

飞行器制造工程专业生产 实 习 教 材

马 鸿 韬

合 编

童 国 权

南京航空航天大学

2005.6.

编者的话

传统的教学方法是在课堂上对学生讲授基本知识，这是十分必要的，目前仍然是主要的教学形式。但是，若将所学的理论知识变为学生独立思考问题的能力，开发学生的智能，尚需大量的卓有成效地实践环节相配合。飞行器制造工程专业学生在学完基础课和专业基础课之后，在飞机制造工厂进行专业生产实习，了解飞机研制和生产的全过程，致使能力的培养寓于知识的传授之中，促使知识向能力转化，这是必不可少的。尤其是工科院校的学生，实践教学显得更为重要。

为了获得良好的实习效果，为厂校的教师和参加生产实习的学生配备规范化的实习教材以利于生产实习的实施，我们根据自身多次带学生下厂实习的经验和体会，编写了本实习指导教材。它包括生产实习大纲，参观实习和定点实习，生产实习的组织管理和后勤财务管理，生产实习思考作业题及典型生产实习实施计划等。

但愿本教材能使实习规范化，使学生在较短的时间内获得更多的实践知识，在配合理论教学和加强学生的能力培养中发挥应有的作用。教材编写完成后，由邵长林老师进行了校对，提出了许多改进意见，在此表示衷心感谢。

由于时间仓促，编者水平有限，错误之处敬请读者批评指正。

目 录

一、飞行器制造工程专业生产实习大纲	(1~3)
二、参观实习	(3~8)
三、定点实习	(8~9)
I 钣金总厂实习	(9~15)
II 部装总厂实习	(15~23)
四、生产实习的组织管理	(23~24)
五、生产实习的后勤与财务管理	(24~25)
六、生产实习思考作业题	(25~29)
七、附录	(30~33)
附录一 生产实习实施计划	
附录二 学生实习守则	
附录三 邀请书 (实例)	
附录四 下厂实习实际支出经费明细表	
附录五 学生宿舍卫生值日表	
附录六 装讲课津贴用信封封面格式	

一、飞行器制造工程专业生产实习大纲

按教学计划规定,飞行器制造工程专业学生在学完基础课、专业基础课和部分专业课后,安排到飞机制造工厂进行为期一个月左右(4~5周)的生产实习。

(一) 实习目的和要求

1. 了解飞机主要构造、飞机制造厂及飞机生产过程的概貌,获得飞机制造的初步生产知识和生产管理的实际知识。

2. 比较深入地学习钣金工艺(尤其是大型钣金零件)、飞机装配工艺、计算机辅助飞机制造以及协调互换方面的生产实践知识和生产经验。补充专业课教学中所必要的感性知识。

3. 对工厂存在的一些生产技术问题进行调查、分析,培养理论联系实际、分析问题和解决问题的能力。

4. 初步了解飞机制造工厂技术改造动态和发展方向及我国在飞机制造技术方面同发达国家的差距。

5. 学习工程技术人员和工人师傅的改革精神和优良品德。

(二) 实习的主要内容

一) 一般性参观

一般性参观的主要目的在于了解飞机制造工厂的概貌以及飞机制造的全过程。为此,应在介绍该机种总体设计和各部件结构的基础上组织参观学习。一般可先参观飞机总装配车间,概略了解各部件的对接和水平测量方法,飞机总装配工作的内容,飞机总装配的工艺过程,安排总装工艺过程的统筹法等。其主要参观的内容有:

1. 焊接工艺:一般了解飞机制造中常用的焊接工艺(各种熔焊、接触焊和胶焊等),它们的工艺过程和工艺、设备的特点,并结合某些典型产品,如发动机架(黑色金属)、油箱(有色金属)等了解其焊接装配工艺过程与有关试验的方法以及工装设备等。

2. 胶接工艺和非金属工艺:一般了解金属胶接的典型工艺过程,参观铝合金蜂窝结构的制造工艺、质量检验以及工装设备。了解非金属(以复合材料为主)零件的制造工艺过程及工艺特点。

3. 机械加工工艺:以飞机整体零件(如整体壁板、梁框类零件或挤压型材和桁条零件)为对象,参观其切削加工工艺过程和加工方法(有关数控加工的内容,在“计算机辅助制造”中实习)。

4. 热加工工艺:以热模锻和精密铸造为主,参观飞机零件与毛坯(黑色与有色金属)的制造工艺过程及其工艺特点。

5. 热处理和表面处理:参观飞机制造中常用的各种热处理方法,它们的操作工艺特点。了解对飞机零件表面处理的特点,参观各种电镀和阳极化方法的工艺过程与操作方法。

6. 试飞:了解飞机试飞前地面准备工作的内容,试飞科目和要求,参观试飞过程。

此外,还参观工厂的新工艺研究所和中心试验室。了解已开展研究的各种新工艺的一

般特点,了解由中心试验室承担的试验任务,参观试验方法和有关的仪器、设备。

对有条件的工厂,还要参观该厂承接转包发达国家产品的结构设计特点和采用新技术、新工艺、新材料、新工具设备的情况。

二) 重点实习的内容

1. 钣金零件工艺

学生分配到钣金零件车间(轮流)定点实习,并组织参观学习、请工厂有关科技人员讲课(必要时学校教师另行安排补充讲课)。其主要内容是:

