

$$K_f = (0.85 \sim 0.95)K \quad (3-22)$$

2. 外缘翻边

外缘翻边如图 3-76 所示, 按变形性质分为伸长类翻边和压缩类翻边。

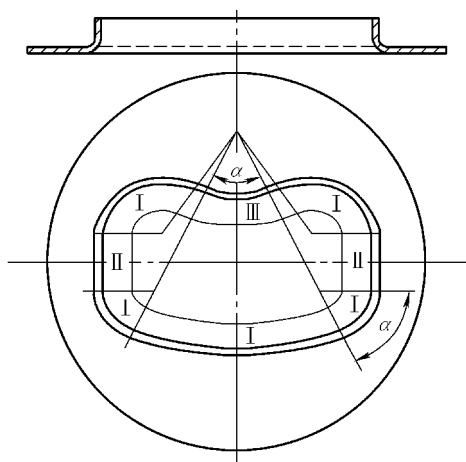


图 3-75 非圆孔翻边工件示意图

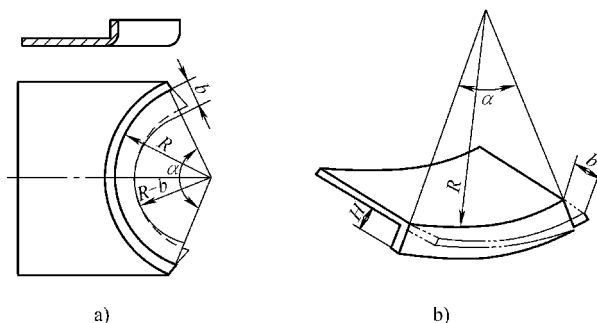


图 3-76 外缘翻边示意图

a) 伸长类平面翻边 b) 伸长类曲面翻边

外凸的外缘翻边变形程度: $\varepsilon_p = \frac{b}{R + b} \quad (3-23)$

内凹的外缘翻边变形程度: $\varepsilon_d = \frac{b}{R - b} \quad (3-24)$

3.8.4 翻边件模具

翻边模具结构基本上与拉深模具相似 (图 3-77)。

图 3-78 所示为圆孔翻边凸模的形状和主要尺寸。

翻边凹模圆角半径: 可取该值等于零件的圆角半径, 翻边凸模圆角半径应尽量取大些, 以便有利于翻边变形。

翻边模具凸、凹模单边间隙: $z/2 = (0.75 \sim 0.85)t$

3.8.5 翻边件生产设备

翻边设备一般使用机械压力机和液压机。一般配置为 1600kN 机械压力机、3150kN 和 8000kN 液压机。

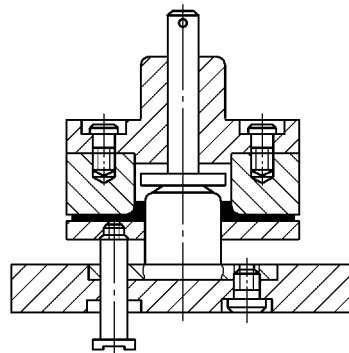


图 3-77 翻边模结构

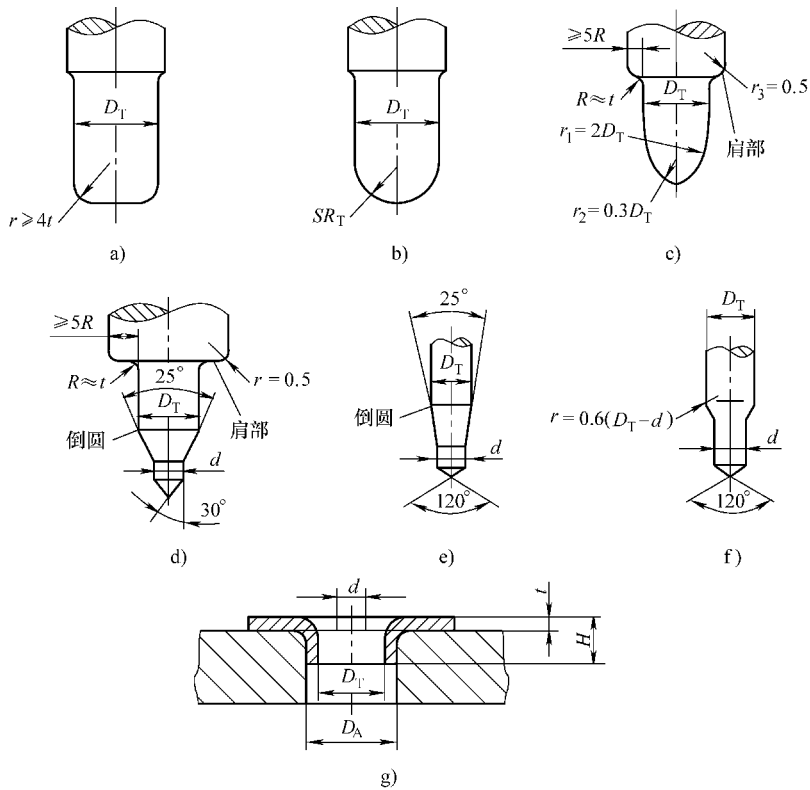


图 3-78 圆孔翻边凸模的形状和主要尺寸

3.8.6 典型翻边件生产实例

1. 门角翻孔

图 3-79 所示为不锈钢城铁车门框中四个门角的工作图，它是把门框中的四个门角合成一个翻孔成形件，材料为厚度 4mm 的 SUS301L-LT 或 SUS304 不锈钢板。

直角翻边易产生因回弹导致直角度不够的缺陷，所以在翻边成形中要增加塑性变形量来减小回弹。减小回弹的方法有两种：一是减小凸、凹模间隙来增加变形量；二是带底翻边，增加拉深变形成分，进而增加塑性变形，减小回弹。如果成形过程中产生开裂，可在坯料的余料部分开细长口，帮助向两边补料（图 3-80）。另外，翻边成形后将整件切割成组件，增加整形工序和调修工序，对成形直角及平面度进行调修。

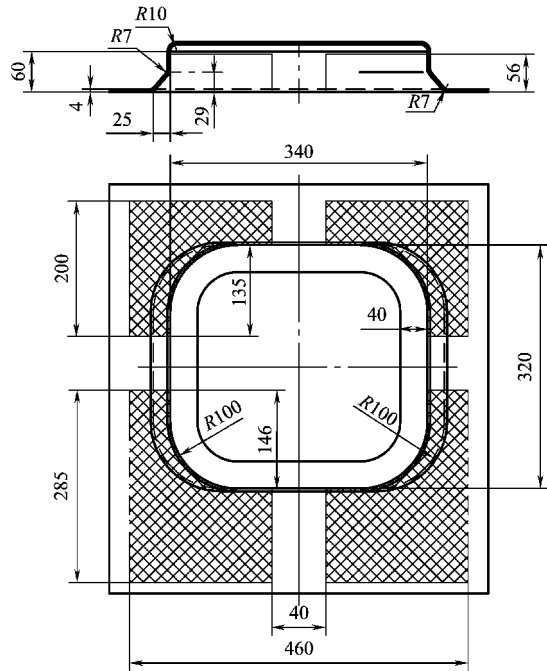


图 3-79 门角翻孔成形件工艺图

门角成形工序设计为：激光切割下料→模具翻孔→清理润滑油→切割分件→模具整形分件→手工调修分件。

图 3-81 为门角翻孔模结构示意图。

2. 门外板窗口翻孔

图 3-82 为铁路客车脚踏门门外板零件图，是典型的带底翻边结构，所用材料为板厚 2mm 的耐候钢 (05PcuPCrNi)，或铁素体不锈钢 (1.4003) 或奥氏体不锈钢 (06Cr19Ni10)。

该件是外门板，表面平整度要求高，在压形时除窗口部分外，其他部分应尽可能不发生变形，选用的压力机要有足够的压料力。由经验分析可知，带底翻

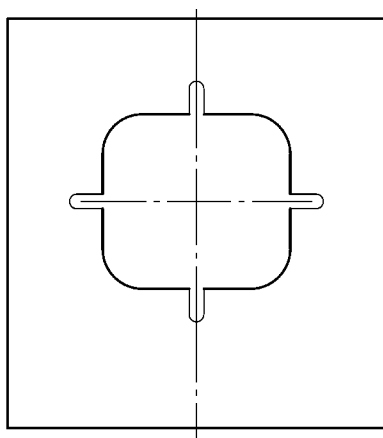


图 3-80 门角毛坯图

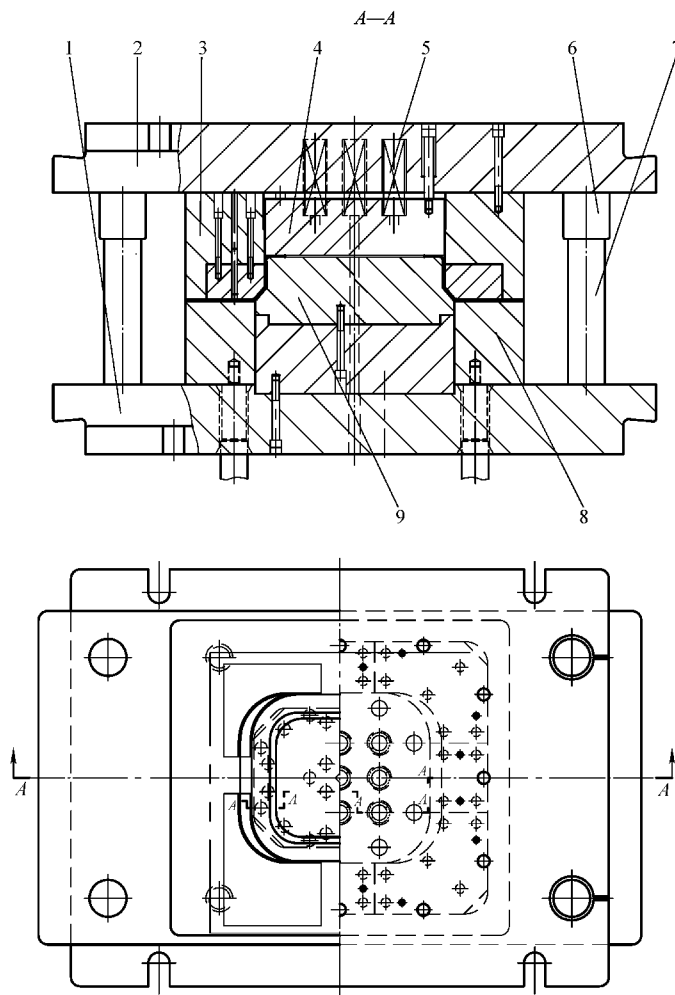


图 3-81 门角翻孔模

1—下模板 2—上模板 3—凹模组成 4—退料板 5—弹簧 6—导套 7—导柱 8—压料板 9—凸模组成

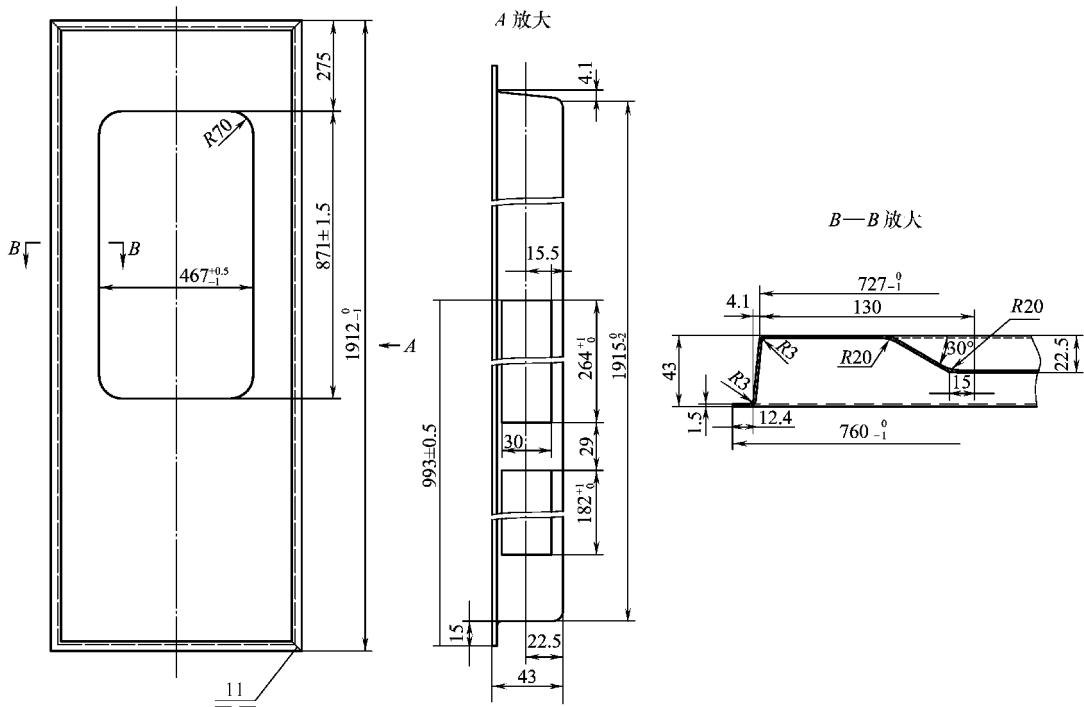


图 3-82 门外板零件图

孔时孔的四角变形最大，因变形失稳容易产生凹陷，所以压料力一定要足够大。因门板表面刮腻子涂装后使用，对表面的划伤等要求不高，故可对模具压料板与凹模增大表面粗糙度，以增大翻孔时材料流动的阻力。并且，对翻孔凸模部分涂润滑剂，减小压形时的摩擦，利于材料向孔内流动。

外门板成形工序设计为：激光切割下料→校平→窗口翻孔→窗口模具修边→四边折弯。

图 3-83 为门外板展开图，图 3-84 为门外板窗口翻孔模，图 3-85 为成形后的门外板工件。

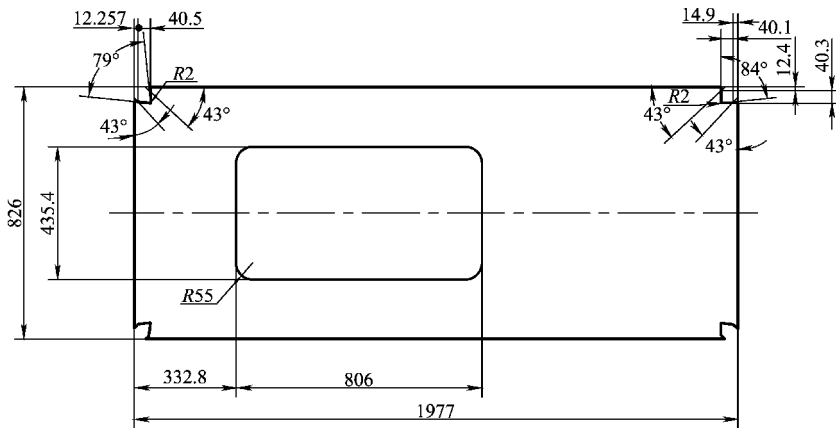


图 3-83 门外板展开图

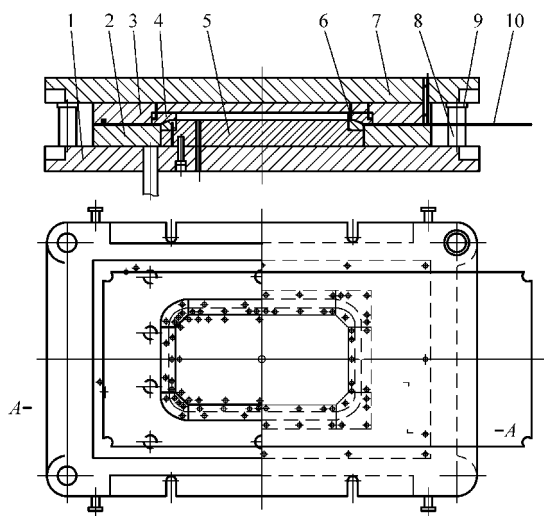


图 3-84 门外板窗口翻孔模

1—下模板 2—压料板 3—凹模座 4—凹模镶块 5—凸模
6—凸模镶块 7—上模板 8—导柱 9—导套 10—外门板

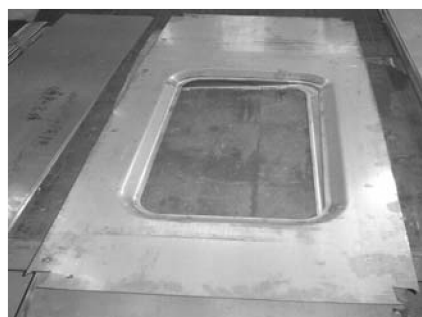


图 3-85 成形后的门外板工件

3. 罩板成形工艺

图 3-86 所示为地铁车罩板，上面有散热孔，这些散热孔都翻有 5mm 高的小边，以增加罩板刚度。

该件按常规可用整体翻边模一次翻边成形，但其上孔的数量较多，排列较密，上大型模具不够经济。故利用数控转塔冲床的翻边成形功能及其较高的重复定位精度，设计制造专用模具，在数控转塔冲床上制造完成。首先在转塔冲床上预冲孔，然后快换翻边模具进行翻边。由于是单孔逐个翻边，逐个变形积累后将影响整张板的平面度。所以在转塔冲模具内，要增加弹簧压料力，以减少冲孔翻边的变形。



图 3-86 地铁车罩板

罩板成形工序设计为：剪切下料→转塔冲床预冲孔→转塔冲床翻孔→手工调平。

图 3-87 为转塔冲床冲孔、翻边模具，图 3-88 为转塔冲床工作过程。



图 3-87 转塔冲床冲孔、翻边模具

a) 冲孔模具 b) 翻边模具



图 3-88 转塔冲床工作过程

3.9 弯曲件制造技术

弯曲是金属板材和型材在模具的作用下成为一定曲率或角度的成形方法。弯曲成形可以在通用压力机上进行，也可以在专机上进行。

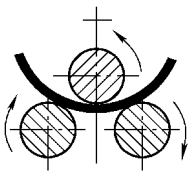
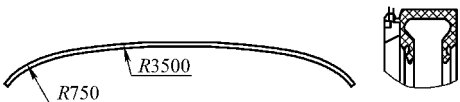

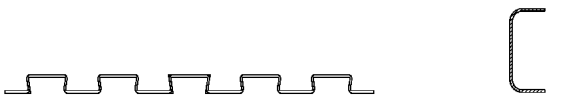
3.9.1 弯曲件类型

轨道客车弯曲件种类很多，主要类型见表 3-83。

表 3-83 轨道客车弯曲件类型

序号	类型	零件形状、名称	使用设备
1	折弯件	<p>外板补强梁 立柱</p>	数控折弯机
2	模具压弯件	<p>管卡 板</p>	压力机
		<p>转向架侧梁下盖板</p>	液压机

(续)

序号	类型	零件形状、名称	使用设备
3	辊弯成形件	 客车中顶板	辊板机
		 铝型材弯梁	型材辊弯机
4	拉弯成形件	 车顶弯梁	型材拉弯机
5	冷弯成形件	 不锈钢波纹地板 边梁	冷弯成形生产线

3.9.2 弯曲件材料

轨道客车弯曲件材料主要有以下几种。

碳素结构钢钢板及热轧型材：Q235C；

耐候钢钢板：05CuPCrNi、09CuPCrNi - B、09CuPCrNi - A；

低合金高强度钢板：Q345R、S275J2G3、S355J2G3、S275J2G3W；

高强度结构用调质钢板：Q460、Q500、Q550、Q620、Q690；

不锈钢钢板材：SUS301L - LT、SUS301L - DLT、SUS301L - ST、SUS301L - HT、SUS304 (0Cr18Ni9)、1.4003；

铝合金板材和型材：5A02、5052、5083、6005A、6083、7005、7020。

3.9.3 弯曲件制造工艺

1. 弯曲方法

轨道客车弯曲件的弯曲方法主要有以下几种：

(1) 折弯 利用折弯机及其模具对板料进行直线弯曲的工艺。其特点是使用通用模具，每次行程成形一道弯，通过行程精确控制弯曲角度，如图3-89所示。

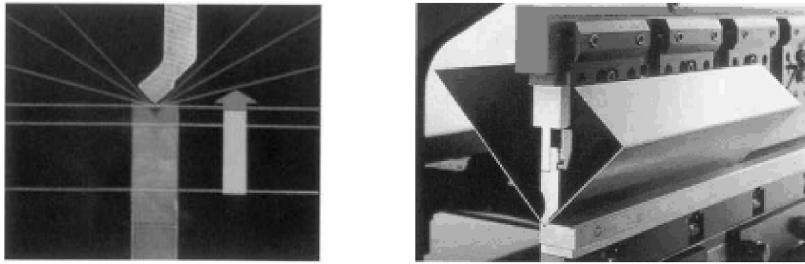


图 3-89 折弯

(2) 模具压弯 最普遍的弯曲方法，利用压力机和模具对板料进行任何形式的弯曲成形，如图 3-90 所示。

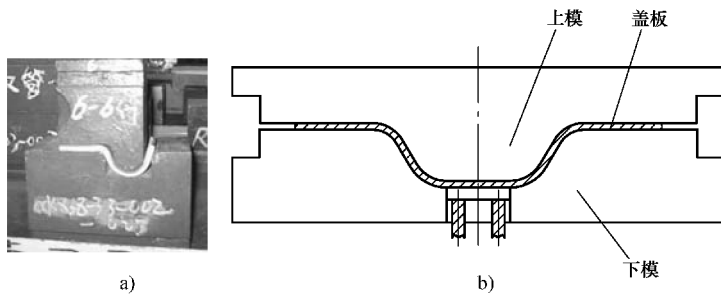


图 3-90 模具压弯

a) 管卡压弯 b) 盖板压弯

(3) 辊弯 利用板料和型材作为坯料在辊弯机上弯曲成形称为辊弯，如图 3-91 所示。

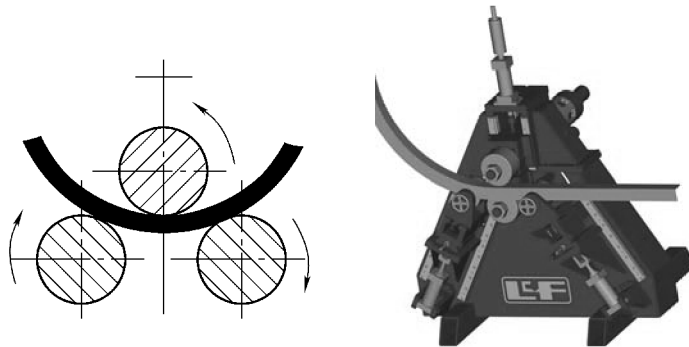


图 3-91 辊弯成形

(4) 拉弯 把一定形状的挤压型材和板弯型材，在拉弯机模具上弯曲成形，同时施加轴向拉力和弯矩，改变坯料断面内部的应力状况，使断面处于拉应力状态，避免出现起皱缺陷，增加塑性变形量，减少回弹，提高弯曲成形精度，如图 3-92 所示。

(5) 震锤成形 利用震锤上可向里和向外动作的带牙印模具，使材料延展和收缩变形，逐步使工件产生弯曲和拉伸变形的工艺（图 3-93）。

(6) 冷弯成形 通过多道纵向排列的成形轧辊，使卷材或带材等金属板料不断横向弯曲，成为特定断面型材的工艺。冷弯成形是一种节材、节能、高效的金属成形新工艺、新技术，如图 3-94 所示。

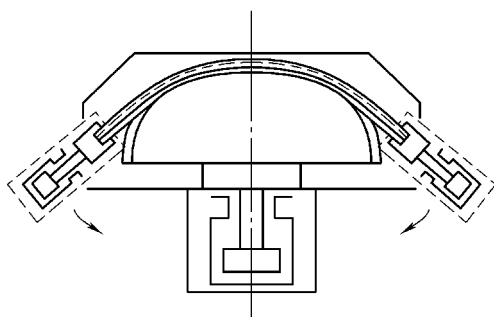


图 3-92 拉弯成形

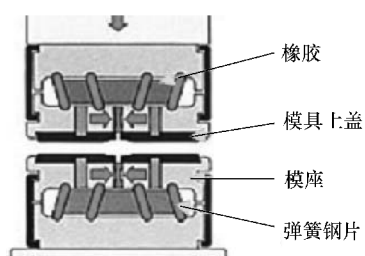


图 3-93 震锤成形

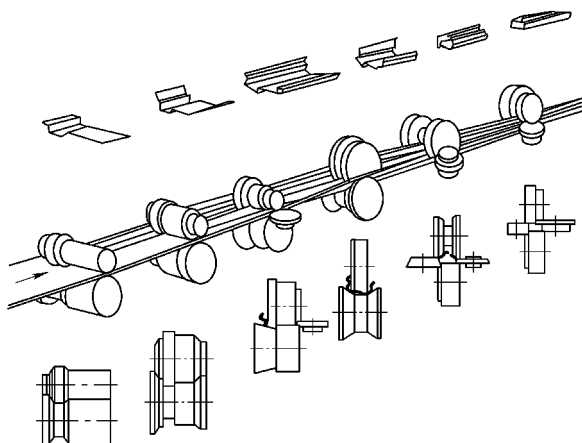


图 3-94 冷弯成形

2. 弯曲方法选择

轨道客车冲压件常用弯曲方法有 6 种。根据零件的形状、材料、批量，及设备条件和质量要求，综合考虑加以选择，同时还要考虑经济性。

(1) 折弯成形 作为首选，因为折弯成形一般使用通用模具，模具比较简单，容易准备。在折弯机上配备相应模具，可以成形以往用大型模具才能成形的厚板盖板类零件。

(2) 拉弯成形 各种小断面板弯型材、热轧型钢、铝合金挤压型材的大曲率半径弯曲选择拉弯成形。

(3) 模具成形 产量较大的小型弯曲件首选模具成形，例如管卡类零件、小槽铁等(图 3-95)。

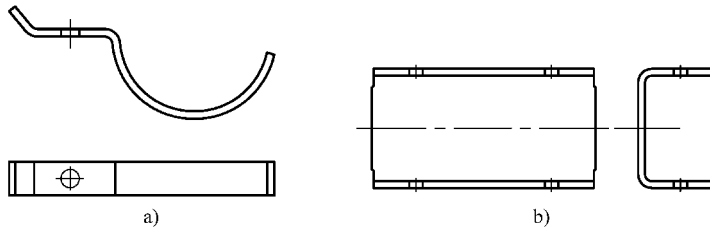


图 3-95 模具弯曲件
a) 管卡 b) 小槽铁

(4) 震锤成形 角形型材首选震锤成形，其次则选辊弯或拉弯成形。

(5) 冷弯成形 长度 4m 以上，断面形状复杂的工件，选择冷弯成形。

(6) 按批量选择 大型盖板类的成形须根据生产批量，大批量选模具成形，小批量选折弯成形。

3. 弯曲回弹

弯曲回弹是指冲压件弯曲成形后，因材料塑性存在着弹性变形，使工件的角度和圆角半径发生变化(图 3-96)。

(1) 影响回弹的因素

- 1) 材料屈服强度越高，弹性模量越大，回弹越大。
- 2) 弯曲件相对弯曲半径 R/t 越小，回弹越小。
- 3) V 形件模具开口越大，回弹越大，U 形件凹模越深，回弹越小。
- 4) 模具间隙越小，回弹越小。
- 5) 校正弯曲比自由弯曲回弹小，校正力越大，回弹越小。

(2) 克服回弹的措施

1) 改进弯曲件设计，在材料性能和结构允许的范围内尽量减小 r/t ，或弯曲区压制加强筋，以提高零件的刚度，抑制回弹(图 3-97)。

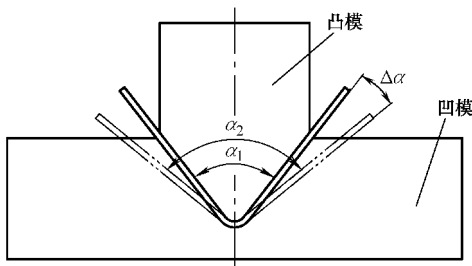


图 3-96 弯曲回弹引起的曲率、角度变化
 α_1 —凸模角度 α_2 —卸载后的弯曲件角度 $2\Delta\alpha$ —回弹量

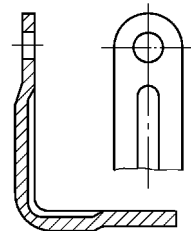


图 3-97 弯角处压制加强筋抑制回弹

- 2) 折弯法进行弯曲。
- 3) 大曲率型材弯曲采用拉弯法。
- 4) 模具压弯时采用校正弯曲代替自由弯曲(图 3-98)；

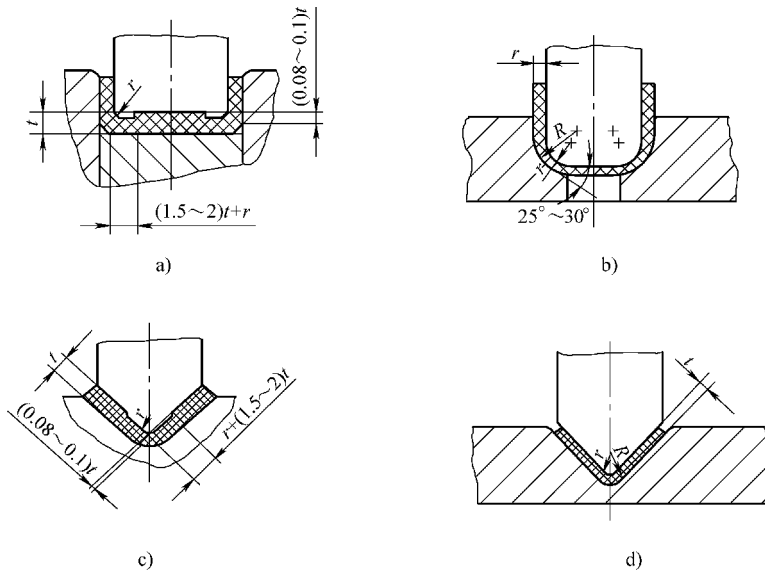


图 3-98 校正法克服回弹

5) 选择合理的弯曲模具结构进行回弹补偿 (图 3-99)。

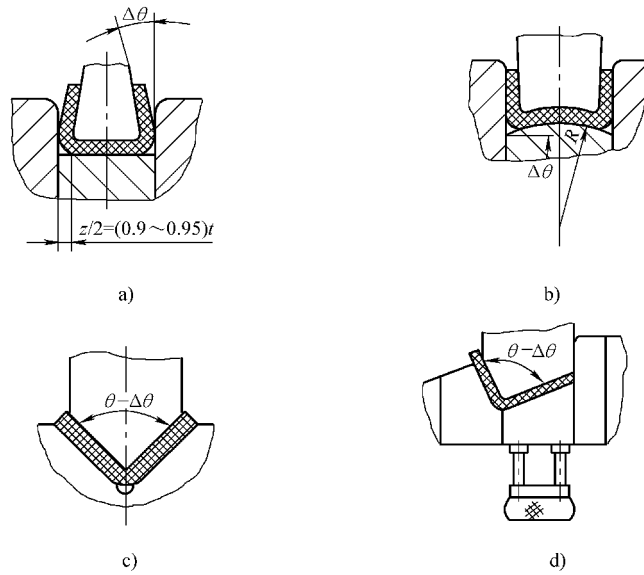


图 3-99 补偿法克服回弹

a) 小间隙补偿 b) 凸模底部凹入补偿 c) V形单角弯曲补偿 d) V形单角弯曲补偿

4. 弯曲裂纹

弯曲裂纹是弯曲件破坏形式之一，产生弯曲裂纹的主要原因是与材料相对应的弯曲半径过小，超过了材料能承受的变形量。

最小弯曲半径 r_{\min} 是指在板料不发生破坏的条件下，所能弯成零件的内表面的最小圆角半径。常用最小相对弯曲半径 r_{\min}/t 表示弯曲时的成形极限。其值越小越有利于弯曲成形。

- (1) 影响最小弯曲半径的因素
 - 1) 主要与材料的伸长率有关，伸长率大，最小弯曲半径就小。
 - 2) 板料外表面和断面光洁度越高，最小弯曲半径就越小。
 - 3) 弯曲线垂直于纤维方向的最小弯曲半径小于平行于纤维方向（图 3-100）。
- (2) 提高材料弯曲极限的方法
 - 1) 经冷变形硬化的材料，可热处理后再弯曲。
 - 2) 清除弯曲线两端毛刺，提高光洁度。
 - 3) 对塑性低的材料或厚料可采用加热弯曲。
 - 4) 对较厚材料弯曲，如结构允许，可开工艺槽后弯曲（图 3-101）。

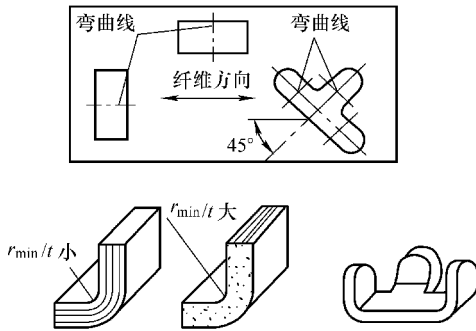


图 3-100 纤维方向对 r_{min}/t 的影响

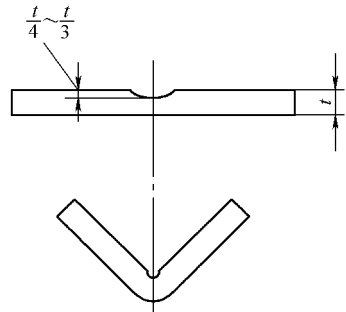


图 3-101 开工艺槽后进行弯曲

5. 弯曲件坯料尺寸计算

弯曲毛坯料尺寸计算原则是计算中性层的长度。具体的计算方法是把零件分成直线和弯曲圆弧部分，分别计算长度并求和，如图 3-102 所示。

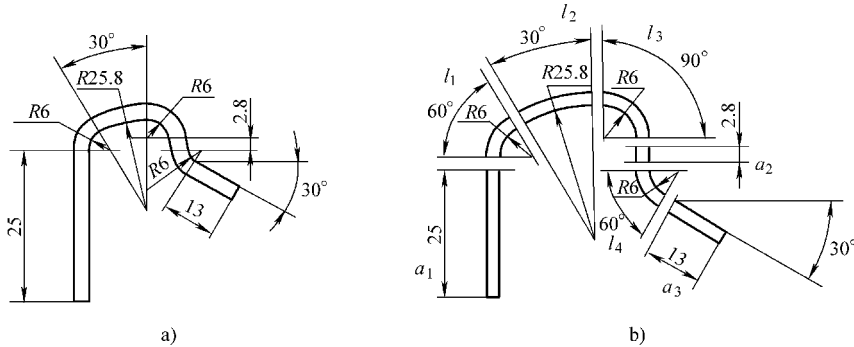


图 3-102 零件展开长度计算

a) 零件 b) 零件分段

零件展开长度：

$$L = a_1 + a_2 + a_3 + l_1 + l_2 + l_3 + l_4 \quad (3-25)$$

圆弧部分按中性层展开尺寸长度：

$$l = \pi \alpha r / 180 = 0.01745 \alpha r \quad (3-26)$$

式中 l ——中性层展开长度 (mm);

ρ ——中性层半径 (mm);

α ——弯曲中心角 (度)。

中性层半径计算公式 (图 3-103):

$$\rho = r + xt \quad (3-27)$$

式中 r ——弯曲半径 (mm);

x ——中性层位置系数 (mm), 见表 3-84;

t ——材料厚度 (mm)。

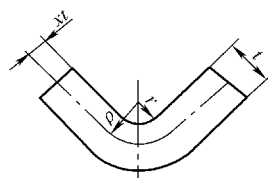


图 3-103 中性层半径

表 3-84 中性层位置系数

r/t	分数	(1)	3/10	5/16	8/25	1/3	12/35	5/14	3/8	2/5	5/12	3/7	—
	小数	(2)	0.3	0.3125	0.32	0.333	0.343	0.357	0.375	0.4	0.417	0.429	—
x	(3)	0.194	0.199	0.201	0.206	0.209	0.213	0.219	0.226	0.230	0.233	—	
r/t	分数	(1)	4/9	12/25	1/2	8/15	5/9	4/7	3/5	5/8	2/3	7/10	5/7
	小数	(2)	0.444	0.48	0.5	0.533	0.555	0.571	0.6	0.625	0.667	0.7	0.714
x	(3)	0.237	0.245	0.25	0.257	0.261	0.264	0.270	0.274	0.281	0.286	0.288	
r/t	分数	(1)	3/4	4/5	5/6	6/7	8/9	1	10/9	8/7	6/6	5/4	4/3
	小数	(2)	0.75	0.8	0.833	0.857	0.889	1	1.111	1.143	1.2	1.25	1.333
x	(3)	0.294	0.301	0.305	0.308	0.312	0.325	0.336	0.340	0.345	0.345	0.356	
r/t	分数	(1)	7/5	10/7	3/2	8/5	5/3	12/7	16/9	15/8	2	25/12	15/7
	小数	(2)	1.4	1.429	1.5	1.6	1.667	1.714	1.778	1.875	2	2.083	2.143
x	(3)	0.362	0.364	0.369	0.376	0.380	0.384	0.387	0.393	0.400	0.405	0.408	
r/t	分数	(1)	20/9	16/7	12/5	5/2	8/3	20/7	3	25/8	16/5	10/3	24/7
	小数	(2)	2.222	2.286	2.4	2.5	2.667	2.857	3	3.125	3.2	3.333	3.429
x	(3)	0.412	0.415	0.420	0.424	0.341	0.439	0.444	0.449	0.451	0.456	0.459	
r/t	分数	(1)	7/2	25/7	15/4	4	25/6	30/7	35/8	40/9	9/2	25/5	5
	小数	(2)	3.5	3.571	3.75	4	4.167	4.286	4.375	4.444	4.5	4.8	5
x	(3)	0.461	0.463	0.469	0.476	0.480	0.483	0.485	0.487	0.488	0.495	0.500	

通常, 弯曲件展开长度按以上方法计算, 但由于材料性能差异, 弯曲角度不同, 板厚公差等原因, 会出现一定的误差, 所以对精度要求较高的工件应进行试验验证, 并适当调整。

6. 弯曲力计算

(1) 自由弯曲时的弯曲力

$$V \text{ 形件弯曲力: } F_{\text{自}} = \frac{0.6Kbt^2R_m}{r+t} \quad (3-28)$$

$$U \text{ 形件弯曲力: } F_{\text{自}} = \frac{0.7Kbt^2R_m}{r+t} \quad (3-29)$$

式中 $F_{\text{自}}$ ——自由弯曲在压制行程结束时的弯曲力;

B ——弯曲件的宽度;

t ——弯曲材料的厚度;

r ——弯曲件的内弯曲半径；

R_m ——材料的抗拉强度；

K ——安全系数，一般取 $K = 1.3$ 。

(2) 校正弯曲时的弯曲力

$$F_{\text{校}} = Ap \quad (3-30)$$

式中 $F_{\text{校}}$ ——校正弯曲应力；

A ——校正部分投影面积；

p ——单位面积校正力，其值见表 3-85。

表 3-85 单位校正力 p

(单位: MPa)