(1) 冲压零件的生产概况,所用下料、冲压设备的特点和工作原理,冲压模具(工具模)的构造、典型模具的加工和装配过程、以及模具在冲床上的安装方法等。

(2) 钣金零件如蒙皮、框肋、以及整流包皮等复杂壳形零件的成形方法,各种成形设备的简要结构和工作原理,模具的结构特点和制造方法,各类大型钣金零件的质量检验等。

(3) 管材、型材类零件的加工成形方法,成形设备的工作原理,模具及辅助装置的特点,成形质量的保证与检验方法。

(4) 了解和参观特种成形工艺(如喷丸成形、爆炸成形、液压胀形等)以及化学铣切等新工艺的基本原理、工艺特点及其工装设备。

(5) 了解和参观有关钣金成形的新工艺方法及技术发展情况。

2. 飞机装配工艺

根据飞机结构的特点,学生主要分配到铆接装配车间定点实习,并请工厂科技人员讲课(必要时学校教师另行安排补讲)和带领学生现场参观。主要内容如下:

(1) 铆接基本工序:定孔位、制孔(制窝)、铆接的工艺方法及其工具设备,以及操作技术要求与质量分析。铆接工作的机械化与自动化。单面铆接、密封铆接、特种铆钉的铆接以及其它新铆接方法的工艺特点。

(2) 飞机装配工作中的定位与夹紧,常用的几种定位方法。结合实习的装配对象分析所用的定位方法。

(3) 典型部件的装配工艺过程,部件结构的工艺划分,装配顺序及其指令性装配工艺规程,部件外形和交点的检验方法,该部件所需的工艺装备。一般了解部件装配方案与装配图表(装配系统图)的制定。

(4) 装配型架的典型构造及其组成元件(骨架、定位件、夹紧件等)的各种结构型式。型架的各种安装方法以及安装用的主要工具、设备。结合所实习的某典型型架,了解型架(卡板、接头定位件、骨架等)的制造安装过程。

3. 计算机辅助飞机制造

主要方式是现场参观及听课,主要内容有:

(1) 计算机辅助飞机制造的发展概况与工厂的实际应用情况。

(2) 电子计算机及其外围设备的功能,性能介绍。飞机外形数学模型及飞机外形计算简介。

(3) 介绍数控绘图机的组成、功能、工作原理与主要性能。初步了解数控绘图机的应用和绘图程序的编制。

(4) 数控机床简介。初步了解数控加工及程序编制。参观飞机典型零件的数控加工和飞机工艺装备的数控加工。

(5) 了解三坐标测量机的基本原理与构造及其应用。

(6) 一般了解交互式图象仪组成, 功能及其在飞机制造中的应用。

4. 飞机制造中的协调互换问题

这部分内容可在实习最初阶段先从“模线样板”开始, 其余内容结合钣金零件工艺、装配工艺、工装制造、计算机辅助制造等进行实习。

其主要内容有:

(1) 飞机制造中保证协调互换的特点, 协调的一般概念。模线的种类、内容和用途。样板的种类、各种样板的用途、样板的成套性与协调性, 模线样板中的移形方法。

(2) 各种标准工艺装备的结构特点和制造依据, 举例介绍它们的作用和应用情况。

(3) 工艺装备的协调方法。各类典型零件成形模具的协调制造、装配型架的协调制造。一般了解典型飞机部件的协调路线及其协调过程。

(4) 协调的内容, 分析生产中的典型实例, 初步了解不协调问题的产生原因以及处理和解决的措施。

(5) 介绍计算机辅助飞机制造对协调互换的深刻影响及其协调互换方法的特点。

(三) 实习时间的大致安排 (旅途往返时间除外)

1. 入厂教育、产品介绍	1 天
2. 一般性参观	3 天
3. 模线样板	1 天
4. 钣金工艺	7 天
5. 装配工艺	6 天
6. 计算机辅助制造	4 天
7. 小结、考查	1 天
总计	22 天

(四) 考查与小结

在实习过程中, 要求学生勤于做笔记, 及时整理实习的主要内容与收获、体会, 并完成各阶段布置的作业。实习结束时进行技术小结, 对体会比较深的问题写出专题分析。最后进行考查 (笔试或口试)。(具体的实习计划与安排, 根据大纲和工厂实际情况另订)。

二、参观实习

专业生产实习主要包括参观实习和定点实习, 前者可以使学生扩大飞机制造技术的知识面, 使之了解飞机生产的全过程; 后者可以使学生深入熟悉钣金零件制造和部件装配工艺技术, 为进一步学习专业课奠定基础。

为了获得良好的参观实习效果, 针对每部分内容首先请工厂的工程技术人员讲课 (见附录三), 使学生对参观学习内容建立起总体概念, 带着问题再进行实地参观。为了满足教学大纲要求, 使参观实习内容密切结合生产实际, 本章对每部分讲课和参观内容提出具体要求。

(一) 模线和样板:

1. 理论课 (4 学时):

- (1) 模线的定义、功用和种类及各种模线所包含的内容。
- (2) 模线的绘制方法及所用的工具、设备。
- (3) 模线室的环境要求及绘制、维护模线的注意事项。
- (4) 样板的定义、功用和种类及各种样板所包含的内容。
- (5) 样板的加工方法及所用的工装设备。
- (6) 数控 (NC) 绘制模线和数控线切割机床加工样板情况简介。

2. 参观课 (2 学时):

据讲课内容,以看实物为主,增强学生的感性认识。

(二) 热加工工艺 (锻造和铸造):

1. 理论课 (4 学时):

- (1) 锻造工艺方法的分类及所用工装设备简介。
- (2) 典型零件的模锻工艺过程。
- (3) 铸造工艺方法的分类及所用工装设备简介。
- (4) 典型零件 (有色金属和黑色金属) 的铸造工艺过程及检验。
- (5) 国外热加工工艺发展概况及我国同先进水平的差距。

2. 参观课 (3 学时):

按讲课内容深入现场参观学习,以增加学生的感性认识。

(三) 飞机钣金零件制造工艺:

1. 理论课 (4 学时):

- (1) 钣金总厂的组织管理机构及承担的主要任务。
- (2) 典型钣金零件 (如框、肋、蒙皮,型材,整流包波,管子等) 的制造工艺过程。
- (3) 简述制造钣金零件的工装设备 (如液压机、蒙皮拉伸机、闸压床、落锤成形机、型材拉弯机、强力旋压床、弯管机等) 的构造和工作原理。
- (4) 钣金厂的技术革新及从国外引进设备情况简介 (如二坐标数控钣金钻铣床, QFC-7 万 7 千吨液压机, 八米热处理空气循环炉、1000 吨双向蒙皮拉伸机、数控弯管机等)。

2. 参观课 (3 学时):

根据讲课内容以看实物为主逐一参观学习。

(四) 机械加工和标准件制造:

1. 理论课 (4 学时):

- (1) 航空机加件所用机床设备的构造特点 (如卧式拉床、立式车床、大型卧式镗床、大型车床、双头龙门刨床、悬臂刨床、衍磨机、坐标镗床、刨齿机、滚齿机、铣齿机、螺旋伞齿轮磨削机床、大型型材靠模铣床等)。

- (2) 飞机上典型零件 (如起落架作动筒) 的制造工艺过程。

(3) 标准件的定义、特点、种类。

(4) 标准件车间的机械加工设备的构造特点，尤其是不常见的机床设备（如单轴、四轴、六轴自动机床、六角转塔车床、靠模车床、无心磨床、滚丝机、搓丝机、冷墩机、云钉机、倒角机床等）。

(5) 普通铆钉和六角螺栓的典型制造工艺过程。

2. 参观课（3学时）：

按讲课内容深入车间参观学习。

(五) 模具制造：

1. 理论课（4学时）：

(1) 模具的功能、种类及特点。

(2) 制造模具所用工具、设备的构造特点。

(3) 典型模具的制造工艺过程。

(4) 简易模具简介（如低熔点合金模具、锌基合金模具、聚胺脂模、环氧树脂模、电铸成形模、夹板冲模、拼装模具、钢带冲模、大间隙冲模等）。

(5) 国内外模具发展概况及我国同发达国家在模具行业方面存在的主要差距。

2. 参观课（3学时）：

按讲课内容逐一深入现场参观学习，重点了解立式卧式靠模铣床、仿形刨床、成形磨削机床、电火花加工机床、数控线切割机床、数控铣床的构造及工作原理。

(六) 飞机部件装配工艺：

1. 理论课（4学时）：

(1) 部装总厂的组织管理机构及承担的主要任务。

(2) 典型部件（如机翼或机身）的装配工艺过程。

(3) 简述部件装配过程中所用的工装设备（如手提拉孔机、Kn-204、Kn-503、Kn-602压铆机、机翼或机身精加工台、数控自动钻铆机等）的构造及工作原理。

(4) 本厂在转包发达国家产品中采用新工艺、新技术、新设备、新型连接件（如环槽铆钉、高销螺栓）的情况简介。

(5) 本厂在历年生产中所遇到的主要技术问题及其分析和解决途径。

2. 参观课（3学时）：

根据讲课的内容深入部装厂各车间逐一参观学习。

(七) 焊接工艺：

1. 理论课（2学时）：

(1) 焊接工艺方法的种类及各种焊接方法的工作原理。

(2) 典型焊接件（有色金属一油箱和黑色金属一起落架）的焊接工艺过程。

(3) 简述焊接工装设备（如焊接夹具、各种焊机等）的构造和工作原理。

(4) 焊接车间的技术革新及引进设备情况简介。

2. 参观课（2学时）：

根据讲课内容以看实物为主,增加学生的感性认识。如有可能去起落架装配试验室参观学习。

(八) 型架和标准工艺装备制造:

1. 理论课 (4 学时):

(1) 飞机装配型架(夹具)和标准工装的功用、种类及构造特点。

(2) 以机翼部件为例,简述本厂采用的典型协调路线。

(3) 简述型架和标准工装的制造和安装方法及所用工具设备(如划线钻孔台、型架装配机、光学仪器,长杆千分尺,激光自动准直型架安装机等)的构造和工作原理。

(4) 计算机辅助工装设计和制造技术应用情况及其他技术革新情况简介。

2. 参观课 (2 学时):

按讲课内容逐一深入现场参观学习,同时应参观标准工装库和样板库房。

(九) 热处理和表面处理:

1. 理论课 (4 学时):

(1) 热处理的定义,目的及分类:

(2) 本厂所用热处理设备简介。

(3) 飞机上所用硬铝零件和 30CrMnSiA 机加零件的典型热处理工艺过程及技术规范。

(4) 表面处理的种类及各种表面处理的技术特点。

(5) 简述铝合金零件有色阳极化和起落架活塞杆镀铬工艺过程及生产线上所用设备。

(6) 国内外热处理发展概况及我国同发达国家在热处理表面处理方面的差距。

2. 参观课 (3 学时):

深入热处理和表面处理车间,参观学习热处理生产线及工装设备。

(十) 金属胶接与复合材料:

1. 理论课 (4 学时):

(1) 金属结构胶粘剂的组成及胶接工艺的特点。

(2) 典型胶接工艺过程及所用工装设备的构造和工作原理。

(3) 复合材料的性质、组成、分类及应用情况。

(4) 以热固性环氧树脂或酚醛树脂为基体的蜂窝夹层结构的制造工艺过程及所用工具设备。

(5) 国内外复合材料发展概况。

2. 参观课 (2 学时)

据讲课内容深入车间参观学习(如胶粘剂各组成成份实物,复合材料中各种增强体一纤维样品,清洁间的环境要求,喷涂室、热压罐、高压水切割机床等构造简介)。

(十一) 新材料、新工艺、新技术、新设备:

1. 理论课 (3 学时):

(1) 本厂在飞机制造中针对新工艺、新技术、新材料、新设备诸领域的研究概况。

(2) 简述钛合金成形(超塑性成形及扩散连接)、爆炸成形、喷丸强化成形、化学铣切整体壁板、电磁铆接、高压水切割等设备的构造和工作原理。

2. 参观课(2学时):

按讲课内容赴现场逐一参观学习。

(十二) 飞机总装配工艺:

1. 理论课(3学时):

(1) 飞机总装厂的组织管理机构及各部门的主要任务。

(2) 飞机总装厂的工作内容及技术特点。(重点是通过水平测量完成机体装配、发动机安装、特设(电器、无线电、仪表、自动驾驶仪等)、军械、操纵系统、防护救生系统的安装调试及在总装车间进行的各种试验、部件和整机交接状态等)。

(3) 总装厂的工艺工作及技术革新情况简介。

2. 参观课(2学时):

(1) 各机种的总体布局及影响其战术技术性能的气动结构分析。

(2) 按讲课内容面对实物逐一参观学习、通过参观弄清主要零件及部件在整机中的位置及连接关系。

(十三) 试飞工作:

1. 理论课(3学时):

(1) 试飞研究院或试飞厂的组织管理机构及其主要工作任务。

(2) 试飞的种类及各种试飞的内容(型号试飞—首飞、调整试飞、鉴定(设计定型)试飞、出厂试飞、验收试飞、使用试飞;研究性试飞等)。

(3) 简述飞机试飞试验的过程及典型实例。

(4) 试飞研究院(或厂)的工装设备情况简介(如发动机空中试车台、地面模拟试验台、变稳定性飞机、弹射试验机、航空电子试验机等)。

2. 参观课(3学时):

首先根据讲课内容逐一参观有关设备,然后在机场观看各机种的地面试验和空中试飞。

(十四) 计算机辅助飞机制造(CAM):

1. 理论课(4学时):

(1) 简述飞机设计与制造(CAD/CAM)一体化的基本概念及本厂实际应用CAD/CAM技术的情况。

(2) 本厂采用的CAD/CAM软件和硬件有何特点?采用何种数学方法描述飞机外形?

(3) 简述数控绘图机、数控测量机、大型三轴五坐标数控铣床的组成、工作原理,主要技术性能及应用情况。

(4) 国内外CAD/CAM技术发展概况及我国同发达国家在CAD/CAM方面存在的差距。

2. 参观课(4学时):

根据讲课内容赴CAD中心和NC加工厂逐一参观学习。

(十五) 挤压型材制造:

1. 理论课 (2 学时):

- (1) 简述型材挤压自动生产线的构造和工作原理。
- (2) 简述型材热处理及阳极化表面处理生产线的构造和工作原理。
- (3) 简述废水处理系统的组成及工作流程。

2. 参观课 (2 学时):

按讲课内容逐一参观日本进口的三条生产线。

(十六) 产品介绍 (4 学时):

1. 本厂历年研制和生产产品 (主要是飞机) 情况介绍。(指正在生产机种的战术技术性能、飞机主要几何参数、研制历史等)。
2. 学生实习机种的总体设计和主要部件的构造设计情况简介。
3. 该机种在研制和小批生产中做过哪些重要试验? 结构上做过哪些重大改进?
4. 新材料、新技术尤其是计算机辅助设计的应用情况。

三、定点实习

钣金零件制造和部件装配是飞机制造厂的两大重要生产部门。学生在参观实习的同时,还要适时地组织两周左右的定点实习,每个学生分别在钣金总厂和部装总厂各实习一周。实践证明:只进行参观实习,势必会形成整个实习队“满天飞”的局面,到处去“蜻蜓点水”,使学习局限于“走马观花”状态;如果只进行定点实习,势必会使学生失去了解飞机生产全过程的机会,建立不起来飞机生产的总体概念。

两周的定点实习,为学生创造了良好的学习时间和空间,每个同学必须积极主动地向工厂的工程技术人员和工人师傅学习,向生产现场学习。

1. 在钣金总厂,每位同学分别定点在某个车间实习,如下料、蒙皮类零件制造、框肋类零件制造、型材类零件制造、落压成形等。以定点的班组为基地,深入了解如下内容:

①所生产零件的结构图纸、技术要求及工艺规程等;

②制造该种零件采用了哪些工具、设备及检验量具,并熟悉所用工装、设备的构造和工作原理及操作过程;

③分析某个零件制造时发生典型质量事故的原因,排除故障方法等。

在上述定点学习的基础上,利用一切可能的空闲时间,扩大实习范围。不同车间的学生应该充分利用现场条件相互交流,尤其是针对某些大型设备(如蒙皮拉伸机、型材拉弯机、7.7 万吨液压机、数控弯管机等)利用率不高的特点,在实习时,应扑捉其工作机会,主动前去观察这些设备运行时制造零件的过程。

2. 在部装总厂,学生按小组分别定点在机身或机尾翼车间工段实习。在定点实习时,应深入掌握如下内容:

①看懂所实习段、部件的结构图纸,产品通用和专用技术条件及装配工艺规程(工序卡片);

②装配该部件时所用工、刀、量具的名称、构造及使用方法（工具箱、柜中的一切物品）；

③根据产品结构图纸上标注的标准件代号，从标准件存放盒中找到相应的铆钉、螺栓、螺母、销钉等，分析其构造特点及标志。

④了解装配该部、段件所用型架（夹具）构造特点（包括骨架、外形和接头定位件、夹紧件及辅助设备等）以及该型架与相关型架（夹具）的协调关系；

⑤了解 Kn-204、Kn-503、Kn-602 压铆机、手提压铆机、手提拉孔机（拉钉钳）、G900BCHV-96（-120）数控自动钻铆机及机翼部件精加工型架的构造、工作原理及操作过程；

⑥调查某部段件产生质量事故的原因及排除故障方法；

⑦在定点实习某部件的基础上，利用空余时间，可扩大实习范围。如了解部件送交总装车间前做过哪些架外调试和试验，交接状态；了解部装总厂承接的外国飞机部件装配技术、连接件结构、部件结构工艺性、装配型架构造等方面与国产飞机制造有什么不同等。

定点实习是以单人或小组为单位进行实习的，同学们能否发挥主观能动性甚为重要，切不可认为所在型架工作结束了或没活干了，自己就可以休息了，坐失大好的实习良机。应该立足一点，顾及其余，取得“举一反三、事半功倍”的实习效果。

I 钣金总厂实习

（一）下料：

在飞机钣金零件生产过程中，第一道工序是将原材料按需要进行下料。通常，直线外形且尺寸较大的零件与毛料，不论产量大小可用龙门剪床加工；曲线外形的中小型零件与毛料，或者尺寸与产量都较小且精度要求较低时，可用振动剪床或滚剪床加工。当批量较大且精度要求较高时，可用钣金立铣加工；复杂外形或尺寸较小且产量较大的零件与毛料用冲裁法在冲床上加工。

可见，飞机钣金零件制造时所用的下料方法共有三种：剪裁、冲裁与铣裁。

剪裁常用的设备有龙门剪床、振动剪床、滚剪床等机动剪床及手动剪床。

铣裁常用的设备有回臂铣钻床，上位式、下位式立铣床和大型钣料铣切机。

下料方法的选择应综合考虑毛料的几何形状和尺寸，精度、材料、批量及生产条件等众多因素，以求获得较佳的技术经济效益。

（二）蒙皮零件的制造：

蒙皮是飞机的外形零件，在飞行时它与气流接触，其表面的光滑程度及形状的准备度将直接影响飞机的性能。

飞机上的蒙皮零件，可大至分类如下：

单曲度蒙皮，指只在一个方向有曲度的蒙皮，如机翼，尾翼和机身中段等部位的蒙皮；

双曲度蒙皮，指在纵、横两个方向都有曲度的蒙皮，又分为驼峰形和马鞍形两种。

复杂蒙皮，指形状不规则的蒙皮，如整流罩、机头罩等。

对于各类蒙皮零件，选用成形方法的主要依据是形状、质量要求、产量、生产准备周

期等因素。

1. 单曲度蒙皮的滚弯成形：

滚弯成形属自由弯曲法，可用于制造圆筒形和变曲率的单曲度蒙皮零件，如大曲率半径的机翼和机身蒙皮。其特点是无须专用模具，但由于影响回弹量的因素很多，事先难于精确确定，因此理论公式的准确性较差。生产实践中，一般以理论公式算出上、下滚轴间的相对距离，大体调好上滚轴的位置进行试弯，以制造合格的蒙皮。

在液压靠模滚弯机上制造等曲率筒形件时，需将三滚轴调成互相平行。经初步调整和试弯后，确定上滚轴的确切位置，即可滚弯出等曲率的筒形件。

在对称三轴滚弯机上滚弯而得的蒙皮零件，其两端各有一未经弯曲的直线段，其长度与两下滚轴间距有关。为使直线段最小，调整机床时应使两下滚轴间距最小。为使零件前后端的直线段成型，需采用垫板，将垫板垫在板材下，与板材一起滚弯。在非对称三轴滚弯机上滚弯时，所制零件只在前端有直线段，后端仍可得到所需曲度，因此，只要将钣料调头再滚一次，即可消除直线段。