材料	材料厚度			
	≤ 1	$> 1 \sim 2$	$> 2 \sim 5$	$> 5 \sim 10$
铝	10 ~ 15	15 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 40
黄铜	15 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 40	40 ~ 50
10 ~ 20 钢	20 ~ 30	30 ~ 40	40 ~ 50	50 ~ 70
25 ~ 35 钢	30 ~ 40	40 ~ 50	50 ~ 70	70 ~ 100

(3) 顶件力或压料力 若弯曲模设有顶件装置或压料装置，其顶件力或压料力 F_Y 可近似取自由弯曲力的 30% ~ 80%。即

$$F_Y = (0.3 \sim 0.8) F_{\text{自}} \quad (3-31)$$

(4) 压力机吨位的确定 对于有压料的自由弯曲

$$F_{\text{压力机}} \geq (1.2 \sim 1.3) (F_{\text{自}} + F_Y) \quad (3-32)$$

对于校正弯曲

$$F_{\text{压力机}} \geq (1.2 \sim 1.3) F_{\text{校}} \quad (3-33)$$

3.9.4 弯曲件模具

1. 压弯模具设计需注意的问题

(1) 弯曲回弹 对工件回弹应有计算分析，在模具上有回弹补偿措施。

(2) 压形时的走料 由于摩擦、结构不对称等原因，压形时容易走料，需采取防走料措施。

(3) 凸凹模寿命 不锈钢弯曲模具磨损较严重，应选择合适的模具材料和热处理工艺。

(4) 模具成本 模具应简单、低廉，对盖板类大型件模具的材料、加工等应基于低成本选择，应适当增加一些调修工序作为补充。

2. V形和U形弯曲模具工作部分设计

(1) 凸模和凹模的结构参数

1) 凸模圆角半径 r_T 取值略小于工件圆角半径 R ，工件圆角半径较大 ($R/t > 10$)，精度要求较高时，进行回弹计算；

2) 凹模入口的圆角半径 R_A 按以下条件取值：当 $t \leq 2$ 时， $R_A = (3 \sim 6)t$ ； $t = 2 \sim 4$ ， $R_A = (2 \sim 3)t$ ； $t > 4$ ， $R_A = 2t$ ；

3) 凹模工作深度要适当，否则影响质量，如图 3-104 所示。

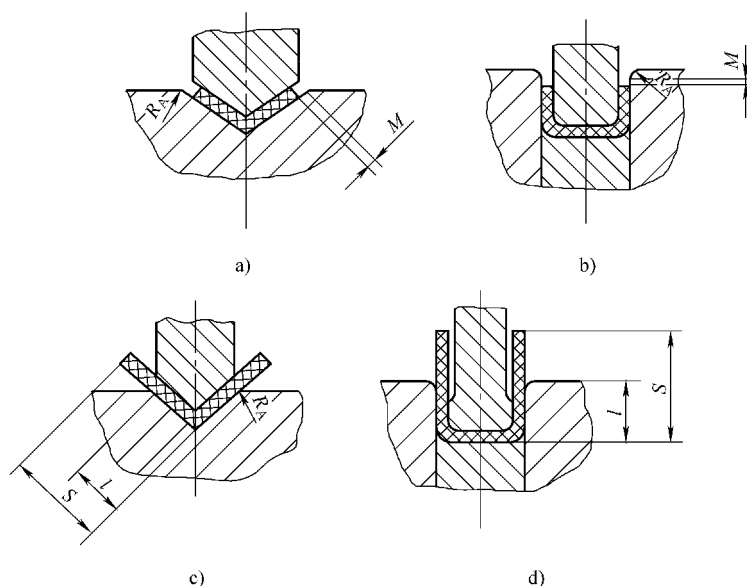


图 3-104 凹模工作深度

图中 M 值参考表 3-86、表 3-87 和表 3-88。

表 3-86 凹模尺寸 M

(单位: mm)

材料厚度	<1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~10
M	3	4	5	6	8	10	15	20	25

表 3-87 V形弯曲模的凹模深度 l

(单位: mm)

弯曲件边长 s	材料厚度				
	<1	1~2	2~4	4~6	6~10
20	8	10	14	16	18
30	10	14	16	20	25
50	18	20	25	30	35
75	25	25	30	35	40
100	30	30	35	40	45
150	36	36	40	45	50
200	40	45	45	50	60

表 3-88 U形弯曲模的凹模深度 l

(单位: mm)

弯曲件边长 s	材料厚度				
	<1	1~2	2~4	4~6	6~10
<50	15	20	25	30	35
50~75	20	25	30	35	40
75~100	25	30	35	40	40
100~150	30	35	40	50	50
150~200	40	45	55	65	65

(2) U形弯曲模的间隙 U形弯曲模具的单面间隙 $z/2$ 一般取值最大板厚 t_{max} 。如果板厚公差较大,则间隙是动态值,对弯曲成形有很大影响。零件精度要求较高时,对板厚公差值应有一个限定。

3.9.5 模具压弯件生产设备

模具压弯通常使用机械压力机和液压机,其规格为1600kN开式压力机,2500kN双点压力机;3150kN和12500kN液压机。

3.9.6 模具压弯件生产实例

1. 新型管卡压形

图3-105所示为轨道车辆用管卡,材料为1.5mm厚的SUS304不锈钢板。该件两侧有5mm的翻边,为弯曲和翻边复合成形,翻边后回弹小。采用平板料一次成形工艺。

工艺过程设计:剪切下料→校平→压形→调修→清洗。

图3-106为管卡压形模示意图。

2. 立柱压形

图3-107所示为地铁立柱,材料为3mm厚09CuPCrNi-B耐候钢。此件是两个方向上的弯曲,从型材弯曲的角度应首选板弯型材的拉弯成形。由于板厚和断面尺寸大,导致板弯型材刚性较大,在拉弯成形时直线部分容易弯曲,需要在拉弯机上加装压料装置。最终采用模具一次压形工艺。

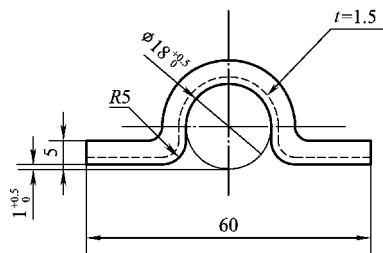
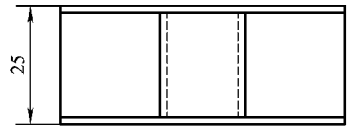


图3-105 管卡

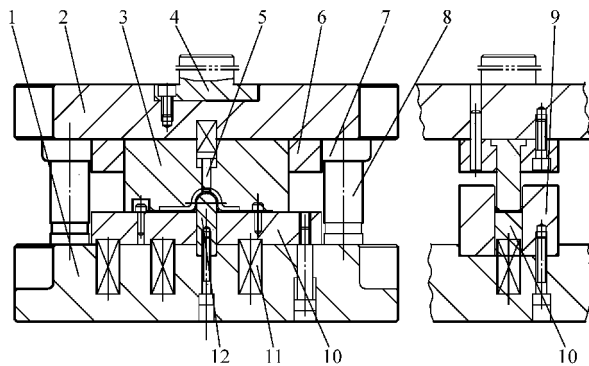


图3-106 管卡压形模

- 1—下底板 2—上底板 3—凸模 4—模柄 5—退料销 6—凸模固定板
- 7—导套 8—导柱 9—凹模 10—压料板 11—弹簧 12—凸模

工艺过程设计:剪切下料→校平→冲塞焊孔→模具压形→补钻塞焊孔→切割端头。需要说明的是,因R1000处预先钻塞焊孔,压形时会产生裂纹,故此部位塞焊孔需压形后补钻。一次压形模具设计的关键是控制弯曲回弹。对于帽形断面采用底部凸模补偿方案,见图

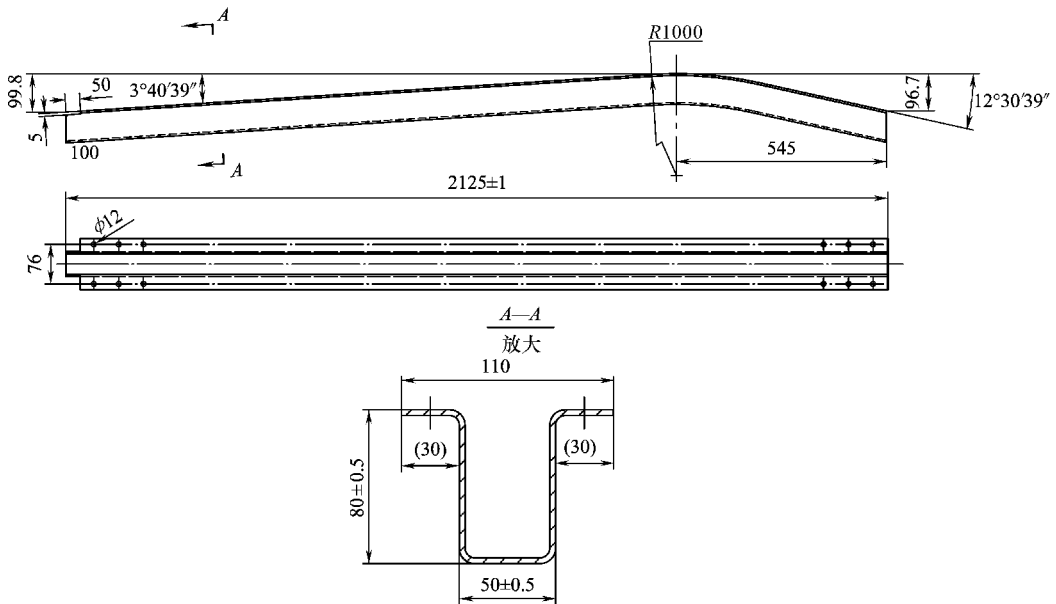


图 3-107 立柱

3-108 所示。其模具结构属自由弯曲成形、无压边结构，如图 3-109 所示。

实际成形效果较好，帽形断面几乎无胀口，翼面平面度也较好。唯一不稳定的是翼面宽度尺寸，在全长方向上尺寸为 $110 \pm 1.5\text{mm}$ 范围内波动。

3. 上盖板压形

图 3-110 所示为转向架侧梁上盖板，材料为 12mm 厚 Q345R 低合金高强度钢。该件板厚、料沉、尺寸大，为大圆弧弯曲成形，工件回弹大，且材料性能不稳定，对成形稳定性有一定影响。

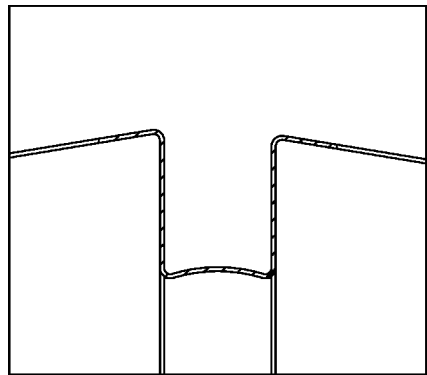


图 3-108 弯曲回弹的补偿方法

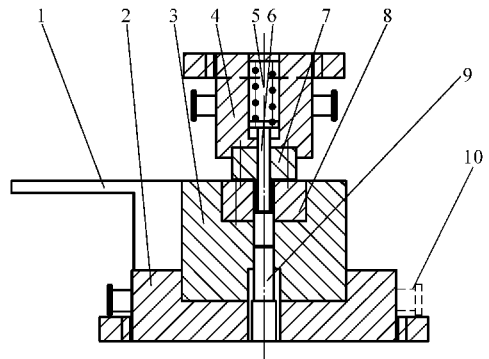
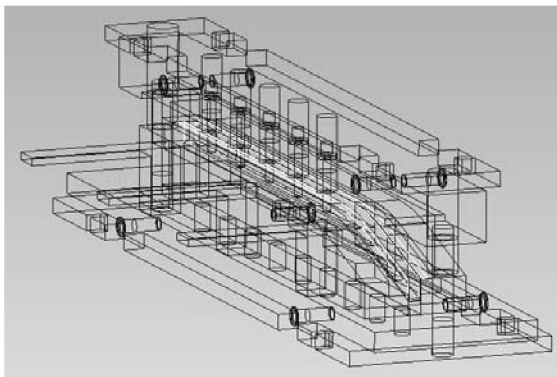


图 3-109 立柱压形模具图

- 1—托料架 2—下模 3—凹模座 4—上模板 5—弹簧 6—退料杆 7—凸模
8—凹模 9—小托杆 10—吊柱

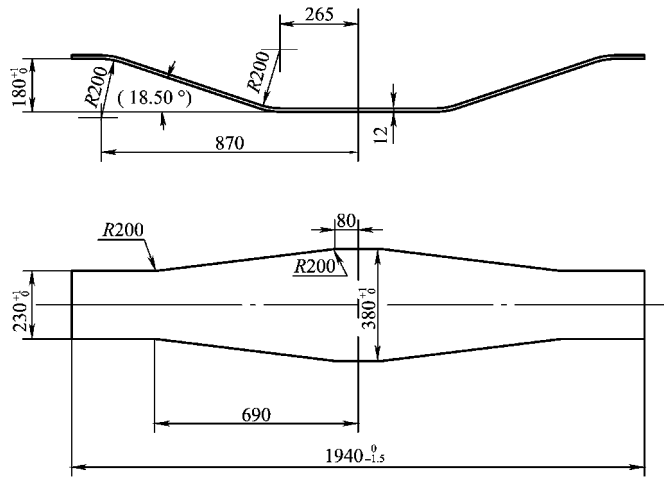


图 3-110 转向架侧梁上盖板

该件可在折弯机上分四次单独成形，但件大且重，操作不便，工效也低，所以在 12500kN 液压机上由模具一次成形。

工艺过程设计：精细等离子弧切割下料→校平→加工坡口→模具压形→调修。

该件的压形模具结构如图 3-111 所示。

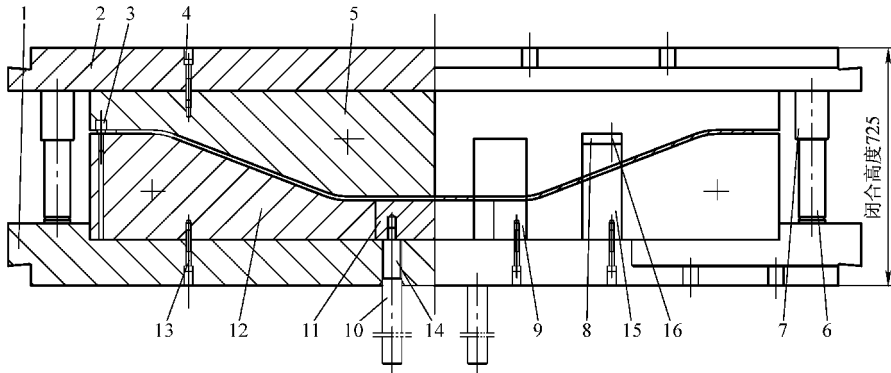


图 3-111 盖板压形模

- 1—下模板 2—上模板 3—定位销 4—螺钉 5—凸模组成 6—导柱 7—导套 8—托料板 9—导向块
- 10—托杆 11—压料板 12—凹模组成 13—螺钉 14—小托杆 15—支承块 16—螺钉

由于原材料机械性能波动和板厚公差等的影响，此类件经模具压弯后形状产生波动，需增加后续调修工序。采用折弯机点压调修与工装调修相结合的调修方法。原则上先将折弯模具制成负角，在调修工装上放大角度相对方便。

此类件应尽可能对称，否则模具压形后会产生侧弯，对侧弯需要热调。

4. 内侧中间板压形

图 3-112 是转向架侧梁内侧中间板，属厚板大

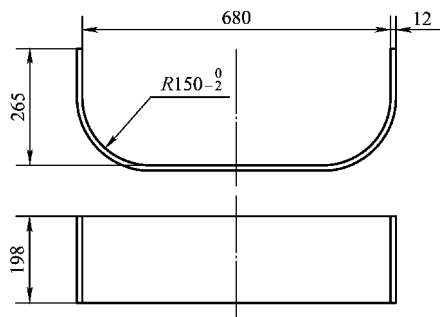


图 3-112 转向架侧梁内侧中间板

圆弧成形，材料为12mm厚Q345R低合金高强钢板。该件为U形件成形，由模具一次成形因弯曲圆弧过大，会有较大回弹。实际成形后单侧回弹达50mm以上。经过分析，采用单角二次成形工艺，通过角度补偿法来保证回弹补偿。

图3-113为内侧中间板的压形模具图。因此件中间宽度为主要保证尺寸，所以第一次成形后安排调修工序，把角度调修到与样板间隙在0.5mm以内。第二次成形时，以第一次的成形边定位，这样就保证了中间宽度尺寸。

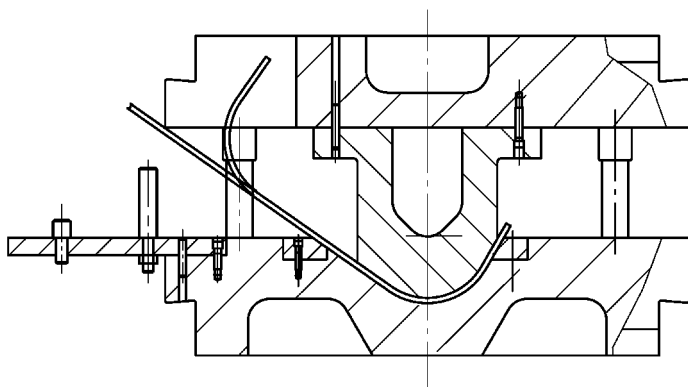


图 3-113 内侧中间板的压形模具

3.9.7 折弯成形技术

1. 折弯成形原理

折弯是利用折弯机上的模具把金属板材弯成一定角度的方法，主要完成直线弯曲，折弯机一个行程折成一道弯。折弯成形可对回弹量进行最佳控制。

轨道客车弯曲件80%以上采用折弯成形，属于关键工序。折弯成形零件精度将直接影响客车的组装精度。

2. 折弯件类型

- (1) 按成形材料 分为碳钢折弯件、不锈钢折弯件、铝合金折弯件。
- (2) 按成形圆角半径 分为小圆角成形、大圆角成形。

3. 折弯成形工艺

折弯成形工序主要考虑折弯力、折弯模具、折弯顺序设计，以及工件与模具干涉分析、折弯挠度补偿等。

- (1) 折弯力计算 折弯力计算公式如下：

$$P = 1.42 \cdot L \cdot R_m \cdot S^2 / (1000V) \quad (3-34)$$

式中 P ——折弯力 (kN)；

L ——折弯件长度 (mm)；

R_m ——抗拉强度 (N/mm^2)；

S ——板厚 (mm)；

V ——模具槽宽度 (mm)，一般取8~10倍板厚；

R ——折弯圆角半径， $R = 5V/32$ 。

图3-114为折弯力计算及最小翻边高度示意图。

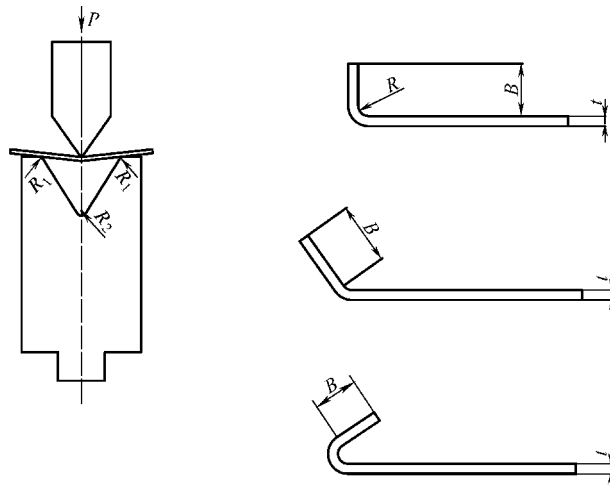


图 3-114 折弯力计算及最小翻边高度示意图

折弯角度与折弯最小翻边高度 B 有一定关系，参见表 3-89。

表 3-89 折弯角度与最小翻边高度关系

角度	B
165°	0.58V
135°	0.60V
120°	0.62V
90°	0.65V
60°	0.80V
45°	1.00V
30°	1.30V

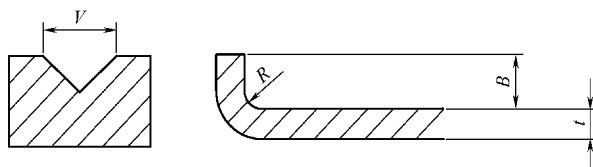
通常在标准折弯半径条件下，折弯力可在表 3-90 中直接选取。

(2) 折弯半径要求 弯曲裂纹是折弯件的主要破坏形式。折弯件的弯曲半径不能小于所选材料的最小弯曲半径。轨道客车材料折弯半径推荐值参见表 3-91 ~ 表 3-97。实际选用的折弯半径不能小于表中推荐值，否则折弯件会产生裂纹而报废。

(3) 折弯模具选择 应考虑两方面的内容，一是根据图样要求的折弯半径选择模具，二是考虑折弯时是否产生干涉。如果发生干涉，则需要调整折弯顺序或者更换模具。图 3-115 为折弯是否干涉的图解法。

(4) 折弯件展开尺寸计算 轨道客车冲压件折弯坯料计算方法分为三种，中性层计算法、直接减料厚法和绘图法。中性层计算法是利用弯曲前后中性层长度不变原则进行计算，在前面章节中已作描述。

表 3-90 折弯力表



V	R	B																				
			0.5	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30		
4	0.7	2.6	40	105																		
6	0.9	3.9	26	69	106	153																
8	1.5	5.2	20	55	80	115	180															
10	1.7	6.5		41	65	95	145	260														
12	2	7.8			55	80	120	215	335													
16	2.7	10.4				60	90	160	250	360												
20	3.4	13					75	130	200	290	520											
24	3.9	15.6						106	166	240	426	666										
30	5	20							140	190	340	540	770									
35	6	23								170	300	460	660									
40	7	26								150	260	400	580	1030								
50	8.5	32									210	320	460	820	1280							
55	9	36										300	420	750	1170							
60	10	39										270	390	690	1070							
70	11.7	45											330	590	920	1320						
80	13.5	52											290	520	800	1160	1800					
90	15	58												460	710	1030	1600					
100	17	65												410	640	930	1440					
120	20	78													540	770	1200					
140	24	91															660	1030	1830			
200	31	130																719	1278	1997		
250	39	163																	1020	1598	2300	
300	47	195																		852	1331	1917
350	55	228																			1141	1643

$T = 420 \sim 480 \text{ N/mm}^2 \quad (C = 1) \quad P = (\text{kN/m})$

表 3-91 碳素结构钢和低合金高强度结构钢弯曲半径 (单位: mm)

材料牌号	弯曲方向	板 厚															
		>1 ≤1.5	>1.5 ≤2.5	>2.5 ≤3	>3 ≤4	>4 ≤5	>5 ≤6	>6 ≤7	>7 ≤8	>8 ≤10	>10 ≤12	>12 ≤14	>14 ≤16	>16 ≤18	>18 ≤20	>20 ≤25	>25 ≤30
Q235	t	1.6	2.5	3	5	6	8	10	12	16	20	25	28	36	40	50	60
	n	1.6	2.5	3	6	8	10	12	16	20	25	28	32	40	45	55	70
Q275	t	2	3	4	5	8	10	12	16	20	25	28	32	40	45	55	70
	n	3	3	4	6	10	12	16	20	25	32	36	40	45	50	60	75
09CuPCrNi - B	t	2	3	4	5	8	10	12	16	20	25	28	32	40	45	55	70
	n	3	3	4	6	10	12	16	20	25	32	36	40	45	50	60	75
09CuPCrNi - A	t	2.5	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	36	45	50	65	80
	n	2.5	4	5	8	10	12	16	20	25	32	36	40	50	63	75	90
Q345 Q345R	t	2.5	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	36	45	50	65	80
	n	2.5	4	5	8	10	12	16	20	25	32	36	40	50	63	75	90

注: 1. t 表示垂直于轧制方向弯曲, n 表示平行于轧制方向弯曲;

2. 以上数据适合于 90° 角的弯曲。

表 3-92 高强度结构用调质钢板标准圆角半径 (单位: mm)

材料牌号	板厚在 3 ~ 16mm 之间	
	垂直于轧制方向弯曲	平行于轧制方向弯曲
Q460	3t	4t
Q500	3t	4t
Q550	3t	4t
Q620	3t	4t
Q690	3t	4t
Q890	3t	4t
Q960	4t	5t

表 3-93 奥氏体不锈钢板标准弯曲半径 (单位: mm)

板厚	SUS301L - LT \ DLT \ ST	SUS301L - MT \ HT	SUS304
0.6	—	2.0	0.6
0.8	2.0	3.0	0.8
1.0	2.0	3.0	1.0
1.2	2.0	3.0	1.2
1.5	2.0	5.0	1.5
2.0	3.0	7.0	2.0
2.5	3.0	10.0	2.5
3.0	5.0	13.0	3.0
4.0	7.0	19.0	4.0
4.5	7.0	19.0	4.5
5.0	—	—	5.0
6.0	—	—	6.0

表 3-94 1.4003 不锈钢标准弯曲半径 (单位: mm)

板厚	弯曲半径	
	垂直于轧制方向弯曲	平行于轧制方向弯曲
>1~1.5	2	3
>1.5~2.5	3	3
>2.5~3	4	4
>3~4	5	6
>4~5	8	10
>5~6	10	12
>6~7	12	16
>7~8	16	20
>8~10	20	25
>10~12	25	30

表 3-95 EN AW 5052 (铝镁 2.5) 铝合金标准弯曲半径 (单位: mm)

状态	公称厚度/mm		弯曲半径	
	超过	至	180°	90°
O/H111	1.5	3.0	0.5t	0.5t
	3.0	6.0	—	1.0t
	6.0	12.5	—	2.0t

表 3-96 EN AW 5083 (铝镁 4.5 锰 0.7) 铝合金标准弯曲半径 (单位: mm)

状态	公称厚度/mm		弯曲半径	
	超过	至	180°	90°
O/H111	0.5	1.5	1.0t	1.0t
	1.5	3.0	1.5t	1.0t
	3.0	6.0	—	1.5t
	6.0	12.5	—	2.5t

注: 这种状态供货的材料进行快速试验后缺乏抗层蚀能力。

表 3-97 EN AW 6082 (铝硅镁锰) 铝合金标准弯曲半径 (单位: mm)

状态	公称厚度		弯曲半径	
	超过	至	180°	90°
O	≥0.4	0.5	1.0t	0.5t
	1.5	3.0	1.0t	1.0t
	3.0	6.0	—	1.5t
	6.0	12.5	—	2.5t
T4	≥0.4	1.5	3.0t	1.5t
	1.5	3.0	3.0t	2.0t
	3.0	6.0	—	3.0t
	6.0	12.5	—	4.0t

(续)

状态	公称厚度		弯曲半径	
	超过	至	180°	90°
T6	≥0.4	1.5	—	2.5t
	1.5	3.0	—	3.5t
	3.0	6.0	—	4.5t
	6.0	12.5	—	6.0t

注：扩散退火后可显著减小弯曲半径。

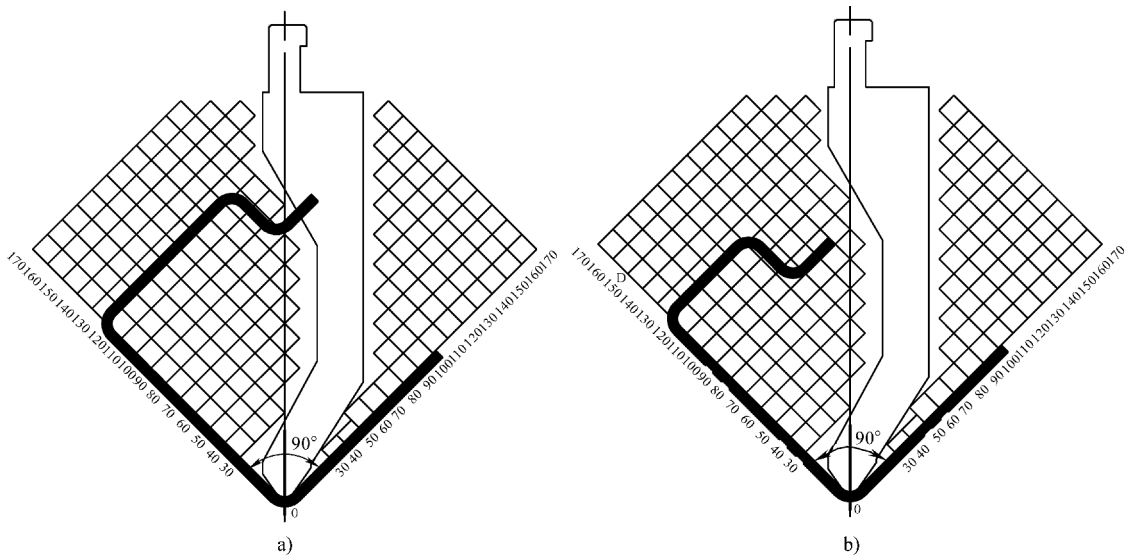


图 3-115 折弯是否干涉的图解法

a) 干涉状态 b) 不干涉状态

1) 直接减板厚计算法 (图 3-116)：

当板厚度 $t \leq 6\text{mm}$ ， $2t \leq$ 折弯圆角半径， $R \geq t$ ，折弯角度 = 90° 时

毛坯长度：
$$L = L_1 + L_2 - 2t \quad (3-35)$$

当板厚度 $t \leq 6\text{mm}$ ， $2t \leq$ 折弯圆角半径， $R \geq t$ ，折弯角度 = 135° 时

坯料长度：
$$L = L_1 + L_2 - t \quad (3-36)$$

当材料厚度、折弯圆角半径、下模 V 形槽宽全部按表 3-98 中数值不变情况之下，SUS301L 不锈钢 90° 折弯件的展开长度计算，每道弯减一个 λ 值。

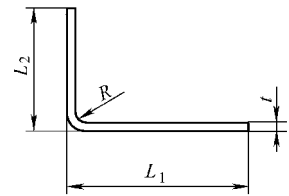


图 3-116 折弯件展开长度计算示意图

2) 绘图法：当折弯件结构复杂，有多个圆角半径、多成形角度的情况下，采用上述计算方法易出现计算错误，采用绘图后测量中性层的方法，可以快速准确地确定展开尺寸。

4. 折弯成形设备

(1) 数控折弯机技术参数 数控折弯机是轨道客车弯曲件使用最广泛的设备。表 3-99 为黄石锻压机床有限公司制造的部分折弯机技术参数。

表 3-98 SUS301L 系列钢板折弯件展开长度计算参数

材料	板厚	标准圆角半径 R	减少值 λ	最小立边	下模 V 形槽宽
不锈钢 LT, ST, DLT	1.0	2.0	2.4	10	15
	1.5	2.0	3.1	10	15
	2.0	3.0	4.3	15	20
	2.5	3.0	5.0	20	25
	3.0	5.0	6.7	20	30
	4.0	7.0	9.0	25	35
不锈钢 MT, HT	0.8	3.0	2.4	10	15
	1.0	3.0	2.7	10	15
	1.5	5.0	4.2	15	20
	2.0	7.0	5.8	20	25
	2.5	10	7.8	28	40
	3.0	13.0	9.7	28	40

表 3-99 数控折弯机技术参数

型 号	80/3200	160/3200	320/4000	400/4000
公称力/kN	800	1600	3200	4000
折弯长度/mm	3200	3200	3200	4000
立柱间距/mm	2700	2700	2700	3500
喉口深度/mm	400	400	400	500
滑块行程/mm	170	170	170	200
工作台高度/mm	800	800	800	800
装模高度/mm	600	600	600	600
主电动机功率/kW	5.5	11	18.5	22.5
补偿油缸数量	3	3	3	4
控制轴数	3 + 2	3 + 2	3 + 2	3 + 2
后挡尺 X 轴行程/mm	500	500	500	500
后挡尺 X 轴速度/(mm/s)	200	200	200	200

(2) 数控折弯机的挠度补偿功能 在折弯过程中尤其是长件折弯, 由于折弯机在长度方向刚性不足和液压缸布置等原因, 滑块产生变形, 导致中间部位和两端折弯角度不同。为此, 折弯机上带有挠度补偿装置, 在折弯时进行补偿 (图 3-117)。

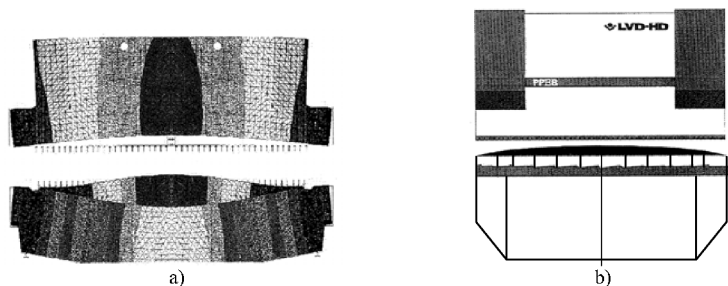


图 3-117 折弯机挠度补偿图

a) 工作台变形 b) 挠度补偿

5. 折弯成形模具

(1) 折弯机模具结构 折弯机模具有通用和专用之分。专用模具是针对一些特殊件设计的模具。大部分折弯使用通用模具。模具结构如图 3-118 所示。折弯机模具设计的关键三要素为：模具夹持部分的结构尺寸（与设备有关）、上模形状和工作部分的角度、下模 V 形槽宽度尺寸和角度。

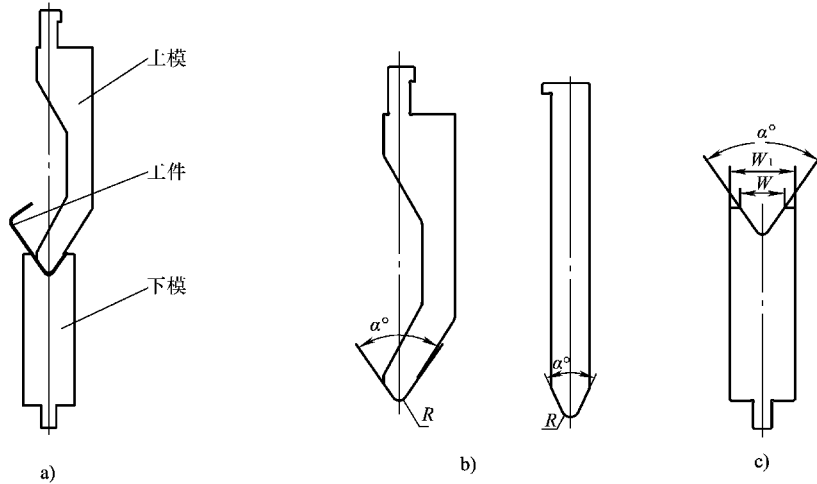


图 3-118 折弯机模具

a) 折弯模具工作状态 b) 上模结构 c) 下模结构

1) 折弯上模如图 3-118b 所示，工作部分的圆角半径根据折弯工件需求设计，角度根据材料回弹和进入凹模深度的要求设计。上模断面形状有直型和弯型。

2) 折弯下模如图 3-118c 所示，工作部分尺寸 W 按照板厚和圆角半径的需求设计，角度根据材料回弹和与上模配合的要求设计，上模和下模的角度相同。

折弯模具的角度和 V 形槽宽度一般有标准数据，碳钢和铝合金材料一般按 84° 设计，不锈钢材料因回弹较大一般小于 75° 。下模 V 形槽宽度一般按 8 倍板厚选取。

折弯机配备专用模具后可成形一些特殊形状的工作件。

(2) 折弯机模具材料 折弯机模具材料一般用 70 钢、42CrMo、T10、Cr12MoV，热处理硬度在 50HRC 以上。

6. 折弯质量要素

断面尺寸精度是折弯件的主要精度指标之一，影响断面尺寸精度的因素很多，主要包括折弯模具、坯料精度、折弯顺序、定位方式等方面。

(1) 折弯模具 折弯件的展开尺寸是唯一的，必须正确选择折弯模具（上模、下模），才能保证折弯尺寸精度，否则将不能保证折弯精度要求。

(2) 坯料精度 坯料主要来自于剪切、切割下料，或模具冲裁、转塔冲床下料等，不同的下料方式达到的坯料精度也不相同，应根据折弯件的精度要求采取相应的下料工艺，只有这样才能满足折弯精度的需求。除坯料尺寸精度外，坯料的状态如毛刺、旁弯、不平度等，也将直接影响折弯件的精度。

(3) 折弯顺序 在进行复杂形状折弯时，必须选择合理的折弯顺序，才能完成折弯成

形，同时又确保尺寸公差要求。

(4) 定位方式 定位分前定位、侧定位两种。为保证折弯精度，最好保证折弯机每米有1个前定位。部分折弯件还需要使用侧定位，以提高定位的准确性。

7. 折弯成形件生产实例

(1) 外板补强梁折弯成形 图3-119为外板补强梁工件图，材料为0.8mm厚的SUS301L-HT不锈钢板。

从图中可以看出，该折弯件尺寸精度要求高，弯曲次数多。如果折弯顺序不合理，工件将有可能在折弯过程中与模具干涉，不能保证精度要求。

方案1：激光切割→校平→折弯→压形。折弯顺序采用图3-120所示方案。在实际生产中满足了使用要求。这是由于激光切割下料精度高，累计误差小，折弯中可实现多点定位。

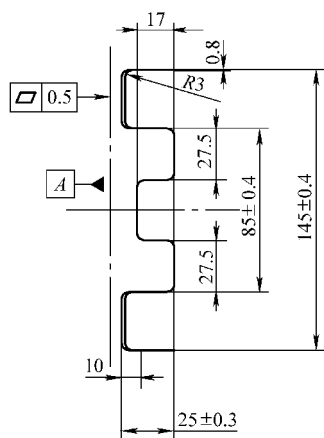


图3-119 外板补强梁工件断面图

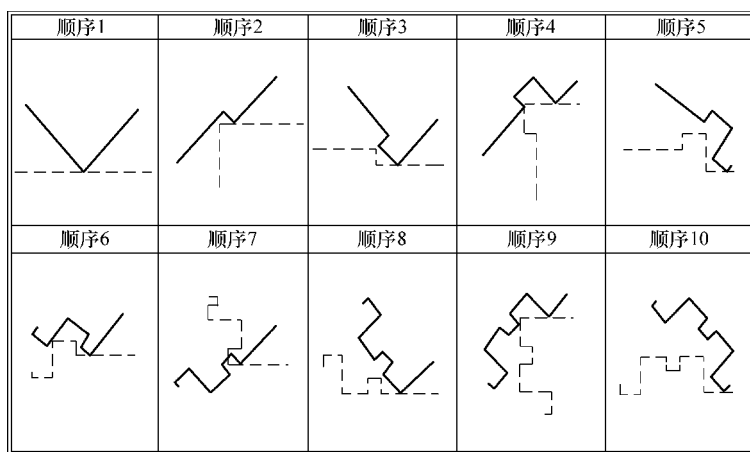


图3-120 外板补强折弯顺序图

方案2：剪切下料→冲孔→校平→折弯→压形。由于剪切下料精度差，多点定位将影响中间几道弯的折弯尺寸。此时不能用多点定位，只能用一个基点定位。以外板补强梁为例，要先折最外侧的两道弯，通过数控折弯机的定位精度，把下料误差转移到没有精度要求的最外侧立边上，之后再行内部八道弯的折弯。

(2) 帽形弯梁折弯成形 图3-121为侧立柱拉弯毛坯断面图，工件长度为3500mm，材料为1mm厚的SUS301L-HT不锈钢板。该件的断面尺寸精度要求高，要为后续拉弯工序质量提供保障。

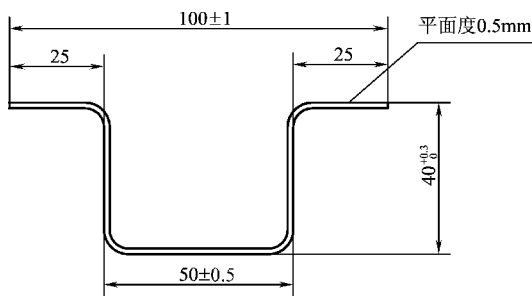


图3-121 侧立柱拉弯毛坯图

根据断面尺寸中需要保证的公差级别要求，进行折弯顺序设计，如图3-122所示。

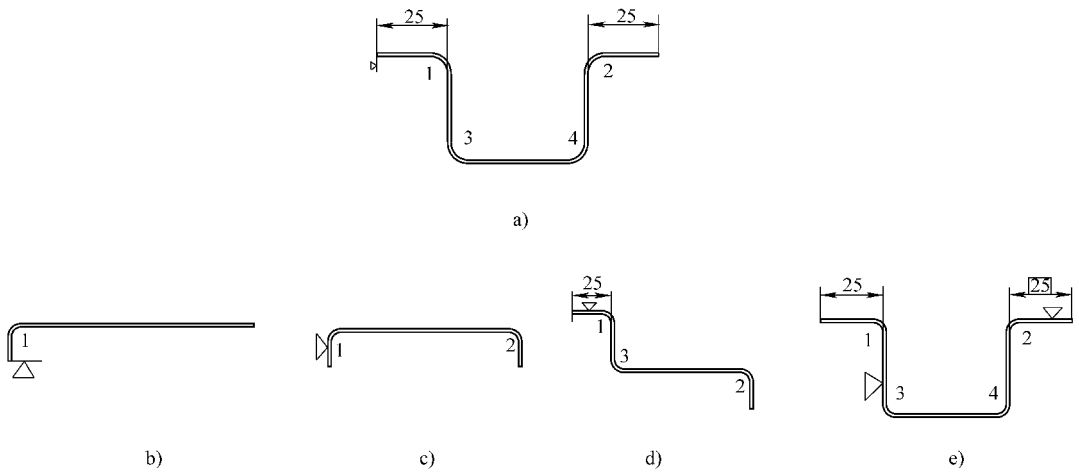


图 3-122 折弯顺序及过程

由于该件较长，折弯时容易产生旁弯，此问题客观存在，不可避免，为此从第二道弯开始，要以三点定位进行折弯（图 3-123）。即定位面三点强制形成直线定位后折弯。

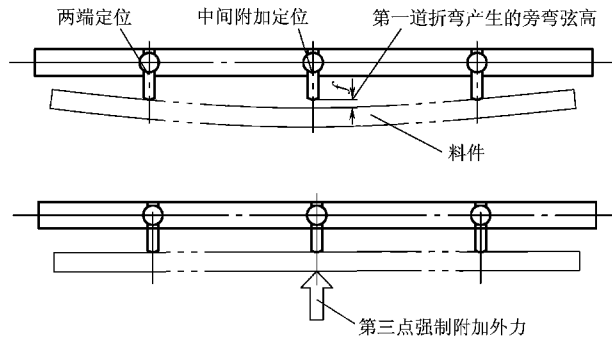


图 3-123 侧立柱三点定位折弯图

(3) 拐铁折弯成形 图 3-124 所示为拐铁零件图，材料为 3mm 厚的耐候钢，是简单折弯件，但弯曲线位置两侧不对称。由于折弯是自由弯曲过程，在离心力作用下弯曲线会出现偏离，导致零件不合格。为此，采取增加工艺补充料的解决方案，如图 3-125 所示。折弯后将补充料切除。

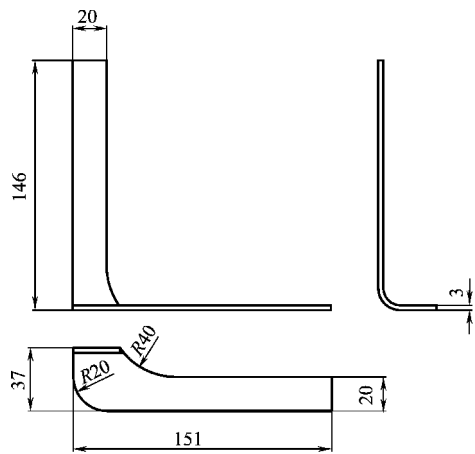


图 3-124 拐铁零件图

(4) 转向架下盖板折弯成形 图 3-126 所示为转向架下盖板，材料为 12mm 厚的 S355J2G3 钢板。此条件一般采用模具一次成形，若工件尺寸不大人工能抬动时，用折弯机成形更容易保证尺寸精度。

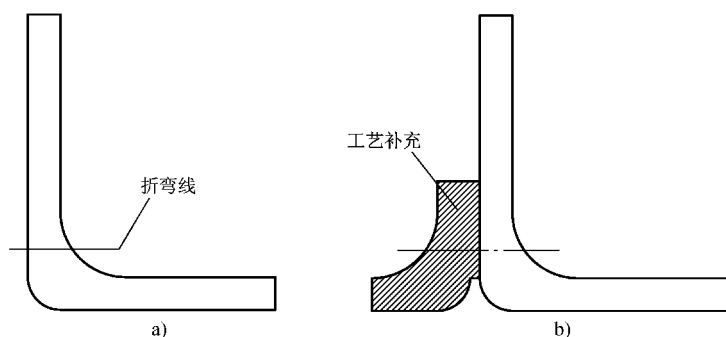


图 3-125 拐铁展开图

a) 弯曲线两侧不对称 b) 工艺补充料使之对称

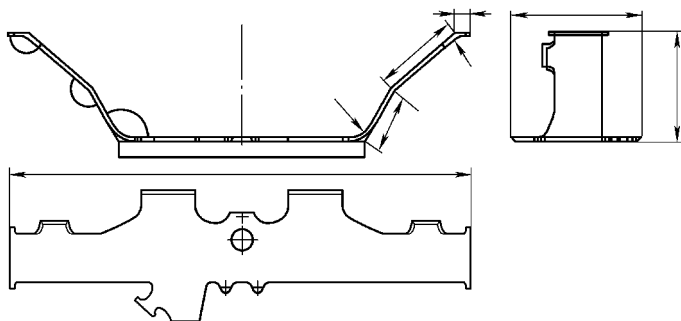


图 3-126 下盖板零件图

该件制作工艺流程：钢板表面喷砂除锈→激光切割下料→打磨毛刺→加工坡口→折弯成形。

图 3-127 所示为折弯过程图，折弯时定位点在两端。定位方式、折弯顺序和折弯模具是三个主要因素。

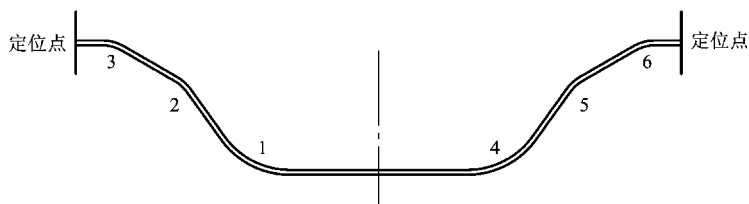


图 3-127 下盖板折弯过程图

1) 定位方式：下盖板属细长类件，折弯时必须采用后定位和侧定位组合定位方式，后定位必须在水平面上，才能保证工件折弯后的直线度。

2) 折弯顺序：考虑到操作方便及定位准确，从中间向两侧进行折弯。折弯顺序为里侧 $R100 \rightarrow R50 \rightarrow$ 外侧 $R100$ 。坯料用激光切割下料，尺寸精度较高，分别用两端定位，累计误差较小。

3) 折弯模具：折弯成形的回弹量通过控制折弯机滑块行程来保证，模具上没有采取控制回弹措施。模具结构如图 3-128 所示。

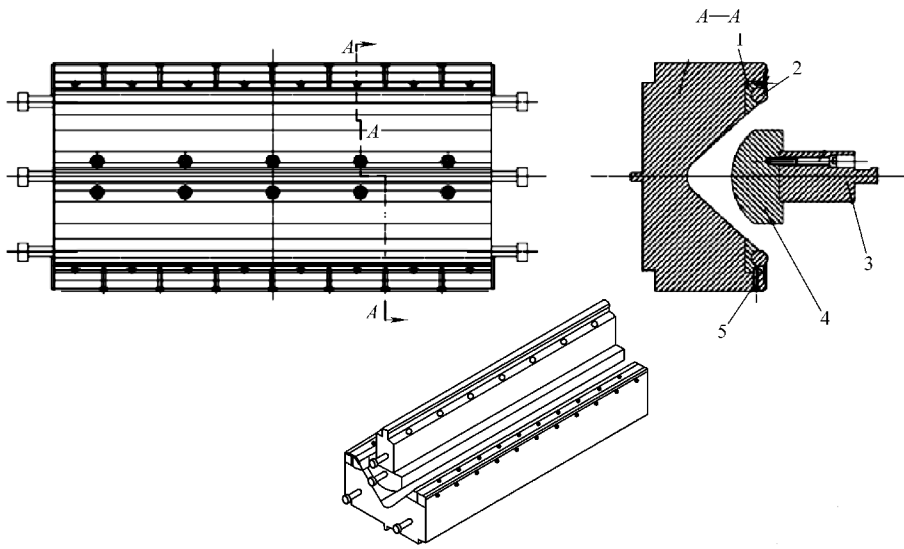


图 3-128 下盖板折弯模具图

1—压柱座 2—闸胎柱 3—上闸胎座 4—上闸胎 5—下闸胎

3.9.8 拉弯成形技术

1. 拉弯成形原理

拉弯成形是一定形状的挤压型材或板弯型材，在专用设备和模具上弯曲成形，同时在毛坯料上施加轴向拉力和弯矩的成形方法。图 3-129 为拉弯成形状态下的应力分布示意图。

2. 轨道客车拉弯件类型

(1) 从曲率变化上 分为单曲率和多曲率拉弯成形件，如图 3-130 所示。

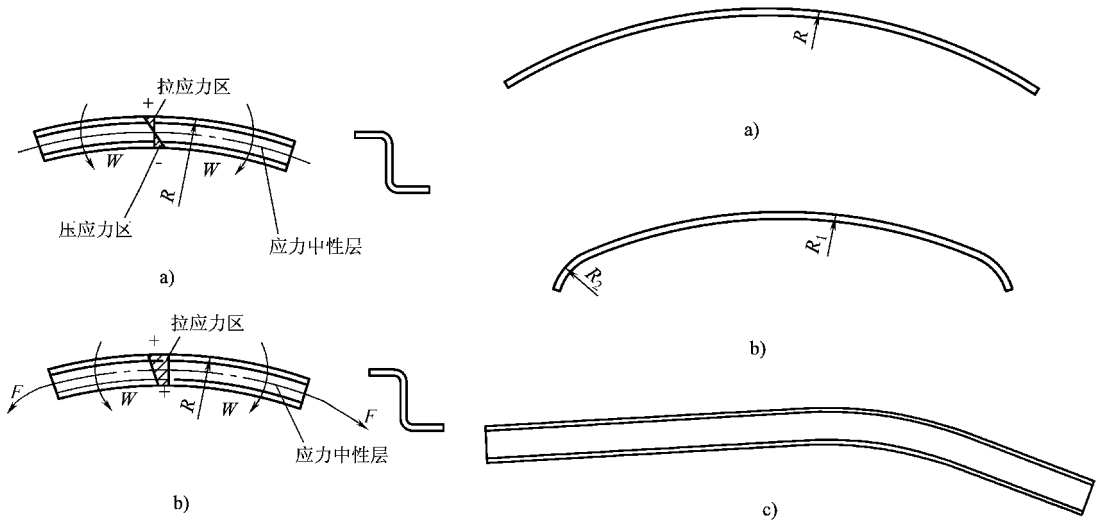


图 3-129 拉弯成形状态下的应力分布

a) 纯弯曲 b) 拉弯

图 3-130 曲率半径及对称性分类

a) 单曲率拉弯件 b) 多曲率拉弯件 c) 非对称立柱类拉弯件

(2) 从成形断面上 分为对称和非对称拉弯件，如图 3-131 所示。

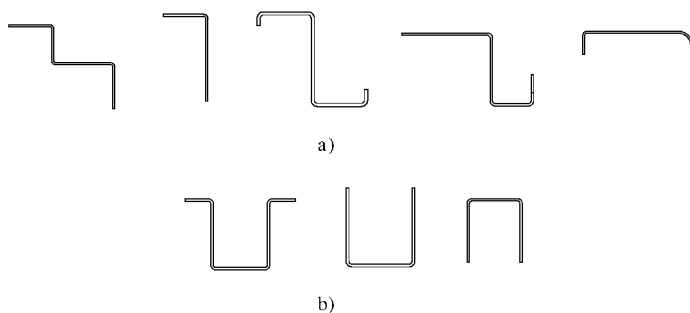


图 3-131 按断面形状分类

a) 非对称断面 b) 对称断面

(3) 从型材状态上 分为板弯型材、挤压型材和热轧型材拉弯成形件。

(4) 从材料品种上 分为不锈钢拉弯件、碳钢拉弯件、铝合金拉弯件。

3. 拉弯成形设备

轨道客车用拉弯成形设备为张臂式拉弯机，分卧式、立式两类，均为液压传动。立式拉弯机机型较老，其液压传动为普通开关型控制。卧式数控拉弯机采用现代电液比例控制技术，拉弯过程可实现力学模式和位移模式控制。

(1) 卧式拉弯机 图 3-132 为美国 CYRIL BATH 公司生产的卧式数控拉弯机，表 3-100 为卧式拉弯机技术参数。

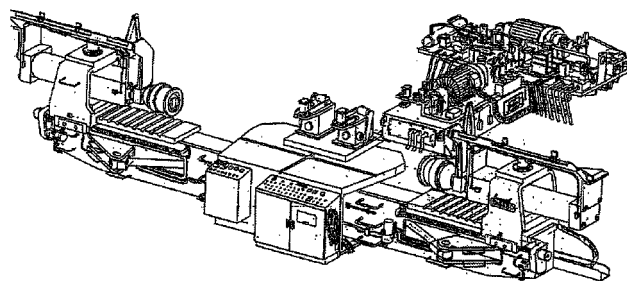


图 3-132 卧式数控拉弯机

表 3-100 卧式拉弯机技术参数

序号	设备参数	
1	机床拉伸缸最大拉力	750kN
2	机床拉伸缸最小拉力	50kN
3	夹头旋转	$\pm 180^\circ$ (手工调节)
4	夹头最大间距	7000mm
5	夹头最小距离	1000mm
6	拉伸缸拉力可调(无级)	50 ~ 750kN
7	拉伸缸行程(单个)	762mm
8	拉伸缸速度	最大 762mm/min
9	拉伸缸摆角	$\pm 28^\circ$
10	摇臂回转摆角	$+10^\circ \sim -90^\circ$
11	成形速度范围	0.5°/s ~ 3°/s
12	返回速度	3°/s
13	夹钳内径	$\phi 250\text{mm}$

卧式数控拉弯机有以下功能：

- 1) 拉弯过程可以实现力学控制模式和位移控制模式。
- 2) 位移模式通过编程可以控制拉伸过程中每个位置点的变形量。
- 3) 两个转臂的回转弯矩由两个不同的液压缸来实现，通过编程，可控制两臂实现不同回转角度拉弯和单臂拉弯。
- 4) 模具设计可借助拉弯机的计算机数值模拟功能，也可依靠实践经验。

(2) 立式拉弯机

图 3-133 为立式拉弯机，由长沙重型机器厂生产。表 3-101 为立式拉弯机技术参数。

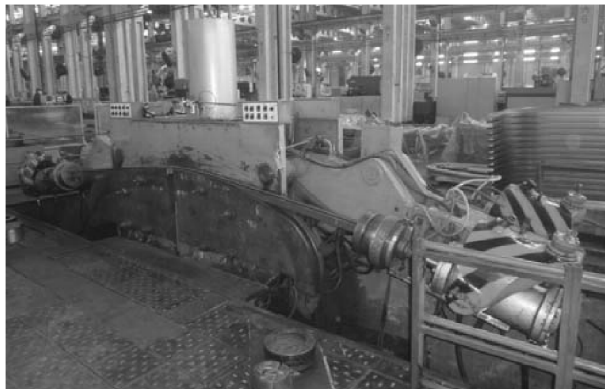


图 3-133 立式拉弯机

表 3-101 立式拉弯机技术参数

序号	设备参数	
1	机床拉伸缸最大拉力	400kN
2	机床拉伸缸最小拉力	0
3	夹头旋转	$\pm 180^\circ$ (手工调节)
4	夹头最大距离	4500mm
5	夹头最小距离	2700mm
6	拉伸缸拉力可调	0 ~ 400kN
7	拉伸缸行程	200mm
8	拉伸缸速度	最大 762mm/min
9	拉伸缸摆角	$\pm 28^\circ$
10	摇臂摆角	$0^\circ \sim -90^\circ$
11	成形速度范围	0 ~ 3°/s
12	返回速度	3°/s
13	夹钳内径	$\phi 180\text{mm}$

立式拉弯机在拉弯过程中其弯矩和拉伸力不变，两臂回转靠一个中间主液压缸来驱动，只能拉弯左右对称件。因此在拉弯工艺设计时，要先把左右非对称件补充为对称件。

4. 拉弯成形工艺

(1) 拉弯过程 拉弯过程分为三个阶段：上料夹紧施加预拉力→拉弯成形→补拉定形(图 3-134)。

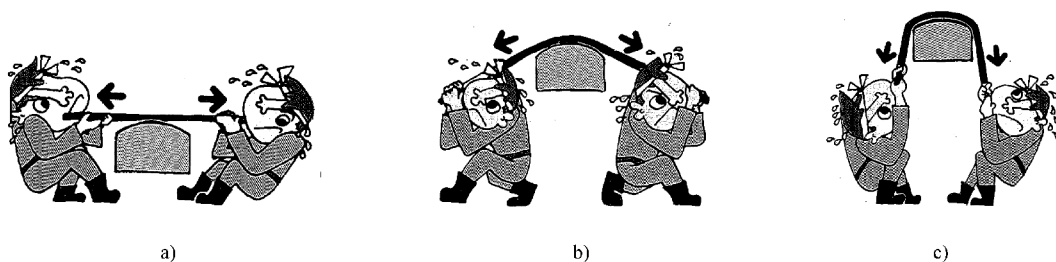


图 3-134 拉弯过程

a) 预拉 b) 拉弯成形 c) 补拉定形

1) 预拉阶段：是通过拉伸方式对拉弯型材进行校直，使型材顺利地进入模具。拉伸量一般为 0.5% ~ 3% 左右。铝件一般取 0.2% ~ 1%，碳钢和不锈钢等易起皱的薄件，预拉伸量需加大到 2% ~ 3%。预拉力可按式计算：

$$P_A = S \cdot R_{eL} \quad (3-37)$$

式中 R_{eL} ——材料屈服强度，对铝合金而言 R_{eL} 取 $\sigma_{0.2}$ ；

S ——型材截面积。

2) 拉弯成形阶段：是成型的主要阶段，对型材同时施加轴向力和弯矩使之弯曲成形。

3) 补拉定形：目的是增加定形，减少回弹变形。补拉量一般为 1%，补拉定形力为

$$P_B \approx (0.7 - 0.9) R_{eL} \cdot S \quad (3-38)$$

式中 R_{eL} ——材料下屈服强度；

S ——型材截面积。

(2) 拉弯过程中的断面收缩 由于施加了轴向拉力，材料要伸长，断面尺寸会变小，而拉弯过程中毛坯与模具逐渐接触，接触后产生摩擦，导致毛坯在整个长度上变形量不均，这是拉弯成形最不利的一面，在模具设计时要在模具上对此进行补偿。

影响断面收缩因素：

1) 变形量越大，断面收缩变形越大；

2) 模具粗糙度越低，摩擦力越大，与模具越后接触的断面部分收缩变形越大。

(3) 坯料长度的确定 图 3-135 为拉弯件毛坯长度示意图。

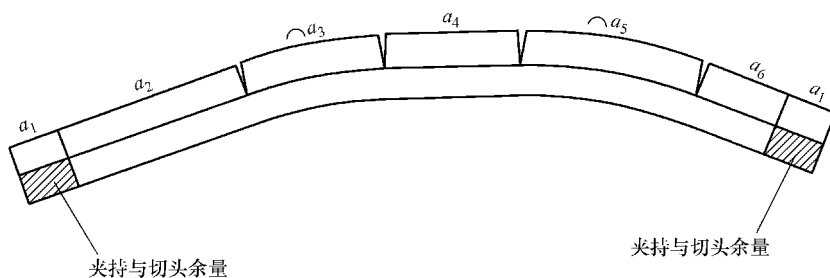


图 3-135 拉弯件毛坯长度

拉弯件毛坯长度可按外弧弧长来计算。生产中，毛坯长度的计算公式为：

$$L = 2a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 + r \quad (3-39)$$

式中 a_1 ——夹持余量（常取 100mm）和模具夹头间的距离（常取 50 ~ 100mm）之和；
 a_2 、 a_3 、 a_4 、 a_5 、 a_6 ——零件弧长；
 r ——模具端头圆角半径。

5. 拉弯成形模具设计

拉弯成形模具由两部分组成：第一部分是成形用的主体部分，此部分为零件成形的主要部分。第二部分是用于施加拉伸力的夹头部分。模具设计主要是指主体成形部分的设计。

拉弯成形模具设计的主要关注点是回弹量计算和断面收缩量计算。而这方面现在没有准确的计算方法。大部分情况下靠经验和类比法进行设计。

(1) 变形量的初步估算 主要根据拉弯件外弧变形量是否超过拉弯材料的伸长率来进行计算（图 3-136）。

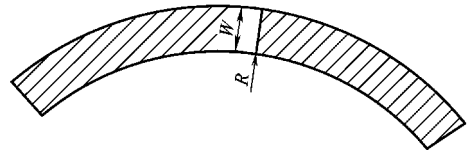


图 3-136 拉弯件外弧变形量

拉弯成形的变形量主要以外弧变形量为主，总伸长率计算公式为：

$$\delta_{\text{总}} = \delta_1 + W/R \tag{3-40}$$

式中 δ_1 ——拉弯时内弧侧的变形量；
 W ——拉弯型材断面高度尺寸；
 R ——拉弯件内弧半径。

拉弯成形要求总伸长率不能大于材料的最大伸长率。拉弯成形最理想的状态是 δ_1 尽可能接近于零。但是实际上做不到，一般要控制在 10% 左右。

(2) 回弹量计算 如图 3-137 所示的车顶弯梁类型的拉弯件，作为大圆弧半径部分回弹量的计算，一般情况下按以下系数计算，然后根据实际调试情况进行修正。

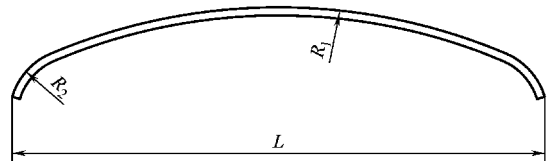


图 3-137 车顶弯梁类型的拉弯件

$$R = (0.95 \sim 0.98) R_1 \tag{3-41}$$

图中 R_2 部分圆弧半径较小，回弹较小。所以一般在 $R_2 < 500$ 时不给或给出很小的回弹量，并且在首次试模后给出。

(3) 断面收缩量计算 拉弯件收缩量的计算公式根据体积不变条件得出。

$$b = b_0 e^{-r \ln \frac{L}{L_0}} \tag{3-42}$$

$$t = t_0 e^{-r \ln \frac{L}{L_0}} \tag{3-43}$$

式中 b_0 、 b ——变形前后零件剖面高度；
 t_0 、 t ——变形前后零件厚度；
 L_0 、 L ——变形前后零件长度；
 r ——该材料的厚向异性指数（2A12 取 0.64）；
 e ——自然对数指数。

由于拉弯模具的加工精度和表面粗糙度等原因，以上公式计算值效果不理想，所以需根据以往相似工件的经验值进行估算，在首次调试后再作进一步的调整。单曲率成形零件的收缩量小，基本上在 1mm 以内，多曲率零件收缩量大，并且两侧端部圆弧半径越小，断面收

缩量越大。

(4) 纵向收缩量的计算 车顶弯梁拉弯成形件的跨距尺寸 L (图 3-131), 因工件成形后产生一定量的沿弧长方向收缩, 导致 L 尺寸减小, 必须进行补偿。一般情况下收缩量为 2~4mm。可以把模具设计成分块结构, 根据拉弯件调试时的实际收缩量, 调整分块处的间隙进行补偿。

(5) 拉弯成形模具设计 拉弯模具安装尺寸根据设备情况已经固定, 根据相关工艺计算及工件图进行设计。拉弯模的剖面形状应符合型材的剖面特点。

(6) 拉弯模具材料 拉弯模具一般受力不大, 主要是零件之间产生摩擦, 造成磨损。主体一般用 Q235 和 45 钢制造。车顶弯梁等零件小圆弧处磨损较大, 局部用 Cr12MoV 淬火材料镶块, 硬度为 58~62HRC 之间。

(7) 模具工作表面粗糙度数值不大于 $Ra3.2\mu\text{m}$, 拉弯模的有效工作长度应比零件切割长度每侧再增加 50mm, 两端头圆角半径 R 不宜小于 20mm, 大型模具应装起吊环。

6. 拉弯成形的计算机模拟

拉弯成形过程可以进行计算机模拟, 从而得到拉弯的回弹信息、断面收缩信息, 最终形成模具工作部分的数值模型, 直接生成模具图。

目前可以用于拉弯成形模拟的软件很多, 如 Dynaform、Pam - Stamp、Marc、Abas 等。但都是基于有限元法, 存在着计算耗时过长、拉弯边界条件施加困难等问题。PS2F 软件和这些有限元软件不同, 是一种基于解析算法专用于拉弯成形工艺模拟的软件, 具有拉弯工艺模拟优化、模具设计、坯料计算和自动生成拉弯成形控制程序四大功能。

7. 典型拉弯件生产实例

(1) 车顶弯梁拉弯成形 图 3-138 所示为铁路客车车顶弯梁, 材料为耐候钢板 2 - 05CuPCrNi。零件要求外弧样板检测间隙不大于 1mm, 断面每处两翼面平度小于等于 0.5mm, 帽形断面没有明显畸变。

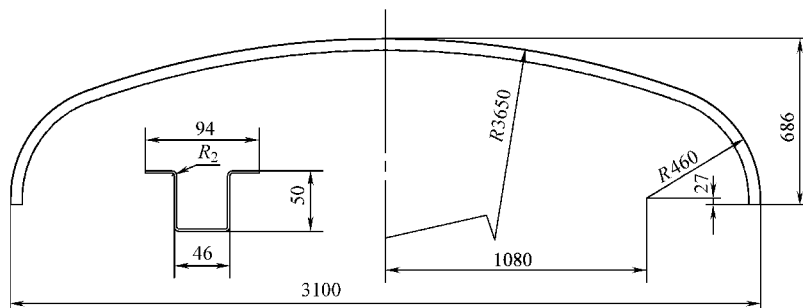


图 3-138 车顶弯梁

零件加工工艺过程为: 剪切下料→校平→折弯成形→拉弯成形→外形调修→无齿锯切头。本工序为拉弯成形工序。

选用立式拉弯设备, 工作图设计和模具设计都依靠经验法。该设备模具结构是对称的两块式结构, 跨距可以进行调整, 所以工艺设计时不考虑弧长方向的线性收缩。该设备由于结构所限只能进行车顶弯梁类对称件的拉弯成形。

1) 回弹量的计算: 根据耐候钢材料, 大曲率部分的回弹量按 0.98 系数给出, $R = 3577\text{mm}$, 小曲率部分 $R460\text{mm}$ 初步按 $R450\text{mm}$ 设计。

2) 拉弯收缩量的计算：根据相似零件拉弯成形经验，拉弯最大收缩量为 3~4mm，并且从中间开始向两端逐渐收缩。大曲率半径部分从中间到切点处给 1mm 的收缩量，零件中间为零点，向两侧延伸至切点处为 1mm。小弧处则继续延伸至端头，收缩 3mm。

3) 模具结构 (图 3-139)：

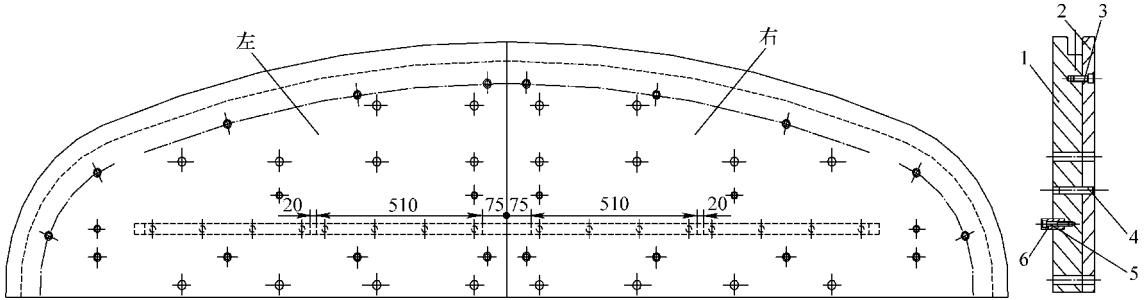


图 3-139 车顶弯梁拉弯胎

(2) 不锈钢车顶弯梁拉弯成形 图 3-140 是不锈钢地铁车车顶弯梁，材料为 1.5mm 厚的 SUS301L-ST 不锈钢板。材料的最小伸长率为 36%，满足拉弯成形要求。选用设备为 V75 数控拉弯机。

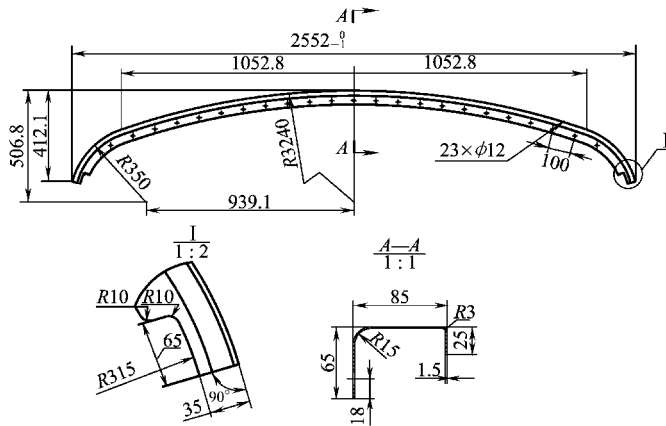


图 3-140 车顶弯梁

零件制作工艺过程为：剪切下料→校平→折弯成形→拉弯成形→调修→无齿锯切头→端头割形。本工序为拉弯成形工序。

整个拉弯过程用 PS2F 软件进行模拟分析。

拉弯成形模拟：用 PS2F 软件进行成形模拟，材料性能见表 3-102。

表 3-102 材料性能表

牌号	SUS301L-ST	板厚	1.5mm
$R_{p0.2}$	520.2MPa	r	1.086
R_m	881.027MPa	A	1501.971MPa
E	191.043GPa	m	0.3365
μ	0.33	$e_{s0.5}$	0.424
β_m	0.745		

(1) 验证是否起皱和断裂 (图 3-141)

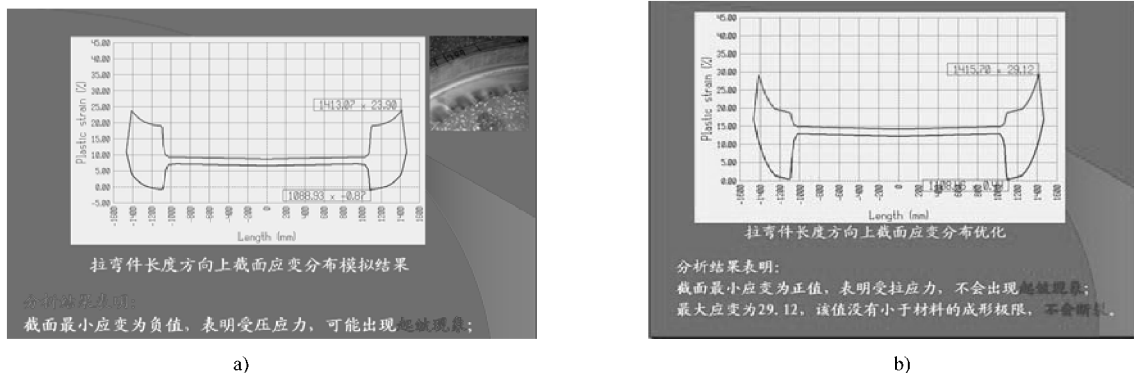


图 3-141 验证起皱和断裂

a) 首次模拟结果：产生起皱 b) 调整参数，重新模拟，都处于正应变状态，不产生起皱。
并且最大伸长率为 29.12%，小于材料的最小伸长率 36%，不产生断裂

(2) 模拟断面收缩量 (图 3-142)

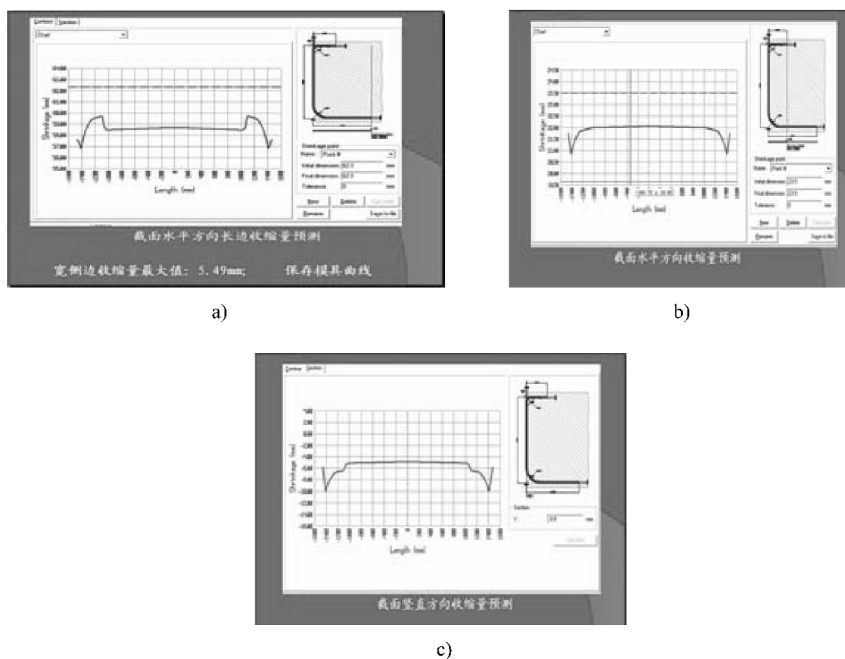


图 3-142 模拟断面收缩量

a) 尺寸 62.5 的收缩量 b) 尺寸 23.5 的收缩量 c) 尺寸 85 的收缩量

(3) 预测拉伸量、弯曲角度、补拉量、毛坯料长度 (图 3-143)

拉伸毛坯长度为：3135.58mm。

(4) 拉弯胎数值模型 (图 3-144)

(5) 拉弯成形过程中弯曲角度与拉力的关系 (图 3-145)

(6) 拉弯胎模型 (图 3-146)

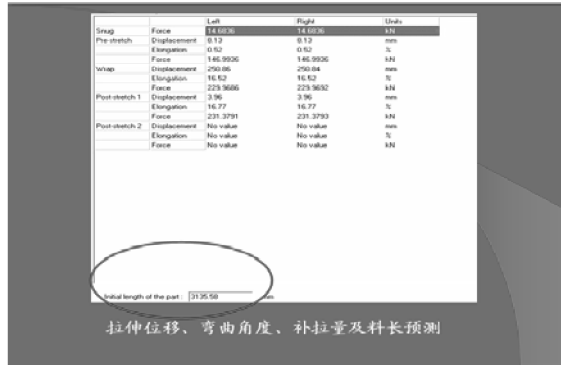


图 3-143 预测拉伸量、弯曲角度、补拉量、坯料长度

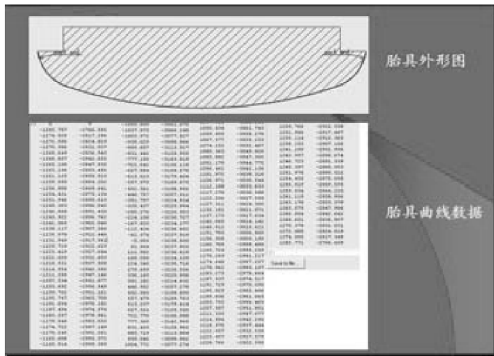


图 3-144 拉弯胎数值模型

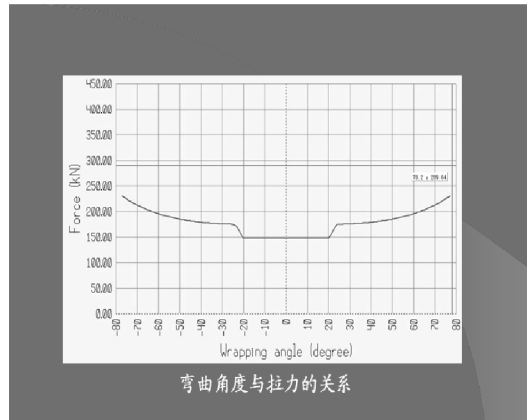


图 3-145 拉弯角度与拉力之间关系

初次模具图设计虽借助了数值模拟得出的结果，但是还需要作两个方面的修正：①总跨度尺寸 2552mm，需要加大 3mm；②小弧处的半径需要给出回弹量：R350mm 按 R345mm 设计。

最终模具制造完后进行调试，再做修正。

3.9.9 震锤成形技术

1. 震锤成形工艺概述

震锤成形（图 3-147）是利用震锤机的特殊模具和高速锤击，通过人工操作，可对板材或型材进行挤压、拉伸、拱顶、压平、整形，或使之展平、伸直等，逐步地得到预期的零件形状。震锤成形不产生切削和热量，成形稳定，无需专用模具，制造成本低，使用方便灵活，尤其适合多品种、小批量、人工化的冲压生产，在轨道客车冲压件制造中有所应用。