飞机上锥形蒙皮占有很大比重，其两端部面形状为两条不同的曲线。在液压靠模三轴滚弯机上制造等曲率锥形蒙皮时，需将滚弯机的上滚轴调成倾斜（或使上滚轴水平而两下滚轴成一定角度）。当上滚轴按要求调整好斜度后，在滚弯过程中无须再改变位置，即可制造等曲率锥形蒙皮。上滚轴在滚弯时如作连续的上、下运动，则可制造变曲率锥形蒙皮。

2. 双曲度蒙皮的拉形：

拉形设备有横拉和纵拉两种机床，以适应横拉和纵拉形之需要。按其工作原理则可分为台动式和台钳双动式两类。

台动式拉形机是作横向拉形用的。通过台面上升（即可作上、下平行运动，亦可作倾斜运动），使毛料和拉形模接触而受拉伸逐步与模具贴合成形蒙皮。

台钳双动式拉形机是作纵向拉形用的。通过台面上升和夹钳的纵向运动使毛料受到拉伸，并与拉形模接触而逐步贴模成形蒙皮。

拉形时，为提高蒙皮的成形准确性，须对已全部贴模的毛料，再作少量补充拉伸，以减少蒙皮的回弹量。补充拉伸量应使最后贴模的毛料的拉应力超过钣材的屈服极限。

铝合金蒙皮的拉形通常在新淬火状态下进行。为防止钣料在拉形过程中出现开裂和起皱现象，应特别注意拉形模和钳口之间毛料的悬空部分是否出现裂纹，因悬空部分不存在毛料和拉形模接触部分有摩擦力的阻碍作用，总是成为拉力最大的区域，还因为钳口夹紧处易产生应力集中，从而使毛料易在钳口处提前破裂（破裂也可能发生蒙皮的驼峰处）。

为防止毛料拉形过程中开裂，一次拉形不得超过极限拉形系数。在毛料的悬空部分，有时也会出现和拉力同方向的皱纹，形成皱纹的原因可能是钳口夹紧力不均，或是由于材料纵向受拉时，横向的收缩倾向所致。出现皱纹时，应随时消除，以免妨碍拉形工作继续进行。

在横向拉形机上进行蒙皮拉形时，先将拉形模放在机床台面上，然后调整两侧钳台，务使毛料拉紧后能与拉形模边缘相切。如果零件两端有较长的直线段，则应调整钳台，使拉形终了时拉力线内倾于拉形模边缘切线 $2^{\circ}\sim 3^{\circ}$ ，以防产生皱纹并改善毛料两端的贴模情况。

控制斜度较大的锥面蒙皮时，应将拉形模顶部水平放置，以防止拉形过程中毛料发生侧滑。

拉制马鞍形蒙皮时，毛料易于挤向中部而起皱。此时，除不宜涂敷润滑剂外，还须加大毛料尺寸，使其包复拉形模圆角部分，以增大摩擦力，阻止毛料滑向中部。

拉形过程中，还应注意毛料中垂直于拉力作用方向的断面应该相等，因此毛料不得有孔或开口。拉伸方向应与毛料纤维方向一致，两侧边缘不得有毛刺和裂纹。

拉形模设计较简单，但须注意选模面相对于工作台的空间位置，尽量使蒙皮拉形毛料的变形比较均匀。拉形模的长度和宽度取决于蒙皮的展开长度和蒙皮的展开宽度、模具圆角半径。

显然，模具表面相当于所成形蒙皮的内表面。由于蒙皮为双曲度，形状较复杂，而且准确度要求高，因此在制造拉形模时，需按飞机制造的协调系统，以切面样板，表面标准样件，反模胎等作为制造依据。

现以带凹陷的驼峰形蒙皮为例，说明拉形的工艺过程。

分析蒙皮的特点：①纵向很长，尺寸较大，故宜以台钳双动式拉形机上拉形；②蒙皮外形曲度较小，故可在新淬火状态下一次拉形。由此，制订其拉形工序：

①在龙门剪床上剪裁毛料；

②检验毛料尺寸；

③淬火；

④在台钳双动式拉形机上进行初步拉形后，使台面稍微下降，放松应力，用上模压出局部凹陷，再将蒙皮拉至完全贴模；

⑤在拉形模上按切钻样板划轮廓线，用振动剪按划线修去余量，并修整蒙皮外缘；

⑥按拉形模检验；

⑦阳极化。

（三）骨架零件的橡皮成形

飞机上的骨架零件，如隔框和翼肋大都是用钣金制造的。这类零件的准确度要求较高，数量多，制造工作量较大。按其结构形式又分同向弯边件和反向弯边件。

框肋类零件外形复杂，一般具有平面带内形的腹板和较低的弯边，因此，成形时，既有外形的弯曲成形，又有减轻孔、加强埂等内部形状的成形，此外还有为保证零件装配时飞机外形的平滑而在弯边上压的下陷等。如果采用传统的冲压法来制造，则因框肋类零件种类虽多，但每种零件在一架飞机上的数量却不多；加上尺寸又较大，采用冲压成形，不仅模具制造费用高，生产准备期也长，显然是不适宜的。另外，由于框肋类零件准确度要求较高，又不宜用于手工敲打成形，为此，在现代飞机生产中，采用了劳动生产率较高，成本较低的橡皮成形法，使用简单的模具在专用设备上压制框肋类零件。

橡皮成形的基本原理是利用通用的橡皮容框代替冲压成形时所必备的凸模或凹模。橡皮成形框肋类零件时，通常是用橡皮代替凹模。成形时，毛料由销钉定位安放在成形模上，在压力作用下，利用橡皮的高度弹性，使其变形而包覆在凸模上，进而毛料被凸模成形。