2. 震锤成形件的类型

分为型材弯曲类、平板起伏类、平板调平调直类、型材调直类。

3. 震锤成形工艺

震锤成形有挤压、拉伸、拱顶、展平、突起、改形、拉直、卷曲和校正等多种工艺方

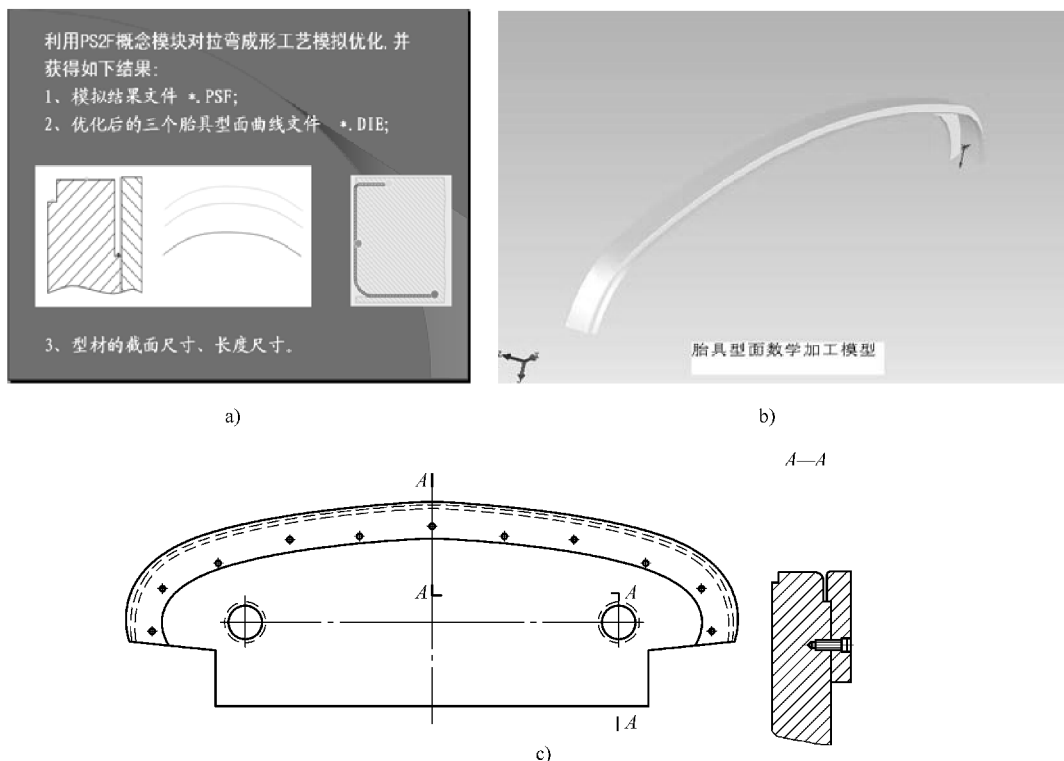


图 3-146 拉弯胎数值模型及模具图

a) 胎具三个型面模型 b) 胎具加工数字模型 c) 模具图



图 3-147 震锤成形

式, 通过不同的模具结构和模具动作得以实现。图 3-148 为与工艺方式相关的震锤模具的动作类型符号, 表 3-103 为常用震锤模具的结构示意图。

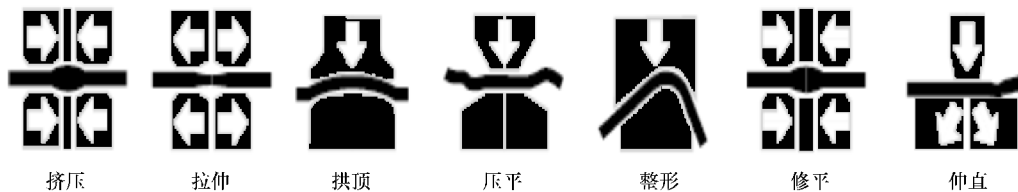

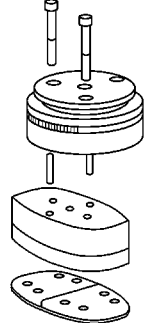



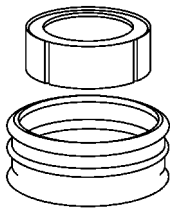

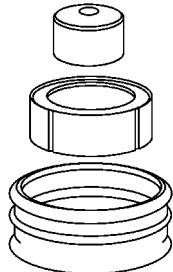
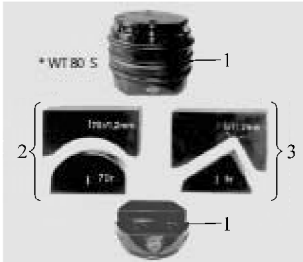
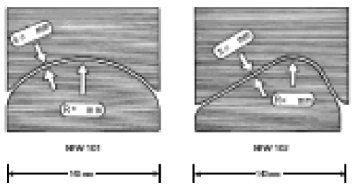


图 3-148 震锤模具的动作类型

表 3-103 常用震锤模具结构示意图

 <p>挤压类模具</p>		
 <p>拉伸类模具</p>		
 <p>挤压类模具</p>		
 <p>拉伸类模具</p>		

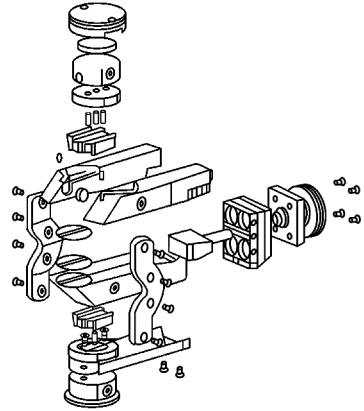
(续)

 <p>中心挤压类模具</p>		
 <p>压平类模具</p>		
 <p>拱顶类模具</p>		
 <p>整形类模具</p>		

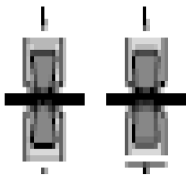
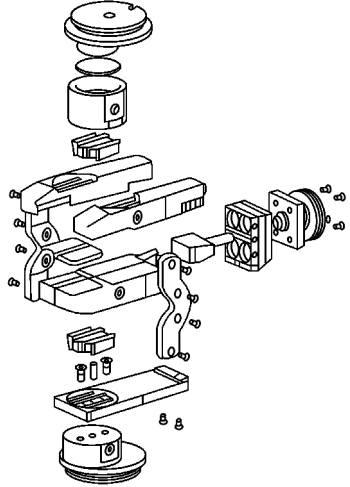
(续)



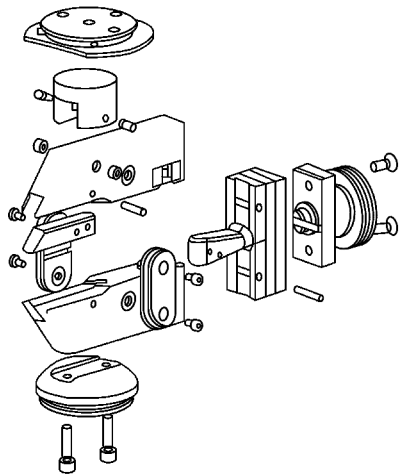
鸭嘴型收缩类模具



鸭嘴型延展类模具



压筋类模具



4. 震锤成形设备

图 3-149 所示为 KF665 型震锤机外形图，其技术参数见表 3-104，加工板材厚度见表 3-105。

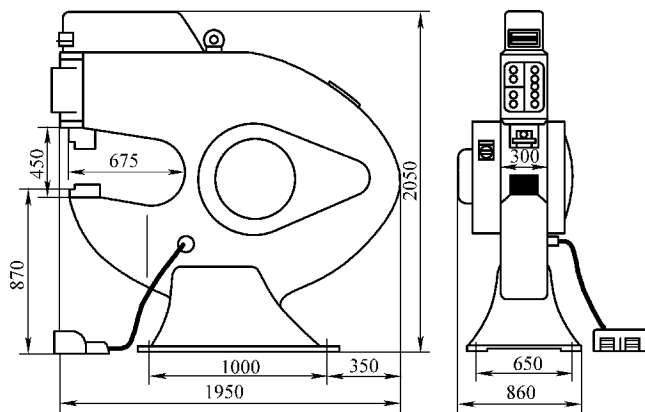


图 3-149 震锤机外形图

表 3-104 KF665 型震锤机技术参数

喉口，水平方向（至刀架前沿）	675mm
喉口，垂直方向	455mm
由齿轮电动机调控的冲头调节区	80mm
冲头可调范围	0 ~ 80mm
冲头工作行程	8mm
噪声级（空转）150r/min, 300r/min, 600r/min	70dB (A)
	600r/min 时 75.9dB (A)
长 × 宽 × 高	1950mm × 860mm × 2050mm
质量（净重）	约 2150kg

表 3-105 KF665 型震锤机加工板材厚度

低碳钢材料（屈服强度 400MPa 以内）	≤6.0mm
不锈钢材料（屈服强度 600MPa 以内）	≤4.0mm
铝合金材料（屈服强度 250MPa 以内）	≤8.0mm

5. 震锤成形典型实例

(1) 蒙皮成形 图 3-150 所示为铁路客车流线型车头蒙皮，材料为 4mm 厚铝合金板或 2mm 厚耐候钢板，内部为板梁焊接而成的骨架。蒙皮按图 3-150a 所示分片成形后拼焊连接，图 3-150b 为分片的铝合金蒙皮实物图片。

1) 蒙皮成形工艺分析。流线型车头蒙皮均采用三维空间结构，难度有两点：一是如何成形，二是如何检测。

采用模具分别压形，可以制造出来，但每块形状不同，需要的模具数量多，成本过高。采用震锤成形法就需要解决检测问题。空间结构蒙皮的检测采用三维木模检测方法。

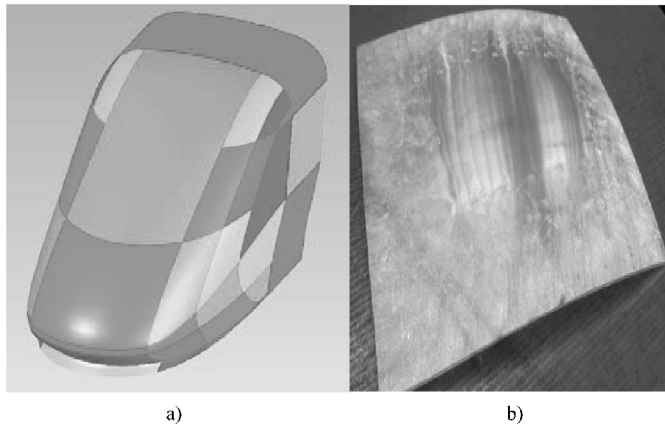


图 3-150 铁路客车流线型车头蒙皮
a) 蒙皮分片示意图 b) 铝合金蒙皮实物图片

2) 蒙皮成形工艺。

① 蒙皮下料：根据检测木模大约给出下料形状尺寸，周边要留一定的修边量。

② 预成形：对曲率半径小的蒙皮直接采用震锤成形，对成形深度大的工件需要多次反复的变形，生产效率低。为了提高成形速度，实际生产中采用预成形工艺，即将毛坯板材采用滚弯或折弯方法先在一个方向上预制成形，然后再使用震锤成形，以提高蒙皮成形速度。

③ 震锤成形：蒙皮成形属三维成形，需通过震锤提供的挤压、拉伸、拱顶、展平、突起、改形、拉直、卷曲和校正等组合工艺方式，才能完成蒙皮成形。

④ 检测、划线：蒙皮成形过程中伴随着检测，根据每次检测的情况，确定下一步成形的模具及行程大小，当完成成形的 90% 之后，借助靠模划出轮廓线，划线需要留出一定的加工余量。

⑤ 预修边：将成形蒙皮轮廓线以外的余料去除，留下微量的加工余量。

⑥ 精确成形：对预修边后的工件进行二次整形，同时进一步精确成形，之后进行二次划线。

⑦ 精确修边：按划线将微量余料切除或手工打磨处理。

⑧ 打标识：对最终工件打标识，以便于后续组对焊接。

(2) 车门扣铁成形 图 3-151 为城铁车门扣铁零件，是板弯型材弯曲成形件，属于二维平面弯曲。零件要求断面垂直度 $\leq 0.5\text{mm}$ ，样板检测外轮廓间隙 $\leq 0.5\text{mm}$ 。

成形工艺如下：

① 下料：采用剪切下料，下料尺寸为 $1.5\text{mm} \times 77\text{mm} \times 2000\text{mm}$ ，下料长度原则上两端各留 20 ~ 50mm 的加工余量。

② 校平：剪切下料之后，产生扭曲变形，用校平机进行校平处理，以满足折弯要求。

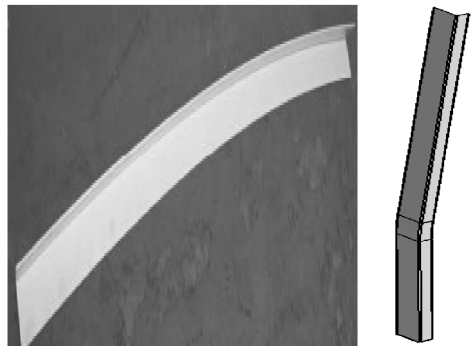


图 3-151 门扣铁工件

③ 折弯：按断面尺寸折弯成形，需保证断面尺寸和折弯角度。

④ 震锤成形：先用样板确定成形区域并划出成形的起点和终点，根据工件的材料、料厚、断面尺寸和成形曲率半径，选择震锤成形模具，成形顺序为先边缘后内侧，成形力度为先轻后重，循序渐进成形，成形过程中需多次使用样板检测，以控制成形精度。

⑤ 划线：用样板对制成的工件进行最终检测，划出工件余量部分。

⑥ 去除余量：用等离子弧切割或无齿锯、机加工等方式，去除划线余量。

⑦ 二次整形：余量切除后，用震锤对制件进行交检前的最终调修。

3.9.10 冷弯成形技术

轨道客车上冷弯型钢的使用量占钢结构质量的 10% ~ 20%。主要零件及形状见表 3-106、表 3-107 所示。

表 3-106 不锈钢地铁车冷弯型钢


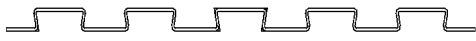









序号	名称	断面形状	材料
1	(底架) 边梁		4 - SUS301L - HT
2	波纹地板		0.6 - SUS301L - MT
3	(车顶) 侧顶板		1.5_ SUS301L - ST
4	(车顶) 下边梁		1.5_ SUS301L - HT
5	波纹顶板		0.6 - SUS301L - MT
6	侧墙上墙板		1.5 - SUS301L - DLT

表 3-107 碳钢铁路客车冷弯型钢

序号	名称	断面形状	材料
1	(侧墙) 纵向梁		2 - 05CuCrNi 2 - 1.4003
2	波纹地板		1.5 - 05CuCrNi 1.5 - 0Cr18Ni9 1.5 - 1.4003
3	(侧墙) 上边梁		2.5 - 05CuCrNi 2.5 - 1.4003

(续)

序号	名称	断面形状	材料
4	(车顶) 侧顶板		2-05CuCrNi 2-1.4003
5	(车顶) 下边梁		2.5-05CuCrNi 2.5-1.4003

1. 冷弯型钢成形原理

辊式冷弯成形是以金属带卷为原料,通过多架型辊机组对坯料逐步弯曲成形,从而得到一定截面形状的长条形零件的塑性成形方法,如图 3-88 所示。在辊式冷弯成形过程中只有弯曲变形。

辊式冷弯成形的优点:结构质量轻、生产效率高、节省材料和能源。利用卷料进行连续生产,特别适合长形大件的制造。

2. 冷弯型钢生产设备

轨道客车冷弯型钢件工艺流程:开卷→校平→辊式冷弯成形→校直→切断→出料。图 3-152 所示为一般用途的冷弯型钢生产线,由开卷机、校平辊、成形机组、校正系统、切断系统和出料台组成。

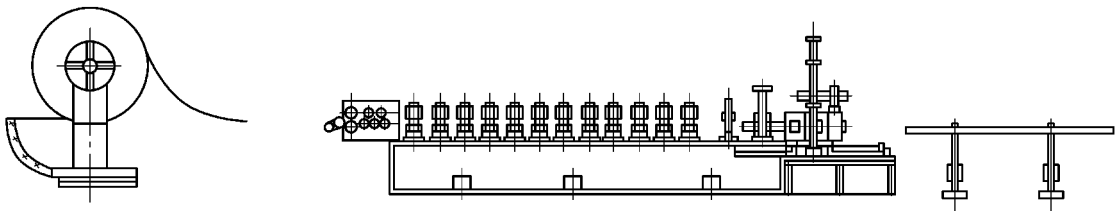


图 3-152 一般用途的冷弯型钢生产线

3. 冷弯型钢成形工艺及模具设计

(1) 成形道次 冷弯成形为多次渐变弯曲的过程,这个多次渐变弯曲就是成形道次。成形道次主要取决于材料性能和工件形状。

(2) 带坯宽度 为工件展开宽度,按比例做出工件断面图,划分为直线段和曲线段,然后沿中性层对各段长度求和。

(3) 辊花图设计 辊花图是平面带坯变为所需断面形状的变形过程示意图。设计辊花图首先要确定成形断面的取向、弯曲次序、弯曲角分配和弯曲方式等。如图 3-153 所示。

(4) 辊形参数设计 由辊花图可以得到成形辊尺寸。对于小尺寸的型材,成形辊应尽可能贴近带坯,但过分接触也会造成擦伤。对每一组成形辊,应从整个变形过程来决定与带坯在何处接触,何处增大压力和尺寸,何处减小成形辊辊径,以使材料自由进入下一道次。

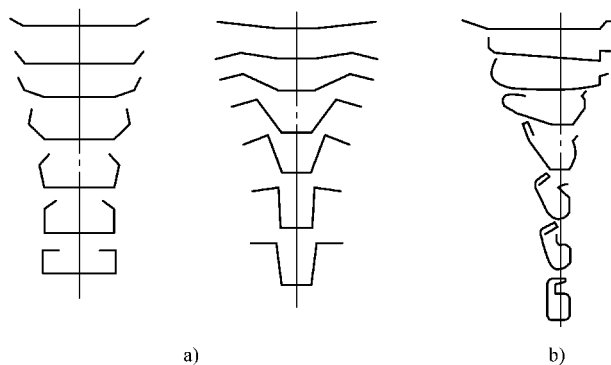


图 3-153 辊花图

a) 对称断面 b) 非对称断面

(5) 成形辊材料 产品批量是决定成形辊材料选取的主要因素，此外还有带坯的难变形性、极小的弯曲半径以及带坯的表面质量等因素。

常用的成形辊材料为：①低碳钢，车削并磨光，未经硬化处理；②灰口铸钢，车削并磨光，未经硬化处理；③低合金工具钢，表面硬度 60~63HRC，有时镀铬；④高碳高铬工具钢，表面硬度 60~63HRC，有时镀铬；⑤青铜，常用铝青铜。

4. 冷弯成形设计软件 COPRA

随着计算机技术的发展，可以用计算机比较准确地模拟出冷弯成形过程，给出合理的成形道次、带坯宽度、辊形设计和成形辊参数。这样可以取代繁琐的人工计算。德国的 copra 软件是现在市场上能较准确地描述成形过程的模拟软件之一。国内生产轨道车辆冷弯型钢的厂家，都在使用 copra 软件，进行工艺设计前的模拟分析。

5. 冷弯成形件生产实例

(1) 不锈钢波纹顶板冷弯成形

图 3-154 所示为不锈钢城铁车波纹顶板，属于宽幅冷弯成形工件。

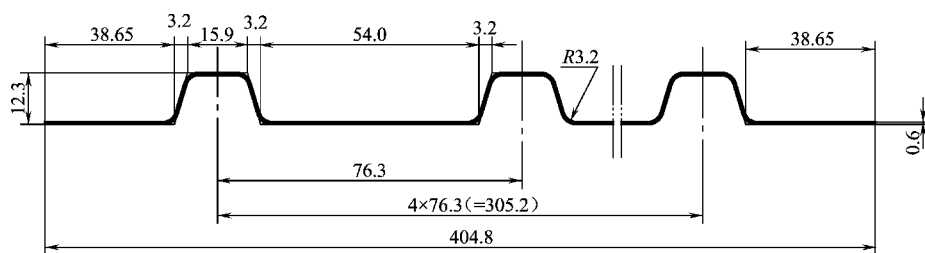


图 3-154 波纹顶板工件断面图

波纹顶板的成形过程为所有波形同时渐进成形，如图 3-155 所示。

(2) 外板补强梁冷弯成形

图 3-119 所示为不锈钢城铁车外板补强梁。

首先进行成形工艺的计算机模拟，使用德国 copra 软件，模拟结果见图 3-156。

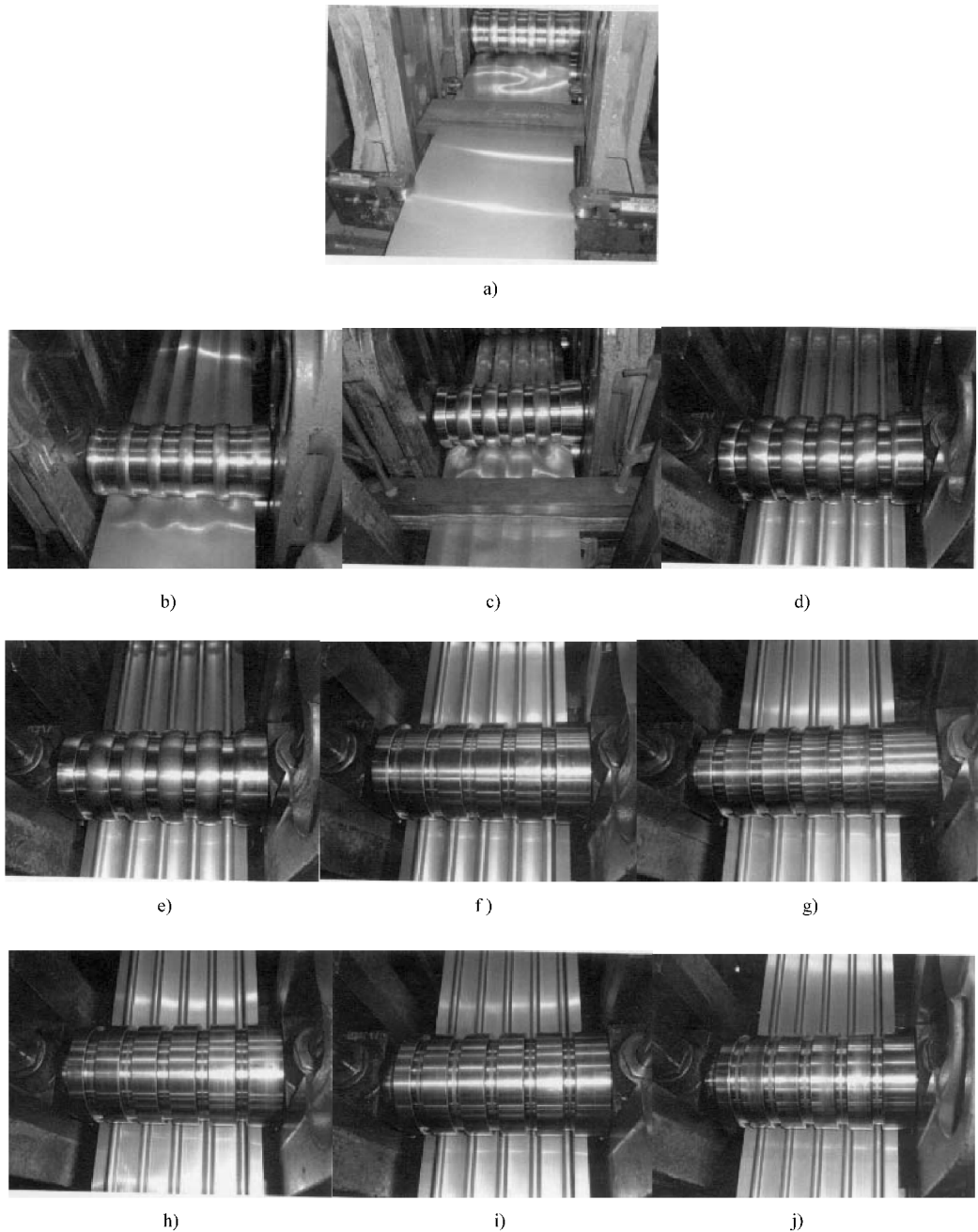


图 3-155 波纹顶板冷弯成形过程

a) 第零道次 b) 第一道次 c) 第二道次 d) 第三道次 e) 第四道次
f) 第五道次 g) 第六道次 h) 第七道次 i) 第八道次 j) 第九道次

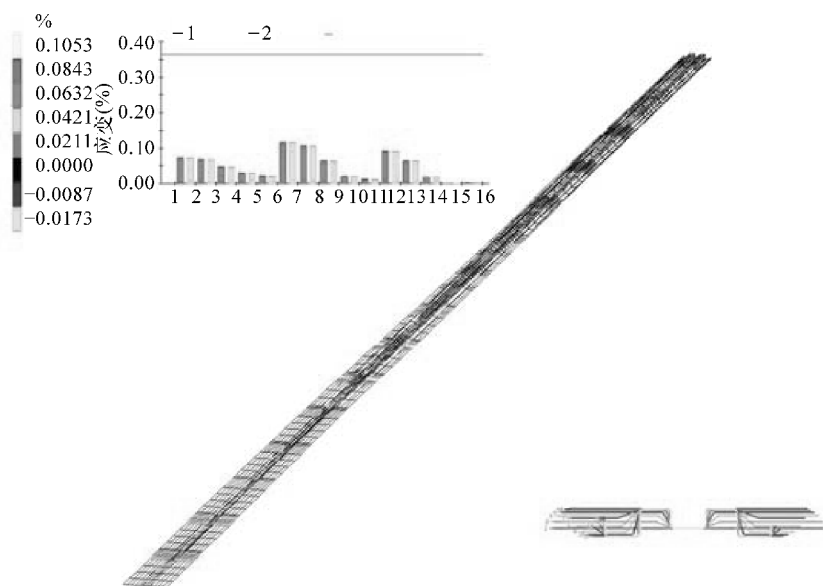


图 3-156 成形模拟图

从图 3-156 所示的模拟结果来看，外板补强梁冷弯成形的工艺性较好。从模拟图上看需要用 16 道次成形。由 copra 软件生成的辊花图见图 3-157。

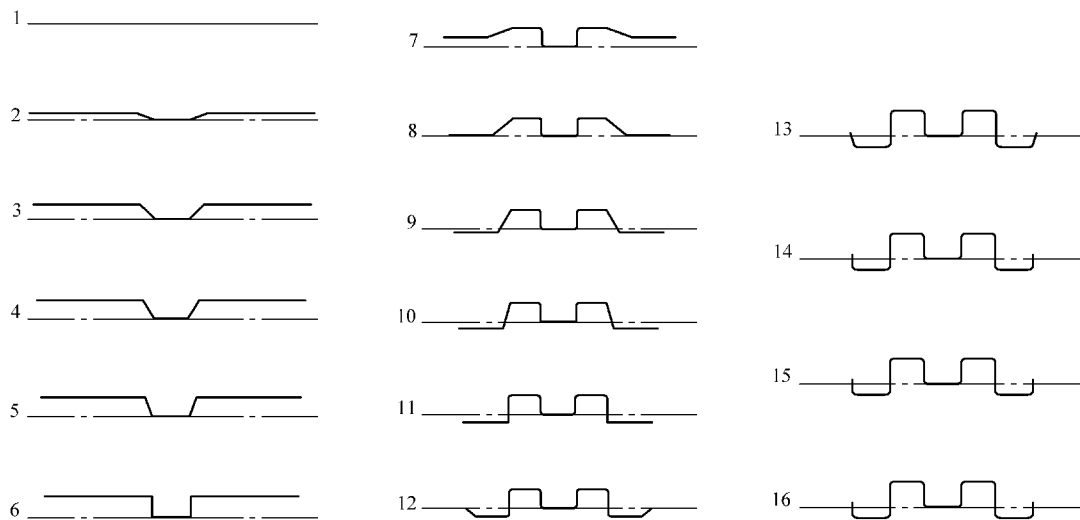


图 3-157 辊花图

图 3-158 所示为冷弯模具和成品件。

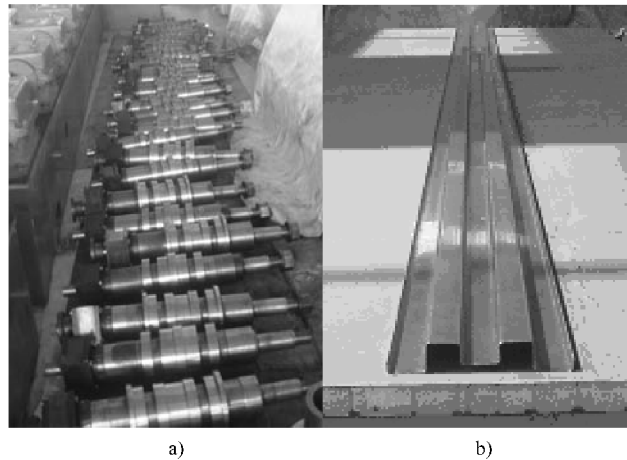


图 3-158 冷弯模具和成品件

a) 冷弯模具 b) 成品件

3.10 校平技术

材料和毛坯零件表面有鼓包、弯曲、扭曲、波浪形等缺陷，在下料、切割和成形加工之前，必须对材料进行校平。

3.10.1 校平工艺

1. 材料变形原因及校正原理

(1) 材料变形原因 材料轧制的残余应力引起变形；材料在加工过程中引起变形；吊装、运输、存放不当也会引起变形。

(2) 校平原理 通过施加外力或加热作用（热胀冷缩），使材料的较短部分纤维伸长或较长部分纤维缩短，最后使各层纤维的长度趋近相等。

2. 校平方法种类

根据校平时是否加热分为冷校平和热校平；根据校平时作用力的来源与性质，分为手工校平、机械校平和火焰校平等。

3. 校平工艺

常用校平方式有手工校平和机械校平两种方式。机械校平有校平机校平、摩擦压力机校平、型钢调直机校平和震锤成形机校正等。

(1) 手工校平 采用锤击或掰扭等手工方法，对零件变形进行校平。手工校平方法灵活简便，主要针对设备无法校平的变形零件。

手工校平常用器具：锤子、大锤、型锤、无重力反弹锤、千斤顶、虎钳等，主要工装是平台。检测量具主要有平尺、塞尺、样板。

手工校平范围：剪切和切割旁弯调直、小型角钢调直、工件成形缺陷的手工校平。

(2) 校平机校平 主要校平碳钢板、不锈钢板和铝合金板，分薄板校平和厚板校平。

(3) 板材弯曲类型与校平原理 板材弯曲分为平面（二维）弯曲和空间（三维）弯

曲，如图 3-159 所示。板材校平原理是，使金属板在校平辊作用下塑性变形，达到平整状态，如图 3-160 所示。

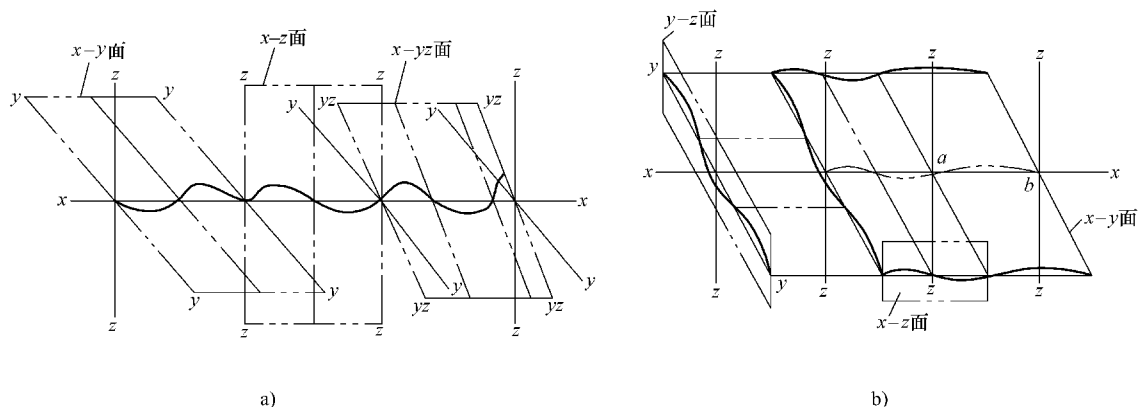


图 3-159 板材弯曲类型

a) 二维弯曲图 b) 三维弯曲图

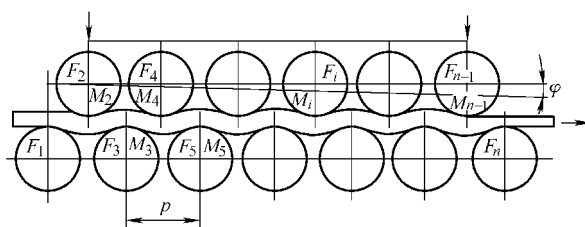


图 3-160 校平原理

3.10.2 校平机及其应用

1. 薄板、厚板校平机

轨道客车冲压件的校平，按工件的厚薄分别采用两种设备：薄板校平机和厚板校平机。

薄板校平机外形如图 3-16a 所示，其技术参数见表 3-108，该机为 19 辊精密校正，校平板厚 0.5 ~ 8mm，校直辊的调节准确性 $\pm 0.01\text{mm}$ 。

表 3-108 19 辊薄板精密校平机技术参数

材料	钢、不锈钢、铝合金
表面特性	不是表面敏感材料，不是起氧化皮和生锈的材料
几何公差	厚度的形状公差符合 EN 标准
抗拉强度	参见校平性能图
屈服强度	参见校平性能图
材料横截面	参见矫平性能图
最小材料长度（通过方向）	100mm
材料宽度	1650mm
通过速度	3 ~ 12m/min

(续)

材料	钢、不锈钢、铝合金
校平辊直径	56mm
校平辊数量	19
校平辊的调节准确性	±0.01mm
地面以上通过高度	950mm
所需空间(长×宽×高)	3900mm×2350mm×2050mm

厚板校平机外形图见图 3-16b, 其技术参数见表 3-109, 该机为 13 辊精密校正, 校平板厚 6~22mm, 校平的平面度为 0.5mm/m²。

表 3-109 13 辊数控厚板矫平机技术参数

材料	单位	备注
材料种类		普通碳钢、高耐热钢、高合金钢、不锈钢、铝合金
材料状态		冲压、剪切、火焰切割、等离子切割、激光切割、表面抛丸等
最大屈服强度	N/mm ²	700; 厚度 22mm、全长 900mm; 厚度 20mm、全长 1000mm
最小校平厚度	mm	6
最大校平厚度	mm	22
校平机相关参数		
最大校平面宽度	mm	1650
校平辊数量	n°	13
校平辊直径	mm	180
上层支承辊数量	n°	4 排 8 个辊, 共 32 个支承辊
下层支承辊数量	n°	4 排 9 个辊, 共 36 个支承辊
支承辊直径	mm	200
每个支承辊的承重能力	kN	1000
可调节校平速度	m/min	0~15
主电动机功率(约)	kW	175 (转速 1200r/min)
平面度精度		0.5mm/m ²
机床质量(包括电动机)	kg	65000
机床体积(L×W×H)	mm	2500×4200×3650
工作台高度	mm	800

2. 校平机进、出口侧调节值

根据材料厚度, 选择校平机进、出口侧的数值。对于不同材料、不同形状的零件, 进、出口侧的数值将会不同; 屈服强度高、截面大的零件, 进口侧调节值更大一些。表 3-110 为薄板校平进、出口侧调节值; 表 3-111 为厚板校平进、出口侧调节值。

表 3-110 薄板校平进、出口侧调节值 (单位: mm)

板厚度	入口侧面极限调节值	入口侧面调节值	出口侧面调节值
0.5	-2.4	-1.2	0.5
0.8	-2	-0.8	0.8
1	-1.2	-0.6	1
1.5	-0.9	0.1	1.5
2	-0.4	0.6	2
2.5	0.1	1	2.5
3	0.8	1.7	3
4	1.9	2.8	4
4.5	2.5	3.4	4.5
5	3.2	3.8	5
6	4.3	5	6
8	6.6	7.2	8
10	8.8	9.2	10
12	10.8	11.2	12

表 3-111 厚板校平进、出口侧调节值 (单位: mm)

材料厚度	4°	3°	2°	1°
6	5.87	5.91	4.01	3.98
8	7.71	7.71	5.83	5.83
10	9.88	9.89	7.61	7.58
12	11.79	11.76	9.6	9.57
14	13.75	13.69	11.56	11.50
16	15.85	15.87	13.68	13.63
18	17.88	17.87	15.66	15.62
20	19.86	19.86	17.61	17.57
22	21.85	21.85	19.57	19.52

3. 校平方向

图 3-161 为零件校平方向示意图。

4. 校平过程

1) 根据校平零件的材料、厚度和形状, 选择进、出口侧的调节值。

2) 首件的试校平。

3) 根据首件校平检测结果, 修正进、出口侧的调节值。

4) 二次试校平、检测、修正, 经过数次调整, 确定最终的进、出口侧的

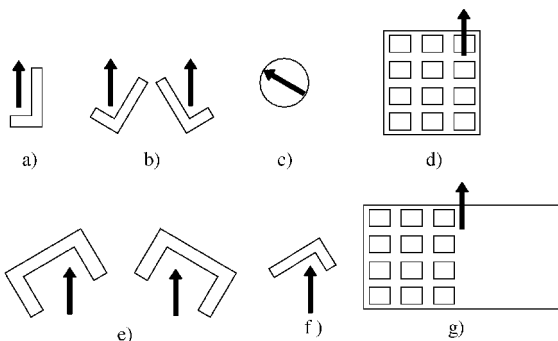


图 3-161 零件校平方向示意图

数值。

5) 批量校平生产。

5. 检测

对校平零件的平面度要进行 100% 检测，通过检测，将超出标准的不合格零件进行二次或多次校平处理，直到零件平面度达到要求为止。

3.10.3 校直液压机校平

板厚超过辊式校平机校平能力的工件，采用压力校正方法。图 3-162 为应用校直液压机校平厚板的示意图。

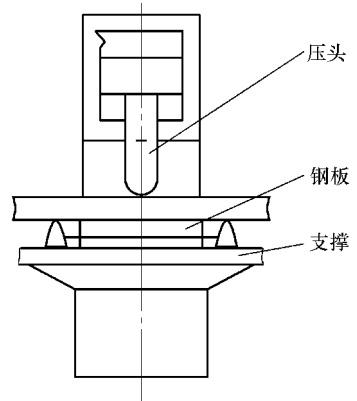


图 3-162 校直液压机校平厚板示意图

3.10.4 摩擦压力机校平

零件尺寸较小的板材件、型材件，在冲压过程中也存在变形，但由于件小，无法用校平机校平，只能用摩擦压力机强制镦平的方法进行校平。

图 3-163 为摩擦压力机校正的几种常见方式。如多层变形件重叠校平、厚板镦平和加工艺垫铁校平。

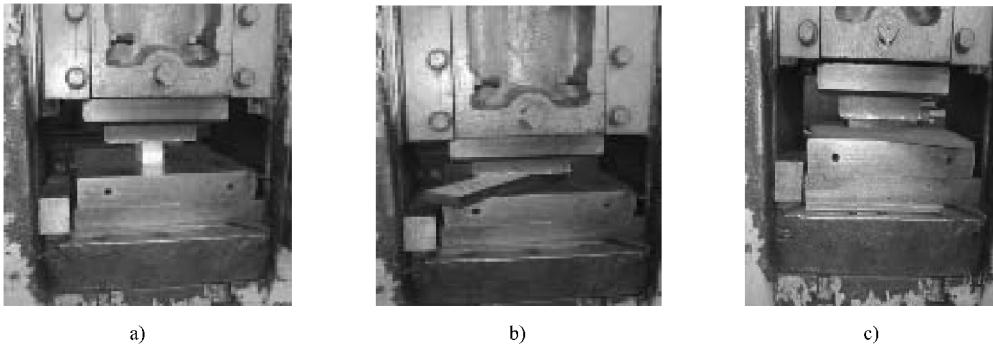


图 3-163 摩擦压力机校平过程

a) 多层薄板重叠在一起校平 b) 厚板镦平 c) 中间加工工艺垫铁

3.10.5 型钢调直机校平

客车生产用的角钢、槽钢等型材，在运输、切割过程中产生的变形，用型钢调直机进行校平（调直）。型钢调直机如图 3-164 所示，为卧式结构，液压传动。

型钢调直机采用反向弯曲方式进行校直，型材置于压头与支点之间，两支点的间距可调，随型材长短及弯曲程度而定。压头施力作用于被校平的型材上，使之产生反向弯曲，根据型材的弯曲程度，逐段校平，直到全部调直为止。图 3-165 为型钢支承装置。

型钢调直机除对型钢调直外，还可对部分特殊结构的厚板进行校平，对成形件整形等。图 3-166 分别为角钢调直和特殊构件校平。

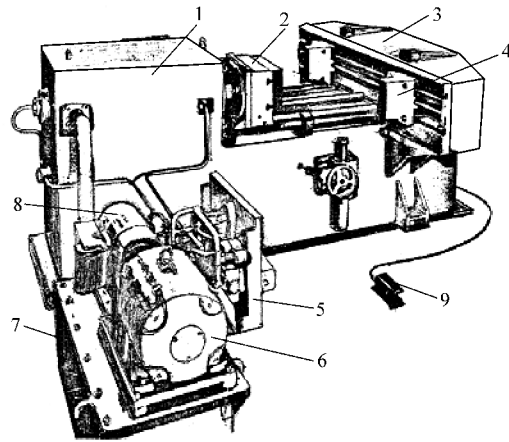


图 3-164 型钢调直机

- 1—液压缸 2—压头 3—支承横梁 4—活动支点 5—液压控制板
6—电动机 7—油箱 8—油泵 9—脚踏开关



图 3-165 型钢支承装置



图 3-166 角钢调直和特殊构件校平

3.10.6 震锤成形机校正

震锤成形机有多种功能，前已述及。在客车生产中，有一些工件的变形很难用其他方式校正，如剪切或切割产生的旁弯，折弯过程产生的弯曲，压型过程产生的扭曲、翘曲等，采用震锤成形机校正，行之有效。图 3-147 为震锤成形机校正工件示意。

3.11 客车冲压件常见缺陷及解决措施

在轨道客车冲压件生产中，由于技术、材料、设备、工装和操作等方面的原因，冲压件会产生质量缺陷。下面按冲压件的类型与工艺方式，对轨道客车冲压件的质量缺陷、产生原因及解决措施，分别进行归纳和描述。

3.11.1 分离件

1. 模具冲裁件（表 3-112）

表 3-112 模具冲裁件的质量缺陷、产生原因及解决措施

序号	缺陷描述	原因分析	解决措施
1	毛刺大，断面质量差	凸、凹模间隙不合理	修磨和调整凸、凹模间隙
2	毛刺分布不均	凸、凹模间隙不均	调整凸、凹模间隙，使其尽量均匀
3	冲裁件出现变形	(1) 模具凹模口有反锥形磨损 (2) 压料装置为刚性压料或无压料装 (3) 压料力不够	(1) 修磨凹模刃 (2) 改用弹性压料结构 (3) 增大压料力 (4) 增加调平工序

2. 数控转塔冲床冲孔冲切件（表 3-113）

表 3-113 数控转塔冲床冲孔冲切件的质量缺陷、产生原因及解决措施

序号	缺陷描述	原因分析	解决措施
1	毛刺大，断面质量差	模具间隙不合适	根据材料厚度更换间隙合适的模具
2	小模具冲大孔和冲切外形时产生刀口接点，影响光洁度	冲切时两个步距间产生的连接部分未能完全冲下去	使用专用冲切模具冲切
3	冲多孔时板件整体变形	冲孔时模具刚性压料，导致冲孔变形，并且累积变形	使用带弹簧压料装置的模具

3. 激光切割机切割件（表 3-114）

表 3-114 激光切割机切割件的质量缺陷、产生原因及解决措施

序号	缺陷描述	原因分析	解决措施
1	切割断面不光滑，毛刺大，有熔渣	切割参数不合适	调整切割参数
2	割不透	切割功率低	更换切割功率高的设备
		切割速度过快	降低切割速度
3	在切割零件切入部位产生豁口缺陷	切割引入和离开模式错误，收尾停止时瞬间切割出豁口	在编程时圆弧方式引入和离开

4. 精细等离子切割机切割件 (表 3-115)

表 3-115 精细等离子切割机切割件的质量缺陷、产生原因及解决措施

序号	缺陷描述	原因分析	解决措施
1	切口太宽	电流太大	适当减小电流
		气体流量不够, 电弧压缩不好	适当增加气体流量
		喷嘴孔径太大	改用孔径小些的喷嘴
		喷嘴高度过大	把割炬压低些
2	切割面不光洁	工件表面有油脂、污物或锈蚀等	切割前将工件清理干净
		气体流量过小	适当增大气体流量
		切割速度不均匀或喷嘴高度上下波动	熟练操作技术
3	割不透	等离子弧功率不够	增大功率
		切割速度太快	降低切割速度
		气体流量太大	适当减小气体流量
		喷嘴高度过大	把割炬压低些

5. 数控火焰切割机切割件 (表 3-116)

表 3-116 火焰切割机切割件的质量缺陷、产生原因及解决措施

序号	缺陷描述	原因分析	解决措施	
1	切口偏离切割线	钢板放置不平	检查切割平台, 并把钢板放平	
		钢板产生热变形, 进而产生位移	编程时考虑切割热变形, 分散切割	
		导轨变形	对轨道作定期检查, 发现直线度超差立即加以调整	
2	切口过宽	氧气压力过高	按工艺参数规定调整压力	
		割嘴规格大	换成小规格割嘴	
		切割速度过慢	调整切割速度	
		切割氧流过粗	用通针清除割嘴孔道内脏物或调换割嘴	
	切口断面形状差	上缘棱角被熔化或塌塌	预热火焰功率过大	把火焰调小
		切口中部凹心大	切割氧压力过高	按工艺参数调整压力
			切割速度过慢	适当加快切割速度
	厚板切口下部呈喇叭状	割嘴高度过小或偏大	调整割嘴高度至合适值	
		切口中部凹心大	切割氧压力过高	调低压力至合适值
			切割速度过快	放慢气割速度
厚板切口下部呈喇叭状	切割速度过慢	加快气割速度		
	风线未调整好	用通针修正切割氧孔道, 使风线恢复挺直呈圆柱形, 或更换割嘴		

(续)

序号	缺陷描述	原因分析	解决措施	
3	切割面不良	切割面粗糙 (即割纹深度大)	氧气压力过高	适当降低氧气压力
			割嘴选用不当	根据板厚选用适当规格的割嘴
			切割速度过快	降低切割速度
			预热火焰功率过小或过大	调整预热火焰功率
			氧气纯度偏低	使用体积分数 99.5% 以上的氧气
			切割机精度差	及时检修, 并检查网路电压是否稳定
		切割面倾斜	割炬与板面不垂直	调整割炬或检查平台的平整度
			风线歪斜	用通针修正切割氧孔道, 或更换割嘴
			切割氧压力低或割嘴规格偏小	更换适当规格的割嘴, 调整切割氧压力
		下部出现深沟	切割速度慢	调整切割速度至合适值
		切口出现缺口 (沟槽)	回火或灭火后重新起割不当, 衔接不好	注意操作, 减少回火或灭火, 重新起割时, 切割氧流要稍偏向停割处, 作好衔接
			钢板表面存在厚的氧化皮或铁锈等脏物	消除氧化皮或铁锈等, 清理钢板表面
			切割坡口时预热火焰功率不足	加大火焰功率
		切割面粘有熔渣	切割机产生振动	清除轨道上杂物, 检查切割机消除振动因素
			切割速度过慢	调整切割速度至合适值
切割面碳化严重	预热火焰过强	适当减小火焰功率		
	预热火焰偏碳过多	调正火焰至中性焰, 避免采用碳化焰		
4	切口被熔渣 粘结	割嘴离工件太近	适当加大割嘴高度	
		切割薄板时预热火焰功率过大	采用预热孔数少的割嘴, 降低火焰功率	
		切割薄板时切割速度不够快	加快切割速度	
	切口下缘粘 渣不易消除	风线短, 动量不足	用通针清理切割氧孔道	
		氧气纯度低	使用纯度高的氧气	
		氧气压力过低或过高	调整氧气压力至合适值	
		切割速度过快或过慢	调整切割速度	
预热火焰过强	减小火焰功率, 采用中性焰			
5	工件切口有裂纹	材料碳当量高, 工件厚, 环境温度低	根据工件材质, 割前预热或割后热处理	

6. 高压水切割机切割件 (表 3-117)

表 3-117 高压水切割机切割件的质量缺陷、产生原因及解决措施

序号	缺陷描述	原因分析	解决措施
1	切口上缘呈圆角	喷嘴高度偏大	减小喷嘴高度
		喷嘴磨损	更新新喷嘴
		喷嘴组合不当	调整喷嘴组合
		磨料供给量过大	检查和减小磨料供给量

(续)

序号	缺陷描述	原因分析	解决措施
2	切割面倾斜角大	切割速度过快	减小切割速度
		喷嘴高度偏大	降低喷嘴高度
		喷嘴一侧磨损	更换新喷嘴
		水压力低	检查并提高水压力
		磨料供给量小	检查并增大磨料供给量
3	切割面粗糙	切割速度过快	减小切割速度
		水压力低	检查并提高水压
		磨料供给量小	检查并增加磨料供给量
		喷嘴一侧磨损	更换新喷嘴
		工件振动	改进支承工件的方式
4	产生缺口	水压力波动大	对水泵压力进行调整
		切割头驱动装置不良	对切割头驱动装置进行修理
		磨料的流动性不良	改善磨料流动状态
		工件固定不良	改进支承工件的方式
5	切口宽度大	喷嘴孔径偏大	减小喷嘴孔径
		喷嘴磨损或损坏	更换新喷嘴
6	切口割斜或单侧面割斜, 倾斜角异常大	喷嘴一侧磨损	更换新喷嘴
		水喷嘴与磨料喷嘴不同轴	调整使之同轴
		切割头倾斜	把切割头调整到垂直位置

3.11.2 拉深件

拉深件的质量缺陷、产生原因及解决措施见表 3-118。

表 3-118 拉深件的质量缺陷、产生原因及解决措施

序号	序号	缺陷描述	原因分析
1	起皱	凸缘起皱, 主要因压料力太小	增加压料力使皱纹消失
		坯料毛刺	去除坯料毛刺
		坯料表面有微粒杂物	清除坯料表面杂物
		锥形件或半球形件等腰部起皱, 是因压料力太小, 拉深开始时大部分材料处于悬空状态	加大压料力, 采用压料筋或更改工艺, 以液压拉深垫代替
2	无凸缘拉深件高度不匀或凸缘拉深件凸缘宽度不匀	坯料放置位置偏	调整定位
		模具间隙不匀	调整间隙
		凹模圆角不匀	修正圆角
		坯料厚薄不匀	更换材料
		压料力不均	调整压料力

(续)

序号	序号	缺陷描述	原因分析
3	拉深件底部附近严重变薄或局部变薄	材料的质量不好	更换材料
		材料太厚	改用厚度符合规格的材料
		凸模圆角与侧面未圆滑过渡, 有棱	修磨凸角
		模具间隙太小	放大间隙
		凹模圆角太小	放大圆角
		拉深系数太小	合理调整各道工序的拉深系数或增加工序
		润滑不良	用合理的润滑剂充分润滑
4	拉深件上口材料挤堆	材料过厚或间隙过小, 工件侧壁拉薄, 使过多材料挤至上口	改用厚度合格的材料或放大模具间隙
		再拉深凸模圆角大于工序件底部圆角, 使材料沿侧面上升	减小凸模圆角
		工序间隔太长或再拉深凸模太短, 以致坯料侧壁未全部拉入凹模	合理调整上下道拉深工序的参数和模具结构
5	拉深件表面拉毛	凹模工作表面不光滑	修光工作表面
		坯料表面不清洁	清洁坯料
		模具硬度低, 有金属粘附现象	提高模具硬度或改变模具材料
		润滑剂有杂物混入	改用干净的润滑剂
6	拉深件外形不平整	原材料不平	改用平整的原材料
		材料成形回弹	加整形工序
		间隙太大	减小间隙
		拉深变形程度过大	调整有关工序变形量
		凸模无出气孔	增加气孔

3.11.3 翻边件

翻边件的质量缺陷、产生原因及解决措施见表 3-119。

表 3-119 翻边件的质量缺陷、产生原因及解决措施

序号	缺陷描述	原因分析	解决措施
1	翻边裂纹	预冲底孔毛刺大	翻边时将毛刺置于上面
		翻边凸模形状不良	翻边凸模尽量采用球形或锥形
		材料 n 值低	尽量使用 n 值高的材料或增加拉深工序
2	凸缘不平	无压边或压边力小	压边力加大
		凹模圆角半径过大	适当减小凹模圆角半径
3	翻边后不垂直	翻边间隙过大	减小凸、凹模间隙
4	翻边表面拉伤	凹模圆角粗糙度低	提高凹模圆角光洁度
		润滑不良	根据材料使用合适的润滑剂

3.11.4 胀形件

胀形件的质量缺陷、产生原因及解决措施见表 3-120。

表 3-120 胀形件的质量缺陷、产生原因及解决措施

序号	缺陷描述	原因分析	解决措施
1	成形开裂	变形量超过材料成形极限	更改设计, 减小变形量 更换成形性能好的材料
2	制件翘曲不平	压料力不足	增大压料力
		压料板刚度不足, 发生变形	加大压料板刚度

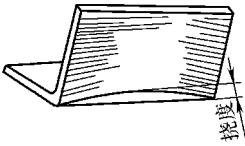
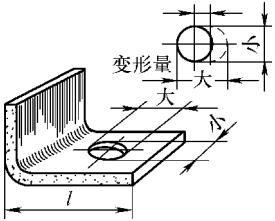
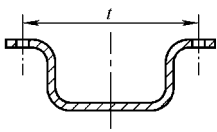
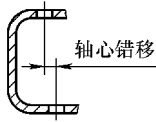
3.11.5 弯曲件

1. 模具弯曲件 (表 3-121)

表 3-121 模具弯曲件的质量缺陷、产生原因及解决措施

序号	缺陷描述	原因分析	解决措施
1	U 形件弯曲件高度 H 尺寸不稳定 	高度 H 太小	高度 H 尺寸不能小于最小极限
		凹模圆角不对称	修正凹模圆角
		因材料厚度或硬度的原因使高度尺寸不稳定	增加工序及工艺定位
2	弯曲角有裂纹	弯曲内半径太小	加大凸模弯曲半径
		材料纤维方向与弯曲线平行	改变落料排样方向
		毛坯的毛刺一面向外	毛刺该在弯件内圆角
		材料塑性差	退火或采用软性材料
3	弯曲件外表面有压痕 	凹模圆角半径太小	增大凹模圆角半径
		凹模表面粗糙, 间隙小	调整凸凹模间隙
4	弯曲表面挤压料变薄	凹模圆角半径太小	增大凹模圆角半径
		凸凹模间隙过小	修正凸凹模间隔
5	凹形弯曲底部产生曲度 	凹模内无顶料装置	增加顶料装置或增加校正工序
6	带切口的弯件按图示箭头方向产生挠度 	由于切口使两直边向左右张开, 弯件底部出现挠度	改进弯件结构 切口处增加工艺留量, 使切口处连接起来, 弯曲后, 再将工艺留量切去

(续)

序号	缺陷描述	原因分析	解决措施
7	<p>弯曲后宽度方向产生变形, 被弯曲部位在宽度方向上出现弓形挠度</p> 	<p>当弯曲宽度方向的拉伸和收缩量不一致时就产生扭转和挠度</p>	<p>增加弯曲压力 增加校正工序 保证材料纹向与弯曲方向有一个角度</p>
8	<p>弯曲引起孔变形</p> 	<p>在采用弹压弯曲并以孔定位时, 弯壁的外侧由于凹模表面和弯件外表面的摩擦而受拉, 使定位孔变形及 l 尺寸有减少的倾向</p>	<p>采用“V”形镦弯曲 加大顶料板压力 在顶料板上加“麻点格纹”以增大摩擦力, 防止工件在弯曲过程中滑移</p>
9	<p>工件弯曲后不能保证孔的尺寸精度</p> 	<p>弯曲展开尺寸不对</p>	<p>准确计算坯料尺寸</p>
		<p>材料回弹引起</p>	<p>增加校正工序或改进弯曲模结构</p>
		<p>定位不稳定</p>	<p>改变工艺加工方法或增加工艺定位</p>
10	<p>弯曲后两孔轴心错移</p> 	<p>材料回弹改变了弯曲角度, 使中心线错移</p>	<p>增加校正工序 改进弯模结构, 减小材料回弹 改进工艺方法</p>

2. 折弯件 (表 3-122)

表 3-122 折弯件的质量缺陷、产生原因及解决措施

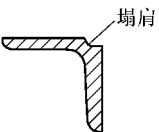
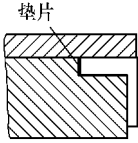
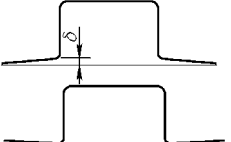
序号	缺陷描述	原因分析	解决措施
1	折弯件外表面压痕	凹模口部圆角半径过小	加大凹模口部半径
		所选凹模槽宽过小, 折弯力增大	按料厚选择合适的凹模 使用专用的无压痕折弯下模
		凹模磨损, 粗糙度低	检修凹模

(续)

序号	缺陷描述	原因分析	解决措施
2	折弯件直线度差 	钢板不平, 有内应力	通过校平等方式消除内应力, 提高板的平度
		折弯时因中间和两端应力分布不一样, 必然产生弯曲	对于长大件, 折弯时增加调直工序, 并进行三点定位折弯
3	工件上的孔折弯后变形	孔与折弯线距离太近	若设计结构允许, 增大孔与折弯线间距离, 确保孔不在弯曲变形范围内
		折弯下模口部宽度大	选择合理宽度的折弯下模, 避免孔在折弯过程产生变形 折弯后钻孔
4	长大件折弯角度不一致	原材料的板厚公差和机械性能不一致	控制原材料的板厚公差和机械性能波动
		折弯模具局部磨损	修理折弯模具
		折弯时没有启用挠度补偿装置进行挠度补偿	启用设备挠度补偿功能, 进行必要的角度补偿, 保证两端与中间折弯角度相同
		未进行调修	增加角度调修工序
5	折弯件拉伤	折弯模具不光滑, 表面粗糙度值高 折弯模具硬度低	修复折弯下模, 保证折弯模无缺陷 折弯下模喷润滑剂, 增加折弯过程的润滑 零件表面贴膜折弯, 或在折弯下模上垫保护材料 (垫聚氨酯橡胶片、塑料布) 采用专用的无压痕折弯下模
6	折弯件外表面 R 处产生橘皮状	折弯件弯曲圆角半径小	加大零件的折弯圆角半径, 减小变形量
		材料伸长率低	使用伸长率大的材料进行折弯
		热轧钢板表面不光洁	尽可能使用冷轧板
7	折弯件端部裂纹	毛坯料端部不光洁	下料之后进行毛刺的清理 厚板下料时端部留一定的加工余量, 加工后折弯
8	断面尺寸精度差	设备挡尺定位精度差 折弯顺序不对, 多基准定位造成下料误差没有消化 多道次折弯, 中间道次弯曲没有调直	控制下料尺寸公差, 根据精度需求, 选取不同的下料工艺 折弯机挡尺调整, 保证挡尺前后一致性 采用三点或多点折弯工艺, 确保在全长范围内定位精度 采取必要的折弯顺序, 合理分配下料产生的尺寸公差波动

3. 拉弯件 (表 3-123)

表 3-123 拉弯件的质量缺陷、产生原因及解决措施

序号	缺陷描述	原因分析	解决措施
1	拉弯后出现塌肩现象 	拉弯模模槽深度过大 变曲率零件半径突变处局部曲率大, 变形程度过大 拉伸量过大, 腹板产生过量收缩, 高度变小	生产时若发现拉弯模模槽过深, 可在该处模槽底部垫适当厚度的垫片 (如图) 或返修模具  适当控制拉伸量 模槽深度应比零件腹板高度缩小 0.5 ~ 1mm
2	拉弯收缩变形	拉弯时受到拉伸作用, 断面变小	通过在模具上增加回弹量, 减小拉伸力来减小变形量
3	拉断	拉弯件变形量超过极限	更换成形能力好的材料 在成形比较大的部分对型材断面进行局部加工, 减少应变, 避免拉断
4	帽形件翼面下翘和上翘 	模具深度过深或浅	检修模具深度
		毛坯折弯尺寸过小或大	调整折弯毛坯尺寸

3.11.6 震锤成形件

震锤成形件的质量缺陷、产生原因及解决措施见表 3-124。

表 3-124 震锤成形件的质量缺陷、产生原因及解决措施

序号	缺陷描述	原因分析	解决措施
1	表面锤痕	震锤模具表面带有牙印, 表面锤印不可避免	根据材料硬度选择牙印细的模具或电木做成的模具, 减小牙印

3.11.7 校平件

冲压件进行校平时, 由于零件结构限制或操作不当, 有时会出现一些质量缺陷并应采取相应措施。表 3-125 为校平机校平件的质量缺陷、产生原因及解决措施。

表 3-125 校平机校平件的质量缺陷、产生原因及解决措施

序号	缺陷描述	原因分析	解决措施
1	校平后孔尖角处产生裂纹	材料硬度过高, 脆性大	孔尖角处用圆角过渡
2	零件表面出现压坑	校平辊表面有污物	清理校平辊表面
3	零件形状变化	零件形状不规则, 有豁口	改变校平送料方向, 在豁口处增加工艺拉筋
4	端头及尖角处塌角	上下校平辊间隙小, 板承受压力大	增大进料口间隙
5	端部出现硬棱变形	上下校平辊间隙小, 板承受压力大	增大进料口间隙。

3.12 客车冲压件制造技术发展趋势

冲压技术的发展与产品的结构及材料密切相关, 新材料和高技术要求的冲压件, 对冲压模具和装备不断提出更高的要求。在当今冲压生产中, 各种新工艺及冲压模具、新型冲压装备与生产线、智能控制技术 etc 被逐步采用, 冲压技术与其装备技术在不断向自动化、数控化、高效化方向发展, 极大地提高了生产效率和成品质量, 降低了大批量生产的成本。

1. 冲压件向高精度大型化发展

(1) 冲压件向高精度发展 制造不锈钢车体和铝合金车体, 在焊接工序中大量使用自动焊接设备, 如不锈钢车体采用激光自动焊接, 转向架构架采用机械手焊接等, 这种自动焊接工艺对冲压件的精度提出了更高的要求。以前对冲压件的公差要求一般在 $\pm (0.5 \sim 1)$ mm, 现在则要求为 ± 0.3 mm。

(2) 冲压件向大型化发展 零件大型化有以下优点: 零件数量减少, 制造管理简化; 各工序零件数量减少, 可极大提高劳动生产率; 减少了焊接工作量, 提高了车体精度。

冲压件大型化的措施, 一是提高冷弯成型件在钢结构中所占比例, 现为 14% 左右, 并有逐渐提高趋势, 二是在结构上由多个小冲压件组合拼焊成一个大型冲压件, 用整体模具一次压形, 如图 3-167 所示。



图 3-167 新型外板补强件

a) 小零件图 b) 大组合件图

2. 冲压件材料向轻量化发展

(1) 大量使用铝合金和不锈钢材料 铝合金和不锈钢材料被大量用于轨道客车的车体制造。由这些材料制造的车体寿命长,实现了轻量化,还可以回收重复利用。

(2) 推广使用镁合金材料 高速列车的运行速度提高到 250 ~ 350km/h 之后,利用轻合金材料解决车辆的轻量化问题成为重要研究课题。镁合金材料以其重量轻、比强度比刚度高、吸振性能好、利于减振降噪、易于切削加工、可回收性和环保性好、电磁屏蔽性优良等突出优点,受到了铁道车辆制造业的青睐。镁合金的密度为 $1.74 \times 10^3 \text{kg/m}^3$,仅为铝合金密度的 2/3,但其弹性模量也是铝合金的 2/3。正在推广用镁合金材料制造车辆内部的座椅和卧铺骨架。

3. 冲压工艺需要不断创新提高

随着冲压件的高精度大型化和新材料的应用,冲压工艺需要不断创新提高,要采用新技术和新工艺。

1) 工艺及设备要柔性化,实现一机多能,无需工艺准备周期,直接进行生产。

2) 大量使用先进的数控设备,使工序复合化、集成化,减少工序间的物料流动,缩短生产周期。

3) 推广使用计算机成形模拟技术,用基础理论对复杂成形件进行工艺分析,并缩短工艺准备周期。

4. 模具采用新材料和具有快换组合功能

(1) 采用新制造工艺和新材料 纳米强化工艺用于强化冲裁模具的刃口,可成倍提高模具寿命。

铜合金材料耐磨性好、加工性好、散热性好,优于模具钢。用于制造拉深模具,可显著提高制品的表面质量和不锈钢材料的成形极限。图 3-168 为铜合金材料的模具。

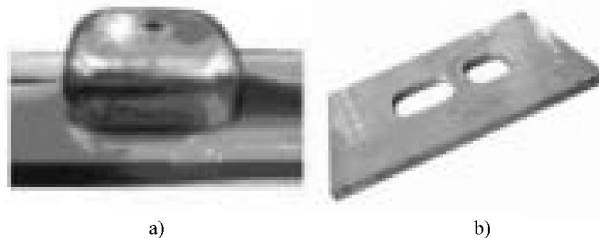


图 3-168 铜合金材料的模具

a) 不锈钢洗手盆模具 b) 不锈钢拉深凹模

(2) 功能方面

1) 推广使用快换冲模结构。快换冲模结构是通用模架与专用模芯(凸模和凹模)组合结构,改变冲压工序仅需更换模芯。模芯可快速更换,制造简便。图 3-169 为快换冲模结构。

2) 推广使用通用组合冲模。通用组合冲模主要由冲孔单元和基础板组成,如图 3-170 所示。

3) 采用无痕折弯模具。如图 3-171 所示,下模在折弯过程中以可回转,工件与下模没有相对滑动。

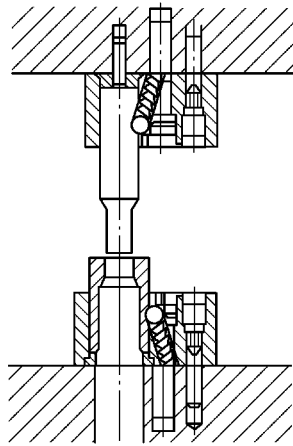


图 3-169 快换冲模结构

5. 冲压设备柔性化数控化一机多能

轨道客车冲压件生产，要求不断地缩短工艺准备周期和提高零件精度，对冲压设备要求柔性化、数控化、一机多能，要实现无需工艺准备，并能工序集成和复合。为此应大力采用数控切割机、数控折弯机和数控折边机、多点成形液压机、伺服压力机、三维激光切割机和冲压件柔性制造系统（FMS）。

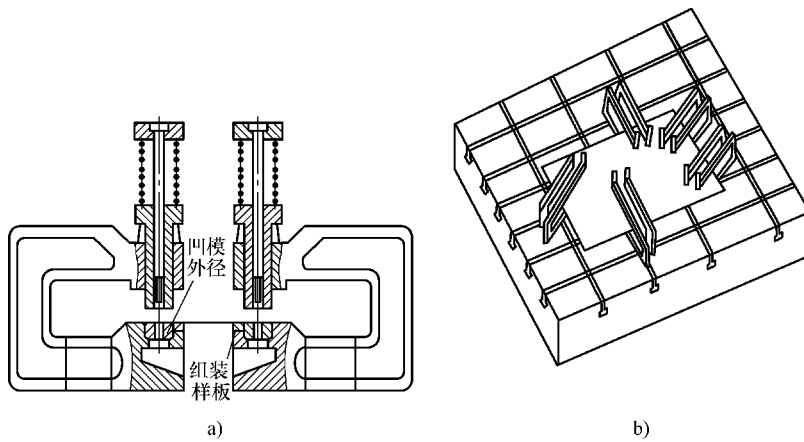


图 3-170 通用组合冲模示意图

a) 冲孔单元 b) 冲模组合

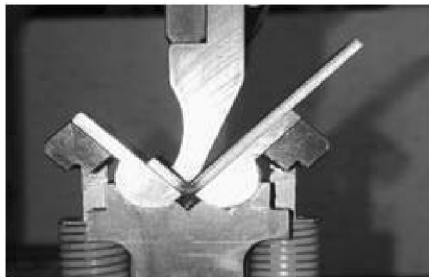


图 3-171 无痕折弯模具

参 考 文 献

- [1] 中国北方机车车辆工业集团公司科学技术协会、长春客车厂老年科学技术协会. 城轨车辆技术及应用 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2005.
- [2] 金涤尘, 宋放之. 现代模具制造技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [3] 王新华, 袁联富. 冲模结构图册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [4] 张志禄, 谷维忠. 耐候钢冲压加工技术手册 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1993.
- [5] 邓明. 材料成型新技术及模具 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [6] 《钣金冲压工艺手册》编委会. 钣金冲压工艺手册 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1989.
- [7] 刘静安, 谢水生. 铝合金材料的应用与技术开发 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2004.
- [8] 赵昌盛. 使用模具材料应用手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [9] 崔令江. 汽车覆盖件冲压成型技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [10] 赵振铎, 张召铎, 王家安. 金属塑性成形中的润滑材料 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [11] 赵振铎, 邵明志, 张召铎, 等. 金属塑性成形中的摩擦与润滑 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [12] 小奈弘, 刘继英. 冷弯成型技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [13] 王先进. 冷弯型钢生产及应用 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1994.
- [14] 赵艳红. 冷弯型钢成型轧辊的设计方法 [J]. 山西机械, 2003 (6).
- [15] 王立武, 武月华. 通用快换模具的设计及应用 [J]. 模具工业, 2004 (10).
- [16] 文宝, 李宏荣, 束文科, 等. 快换凸模的结构特点与设计应用 [J]. 模具工业, 2001 (6).
- [17] 徐盛林, 余五新. 通用快换冲裁模架设计 [J]. 模具制造, 2003 (6).
- [18] 李惠敏. 冲压单元组合模具在汽车生产中的应用 [J]. 锻压技术, 2009 (2).
- [19] 高广军. 铜合金模具材料在不锈钢中厚板冲压成型中的应用 [J]. 模具制造, 2007 (7).
- [20] 俞新陆. 板件柔性制造系统 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [21] 崔甫. 矫直原理与矫直机械 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2005.

第 4 章 货车冲压件制造技术

4.1 概述

1949 年新中国成立后，中国铁路货车主要经历了两个发展阶段，第一阶段是从 1949 年至 1957 年的仿制国外产品阶段，第二阶段是从 1957 年至今的自行设计、自主创新阶段。在这两个阶段中，中国铁路货车实现了 50t 级、60t 级及 70 ~ 80t 级重载快捷（速度由 70 ~ 80km/h 到 100 ~ 120km/h）三次大的升级换代。

整车产品的自主创新及升级换代对冲压件的制造质量、效率提出了更高的要求，铁路货车冲压件也由材料单一、低强度、外形简单向材料多元化、高强度、大型化发展。铁路货车的冲压件生产，也经历了机械配合大量手工、简易数控机械及数控精密制造三个发展阶段。

4.1.1 铁路货车冲压件用钢材

铁路货车的技术进步，在一定程度上依赖于我国钢材品种、性能与质量的不断提升。铁路货车按用途主要分为通用货车、专用货车和长大货物车。不同类型的货车，由于使用性能、工况不同，选用的钢材也不同。

1. 通用货车

我国现有通用货车 60 多万辆，占有所有铁路货车的 95% 以上。考虑到生产数量、经济效益、制造工艺等因素，我国通用货车车体全部采用耐候钢材质，60t 级通用货车车体主要采用 09CuPTiRE 和 09CuPCrNi 耐候钢，70t 级通用货车车体主要采用 Q450NQR1 高强度耐候钢。

2. 专用货车

我国专用货车主要用于大秦线。目前保有 C80B 型敞车、C80 型敞车共计 3 万余辆。其中 C80B 型敞车车体与货物接触部位采用不锈钢材料，主要承载部位采用 Q450NQR1 高强度耐候钢；C80 型敞车车体与货物接触部位采用铝合金材料，主要承载部位采用 Q450NQR1 高强度耐候钢。

3. 长大货物车

我国长大货物车的整体水平已经进入世界先进行列。长大货物车对制造工艺、材料性能

的要求都很高。为了降低自重、保证运行可靠性，长大货物车都选用高强度材料，其屈服强度一般都在 680MPa 以上。目前正在使用的主要有国产 HG785E 高强度钢，还有正在用于试制车研发阶段的瑞典 WELDOX1100 高强度钢。

4.1.2 铁路货车冲压件特点及工艺流程

1. 冲压件特点

对于铁路货车（上体）而言，金属板材件所占的比例高达 85% 以上，具有品种多、批量大，精度相对较低、外形规格多样的特点，多数以中厚板为主，大多需要表面抛丸、预涂底漆等处理。

(1) 品种多、批量大 以 C70 型敞车、P70 型棚车两种通用货车为例：C70 型敞车单车冲压件为 224 种、835 件；P70 型棚车单车冲压件为 332 种、2368 件。仅齐齐哈尔轨道交通装备有限责任公司年产量可达到 15000 辆。

(2) 精度相对较低 冲压加工的精度水平可达 IT6（或 IT7 级）。对于冲压件中未注公差的尺寸，可有两个方法（即两个标准）确定其公差等级：按国家标准规定的 IT12 ~ IT14 标准公差等级选取，或按行业标准（JB）A、B、C、D 四个精度等级选取，铁路货车冲压件精度等级一般为 C 级标准，未注公差相当于 D 级标准。

(3) 外形规格多样 铁路货车冲压件按组装位置可分为底架附属件，风、手制动，车钩缓冲，标记，底架，端、侧墙等部分。不同组成部分零件的规格从 50mm 小筋板到总长 10m 成形件，外形从简单方板到异形切割件，外形规格差别很大。

随着铁路货车技术快速发展，从车体轻量化以及结构优化等方面考虑，箱形组焊中梁及大部件整体成形等结构将被大量采用，冲压件进一步向外形复杂、大型化趋势发展。

(4) 强度高、中厚板为主 通用货车批量应用已发展到 450MPa，长大货物车批量应用发展到 685MPa，使用 1100MPa 钢材的长大货物车试制工作正在进行。

铁路货车冲压件以中厚板为主，2 ~ 4mm 薄板仅占铁路货车冲压件总质量的 7%，而 5 ~ 10mm 中厚板则占 90%。

(5) 表面抛丸、预涂底漆处理 为使零件获得清洁光亮具有一定表面粗糙度的表面，以增强漆膜与零件表面的附着力，从而提高零件的耐腐蚀性和表面质量，抛丸处理后的钢板预涂车间底漆。

2. 冲压件工艺流程

1) 中大剪冲件加工流程：[裁料] → [预处理] → [校平] → [剪切] → [校平] → [入库]。典型件有敞车端、侧、地板以及漏斗车端、侧板等。

2) 异形件加工流程：[裁料] → [预处理] → [校平] → [切割] → [校平] → [开坡口] → [压型] → [入库]。典型件有组焊中梁上下盖板，各车端、枕、横梁上下盖板与腹板等。

3) 大件、成形件加工流程：[裁料] → [预处理] → [校平] → [下料] → [校平] → [成形] → [入库]。典型件有敞车中立门板、下车门板，出口车下侧板、底门板及漏斗车漏斗板、脊背等。

4) 中小件加工流程: 裁料 → 预处理 → 校平 → 下料 → 平直 → 加工 → 成形 → 组焊 → 修形 → 加工 → 入库。主要是中小剪冲、折弯、组焊件, 典型件为底架附属件。

5) 型钢零件加工流程: 预处理 → 下料 → 调直 → 加工 → 成形 → 入库。主要是车体外框梁柱类零件, 典型件为下侧梁、侧柱、角柱等。

4.1.3 铁路货车冲压件生产的基本条件

需具备与产能规划相适应的场地、设备、模具、辅助装备等, 要拥有一支冲压技术专业人员队伍, 包括冲压工艺、模具设计人员, 模具的制造、装配、调试、维护人员, 生产管理人员等。

4.2 常用材料

4.2.1 铁路货车用钢材发展历程

在铁路货车发展的两个阶段中, 我国铁路货车用钢材主要经历了钢木混合、碳素钢、低合金钢、耐候钢、高强度耐候钢等几个阶段, 2003 年以后, 在专用货车上采用了铝合金和不锈钢材料。

作为中国铁路保有量最大的通用货车, 为满足技术提升及轻量化设计的要求, 选用高强度、高耐候的结构钢, 以降低车辆自重、提高整车性能, 显得尤为突出和迫切。美国早在 20 世纪 30 年代就开始采用耐候钢, 称为 Corten 钢。我国从 20 世纪 60 年代开始仿制耐候钢, 1967 年首次试用于铁路车辆制造。1978 年前后, 铁道部与冶金部合作, 试验将铁路货车车体结构用金属材料普通碳素钢转为耐候钢, 1985 年开始在铁路货车上应用, 1990 年起新造货车全部采用耐候钢。目前, 我国铁路货车使用较多的耐候钢牌号有 09CuPCrNi 和 Q450NQR1 等, 屈服强度分别为 345MPa 和 450MPa。09CuPCrNi 从 1988 年开始在 C63A 型敞车上得到广泛应用, 主要应用于 60t 级通用货车, 其耐腐蚀性相当于普通碳素钢的 2 ~ 3 倍, 在恶劣环境下相当于 3 倍以上。Q450NQR1 主要用于 70t 级铁路货车; 2010 年, 在 Q450NQR1 型高强度耐候钢的基础上, 研制了高强度耐候钢 S450EW, 其耐腐蚀性能提高了 50%, 并于 2011 年在 100 辆 C70 型敞车上进行了小批量试生产。