在我国的飞机制造厂，橡皮成形设备有柱塞式和橡皮囊式两种液压机。柱塞式液压机的结构和原理与通用液压机相同，吨位在500~5000吨之间，容框内橡皮的单位压力约85~110kgf/cm²，可成形厚达1.5mm的有色金属钣金件。随着框肋类零件厚度增大和精度提高，要求橡皮成形的工作压力也越也越大，由此出现了橡皮囊式液压机，其工作压力一般为350

~500kgf/cm²。其工作原理为，将成形模和毛料放在工作台上，并使之进入工作位置，使容框四周全部处于封闭状态，再向橡皮囊中充高压液体。充压的橡皮囊膨胀压迫其下的橡皮垫，使它逐渐充满容框，产生工作压力，毛料贴模成形。最后抽去高压液体，使橡皮垫复原，退出工作台，卸下零件。

近年来，国外采用了钢丝缠绕式结构的橡皮囊液压机。机床由多层预应力钢丝缠绕，外观呈圆筒形，圆筒上部装有液压橡皮囊。向囊内充高压油时，它将压迫橡胶垫产生 700~1000kgf/cm 的工作压力。圆筒下半部为工作台，其上放置成形模和毛料。由于工作压力高，所得零件贴模良好，不须整修或须略加整修。我国已引进和生产了缠绕式液压机。

橡皮成形模的传统制造方法是以模线样板为依据，按样板下料在通用铣床上粗铣外形，然后按样板手工修锉成形模型面外形和圆角。

国内有些工厂采用较先进的方法制造成形模。在模坯上按构造模线（明胶板模线）用接触照相法移形，根据零件确定回弹量，修正模具斜角和弯曲半径。

数控技术在航空制造业的推广应用，在飞机外形数学模型已建立的前提下，与飞机外形有关的成形模，可根据成形模的斜角大小，进行数控加工。

近年来，框肋类零件成形工艺已采用了一步成形法，即在毛料淬火时效期内完成橡皮成形工作。一般铝合金淬火后，常温下的时效期为 2 小时左右。如将新淬火的毛料存放在低温冰箱内，则时效期可延长至 72 小时，这就为新淬火毛料留有充分时间以便一次成形压出零件，大大提高了生产率。

现以机翼前段半肋为例，说明成形工艺。

该翼肋为一反向弯边零件，其上有带小弯边的长桁通过缺口，腹钣上有减轻孔，它与凸弯边同向，零件上的凸凹弯边皆可一次成形，且成形后无须手工修整。其工艺大致如下：

- ①按铣切样板铣外形，并钻止裂孔和工具孔；
- ②去毛刺；
- ③按展开样板检验；
- ④冲床冲长桁缺口；
- ⑤按展开样板检验；
- ⑥淬火；
- ⑦橡皮成形，先用第一套成形模压凸弯边和减轻孔，再用第二套成形模成形凹弯边；
- ⑧手工弯长桁缺口弯边；
- ⑨按橡皮成形模检验；
- ⑩阳极化。

（四）型材制造：

飞机框肋上的缘条和长桁都是用型材弯曲而成。一般用冶金部门供应的挤压型材，当缺乏合适的挤压型材时或在轻型结构中，也用钣弯型材。

1. 型材的闸压成形：

型材的显著特点是窄而长，断面形状有 V 形、U 形、Π 形和 Z 形等。除 V 形断面外，都包含两个或更多弯角。钣弯型材需经多次压弯才能制成，因毛料很长，普通冲床不能适应压弯成形需要，必须使用专用闸压床。

闸压属于自由弯曲。将平钣毛料放在开有V形槽的凹模上,由V形凸模压向毛料,随着凸模下降将毛料弯成一定的角度,并形成一定的弯曲半径。闸压成形的生产率不高,但模具简单,用一套为数不多的通用弯曲模,可压制多种形状的钣弯型材,适合中小批生产。

常见的闸压机床是机械传动的曲柄连杆机构,其主要特点是装有特殊的微调装置,通过齿轮传动机构可以准确地调节滑块的下死点位置。

闸压成形主要用于弯制相对弯曲半径小于 $8\sim 10$ 的钣弯型材。Z形型材需经多次闸压,始能弯曲成形。当需经多次闸压才能弯成型材时,必须正确选择闸压弯曲的先后次序,如选择不当,不仅不能充分利用通用模具,甚至使本来可用的闸压成形方法成为不可能。钣弯型材的毛料宽度按弯曲件的展开式计算。

2. 型材滚弯

滚弯也属于自由弯曲,不仅可弯制等曲率的圆环或圆弧段的型材零件,还可弯制变曲率的零件。滚弯型材使用的机床多为四轮滚床。型材滚弯成形具有设备通用、工装简单、调节方便和生产率高等优点。

但由于飞机结构中大多使用非对称断面的薄壁型材,其曲率又是变化的,并且精度要求很高。用滚弯成形这类型材时,常会产生如下问题:

①在滚弯断面为非对称形状的角材或Z形型材时,因弯曲轮的作用力不通过型材断面的弯曲中心,型材毛料除了在滚弯平面内产生弯曲外,还要绕型材轴线扭转,使成形后的零件翘曲。消除翘曲必须进行手工修整。工艺上解决的办法是将左右件组合成对称的断面,滚弯后从中间切断。