4.2.2 材料种类与力学性能

铁路货车的材料种类与力学性能见表 4-1。

表 4-1 铁路货车的材料种类与力学性能

材料牌号	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	材料类型	断后伸长率 A (%)		化学成分 (质量分数, %)							
						C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni
09CuPCrNi - A	≥345	≥480	耐候钢	≥24		≤0.12	0.25 ~ 0.75	0.20 ~ 0.50	0.060 ~ 0.12	≤0.020	0.25 ~ 0.50	0.30 ~ 1.25	0.12 ~ 0.65
Q450NQR1	≥450	≥550		≤6mm	≥22	≤0.12	≤0.75	≤1.50	≤0.025	≤0.008	0.20 ~ 0.55	0.30 ~ 1.25	0.12 ~ 0.65
				>6 ~ 14mm	≥20								
				>14 ~ 20mm	≥19								
S350EW	≥350	460 ~ 690		≥22		≤0.07	≤0.50	≤1.10	≤0.020	≤0.010	0.30 ~ 0.55	3.00 ~ 5.50	0.10 ~ 0.65
S450EW	≥450	550 ~ 750		≤6mm	≥20	≤0.07	≤0.50	≤1.50	≤0.020	≤0.010	0.30 ~ 0.55	3.00 ~ 5.50	0.10 ~ 0.65
			>6 ~ 18mm	≥18									
5083 - H321	≥210	275 - 350	铝合金				≤0.40	0.40 ~ 1.00			≤0.10	0.05 ~ 0.25	
T4003	≥350	≥480	铁素体不锈钢	≥20		≤0.03	≤1.00	1.00 ~ 2.50	≤0.04	≤0.015		11.00 ~ 13.00	0.60 ~ 1.00
HG785E	≥685	≥785	高强度焊接结构钢			≤0.15	0.15 ~ 0.35	0.80 ~ 1.50	≤0.03	≤0.015		0.40 ~ 0.80	≤0.80
WELDOX1100	1100	1300	SSAB 高强度钢	4 ~ 4.9mm	≥8	≤0.21	≤0.50	≤1.40	≤0.02	≤0.005	≤0.10	≤0.80	≤3.00
				5 ~ 25mm	≥10								

4.3 模具设计与制造

4.3.1 应用三维技术设计模具

1. 三维设计应用

2000年以前,我国铁路货车冲压模具设计主要采用二维CAD(AutoCAD)设计及类比参照设计模式,而美国和工业发达国家的铁路车辆制造企业的模具设计早已采用三维CAD技术,明显提高了模具设计质量与效率。采用三维技术进行模具设计已成为必然的发展趋势。

进入21世纪以来,随着CAD/CAM/CAE系统的逐步引进,为模具设计、制造手段的更新提供了广阔的空间。三维设计软件用户界面类似于Windows的产品,非常适合冲压模具设计,并且生成的三维模型可直接用于复杂模型的数控加工。三维设计软件具有以下特点:

(1) 模型是完全实体模型 这不仅有利于生成真实的几何形状,而且可进行精确的模型分析、曲线分析、曲面分析,如干涉检查、间隙检查、重心计算、重量计算等。

(2) 采用全参数化驱动所有几何形状 可以生成各类关系式,使某些几何构型可随其他几何尺寸的改变而自动改变,即参数化贯联式设计。

(3) 全相关系统 任何时候对模型的任何修改都可双向(二维↔三维)传递到整个设计中,而且自动更新,包括零件、装配、工程图。

2. 三维模拟分析

板材成形有限元分析技术起源于20世纪70年代初,它可用于分析复杂三维板材成形的过程,包括成形缺陷,如破裂、起皱和回弹。这一技术既可应用于模具设计阶段,也可用于分析和解决在实际生产中出现的产品质量问题。有限元模拟技术涉及数值方法、力学、材料科学、计算机技术以及塑性加工技术等多门学科,是当代科学研究的前沿领域之一。

在铁路货车制造行业,率先引进的是eta/DYNAFORM软件包,并开展了冲压成形模拟技术应用开发研究工作。

(1) DYNAFORM数值模拟分析系统简介 eta/DYNAFORM软件是由ETA公司研制的基于LS-DYNA的钣金冲压分析软件包。

DYNAFORM的主要功能包括,分析拉延、成形、回弹、翻边、切边、等板料成形过程中的不同工序,也可以进行多步成形(或多工序加工)分析。通过用户已定义好的冲压工艺及模具曲面形状来预测成形状态,其中包括减薄拉裂、起皱、回弹等各种问题,同时可以对成形力、压边力、拉延筋、模具磨损等各种工艺问题进行分析,以便优化工艺和模具设计。DYNAFORM的核心技术包括以下几个方面:

- 1) 动力显式积分算法。
- 2) 板壳有限元理论的研究。

- 3) 本构理论和屈服准则 (材料模型)。
- 4) 接触判断算法和网格细化自适应技术。
- 5) 多工步成形模拟技术。
- 6) CAD/CAM 软件和成形过程 CAE 软件之间的数据转换技术。
- 7) 建立有限元模型的若干技巧。
- 8) 板材冲压成形模拟的一般过程。

图 4-1 是应用 DYNAFORM 进行钣金成形模拟分析的一般过程。

(2) 典型冲压件成形过程的数值模拟研究 结合铁路货车冲压件生产中的实际需求, 针对典型冲压件进行了大量的数值模拟研究, 预测和验证冲压成形结果, 以解决冲压成形过程中的质量问题。参照数值模拟分析结果, 提出对模具、工艺方案或产品设计的修改建议。

1) 针对手制动机箱壳、制动缸端盖等拉伸件成形进行数值模拟。

图 4-2 为箱壳板料厚度变化云图, 图 4-3 为箱壳板料成形极限云图。



图 4-1 DYNAFORM 成形分析流程图

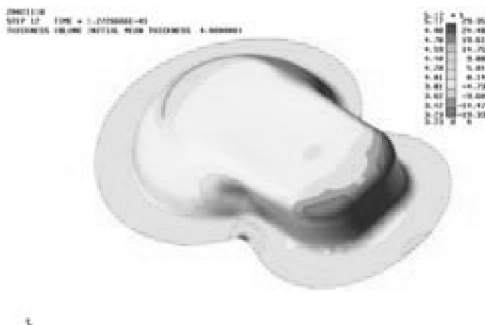


图 4-2 箱壳板料厚度变化云图

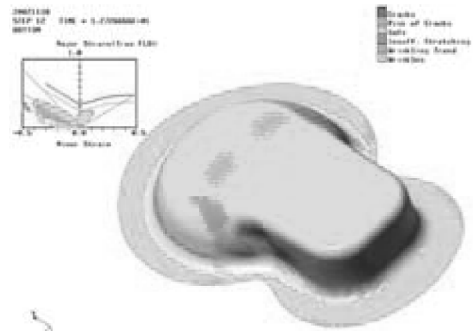


图 4-3 箱壳板料成形极限云图

图 4-4 为端盖第一次拉伸厚度分布图, 图 4-5 为端盖第二次拉伸厚度分布图。



图 4-4 端盖第一次拉伸厚度分布图

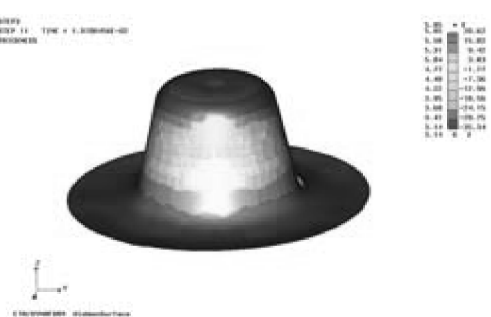


图 4-5 端盖第二次拉伸厚度分布图

2) 针对粮食车装货口盖、棚车侧板、敞车门板等起伏件成形进行数值模拟。
图 4-6 为装货口盖厚度变化云图, 图 4-7 为装货口盖最大主应力云图。

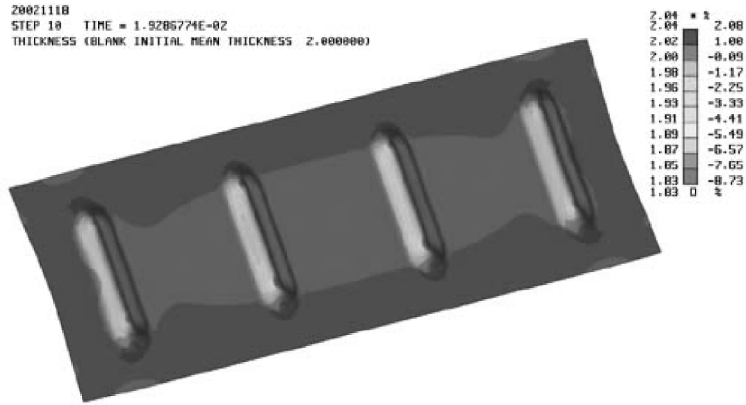


图 4-6 装货口盖厚度变化云图

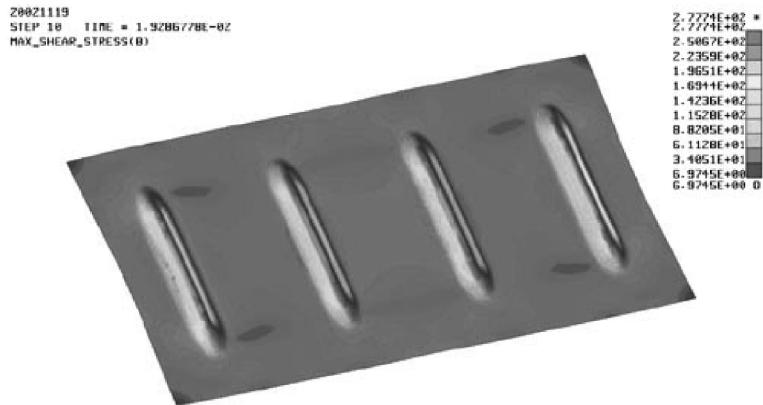


图 4-7 装货口盖最大主应力云图

3) 针对手指动机手轮等翻边件成形进行数值模拟。
图 4-8 为手轮最大主应力云图, 图 4-9 为手轮厚度变化云图。

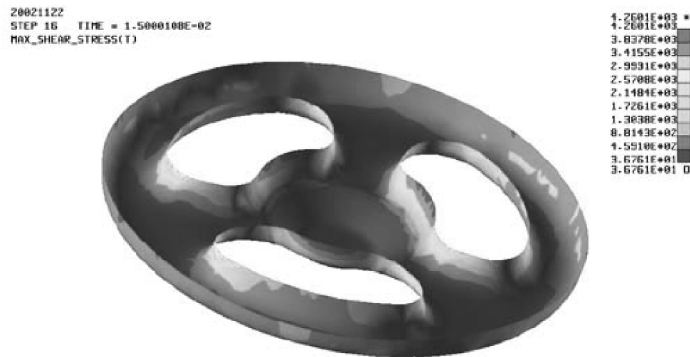


图 4-8 手轮最大主应力云图

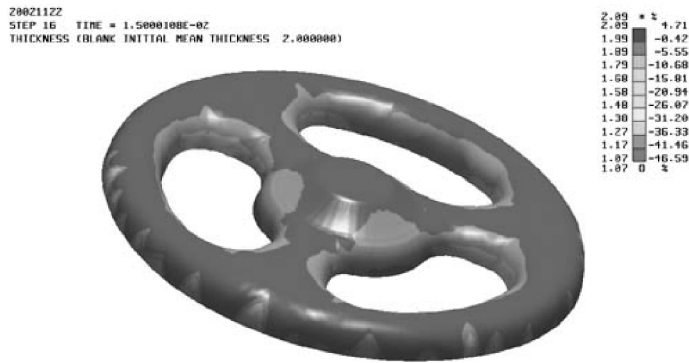


图 4-9 手轮厚度变化云图

4) 针对转向架交叉杆进行管材成形数值模拟。

图 4-10 为圆管成形厚度云图，图 4-11 为方管成形应力云图。

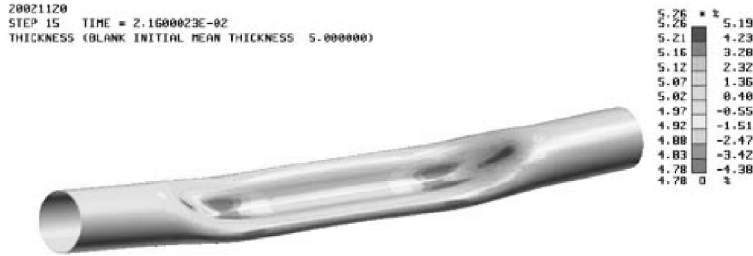


图 4-10 圆管成形厚度云图

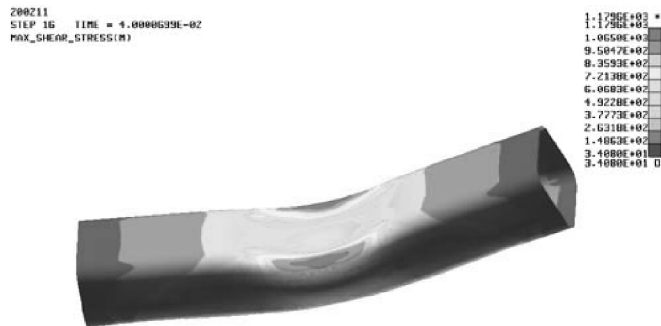


图 4-11 方管成形应力云图

4.3.2 模具材料选择

1. 模具材料选用原则

- 1) 碳钢及低合金钢材料冲切，建议使用具有较高的硬度，良好的冲击韧性，抗崩刃性能极佳的模具材料。
- 2) 高强度钢板冲切，建议使用具有极高的抗冲击韧性，及抗崩刃性能的模具材料。
- 3) 铝合金、铁素体不锈钢粘着较严重，冲切模具建议使用抗粘着磨损性能较好的模具

材料；成形模具建议使用具有极高的耐磨性及抗粘着磨损性能的铜合金，以降低摩擦。

2. 模具材料应用实例（见表4-2）

凸、凹模所使用的模具钢有碳素工具钢，低合金工具钢，中、高合金工具钢，高速工具钢，基体钢，硬质合金和钢结硬质合金。

表4-2 模具材料汇总表

模具类别	模具材料	硬度要求（HRC）	热处理规范及畸形量
冲孔切断	CrWMn	58~62	畸形小
	W18Cr4V	56~60	畸形较小
拉深成形	CA-2H 铜铝铸造合金	40~46	畸形无
	KYG-2 铜铝铸造合金	40~46	畸形无
	5CrNiMo	52~56	畸形大
	Cr12MoV	56~64	畸形小
	5CrMnMo	54~60	畸形大
	QT500~700	54~58	畸形无

1) CrWMn 是高碳低合金钢种，淬火操作简便，淬透性优于碳素工具钢，变形易控制。

在 C70 侧门板落料模 C108-358-00-00、C80B 大横梁腹板 C107-1943-00-00 和枕梁腹板 C107-1944-00-00 冲断模中应用，当锻造次数为 2 次的时候，在生产过程中，易出现断裂的现象，当锻造次数为三四次的时候，在生产过程中克服了崩刃的缺陷，适合在冲孔落料模具中应用。

2) 5CrNiMo 或 5CrMnMo 是常用的高碳高铬工具钢，畸形大。

在滑槽磨损板一次 C103-2020-00-00 和二次压型模 C103-2021-00-00 中，在镶块圆角 R 局部表面激光热处理，达到提高模具的使用寿命，适合在热压型模具中使用。

3) Cr12MoV 具有较好的淬透性、淬硬性和耐磨性，热处理变形很大。

在手轮拉延模 C108-448A-00-00 中应用，表面进行氮化处理，提高其耐磨性，降低成形中的摩擦阻力。

4) W18Cr4V 是高速钢，具有较高的硬度、耐磨性和抗压强度，承载能力很高。

在大轴重敞车左右门板 C107-2077-00-00 和下侧门板 C107-2078-00-00 中使用，其中间和边缘部位的热处理硬度值差距较小，热处理的硬度能够满足技术条件。

5) QT (500-700) 高强度球墨铸铁。组织中的石墨具有自润滑作用，能有效地减轻拉深中的摩擦，而且相对于 CA-2H 铜铝铸造合金和 KYG-2 铜铝铸造合金，成本较低，容易加工。完全可以取代铜铝合金 KYG-2 等价格昂贵的模具材料。

在 BHP 矿石车下侧板 C103-1971-00-00 不锈钢成形模具中应用，取得了良好的效果，减少了划伤和不规则的压痕，同时防止工件产生粘滞。

4.3.3 模具使用设备选择

冲压设备的选择是工艺设计中的一项重要内容，直接关系到设备的合理使用、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。需要考虑压力机的许用负荷，核算各种工序所需的压力和压力机功率，选择压力机的行程和行程次数，最大装模高度，台面尺寸以及压力机的精度。

如图 4-12 所示，该件是凹底平车的盖板，通过理论计算成形力为 4070tf，超过现有 4000tf 压力机工艺能力。为验证理论成形力，采用按实际比例缩小在小吨位压力机上进行模拟试验的方法。通过多次模拟试验，核算出该件实际成形力为 3770tf，低于现有 4000tf 水压机的工艺能力，因此在 4000tf 水压机上成功实现了盖板成形。

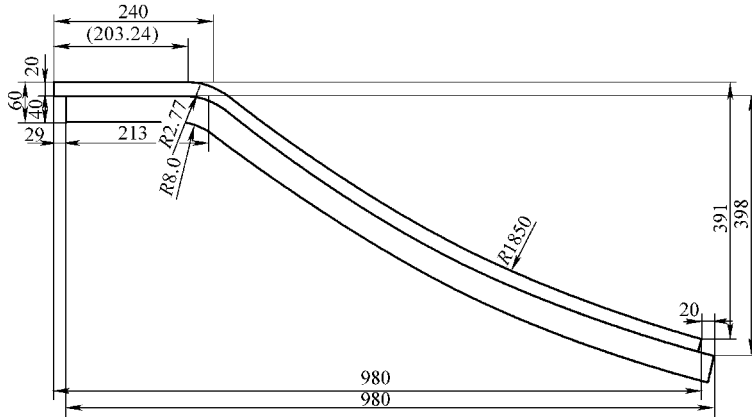


图 4-12 凹底平车车盖板工件

当设备的工艺能力不确定时，必要时可以通过工艺试验，确定设备的工艺能力是否满足工件成形的需求，避免超过设备能力和成形功。

4.3.4 模具安全性及使用性

- 1) 工装模具和工位结构及各部分组成应符合人机工程学、生理学的要求。
- 2) 冲模中相对运动的零部件（如压料板、弹簧、气缸活塞、废料切断刀、钩爪等），在压力机上无防护装置（或不便于使用防护罩）的情况下，应设防护装置。
- 3) 手工上下料、冲模上下料部位尽可能开设空手槽或空手孔。
- 4) 操作危险区：操作者工作时可能受到伤害的区域，这个区域是指在压力机等冲压设备上安装调试冲模，对放置的材料进行剪切、冲孔、成形或组装的零部件加工，所包容的垂直投影的区域。对特别危险的模具，加装光电保护装置，保护设备和人身的安全，而非靠操作者刻意努力达到安全的要求。

5) 符合 GB/T 8176—1997《冲压车间安全生产通则》《冷冲压安全规程》GB/T 13887—2008 的技术要求。

- 6) 模具的定位方式必须与操作者的操作习惯一致。
- 7) 模具的结构便于现场维修保养。
- 8) 模具备品备件的互换性。
- 9) 在工艺能力相同的设备上的通用性。

4.4 冲压生产常用设备

4.4.1 板材、型材预处理

由于受钢板开卷能力及起重设备起重吨位限制,各轨道车辆制造工厂在新一轮设备更新改造前,订购规格为8mm及以上厚度钢板以板料形式进厂,7mm及以下厚度规格以卷料形式进厂。

1. 板料与型钢预处理线

承担板料、型钢预处理工序。功能是通过钢材表面进行抛丸处理,清除钢板表面的锈蚀、氧化皮和污物,使钢材获得清洁光亮具有一定表面粗糙度的表面,以增强漆膜与钢材表面的附着力,从而提高零件的耐腐蚀性和表面质量。抛丸处理后的钢板预涂车间底漆,保证钢材在车间加工过程中不再二次污染生锈。

2. 钢板开平、预处理线

主要承担薄板卷料开卷、预处理工序。为防止2~4mm薄板卷料开平后钢板抛丸产生变形,采用卷料开平与预处理工序连接成线方案,区别于其他厚度钢板先开平、裁料后抛丸、喷漆的顺序,采用钢板开卷后先抛丸后裁料、喷漆方案。

4.4.2 板材下料

1. 钢板开平、横剪、纵剪线

单独成线,主要承担4mm以上钢板卷料开平、横剪裁料及纵剪分条、切边工序,为下工序提供荒料或半成品零件。

横剪可采用固定式剪板机也可采用移动剪机,移动剪机针对移动中的钢板进行剪切,解决了固定式剪板机剪切时全线须暂停的问题,具有高速化、连续化加工的特点。

2. 剪板机

剪板机分为机械剪板机、简易数控剪板机及数控剪切中心,承担简单外形零件剪切下料工序。

(1) 机械剪板机 相对于后两种液压剪板机剪切速度较快,需要人工辅助上、下料,不具备后挡料装置及剪切间隙的数控调节功能。

(2) 简易数控剪板机 需要人工辅助上、下料,可实现后挡料装置及剪切间隙的数控调节,劳动强度较大,效率、精度受人为因素影响较大。

(3) 数控剪切中心 可以实现数控编程后上料、定位、送料、剪切、下料全工序过程自动运行,具有高效率、高精度,低劳动强度的特点。

4.4.3 板材切割

分为数控火焰/等离子切割机、数控激光切割机及数控水切割机。

1. 数控火焰/等离子切割机

主要承担碳钢零件切割工序,数控等离子也可以切割不锈钢、铝合金,但是切割断面质

量较差需要进行打磨。

2. 数控激光切割机

主要承担精度要求高的碳钢零件及不锈钢、铝合金零件切割工序，具有外形尺寸精度高、断面质量高和切割热影响区小的特点。

3. 数控水切割机

主要承担上述切割机都无法切割的铝合金厚板等零件切割工序，切割速度相对上述切割设备较慢，断面质量优于数控等离子切割。

4.4.4 板材校平、加工

1. 板材校平设备

主要承担半成品及成品零件钢板校平工序。

2. 板边加工设备

以铣边机/刨边及滚剪倒角机、自行式坡口机为主，主要承担铁路货车冲压结构件直线、曲线坡口加工工序。

4.4.5 板材冲压

1. 机械压力机

配合相应冲裁模具，主要承担冲压件冲孔、落料、切断等冲裁工序。

2. 数控折弯机

配合相应折弯模具，主要承担冲压件自由弯曲成形工序，相对于液压机具有模具结构简单、灵活、通用性强的特点；数控化程度高，折弯精度较高，可以实现折弯挠度补偿及折弯数控编程。

3. 卷板机

主要承担粮食车侧板，铝合金/不锈钢运煤敞车浴盆底板及通用风缸缸体圆弧卷制工序。分为三辊及四辊卷板机。三辊卷板机可以实现板材预弯功能，根据预弯功能调整方式的不同分为上辊万能调整及下辊水平移动两种，零件卷制前需要进行人工划线，无法实现全数控自动操作；四辊卷板机可以实现板材预弯及全数控自动操作功能，零件卷制前不需要人工划线，相对三辊卷板机具有较高的卷制效率和精度。

4. 液压机

主要承担冲压件拉深、起伏成形、弯曲、翻边等工序，根据结构不同可以分为单柱液压机、四柱液压机和框架式液压机。

4.4.6 型材下料、校直

1. 高速带锯

主要承担各类中小型钢下料工序。

2. 液压校直机

主要承担各类型钢的调直及预制挠度工序。

4.5 分离件制造技术

4.5.1 分离件类型及其制造工艺

1. 按用途分类

①筋板类；②隔板类；③腹板类；④盖板类；⑤梁柱、覆盖件类；⑥内孔加工类；⑦其他。

2. 工艺分类

(1) 剪切 剪切是将板材或型材按所要求的尺寸或线条进行机械分离的工序，使板材或型材分离成所需的制件或毛坯料。

根据生产批量的大小和所剪切材料的几何形状及尺寸的不同，可分别采用不同的剪切方法。一般分为：斜刃剪切、型材剪切和移动剪切。还有一种为上剪刀对下剪刀斜交成一定角度的剪切，叫做斜刃剪切。

在剪切时并不是所有的剪刀在宽度上都同时参加剪切，而是仅有一部分接触板料参加剪切，故剪切力较平刃剪切显著降低。在剪刀倾斜度一定的情况下，剪切力的大小与板料厚度成正比。斜刃剪切在冲压件生产工序中应用较为广泛。

型材剪切与其他剪切工作原理基本相同，只是由于型材的形状较为复杂，所用的上、下剪刀的形状也随之复杂，所以型材剪切是型材在与所切断面形状一样的特殊上、下剪刀中进行剪切。

为了减小最初的剪切力，最好沿型材对角线方向来剪切，目前所用的大部分型材剪切设备都是按这原理制作的。一般型钢剪切机的刀架做成倾斜 45° 角。这样做是为了可以在保证型钢能沿整个外形一次切断时，既可避免在逐渐切断的场合下，材料所发生的扭曲形象，又可使型钢沿着平面平稳地进行送料。

横向剪切运行中的钢板的剪切机技术叫做移动剪切，是一种能快速切断钢板的加工设备。常用横剪开平线上，在钢板运动过程中，由剪刀相对运动而将板剪切成定尺长度。采用移动剪切技术有利于使钢板开平生产向高速化、连续化方向发展。

定尺移动剪切应该保证良好的剪切质量——定尺精确、切面整齐和较宽的定尺调节范围，同时还要有较高的剪切速度。

(2) 冲裁 冲裁是利用冲压模具使材料分离或部分分离的一种冲压工序，是冲压生产的主要工艺方法之一，在各机车车辆工厂备料（冲压）车间所占工作量的比重很大。冲裁可以直接制成成品零件，也可为弯曲、拉深、成形等其他工序准备毛坯。

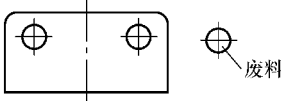
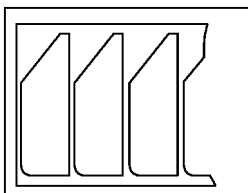
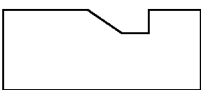
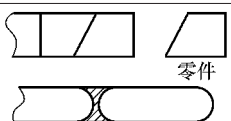
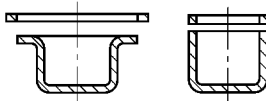
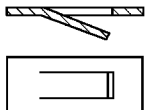
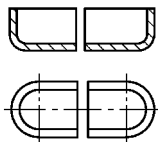
冲裁按工艺特点可分为冲孔、落料、切口、切断、切边、切舌、剖切七大类，见表4-3。

(3) 切割 切割是指利用设备通过一定的高能束流使金属局部熔断或击穿，随着设备移动从而形成狭窄缝隙，把材料分开的一种分离工艺方法。

材料切割主要有气割、等离子切割、激光切割及水刀切割等。

(4) 锯切 锯切是指用边缘具有许多锯齿的刀具（锯条、圆锯片、锯带）或薄片砂轮等，将工件或材料切出狭槽或进行分割的一种切削加工方法。

表 4-3 常见冲压工序分类表

序号	工序名称	工序简图	定义
1	冲孔		将材料沿封闭的轮廓分离，封闭轮廓线以外的材料成为零件或工序件
2	落料		将材料沿封闭的轮廓分离，封闭轮廓线以内的材料成为零件或工序件
3	切口		将材料沿轮廓线局部分离，形成向内部延伸的轮廓线，被分离的材料成为零件或工序件
4	切断		将材料沿敞开的轮廓分离，被分离的材料成为零件或工序件
5	切边		切去成形制件不整齐的边缘材料的工序
6	切舌		将材料沿敞开的轮廓局部而不是完全分离的一种冲压工序
7	剖切		将成形工序件一分为二的工序

4.5.2 分离件模具

1. 按工序性质划分

可分为落料模、冲孔模、切断模、切口模、切边模、剖切模等。

2. 按工序组合方式划分

可分为单工序模、复合模和级进模。

单工序模是在一副模具中只完成一个工序，如落料、冲孔、切断等。

复合模是在压力机的一次行程中，在一副模具同一位置上完成数道冲压工序。

级进模是在压力机一次行程中，在模具的不同位置上同时完成数道冲压工序。

4.5.3 分离件生产设备

包括纵剪、横剪开平线，剪板机、压力机、数控转塔冲床、数控等离子（火焰）切割

机、数控激光切割机、水切割机、锯床等。

4.5.4 典型分离件生产实例

根据现场实际生产情况，按工序的组合情况，对有导向的单工序模具、复合模及级进模分别进行介绍，并对近几年使用的组合冲模作一简单介绍。

1. 单工序模

这种模具在机车车辆生产中已广泛使用，其结构特点是：模具上部和下部以导套、导柱来保证准确的相对位置。这种模具安装、使用方便，使用寿命长，导向精度高，冲模工作零件易磨损，适用于大批量的生产，对各种大、小制件的冲裁均适用。

(1) 落料模 对于外形不规则的冲压件，在冲床吨位允许的前提下，可采用全形落料方案，在提高效率的同时，可保证零件外形的一致性。如图4-13所示零件，采用全形落料，为提高材料利用率采用对排掉头冲的方式。又如图4-14所示，利用初定位冲第1个件后，挂挡利用形定位冲第2个件，以此类推完成第3、4个件冲制；之后，将条料掉头按照之前方法冲制第5~8件，从而大大提高了材料利用率。落料模具结构示意图见图4-15。

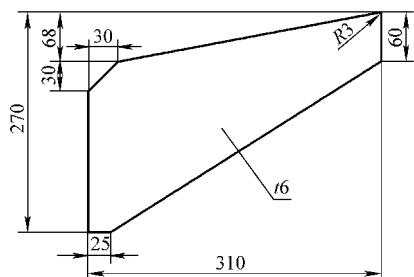


图 4-13 筋板工件图

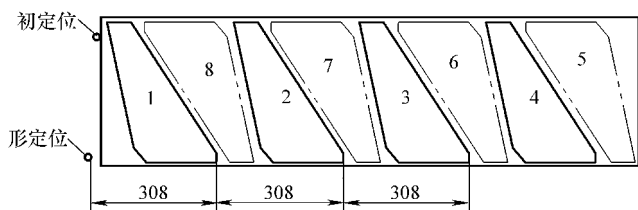


图 4-14 排样、定位装置布置图

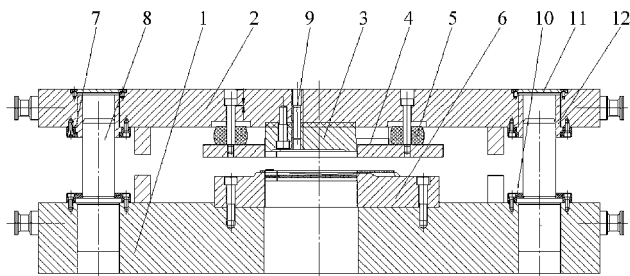


图 4-15 落料模具结构示意图

- 1—下模板 2—上模板 3—凸模 4—卸料板 5—聚氨酯 6—凹模 7—导套压板
8—导柱 9—销 10—导柱压板 11—防尘盖 12—导套

(2) 切断模 如图4-16所示零件为具有代表性的货车零件——横梁腹板，外形相对规则，且外形尺寸较大不适合全形落料，该件采用局部切断工艺方法，半成品轮廓见图4-16中双点画线所示。该件切断模具结构图详见图4-17。

2. 复合模

复合模是在单工序模的基础上发展起来的一种较先进的冲模，可以在一套模具中同时完

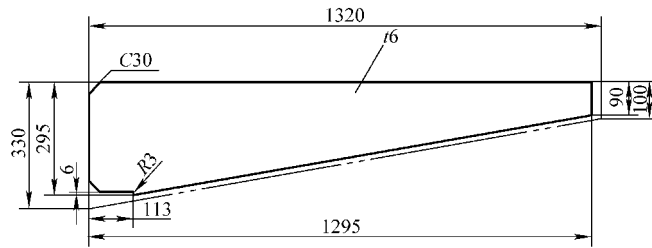


图 4-16 横梁腹板零件图

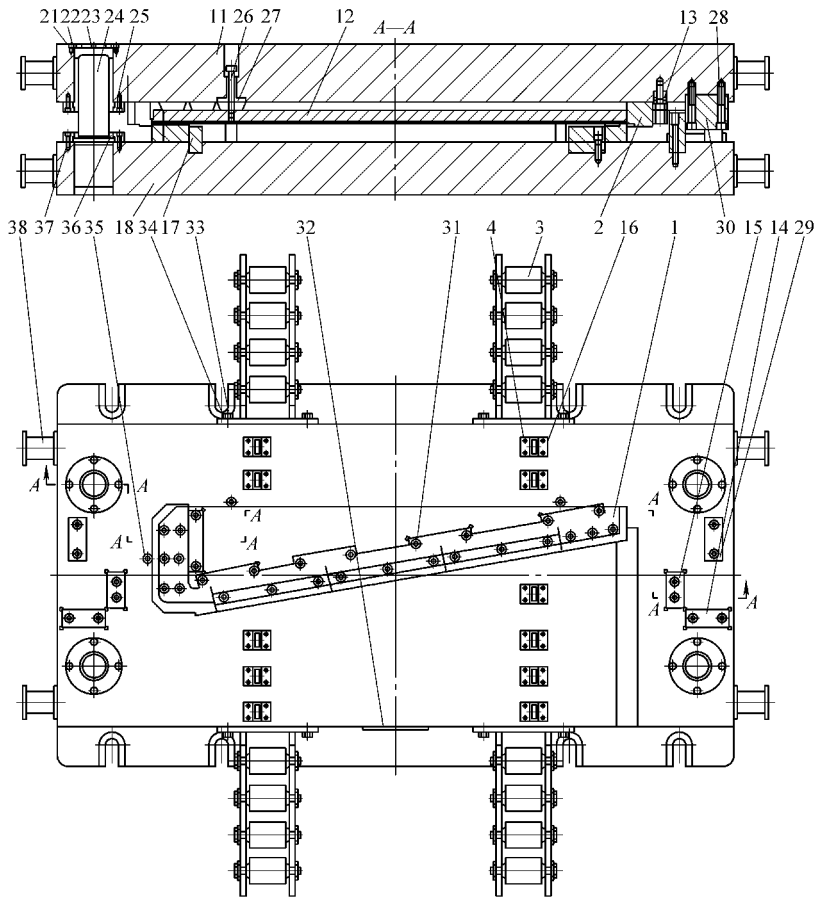


图 4-17 切断模具结构图

- 1—下模镶块组成 2—上模镶块组成 3—上下料辊道组成 4—托料辊道组成 11—上模体 12—卸料板
- 13—上刃靠铁 14—下平衡块(1) 15—下平衡块(2) 16—垫板 17—下刃靠铁 18—下模体 21—螺钉
- 22—导套 23—防尘盖 24—导柱 25—导套压板 26—卸料螺钉 27—聚氨酯 28—螺钉 29—限位块
- 30—平衡块 31—螺钉 32—铭牌 33—垫圈 34—螺栓 35—销 36—导柱压板 37—螺钉 38—插入式运输销

成几个工序。具有模具结构紧凑、生产效率高的特点，能保证制件有较高的精度（内外形同心度及表面平面度），适于制造形状复杂且要求具有较高尺寸精度与表面质量的制件。复合模适用于大批量生产，克服了单工序模的缺点。图 4-18 为冲孔落料复合模结构图。

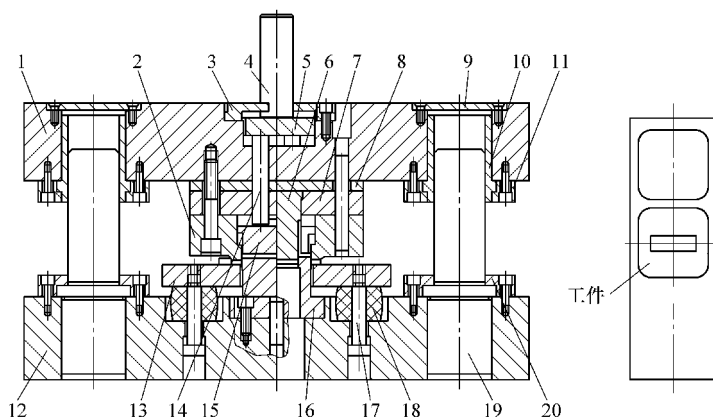


图 4-18 冲孔落料复合模结构图

1—上模板 2—凹模 3—盖板 4—推杆(1) 5—顶板 6—凸模 7—凸模压板 8—凸模垫板 9—防尘盖 10—导套
11—导套压板 12—下模板 13—卸料板 14—推杆(2) 15—顶料板 16—凸凹模
17—卸料螺钉 18—聚氨酯 19—导柱 20—导柱压板

3. 连续模

连续模也是在单工序模基础上发展起来的一种多工序、高效率的冲模，可在一套模具中有规律地安排几个工序进行连续冲裁。

连续模优点是：工序缩短，生产率高，操作安全方便，便于实现自动化生产，在大批量生产中效果尤其显著。其缺点是：制造复杂，结构尺寸大，成本较高，在冲制稍厚的制件时有拱弯现象。

图 4-19 是先冲孔后冲断的连续模结构图。

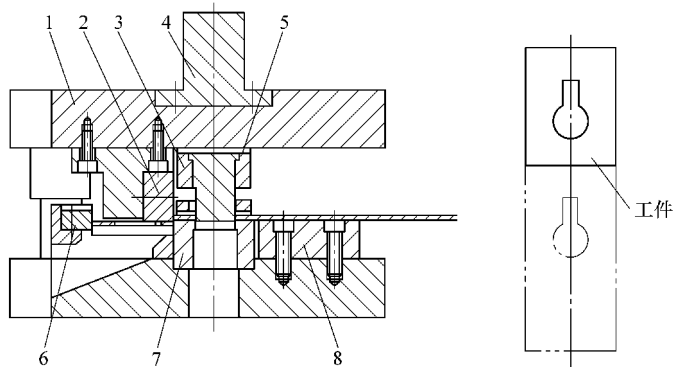


图 4-19 先冲孔后冲断的连续模结构图

1—上模板 2—切断刃 3—凸模压板 4—模柄 5—凸模 6—定位挡 7—凸凹模 8—提高板

4. 组合冲模的应用

在多种、小批量生产和新产品试制过程中，专用模具的制造周期和制造成本等因素，直接影响到生产进度和产品成本，而组合冲模是缩短模具制造周期，降低产品成本的新型模具形式。

根据结构形式和冲裁方法，组合冲模主要有弓形架式组合冲模、分解式组合冲模、通用

模架式组合冲模和积木式组合冲模四种。目前，在铁路货车制造企业中，应用比较广泛的是弓形架式组合冲模。

弓形架式组合冲模是以弓形架作为模架，通过更换凸凹模和弓形架，以不同的组合模式，完成不同的冲裁需要。该类模具适用于长形工件和大型板材边缘的多孔冲裁，根据不同组合，可一次或分几次完成。

根据冲裁件强度、厚度和冲孔的大小，将冲孔单元分为轻型组合冲孔单元和重型组合冲孔单元。图 4-20 为重型组合冲孔单元。

图 4-21 所示零件，如采用钻孔加工效率低，成本高且尺寸一致性差。采用组合冲孔方案可以解决这些问题。

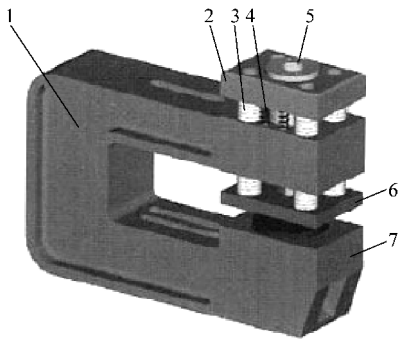


图 4-20 重型组合冲孔单元

- 1—弓形架 2—凸模固定板 3—碟形弹簧 4—复位弹簧
- 5—凸模组成 6—卸料板 7—凹模

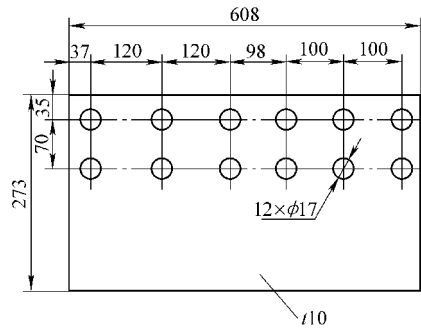


图 4-21 组合冲孔零件

图 4-22 为组合单元冲模结构示意图。

图 4-23 为定位板组成结构示意图。该件先利用弹性定位销冲制第一排孔，之后利用定位挡冲制第二排孔。

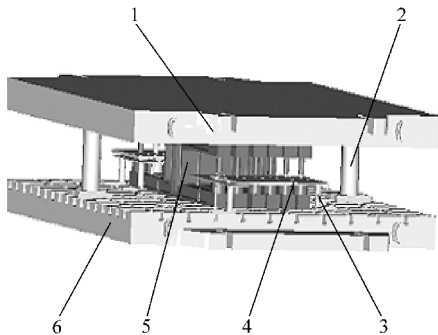


图 4-22 组合单元冲模结构示意图

- 1—打击板 2—安全限位器 3—支承座
- 4—定位板组成 5—冲孔单元 6—基础板

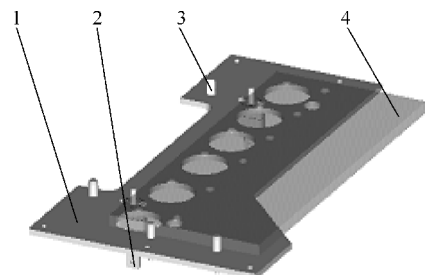


图 4-23 定位板组成结构图

- 1—定位板 2—弹性定位销 3—定位挡 4—工件

如图 4-24 所示工件，从加工的效率 and 成本来考虑，很适合采用组合单元冲模。图中有两个孔的孔距仅为 50 mm，无法排下两个（单孔）冲孔单元。为解决这一问题，可先用组合

冲模将全部孔一次冲制完成（只留一孔），然后再冲留下的孔。这样虽可大幅提高生产效率，但从实现工艺流程优化的目标来看，还不是十分理想。为此，采用双孔冲孔单元与普通冲孔单元相配合，一次完成所有孔的冲制。双孔冲孔单元具体结构见图 4-25。

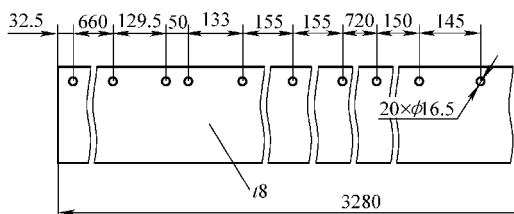


图 4-24 零件图

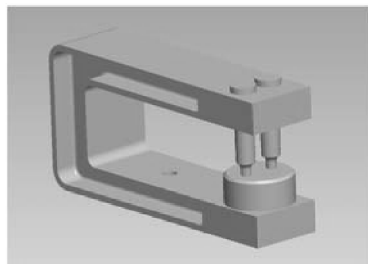


图 4-25 双孔冲孔单元结构示意图

4.5.5 冲压用料排样及计算

排样是指冲裁零件在条料、带料或板料上布置的方法。合理有效的排样可以在最低材料消耗和高生产率条件下，得到符合设计技术要求的工件。在冲压生产中，冲压件材料消耗费用可达总成本的 60% ~ 75%，每降低 1% 的冲压废料，将使总成本降低 0.4% ~ 0.5%。合理利用材料是降低成本的有效措施，尤其在大批量生产中，冲压件年产量达数十万件甚至数百万件，提高材料的利用率，其经济效果尤为突出。

1. 材料利用率

材料的经济利用，直接取决于冲压件的制造方法和排样方式。在冲压工艺设计中，评价材料经济利用程度的指标是材料利用率。材料利用率 η 表示冲压工件在坯料上排样的合理程度，也就是材料利用的经济程度。

$$\eta = \frac{\text{实用材料面积}}{\text{消耗材料面积}} \times 100\%$$

实用材料面积即冲压工件有效面积，它与消耗材料面积之差值即为废料。

废料分为设计废料和工艺废料两部分。设计废料是由于零件结构形状的特点所形成的废料，如零件上的孔、槽以及外缘部分的凹槽、缺口等，一般情况下设计废料是难以避免的。工艺废料是指工件之间和工件与板料侧边之间的搭边，以及冲裁过程中出现的料头和料尾。合理的排样方法可以降低工艺废料的比列。

一张板料上总的材料利用率 $\eta_{\text{总}}$ ：

$$\eta_{\text{总}} = \frac{n_{\text{总}}A}{LB} \times 100\%$$

式中 A ——冲裁件面积 (mm^2)；

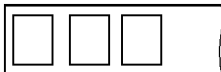


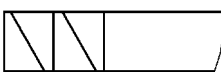
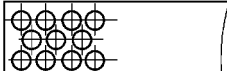
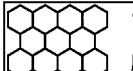

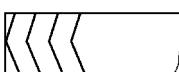
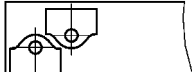
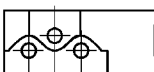

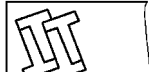
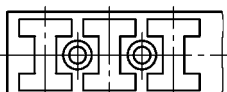
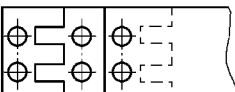
$n_{\text{总}}$ ——一张板料上所冲工件总数目；

LB ——板料面积 (mm^2) 其中 L 为板料长度， B 为板料宽度。

2. 材料排样及材料利用计算

零件常用排样形式见表 4-4。

表 4-4 常用排样形式

排样类型	有废料排样	少、无废料排样
直排		
单排对排		
多行排		
斜排		
对头直排		
对头斜排		
混合排		

条料在板料上的裁剪方式分纵裁、横裁和混合裁三种方法，见图 4-26。

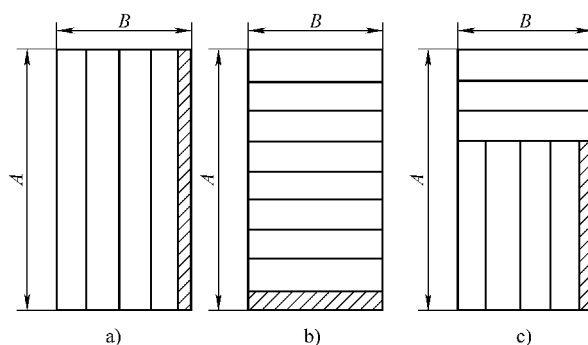


图 4-26 裁板方法

a) 纵裁 b) 横裁 c) 混合裁

图 4-27 为一个零件采用直排、单行对排、双行对排的排样方案对比图。在 2000mm × 1000mm 条料上进行排样，直排利用率仅为 49.6%，单行对排为 70%，双行对排可达 78%。

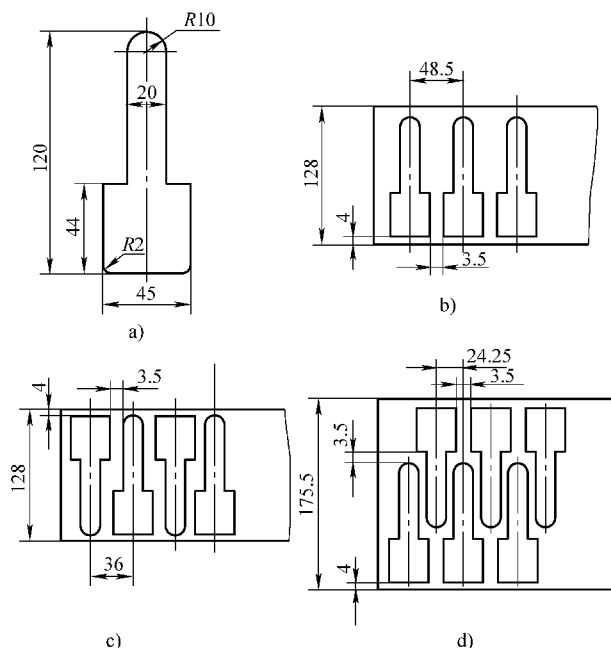


图 4-27 排样方案

a) 零件图 b) 直排 c) 单行对排 d) 双行对排

4.6 拉深件制造技术

4.6.1 拉深件的类型及其成形工艺

利用具有一定圆角半径的拉深模，将平板毛坯或开口空心毛坯冲压成容器状零件的冲压过程称为拉深。拉深是主要的冲压工序之一，应用很广，像铁路货车的一些罩件、覆盖件、壳体件等都是应用拉深成形的。拉深件的几何形状很多，大体可以划分为以下三类：

- 1) 旋转体（轴对称）零件（包括直壁旋转体及曲面旋转体）；
- 2) 盒形零件（方形、矩形、椭圆形、多角形等）；
- 3) 复杂曲面零件。

铁路货车拉深件，按成形原理分为拉深成形件及大型覆盖件。拉深成形件从成形难易程度比较来看，深度不大的圆筒件易于拉深成形，其次是盒形件，而锥形、半球形件及复合形状的工件拉深成形较为困难。

大型覆盖件一般是复合类成形，大都为胀形和拉深的复合。实践证明，在多数情况下，拉深工序是制造这类零件的关键，直接影响产品质量、材料利用率、生产效率和制造成本。

铁路货车拉深件成形技术，与汽车行业相比，主要体现在以下几个方面：

- 1) 板材绝大多数为高强度热轧钢板，板厚一般集中在 3~5mm，成形力大。
- 2) 板材表面状态差，在拉深成形过程中，摩擦系数大，在模具的有限元分析、现场调试过程中，这是一个不可忽视的重要因素。

3) 板厚公差大, 板材的机械性能波动大, 导致一个批次板材模具使用正常, 换一批次的板材可能会出现拉裂的现象。

4) 无完整的硬化过程, 伸长率相对较低, 在采集应力应变数据时往往得不到完整的过程, 经常靠拟合得到, 对仿真分析有一定影响。

1. 拉深成形件

铁路货车拉深件主要应用在车体的制动部分, 与汽车行业相比, 其结构简单, 种类也不多。随着铁路货车多年的发展, 拉深件结构已基本定型, 主要有风缸端盖、制动缸前盖、手制动机箱壳等典型件。拉深原理也与其他行业基本相同。

在满足使用性能的前提下, 拉深件结构应尽量简单, 优先设计成轴对称结构, 这样在工件的圆周方向上变形较为均匀, 进料阻力互相平衡, 能够保证工件成形质量, 同时也有利于模具制造。带有凸缘结构的零件, 凸缘尽量沿周边均匀, 并且凸缘的宽度不宜太宽, 否则要增加拉深次数。

除拉深高度外, 拉深件底部的内侧圆角及凸缘的内侧圆角半径, 是影响拉深工艺性的重要参数。如图 4-28 所示, 底部的内侧圆角不宜过小, 取 $R_1 \geq 1.2t$ 倍板厚, 否则会导致工件的底部圆角处缩颈或开裂。凸缘的内侧圆角半径同样不宜过小, 至少 $R_2 \geq 2t$, 否则因拉深阻力太大, 而导致侧壁开裂, 同时凸缘的内侧圆角半径也不能过大, 过大将导致凸缘起皱的趋势增加, 一般建议取 $R_2 = (3 \sim 6)t$ 。

铁路货车零件一般从几何结构上分为回转体(图 4-29、图 4-30)和盒形(图 4-31、图 4-32)两类。典型的回转体拉深件为制动缸端盖、风缸端盖; 典型盒形件为手制动机箱壳、防盗箱, 均属拉深件, 但对于多次拉深来说, 其冲压工艺方法却有很大的不同。

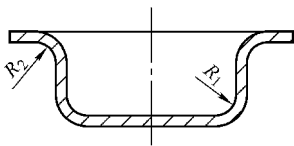


图 4-28 拉深模圆角设计

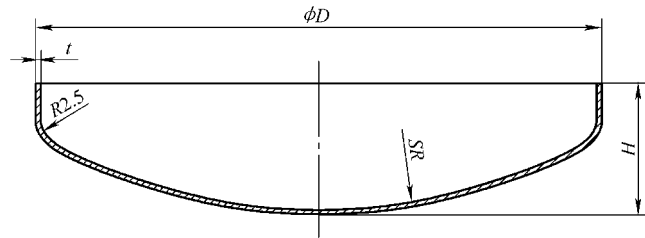


图 4-29 风缸端盖

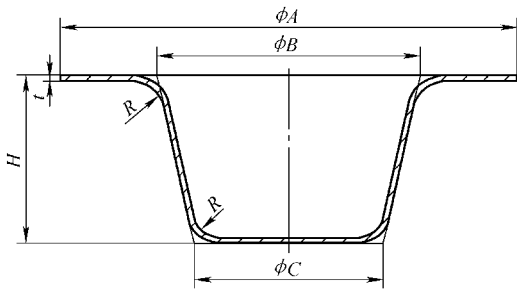


图 4-30 制动缸端盖

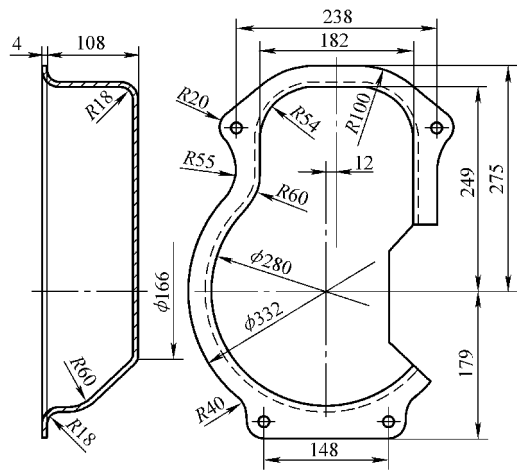


图 4-31 手制动机箱壳

回转体的多次成形工序工件的过渡形状,一般是直径“从大到小”,也就是说理论上无论成形多么苛刻的回转体,只要通过多次拉深都能实现。对于没有阶梯的深对称形的盒型,一般要通过先拉深成圆形,最后整形成盒型;而阶梯盒型的冲压成形顺序却截然不同,其成形顺序一般是先拉深小阶梯,然后再拉深大阶梯。

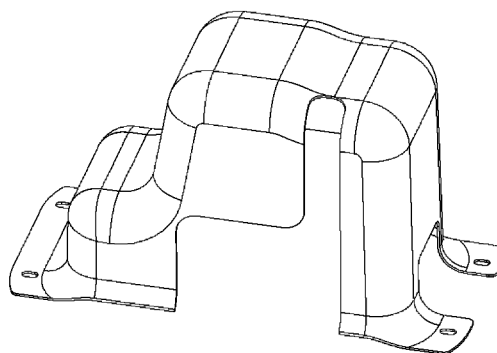


图4-32 防盗罩

2. 大型覆盖件

大型覆盖零件,主要指敞车、棚车侧墙,及粮食车顶盖等部位的大型拉深件。这类零件具有表面质量要求高(光滑、美观)、刚性好、轮廓尺寸大、形状复杂等特点。成形过程一般要经过拉深(主要在双动压力机上进行)、整形、切边等多道工序才能完成。

与一般冲压零件相比,覆盖件的冲压成形有以下特点:

1) 由于覆盖件表面质量要求高,形状复杂,生产批量大,成形模具结构比较复杂,因此一般不经过多次拉深成形,而采用单动(或双动)液压机一次完成拉深成形。

2) 覆盖件大多数都由复杂空间曲面组成,成形时毛坯在模内的变形甚为复杂,应力、应变分布很不均匀。因此,不能按简单零件拉深或胀形那样来判断和计算其成形可能性。实际生产中大多用类比的方法,经试模调整确定。

3) 对于形状复杂、深度不匀且不对称、压边面积小的覆盖件,需要采用拉延肋来加大进料阻力或是利用拉延肋的合理布排,改善材料毛坯在压边圈下的流动条件,使各区段金属流动趋于均匀,以有效地防止起皱。

4) 一般零件拉深成形时,变形区(凸缘区)的变形抗力,超出传力区(侧壁与底部过渡区)危险断面强度而导致材料破裂,是成形过程的主要问题。但有些覆盖件,由于成形深度浅,成形时材料得不到充分的拉伸变形,容易起皱,且刚性不够,这时需采用拉延槛,来加大压边圈下材料的牵引力,从而增大塑性变形程度,以保证工件在切边后弹性畸变小,刚性好。

5) 为保证覆盖件在成形时能经受最大限度的塑性变形而不破裂,对原材料的力学性能、金相组织、化学成分、表面粗糙度和尺寸精度,都要提出很高的要求。

R_{eL} 与 R_m 的比值(屈强比)愈小,意味着应力不大时,就开始塑性变形,而且变形阶段长,能持久而不破裂。用于覆盖件的深拉深钢板,要求

$$\frac{R_{eL}}{R_m} \leq 0.65$$

另外,硬化指数 n 值大的材料,具有扩展变形区,使变形均匀化,减少局部变薄和增大极限变形的作用,材料的成形性能好。厚向异性指数 r 值大,材料在成形过程中不易变薄,对成形也有利。

表4-5为覆盖件成形常见缺陷、原因及解决办法。

表 4-5 覆盖件成形常见缺陷、原因及解决办法

缺陷		产生原因	解决办法
1	破裂	变形程度过大, 超过材料变形极限	① 选用塑性好, n 、 r 值高的材料 ② 减少压边力、使用润滑剂、增大凹模圆角半径 ③ 通过改变坯料形状来改变破裂区变形状态和变形路径, 提高变形裕度
2	起皱	材料不均匀流动, 板料平面内压缩应力过大使材料失稳	① 零件的凸缘上布置拉延肋, 增加局部地区的流动阻力, 绷紧内皱区域的材料 ② 使用良好的润滑剂。增大压边力, 变更毛坯尺寸及形状, 增大附加拉力、降低压缩应力, 并使拉力均匀
3	“划痕”和“粘着”	毛坯和模具的摩擦以及模具本身的变形引起	① 调整模具材料、模具硬度、表面粗糙度和模具间隙 ② 清除毛坯剪切面的毛刺和粘在板料上的尘埃, 或使用经表面处理的板料

4.6.2 拉深件材料

1. 多次拉深成形件

铁路货车所应用的材料一般为高强度热轧钢板, 一般选用塑性较好, 伸长率好, 低屈强比, 大的厚向异性系数, 及小的面内各向异性的材料。常用的有 08Al、DC06, 在局部变形要求不高的情况下, 也选用 Q215、Q235A, 如用于手制动机箱壳。

2. 一次起伏成形件

采用铁路货车车体使用的耐候钢 09CuPCrNi - A、Q450NQR1、S350EW、S450EW, 其中 09CuPCrNi - A 的伸长率要优于其他材质。

4.6.3 拉深件模具

拉深模具一般分为正装式结构和倒装式结构。正装模具一般用于无压边结构的模具, 如铁路货车中风缸的端盖; 倒装模具一般用于带压边的模具结构, 例如手制动机箱壳。但从实际的应用效果来看, 对于单动倒装适用更加广泛、灵活。

4.6.4 拉深件生产设备

拉深件拉深成形设备, 一般分为单动液压机和双动液压机。单动液压机一般用于无压边结构的模具, 或利用下顶出作为压边力来源的倒装结构模具; 双动液压机顾名思义有两个动力源, 分内外滑块, 由于内外滑块尺寸的限制, 虽提供的压边力较单动液压机稳定, 但对压边力的范围、工件的大小, 都有一定要求, 适应性不强。对于需要采用压边成形的工件来说, 在单动液压机上使用倒装模具结构, 目前应用的效果要好于双动。双动拉深一般用于特定的工件, 如容器封头、铁路货车敞车侧门板、下侧门及棚车侧板。

4.6.5 典型拉深件生产实例

1. 制动缸前盖 (旋转体拉深件)

图 4-33 所示的制动缸前盖, 为铁路货车制动系统中的重要零件, 生产批量大、质量要

求较高。该件采用厚度为5mm的08Al材料，毛坯的形状为圆形，其中拉深工序是保证产品质量的关键所在。

当工件高度 $h > 0.8d$ (该件 d 为直径，数值为179) 时，在深拉深时，需要多次拉深，该件属于此种类型。为了在保证产品质量的前提下，尽量提高生产效率，该件拉深成形采用逐渐增加锥形高度的拉深法。图4-34为其一次拉深外形，图4-35为其二次拉深外形。

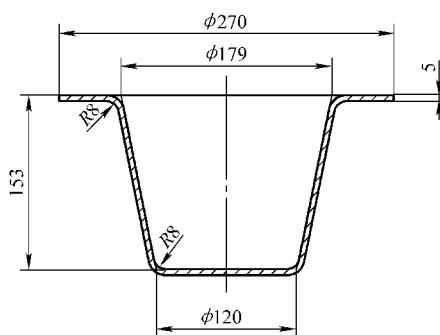


图4-33 制动缸前盖外形

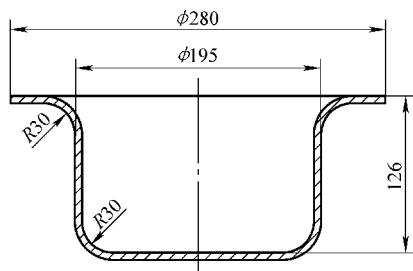


图4-34 一次拉深外形

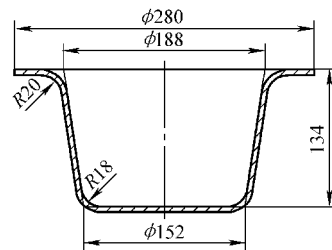


图4-35 二次拉深外形

该工件采用双动液压机拉深而成，模具结构如图4-36所示。

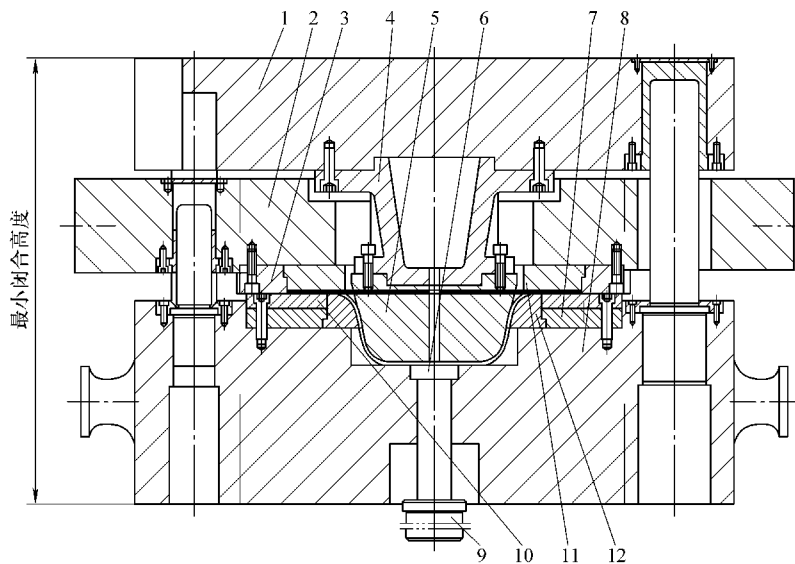


图4-36 制动缸前盖二次拉深模具结构图

- 1—上模体 2—压边框 3—压边圈 4—凸模座 5—凸模 6—卸料杆 7—凹模压板
8—下模体 9—设备顶出杆 10—磨耗板 11—压边圈 12—凹模

2. NSW 手制动机箱壳

NSW 手制动机箱壳如图4-37所示。通过进行工艺分析和模具成形模拟分析，其成形工

艺方案如下：采用封闭拉深成形，利用设备液压垫压边，坯料暂用数控切割下料，待实物验证后用模具落料。总体冲压工艺过程为：切割下料→单动拉深成形→模具落边→切割缺口。

为了充分利用设备能力，利用液压机下液压垫，压边力无级可调。为此拉深模具采用倒装正拉深结构，即凹模在上，凸模在下。顶件装置在上模体上，采用箱形弹簧排布，通过顶杆顶出工件。具体模具结构如图 4-38 所示。

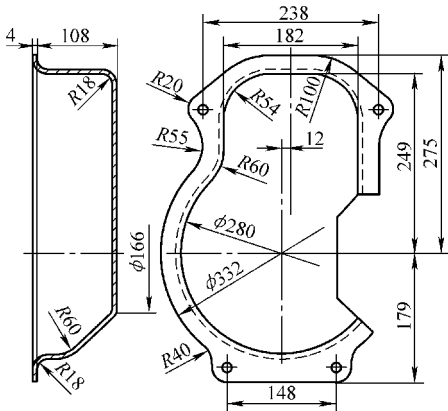


图 4-37 NSW 手制动机箱壳

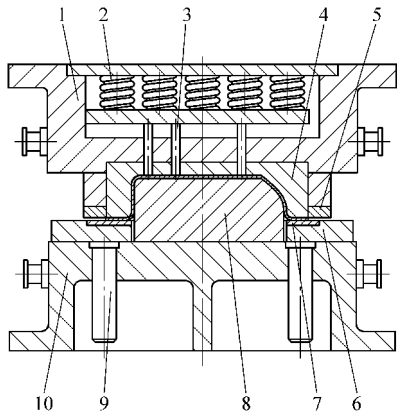


图 4-38 手制动机箱壳模具结构图

- 1—上模体 2—压缩弹簧 3—打料杆 4—凹模
- 5—上模磨损块 6—压边圈 7—压边磨损块
- 8—凸模 9—顶杆 10—下模体

模具工作过程：上模开启，设备液压垫顶出，通过顶杆 9 将压边圈顶起，至高于凸模位置，放入坯料。上模下行，凹模接触坯料，并在设备液压垫的作用下，通过压边圈压紧坯料。上模继续下行，凸模接触坯料，并把坯料拉入凹模完成拉深成形。上模开启，打料杆 3 在弹簧力的作用下将工件顶出。

模具的制造质量是保证冲压件质量的前提。该模具的凸、凹模若采用传统的普通机床加工，会带来成形曲面区域制造精度低、偏差大、检测困难、互换性差等一系列问题。

基于复杂曲面加工的需要，引进了日本 SNK 公司的 RB-3NM 型五面体加工中心，其数控系统为 FANUC18M，可控轴数为四轴，联动轴数为三轴。在 Pro/E 功能较强的 CAD/CAM 系统支持下，利用已经创建好的凸、凹模实体模型，在 Pro/E 制造 (Manufacturing) 环境下进行数控加工后处理，生成 FANUC18M 可识别的数控程序文件，在加工中心上，对凸、凹模的成形曲面进行加工。在 Pro/E 中 CAD/CAM 的综合运用，实现了数据共享和快速处理，缩短了设计制造周期，大幅度提高了模具的制造精度。

3. 敞车侧门板 (大型覆盖件)

图 4-39 为敞车下侧门板零件图。

从产品结构上看，该件中部为浅拉深成形，四周为起伏成形，翘曲和起皱是成形工艺和模具设计时需要严格控制的缺陷。相关影响因素主要有 3 个方面，即模具的几何参数、润滑条件及压边条件，特别是压边力的大小对起皱的影响最大。该件可以采用成形、落料一道工序，或成形、落料 (两套模具) 两道工序两种方案。通过 Dynaform 分析计算可知，成形落料一次成形，在模具外部周边的平面度及褶皱最大值达到 5.6mm，不能满足质量要求；而采用成形、落料两套模具的方案，工件周边平面度最大值为 1.2mm，能够满足质量要求。图 4-40 为其成形平面度分析图。因此，该件的制造工艺确定为：剪切→校平→冷压形→落料。其成形模具结构见图 4-41。

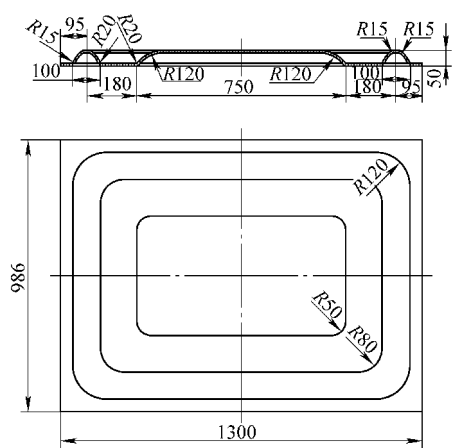


图 4-39 敞车下侧门板零件图

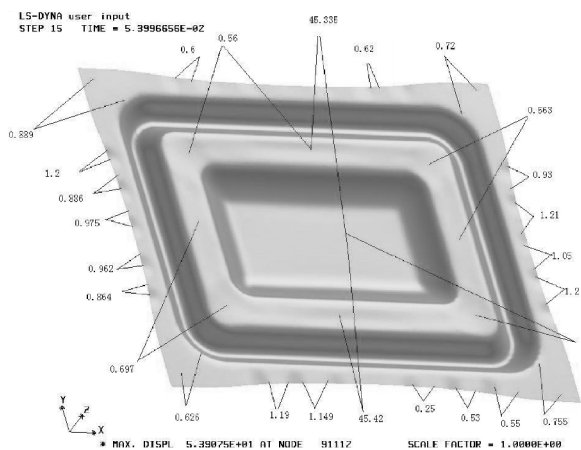


图 4-40 成形平面度分析图

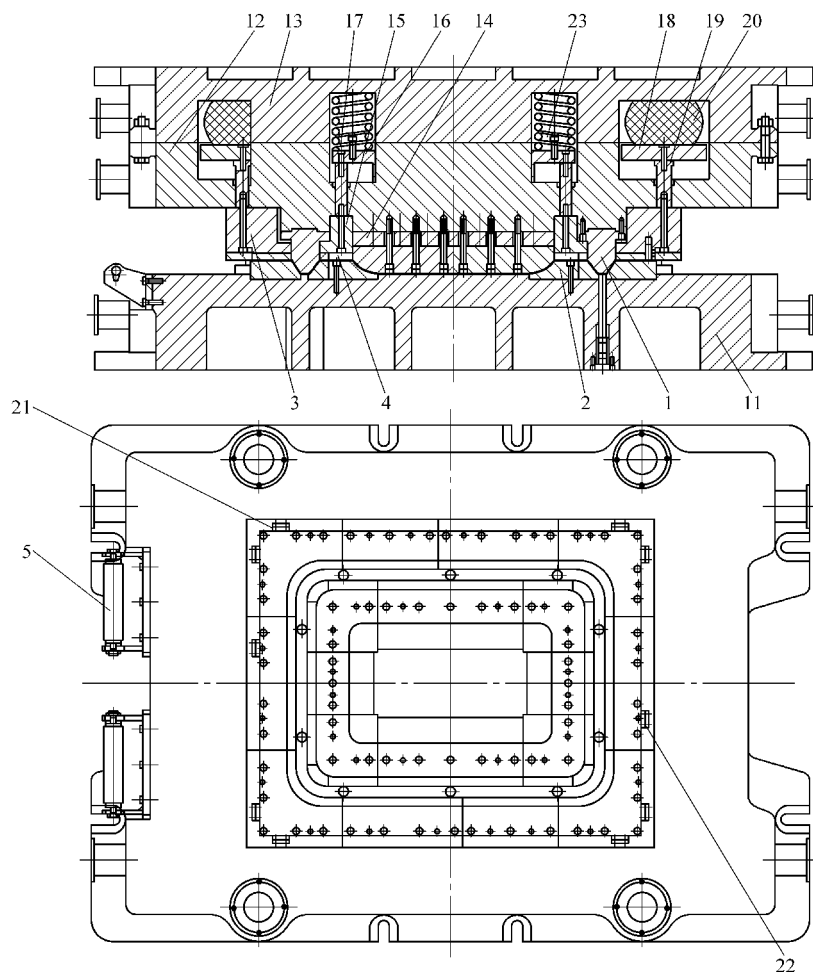


图 4-41 下侧门模具结构图

- 1—凸模组成 2—凹模组成 3—外压边组成 4—内磨耗板组成 5—托料辊道组成 11—下模板 12—上模板
 13—上模垫板 14—垫板 15—内压边圈 16、17—顶杆 (1) 18、19—顶杆 (2) 20—聚氨酯
 21—侧定位挡 22—端定位挡 23—弹簧芯轴

4. 角部围板 (盒形拉深件)

毒品车角部围板, 是铁路货车生产中典型的冲压件, 属于冲压加工领域较为复杂的零件。类似于底部有阶梯形的盒形件的一角, 并且分左右件, 其外形如图 4-42 所示。

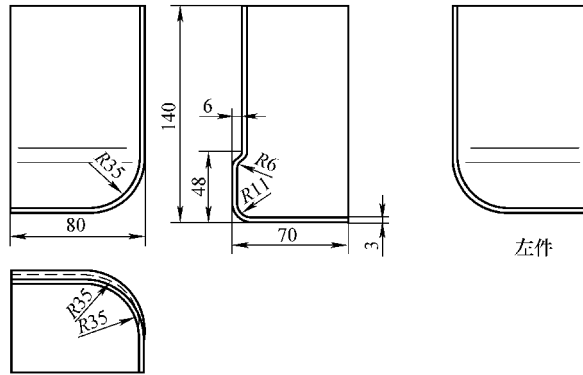


图 4-42 毒品车角部围板

从工件的几何尺寸看, 类似盒形件的一角, 并且是左右对称件, 完全符合盒形件的拉深条件, 可以采用外周拉深和底部胀形的复合成形冲压工艺。然后采用剖切加工的手段, 生成 4 个工件。如图 4-43 所示, 阴影部分为剖切区。根据计算结果判断, 此盒形件属于低盒形拉深。

首先, 为保证坯料在成形过程中不产生失稳起皱, 采用弹性压边装置。弹性压边结构具有坯件放置空间较大、操作方便的特点。为了充分利用设备能力, 采用液压机下液压垫压边, 其压边力可无级调节。拉深模具采用倒装结构, 即凹模在上, 凸模在下。其模具结构见图 4-44。

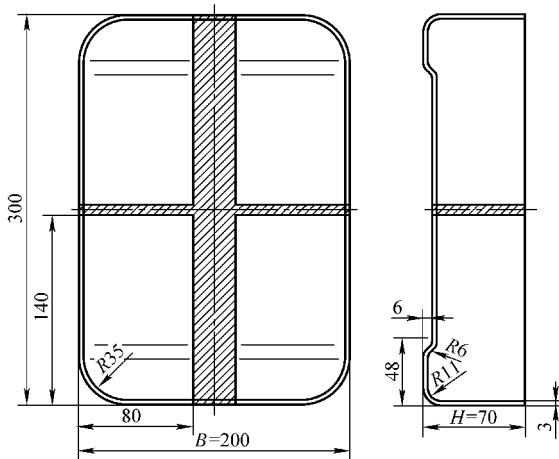


图 4-43 角部围板采用盒形拉深工艺图

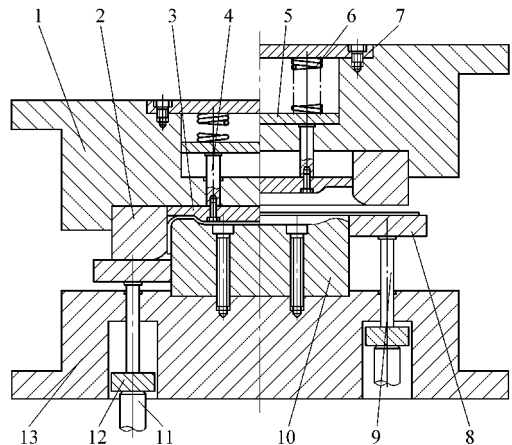


图 4-44 角部围板拉深模具结构图

- 1—上模体 2—凹模 3—顶料板 4—顶杆 5—弹簧托板
- 6—弹簧 7—压盖 8—压边圈 9—压边顶杆 10—凸模
- 11—设备顶杆 12—顶板 13—下模体

模具工作过程：设备下顶杆顶出，托起压边圈，放入坯料。上模下行，凹模接触坯料，并在压边圈的作用下压紧坯料。上模继续下行，凸模接触坯料并把坯料拉入凹模。在行程终了时，在顶料板3与凸模10的作用下，完成底部胀型。最后在弹簧力的作用下，顶料板将工件顶出。

4.7 翻边件制造技术

4.7.1 翻边件类型及制造工艺

翻边是将孔或者部分孔型的边翻起凸缘的成形工序。由于是通过材料的拉伸成形，因此其成形主要受材料断后伸长率大小限制。在管壁上开孔后翻边，可用于连接支管；在板材上开孔后翻边是为了加强或连接之用。

1. 按用途分类

铁路货车行业翻边大多用于漏斗车侧墙、端墙支撑板开孔翻边。为了提高工件的刚度，支撑板类翻边类似于扩口，大多不采用 90° 翻边，如图4-45所示；另外，为了防滑及美化外观，货车脚蹬踏板采用翻边结构，如图4-46所示。