②薄壁型材在滚弯过程中断面产生畸变。

③当型材腹板受压应力作用时,容易失稳起皱。

上述问题远不能概括滚弯成形存在的问题,影响型材滚弯质量的因素众多。

因此,型材滚弯成形在飞机制造中的广泛应用受到很大的限制。

3. 型材拉弯成形

飞机上的框肋缘条,机身前后段和发动机短舱的长桁,都是尺寸大,相对弯曲半径大的变曲率挤压型材弯曲件。这类零件是组成飞机骨架的受力零件,并直接影响到飞机的气动外形,因而形状准确度要求很高。生产中普遍采用拉伸弯曲方法成形。拉伸弯曲是一种复杂的塑性变形过程,成形时毛料受到弯曲力矩和轴向拉伸力的共同作用。根据对毛料施加载荷顺序的不同,拉弯成形可按两种加载方式进行:先弯曲,然后对毛料施加拉伸力(“弯曲—拉伸”加载)和先拉伸,然后进行弯曲(“拉伸—弯曲”加载)。

拉弯型材所用设备为拉弯机床,按工作原理和结构特点,目前飞机制造厂所用的拉弯机可分为转台式和转臂式。

转台式拉弯机由旋转台面(其上安装拉弯模和固定夹头),拉伸装置和侧压装置三部分组成,其特点是集合了拉弯和滚弯的特点,通用性好,可完成多种类型零件的成形,如拉弯圆环形件、拉弯S型零件、作绕弯机进行弯管(不使用拉伸装置),作拉形机进行小宽度的双曲面蒙皮拉形(更换夹头)。

由于附有侧压装置,转台式拉弯机有很多优点。如零件贴模好,可消除型面翘曲;适合制造变斜角零件;可防止复杂断面形状的型材在成形时断面畸变;可在拉弯过程中同时压零件上的局部下陷;可以拉弯既有曲度又有扭转的零件;施加侧压力减少毛料被拉断的

危险。

转臂式拉弯机的台面固定不动（其上安装拉弯模），在台面两侧的立轴上装有两个可绕台面转动的支臂，支臂由装在床身上的作动筒和拉杆带动旋转。这类机床结构简单，操作方便，尤其适于弯制直线段较长的型材弯曲件。但由于两支臂的转角受限制，一般为 $180^{\circ} \sim 280^{\circ}$ ，因此零件的最大包角也受到限制。

拉弯模工作面的外形按零件的理论外形加工，不考虑回弹。模具外形应与型材的断面内形吻合。

拉弯铝合金型材的模具多用厚铝板和废铝铸造。用于转台式拉弯机的模具，因工作时需承受较大的侧压力，一般选用厚钢板制造。

（五）落压成形

现代飞机结构中有为数不少的蒙皮和骨架零件，外形不规则，局部有凸凹。由于形状复杂，如用常规的冲压工艺，往往需使用多套模具才能成形。但这类零件品种虽多，每种的数量却非常少，往往每架飞机中只有 $1 \sim 2$ 件。因此从降低制造成本和缩短生产准备周期方面考虑不宜采用冲压成形。另一方面，如用手工敲击，则要求操作工有高超的技术水准，且生产率低，产品质量难于保证，因此也不宜手工敲击成形。落压成形的产生、发展适应了这类零件的生产。

在钣金零件成形过程中，毛料的不同部位必须要发生伸展或收缩的变化，才能成为立体形状。当材料伸展时，可能会导致两种后果：均匀变薄或集中变薄；当材料收缩时，也可能导致两种后果：均匀增厚或失稳起皱。集中变薄和失稳起皱是成形中必须设法防止和克服的两大成形难题。由于落压成形一般不用过渡模，落压模又无压边装置可资防皱，因此防止集中变薄和克服失稳起皱的问题尤为突出。落压成形中所采取的各种措施，归根到底，都是为了解决这个问题。

落压成形所用机床为落锤，它是利用重物下落的动能来提供成形能量的机床。落锤的重物为锤头加上模的重量。工作时，锤头兼为固定上模的模座，而下模则安放在机床工作台上，通常不固定。上模通常为凸模，下模为凹模，这样的落压模称为拉深模；上模有时为凹模，下模为凸模，这样的落压模称为压缩模。

落压模具材料通常为铅和锌，先用锌铸造下模，锌模凝固后，利用铅的熔点比锌低，在锌模上直接铸造上模即铅模。

用落压法成形的蒙皮零件，或紧贴蒙皮的骨架零件，需以理论模线为原始依据，加工样板和制造模型，按照模型铸造锌模，再按锌模铸造铅模。

为防止和克服集中变薄和失稳起皱，落压成形是将压形过程分为若干阶段，设法控制每一阶段的变形量，使其不致频于无法补救的程度。所谓将成形过程分为若干阶段，是将每次锤击，视为一成形阶段。在每一成形阶段出现起皱时，就用手敲击消皱，再进行下一阶段的成形。

为控制每一阶段的变形量，在落压成形时主要采取以下措施：

①预成形——有些落压零件形状复杂，以致无法在下模放稳毛料，或即使轻击毛料也会因变形过于剧烈而破裂或形成死皱。此时，应用点击锤或缩边机预先将毛料的部分边缘放长或收短，而后再进行落压，既可放稳毛料，又可以缓和集中变薄和失稳起皱。