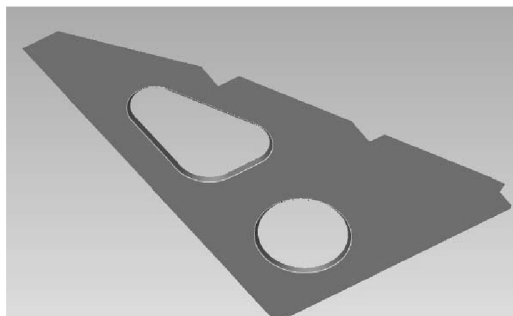


图 4-45 支撑板零件外形图

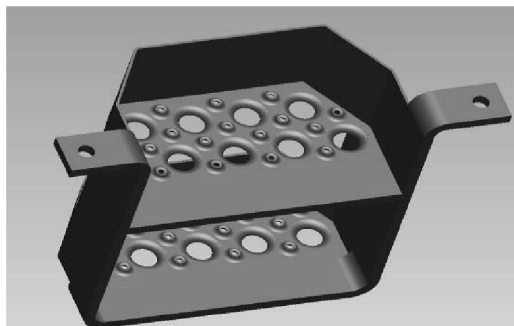


图 4-46 脚蹬踏板外形图

2. 按工艺分类

①圆孔翻边；②非圆孔翻边；③外缘翻边。

3. 工艺性及翻边力计算

图4-47为翻边断面示意图。

1) 最小翻边高度 $H \geq 1.5t$ ，当翻边高度较高，无法一次成形时，可采用拉深、冲底孔再翻边的方法。

2) 翻边的凸缘最小宽度 $B \geq H$ 。

3) 翻边工件边缘与平面的圆角，当材料厚度在2mm以上时， $r = (2 \sim 4)t$ ；材料厚度在2mm以下时， $r = (1 \sim 2)t$ 。

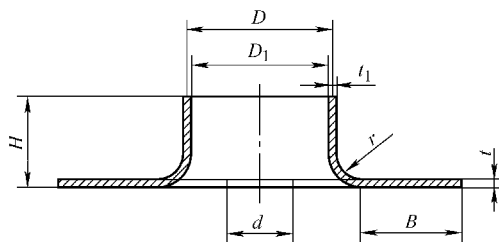


图 4-47 翻边断面示意图

4) 翻边的变形主要是材料沿切线方向产生的拉伸变形，越接近口部变形越大，因此翻边孔的表面粗糙度直接影响翻边质量，毛刺的存在会加大翻口破裂趋势。

5) 翻边力的计算

柱形凸模翻边力按以下公式计算：

$$P = 1.1 \pi t R_{eL} (D - d)$$

公式 P ——翻边力 (N)；

t ——材料厚度 (mm)；

R_{eL} ——材料的下屈服强度 (MPa)；

D ——翻边孔直径 (mm)；

d ——预制孔直径 (mm)；

凸模的形状和凸、凹模间隙，对翻边力的大小有很大影响，用球形或者锥形凸模，翻边力要小于上公式中柱形凸模的翻边力。

4.7.2 典型翻边件生产实例

图 4-48 所示为某出口车型外观件。该工件分左右，材质为 09CuPCrNi - A，材料厚度

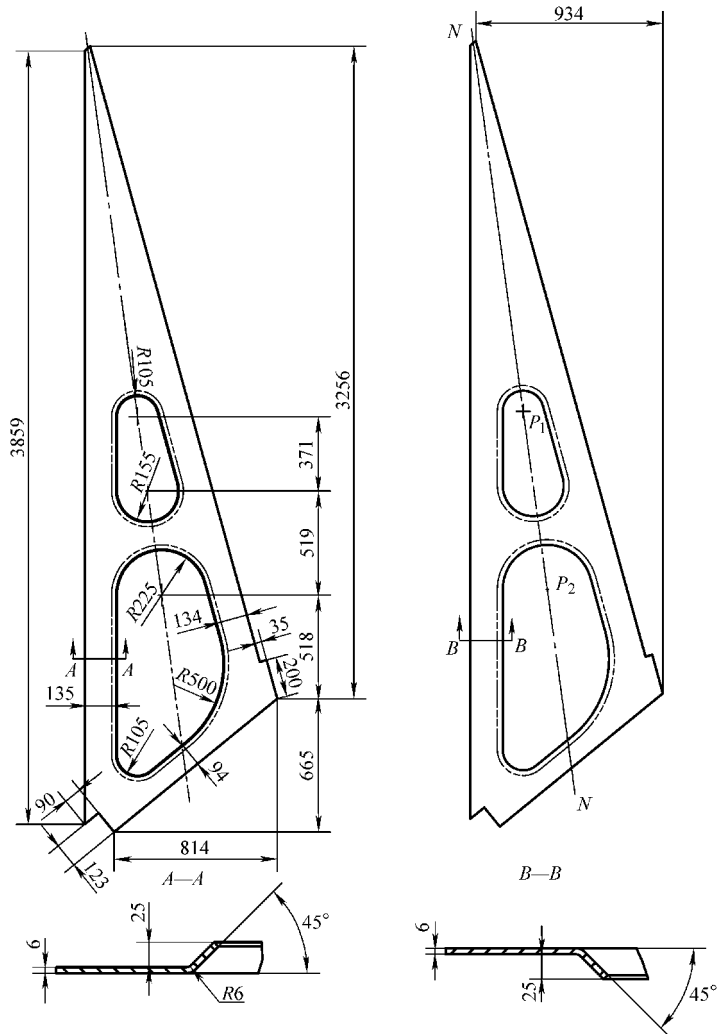


图 4-48 零件外形图

6mm, 外观形状不规则。工件外形轮廓尺寸约为 3900mm × 960mm。作为外观件, 除了要求有较高的刚度和尺寸精度外, 还要求表面平整, 棱线清晰, 无破裂缺陷。

1. 确定翻边工艺及模具与设备

该件外形尺寸大, 内孔翻边后, 外围尺寸分别约为 1100mm × 600mm 和 640mm × 320mm。两孔大小不同, 形状也不很规则。由于该工件分左右件 (图 4-48), 设计翻边模具时, 可按两孔分步翻边和整体翻边两种工艺方式设计。

采用两孔整体翻边工艺, 只需设计一套模具, 通过局部更换模具镶块, 完成工件左右件的翻边。采用这种方案, 可实现一次定位、整体成形, 完成左右件的翻边, 只需要对部分模具镶块进行更换, 工人操作简单。

结合本企业实际情况, 利用 16500kN 水压机, 采用两孔整体翻边工艺方案。

2. 确定工艺中心

分析该件尺寸, 两孔翻边后, 边距工件外围尺寸相同, 分别是 135mm 和 134mm。过小孔圆弧中心 P_1 及大孔圆弧中心 P_2 引线 $N-N$, 两孔的两侧边是以 $N-N$ 为对称轴, 在设计模具时以 $N-N$ 为模具中心线。小孔是与 $N-N$ 轴完全对称 (图 4-48), 左右件翻边时均不用更换模具镶块。大孔两直边是与 $N-N$ 轴对称, 在完成左件翻边后, 沿轴 $N-N$ 翻转模具镶块, 可以完成右件的翻边。

3. 翻边模具结构

确定了工件工艺中心, 考虑到左右件的整体翻边, 所设计的模具镶块, 在进行简单更换后, 可满足工件的翻边工艺要求。图 4-48 所示工件翻边斜角为 45° , 翻边后圆角 $R6$, 整体回弹很小, 工艺要求翻边角度可取上极限偏差, 取凸模翻边斜角为 46° 。设计模具如图 4-49 所示。

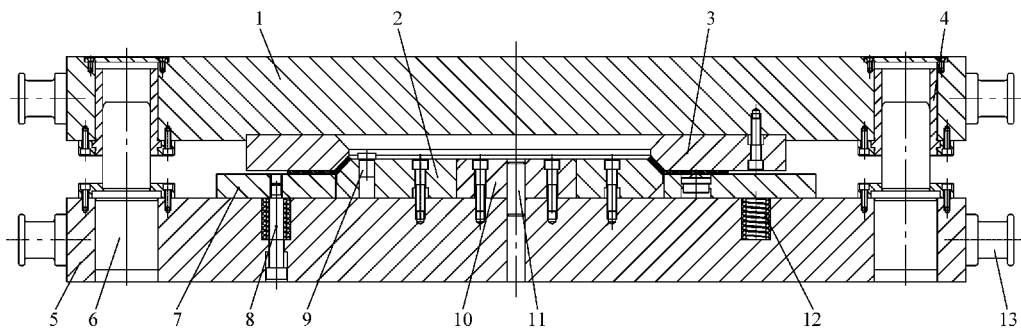


图 4-49 翻边模具结构图

1—上模板 2—凸模组成 3—凹模组成 4—导套 5—下模板 6—导柱 7—托料板 8—卸料螺钉 9—定位挡
10—凸模定位块 11—销 12—弹簧 13—插入式运输销

模具工作过程如下: 起始状态为弹簧 12 支起托料板 7, 使托料板 7 上平面与凸模组成 2 上平面保持同一水平面, 定位挡 9 以工件内缘为基准定位。上模板 1 下行, 带动凹模组成 3 向下运动, 贴近工件后, 使弹簧压缩, 托料板 7 下行, 凸模组成 2 上端露出, 当托料板 7 下表面与下模板 5 上表面贴合后, 工件内孔翻边完成。

4.8 弯曲件制造技术

弯曲是将板料、型材在力的作用下，弯成具有一定曲率和角度的成形方法。铁路货车冲压弯曲工艺，按金属原料性质，可分为型钢弯曲和板材弯曲。按弯曲方式区分，型钢弯曲方式有滚弯、拉弯；板材弯曲则分为压形、折弯、卷曲。

弯曲件的工艺性，是指弯曲件对冲压工艺的适应性。对弯曲件的结构工艺性进行分析，是判定弯曲成形难易、制定冲压工艺方案以及进行模具设计的依据。工艺性好的弯曲件，不仅能保证良好的质量，而且能简化工艺和模具。

4.8.1 弯曲件类型及其制造工艺

在铁路货车配件中的梁（侧梁、横梁、车顶弯梁等）、立柱等，均采用板料在压力机、折弯机、冷弯线等设备上用模具弯曲制成。较为简单的弯曲件，通常在板料折弯机上加工，如V形件、Z形件、U形件。较为复杂的弯曲件需在模具上压制而成。

对于圆弧较大的板材弯曲件，有直边和没有直边全部是较大的圆弧。如铁路货车中的罐车、粮食车侧板等车体覆盖件，及C80铝合金车浴盆底板等，可以采用滚压工艺，板料连续在轴辊的压力下产生渐变性的弯曲，弯曲半径的大小取决于个轴辊间的距离，可以通过多次滚压弯曲的方法，来达到工件要求的圆弧半径。滚压圆弧的工作原理见图4-50。

型钢弯曲可以通过型钢滚弯的方式完成。型钢滚弯是一种通过反复滚动逐渐收缩，达到金属材料出现塑性形变的加工方式。此外，利用拉弯也可以完成型钢的大圆弧弯曲。拉弯是用卡头卡住坯料两端，并将坯料在受拉的情况下，包向凸模而最终成形。通过更换不同圆弧半径的拉弯凸模，可以完成各种大圆弧件的弯曲成形。拉弯工作原理如图4-51所示。

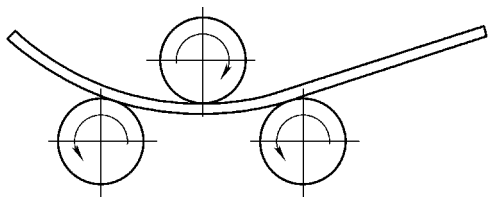


图 4-50 滚压圆弧工作原理

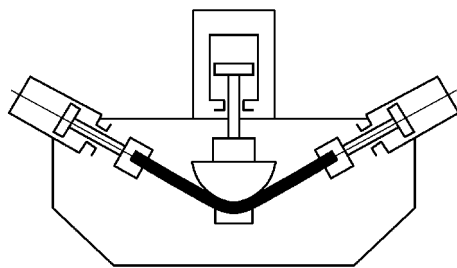


图 4-51 拉弯工作原理

1. 影响质量的因素

从零件结构上看，影响弯曲成形质量的主要因素有：弯曲半径、弯曲直边长度、折弯线位置。

最小弯曲半径是冲压弯曲加工的一个重要参数。弯曲制件的弯曲半径不能小于材料的最小许可弯曲半径，否则板料在弯曲处外侧将会产生裂纹。但过大的弯曲半径，回弹值较大，制件精度不易保证。一般情况下，对于普通材质的板料，如Q235、Q215、08Al等中碳钢，最小弯曲半径应为 $R = (1.0 \sim 1.2)t$ ；对于铁路货车常用的耐候钢，最小弯曲半径应为 $R = (1.2 \sim 1.5)t$ 。

弯曲直边的长度是折压弯曲的另一个非常重要的参数。直边过短，将无法在折弯机上完

成板料弯曲加工。如图 4-52 所示, 折压凹模开口宽度尺寸, 根据板料的厚度不同而有所差异。因此设计弯曲件时, 如结构性能允许, 最短弯曲直边应不小于 4 倍板厚。

弯曲件的折弯线最好处在展开料的矩形边上, 或弯角两侧的几何形状应尽可能对称。这样, 在折弯时双侧弯曲阻力较为平衡, 不至于在折弯过程中出现板料滑移而影响尺寸精度。图 4-53, 为折弯线位置方案对比。

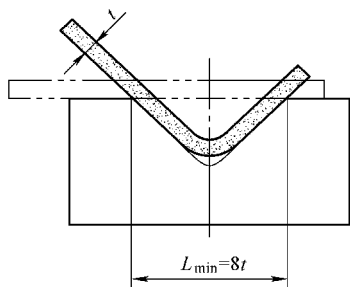


图 4-52 弯曲直边长度设计

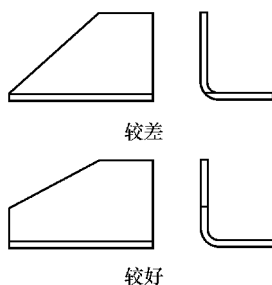


图 4-53 折弯线位置设计

2. 提高质量措施

(1) 控制回弹的措施

1) 在弯曲区压制加强筋 (图 4-54), 不仅可以提高工件的刚度, 也有利于抑制回弹。另外, 在满足使用的条件下, 可以选用弹性模数大、屈服极限小、力学性能稳定的材料, 以减少弯曲时产生的回弹。

2) 在允许的情况之下, 采用加热弯曲, 产品质量容易得到保证, 若工件尺寸较大或材质有特殊要求, 则加热压弯受到限制。

3) 如果设备能力充足, 可以采用增加校正力的方法。校正法是在模具上采取措施, 使校正力集中在弯角处, 力求消除弹性变形, 克服或减小回弹。在压力机吨位不足的情况下, 模具设计时, 可通过预设过变形来补偿回弹, 充分利用有利的回弹来控制弯曲成形。

4) 对于弯曲半径很大, 回弹不易消除的弯曲件, 采用拉弯工艺, 能使毛坯从内表面到外表面都处于拉应力的作用下, 卸料时它们弹性变形的方向一致, 因此可大大减少工件的回弹。

(2) 避免裂纹措施

1) 板料经过多次轧制, 其力学性能具有方向性, 因此弯曲件的弯曲线与板料轧制方向垂直时, 最小弯曲半径数值最小; 弯曲件的弯曲线与板料轧制方向平行时, 则最小弯曲半径最大。所以, 对于 r/t 较小的弯曲件, 应尽可能使弯曲线垂直于轧制方向。如果零件有两个以上弯曲线相互垂直, 可安排弯曲线与轧制方向成 45° 夹角, 如图 4-55 所示。

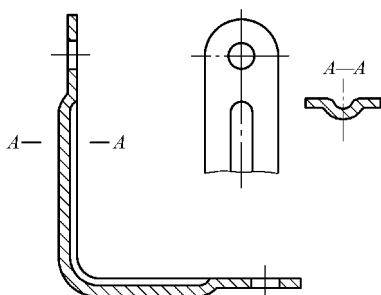


图 4-54 压制加强筋

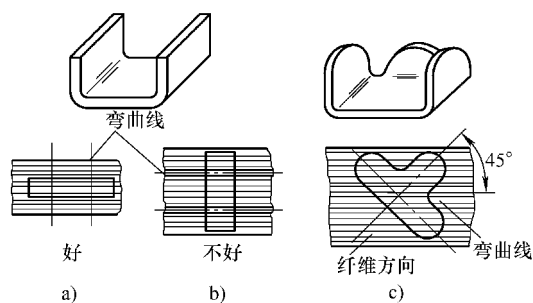


图 4-55 优化弯曲线方向

2) 弯曲件毛坯由冲裁获得时, 其断面存在冷作硬化层, 弯曲时, 冲裁件断面上的断裂带及毛刺在拉应力作用下会产生应力集中, 导致弯曲件从侧边开始破裂, 如图 4-56 所示。因此在弯曲前, 应将毛坯上的毛刺去除。如弯曲件毛坯带有较小的毛刺, 弯曲时应使带毛刺面朝内 (即朝弯曲凸模方向), 以避免应力集中而产生破裂。

3) 在局部弯曲某一段边缘时, 为了防止在交接处由于应力集中而产生撕裂, 可预先冲一个卸荷孔或槽, 或将弯曲曲线位移一定距离, 如图 4-57 所示。

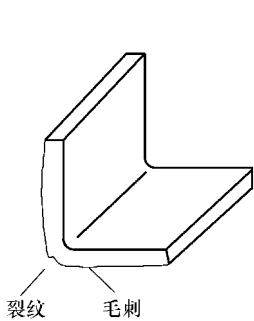


图 4-56 毛刺与弯曲裂纹

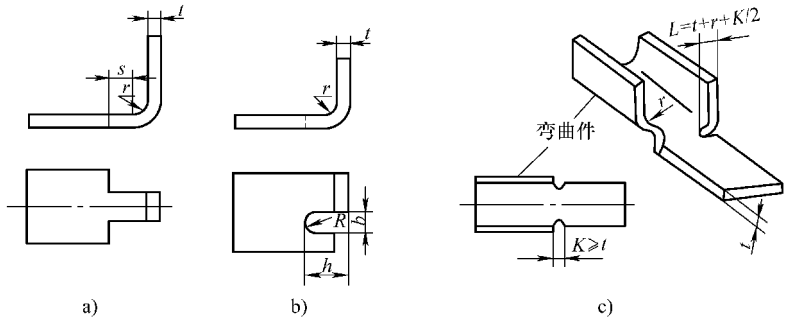


图 4-57 止裂孔、槽设置

3. 展开尺寸计算

材料弯曲时, 在外层材料伸长和内层材料压缩之间, 存在一个长度保持不变的材料层, 称为中性层, 见图 4-58 所示。弯曲件展开计算, 是根据弯曲中性层长度不变的原理进行的。对于简单的弯曲件展开, 可通过经验公式及二维 CAD 图解法计算。

对弯曲半径相对较小, 且在折弯机上加工的直角弯曲件, 展开料的计算常常是根据经验算法给出的, 具体算法为零件的弯曲内侧高度尺寸相加, 即图所示的展开长度 $L = (A + B)$ 。利用经验算法在一定范围的弯曲半径是可靠性的, 根据弯曲展开的中性层理论, 中性层半径简化算法为: $R_1 = \sqrt{R(R+t)}$ 。由图 4-59 所示直角弯曲示例可知, 仅当 $4R = \pi \sqrt{R(R+t)}$ 时, 即 $R = 1.6t$, 才能用弯曲内侧高度尺寸相加的经验算法计算展开长度。

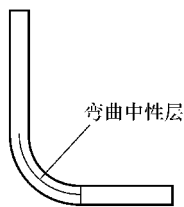


图 4-58 弯曲中性层

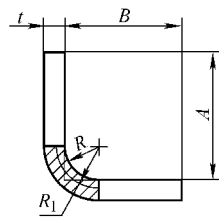
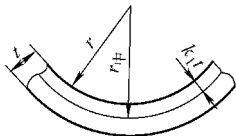


图 4-59 直角弯曲示例

利用图解法进行展开计算时, 首先根据具体零件弯曲圆角与板厚比值 r/t , 确定相应中性层位置 (由中性层系数表示), 中性层系数与 r/t 之间关系详见图表 4-6 所示。

对于一些空间复杂立体形状的弯曲件, 通过上述方法则很难快速得到唯一准确的展开尺寸。以图 4-60 所示工件为例, 该件的关键在于对端部圆弧缺口处的展开。利用 Pro/E 钣金展开功能, 通过设定 k 因子数值 (相当于中性层系数), 便可得到该弯曲件的展开尺寸, 如图 4-61 所示。

表 4-6 中性层系数



r/t	≤ 0.1	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5	0.8	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	≥ 6.5
k_1	≤ 0.3	0.33	0.35			0.36	0.38	0.4	0.42	0.44	0.47	0.475	0.48	0.5

注： k_1 适用于无压料情况的 V 形折弯。

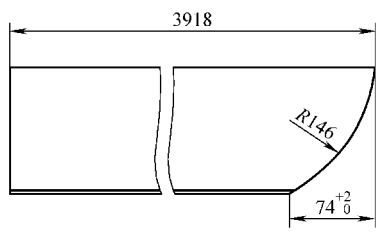


图 4-60 立体形状弯曲件

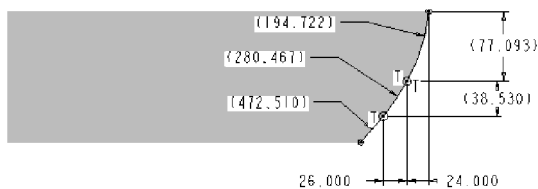
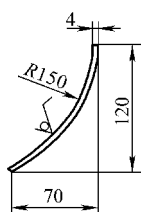


图 4-61 三维展开图

4. 弯曲件的工序安排原则

1) 对于形状简单的弯曲件，如 V 形、U 形、Z 形工件等，可以采用一次弯曲成形，如图 4-62 所示。对于形状复杂的弯曲件，一般需要采用二次或多次弯曲成形，如图 4-63 所示。



图 4-62 一道工序弯曲成形

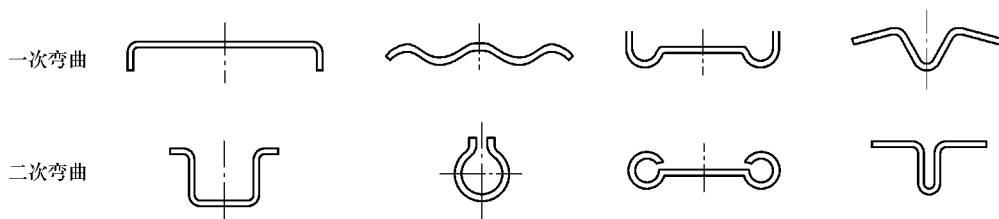


图 4-63 二道工序弯曲成形

2) 对于批量大而尺寸较小的弯曲件，为使工人操作方便、安全，保证弯曲件的准确性和提高生产率，应尽可能采用连续模或复合模。

3) 需多次弯曲时，弯曲次序一般是先弯两端，后弯中间部分，前次弯曲应考虑后次弯曲有可靠的定位，后次弯曲不能影响前次已弯成的形状。

4) 当弯曲件几何形状不对称时，为避免压弯时坯料偏移，应尽量采用成对弯曲，然后

再切成两件的工艺。

4.8.2 弯曲件模具

弯曲模具的结构设计，是在弯曲工序确定后的基础上进行的。设计时应考虑弯曲件的形状、精度要求、材料性能及生产批量等因素。

进行弯曲模的结构设计时，应注意以下几点：

1) 工件放置在模具上时，必须有正确可靠的定位。当工件上有孔且允许以其作为定位孔时，应尽量利用工件上的孔定位。若工件上无孔，但允许在毛坯上冲制工艺孔时，可在毛坯上设计出定位工艺孔。当工件上不允许有工艺孔时，应考虑用定位板对毛坯外形定位。同时应设置压料装置，压紧毛坯，以防弯曲过程中毛坯偏移。

2) 采用多道工序弯曲时，各工序尽可能采用同一定位基准。

3) 设计模具的结构时，应注意放入和取出工件要操作安全、迅速和方便。

4) 弯曲凸、凹模的定位要准确，结构要牢靠，不允许有相对转动和位移。

5) 对于对称弯曲件，应保证弯曲模凸模和凹模的圆角半径两侧对称相等，以免弯曲时毛坯发生滑动和偏移。

6) 弹性材料的准确回弹值，需要通过试模，并对凸、凹模进行修正后确定，因此模具的结构要便于拆卸。

7) U形弯曲件校正力大时会贴附凸模，在这种情况下弯曲模需设计卸料装置。

8) 从模具设计上考虑减少弯曲回弹，可以采用两种方案：

① 图 4-64 所示为帽形弯曲的模具结构简图，是利用工件底边的弹性变形来补偿侧边的回弹。工件出模后，底边弹平，促使两侧边向内转，以抵消两侧边向外的回弹。图中所注的 α 角即为回弹补偿角。值得注意的是，底边变形的自由弯曲挠度 f 值不能超过板料的屈服极限，否则将会产生无法回复的变形。

② 如果设备能力充足，可以采用增加校正力的方法。校正法是在模具上采取措施，使校正力集中在弯角处，力求消除弹性变形，克服或减小回弹。其模具结构简图如图 4-65 所示。由于凸模圆角部分突出，校正时材料首先和凸模突出部分接触，使校正力集中在较小的面积上，增加圆角部位的压应力，达到消除回弹效果。实践证明，对于中厚板较大圆弧弯曲，采用此方法颇为有效，值得注意的是，在压力机吨位有富余的情况下，校正接触面积不可过小，以免板料局部受力太大，导致工件出现压痕。

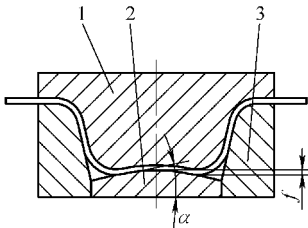


图 4-64 多角弯曲底部补偿示意图

1—凸模 2—补偿垫块 3—凹模

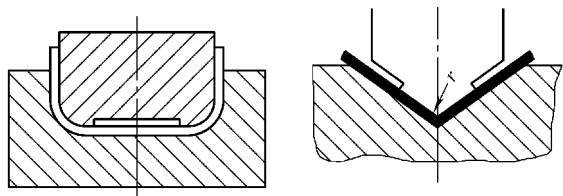


图 4-65 局部校正弯曲模具示意图

9) 设计制造弯曲模具时，可以先将凸模圆角半径做成最小允许尺寸，以便试模后根据

需要修整放大。为了尽量减少工件在弯曲过程中的拉长、变薄和划伤等现象，弯曲模的凹模圆角应光滑，凸、凹模的间隙要适当，不宜过小。

10) 当弯曲过程中有较大的水平侧向力作用于模具上时，应设计侧向力平衡挡块等结构予以均衡。当分体式凹模受到较大的侧向力作用时，不能采用定位销承受侧向力，要将凹模嵌入下模座内固定。

11) 工件为铝合金、不锈钢等对表面质量要求较高的材质时，为避免表面产生压痕，成形圆角模具须采用铜铝合金等耐磨材料。

4.8.3 弯曲件生产设备

1. 折弯机

折弯机配合通用模具或专用模具，将金属板材折弯成各种几何截面形状的工件。折弯可分为自由折弯、校正折弯和三点折弯。其中，校正折弯与三点折弯精度高，但对模具或设备有特殊要求，不适应多品种批量生产方式。三点折弯机折弯原理见图4-66所示。自由折弯力较小、模具受力较缓和（与校正折弯相比），在铁路货车冲压件生产中使用最为广泛。自由折弯机分为液压折弯机、机械折弯机。目前老式机械折弯机被伺服控制的液压数控折弯机所取代，液压数控折弯机使用最为普遍。

2. 压力机

利用压力机配合专用模具将板料弯成Z形、槽形、帽形等形状。根据成形前是否加热，分为冷压弯与热压弯。针对中厚板大圆角及特殊材质（回弹大）的成形件，如果工件允许加热，采用热压成形，产品质量容易得到保证。

3. 冷弯线

一定宽度的带钢或钢板，经纵剪分条后，在常温条件下，经过一组纵向排列的轧辊，逐步变形，达到符合使用要求的形状尺寸，再经确定尺寸剪切成相应的长度，称为冷弯型钢或冷弯型材。该成形方法适合于大批量的工业化生产，其产品质量、加工成本和生产效率是其他成形方法不可比拟的。如果在机组中配以焊接设备（如高频焊，氩弧焊等），还可生产闭口断面的冷弯型钢。目前，冷弯型钢广泛用于铁路货车制造，如70t级通用敞车、棚车的上侧梁、下侧梁，C70侧柱、角柱，P70门框、门板等件。

4. 卷板机

卷板机可使板料连续在轴辊的压力下产生渐变弯曲。可通过多次滚压弯曲的方法，来达到工件要求的圆弧半径。从早期的双辊卷板机，到具有卷锥、预弯功能的三辊卷板机，再到四辊数控液压卷板机，设备制造能力和精度在逐步提高，滚压弯曲产品的长度、精度和截面形状随之发生了巨大的变化，产品也从最初的通用风缸体，发展到目前的C80铝合金车浴盆板，及长达10米的直锥台形G70罐车罐体板。

5. 拉弯机

利用拉弯机配合拉弯模具，可完成对通用型钢（角钢）及弯曲件的拉弯工序。典型工

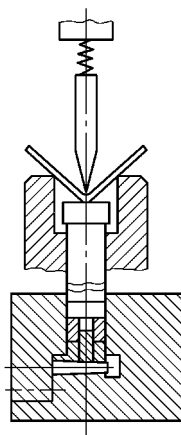


图4-66 三点折弯原理图

采用热压成形，产品质量

件为棚车的端弯梁、横压条。其中，端弯梁毛坯为通用角钢；横压条为帽型钢，采用先压弯（成帽型钢）后拉弯的工艺方法，横压条见图 4-67。

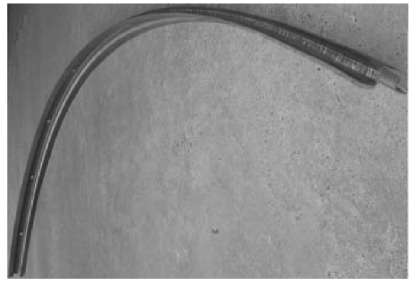


图 4-67 棚车横压条

6. 滚弯机

滚弯机主要用于型钢滚弯，是一种通过反复滚动逐渐收缩，达到金属材料出现塑性形变的加工方式。20 世纪 90 年代以前，滚弯件在铁路车辆制造厂中较为常见，以铁路起重机设备控制室端弯梁等为代表，滚弯机主要用于热轧型钢滚弯和制动管系中支管的弯曲，是一种廉价有效的通用设备。

4.8.4 典型弯曲件生产实例

1. 嵌入式风缸吊、横带

嵌入式风缸吊是 70t 级铁路货车通用件，外形结构较复杂，零件外形见图 4-68，该件制造工艺采用压弯与折弯工艺相结合的方式，如图 4-69 所示。

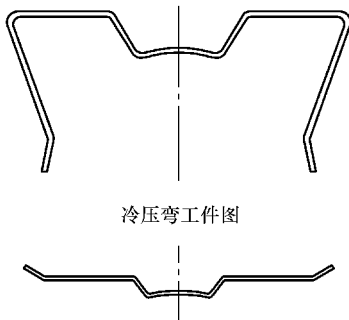


图 4-68 风缸吊外形图

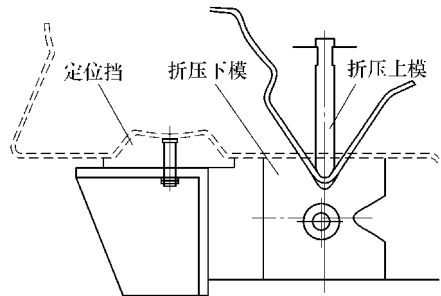


图 4-69 风缸吊折弯工序示意图

图 4-70 为 C70 横带零件图，该件采用 4 次单弯成形方案，折弯顺序见图 4-71，其中第 3、4 道工序利用下模边缘及附带定位挡进行折弯。

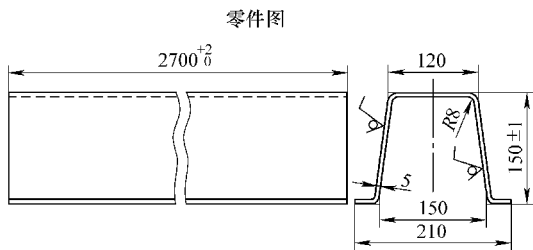


图 4-70 横带零件图

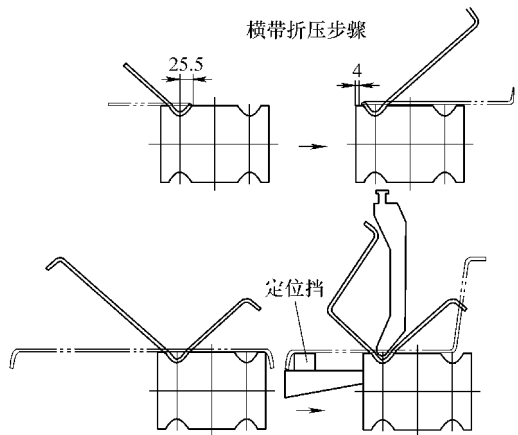


图 4-71 横带折压步骤示意图

2. 两道弯曲弧形复合成形件

图4-72所示为两道弯曲对称弧形复合成形件。工件材质为弹簧钢，由于该材料自身弹性大且零件弯曲变形程度大，只能采用热压成形的工艺方法。通过零件示意图可以看出，该件成形截面有封闭趋势，可以采用两次成形工艺，即两次加热、两次成形，但存在对称弧形压制两次初始温度不一致，两次成形定位基准不统一的问题，生产效率及零件成品率不能满足批量生产要求；采用一次成形工艺，在模具结构中，若只靠一个凸模与凹模之间的上下往复运动，是无法完成最终成形的，只能完成底角部分成形；如图4-73所标示的部位还需要侧压头的横向运动，与凸模配合才能完成成形，其模具结构见图4-74。



图4-72 零件外形

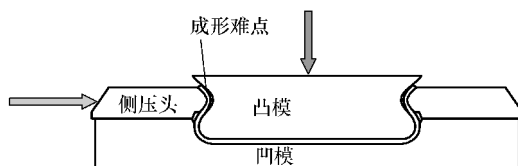


图4-73 一次成形方案示意图

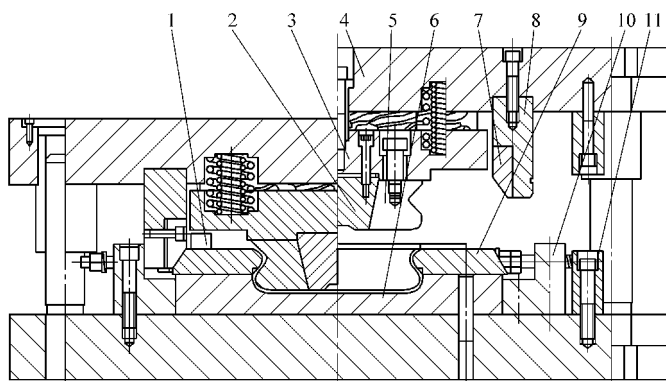


图4-74 一次成形模具结构示意图

1—定位挡 2—凸模(中) 3—弹性压板 4—上模板 5—侧模块
6—凹模 7—斜楔 8—斜楔压块 9—侧压头 10—侧座 11—螺杆

3. 铁路货车地板

图4-75所示工件为出口铁路货车地板，厚度6mm，长度8230mm（长度方向不允许拼接），材质为不锈钢。小批量试制生产时，由于压力机长度限制，采用简易模具沿长度方向窜压，成形后，须对两次窜压过渡区域进行手工校形，但成形质量及效率不能满足批量生产需求。

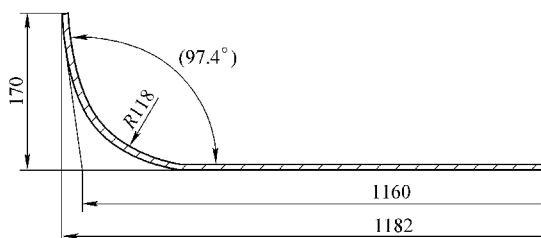


图4-75 地板零件图

批量生产时，在6000kN12M双联折弯机上一次整体成形，47.2°对称成形，消除成形存在的侧向力，从而克服了工件成形时发生

位移和扭转。工件成形后整体直线度控制在 5mm 范围内，保证了工件制造的尺寸精度和形状精度。其模具结构示意图如图 4-76 所示。大圆角长大件整体成形工艺，开创了铁路货车弯曲件制造的先例，为进一步适应铁路货车大部件向整体结构方向发展，提前做好了技术储备。

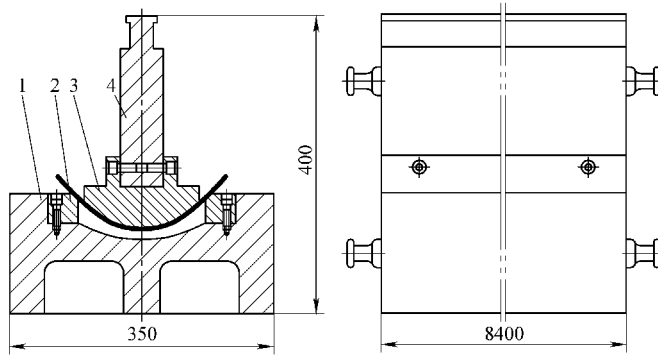


图 4-76 地板成形模具结构示意图

1—下模体 2—凹模 3—凸模 4—上模体

4.9 铁路货车冲压件制造技术展望

随着铁路货车技术的快速发展，铁路货车产品不断更新，新材料、新结构也大量采用。从车体轻量化以及结构优化等方面考虑，高强度钢、不锈钢、铝合金等材料，以及大部件整体成形等结构将大量采用。

随着新一代大轴重货车和 160km/h 快捷货车研制并投入运用，以及出口发达国家高端产品业务的不断拓展，产品制造标准也在不断提高，并逐步向国际质量标准看齐，不锈钢、铝合金板的高精度切割下料，侧板、地板的纵向剪切下料，高精度坡口加工、异形件曲边加工，以及大型成形件制造等，将成为未来铁路货车冲压件的发展课题。

参 考 文 献

- [1] 罗益旋. 最新冲压新工艺新技术及模具设计实用手册 [M]. 长春: 吉林出版集团, 2004.
- [2] 高锦张. 塑性成形工艺与模具设计 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [3] 贾玉申. 冲压模具设计手册 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1996.
- [4] 梁炳文. 冷冲压工艺手册 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004.
- [5] 李志刚. 中国模具设计大典 [M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 2003.

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。
- ★ 书中介绍轨道交通装备行业中机车、客车、货车和城际机车的典型冲压件制造技术，内容涉及冲压的材料、工艺、模具、设备和生产实例，及其相互关系和发展趋势。
- ★ 重点介绍各车种的分离件、弯曲件、拉深件、胀形件、翻边件和矫平件的现实制造技术。

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>

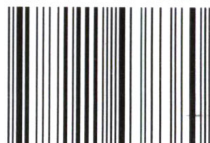
封面防伪标均为盗版

上架指导 工业技术/机械工程/冲压

ISBN 978-7-111-43838-0

策划编辑◎孔劲

ISBN 978-7-111-43838-0



9 787111 438380 >

定价：88.00元