

钣金设备设计

欧阳祖行 邓宗彦等 编著

国防工业出版社

钣金设备设计

欧阳祖行 邓宗彦等 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书论述了钣金设备设计计算的基本原则，论述了夹头、床身和导轨、靠模滚弯机构、进给机构、钛合金热成形设备等几个方面的设计问题。

全书共分六章：第一章设计概论；第二章夹头和收缩模具设计；第三章床身和导轨；第四章靠模滚弯机构设计；第五章进给机构；第六章钛合金热成形设备设计。

本书可供从事钣金设备设计的工程技术人员以及各高等院校有关专业的师生的参考。

钣 金 设 备 设 计

欧阳祖行 邓宗彦等 编著

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

廊坊日报印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 13¹/₂ - 314千字

1982年11月第一版 1982年11月第一次印刷 印数：0,001—6,100册

统一书号：15034·2412 定价：1.45元

前 言

本书总结了国内一些厂、所、学校有关钣金设备设计方面的经验和科研成果，吸收了一些国外的先进技术，除一般地论述了钣金设备设计的指导思想和设计计算的基本原则之外，着重论述了夹头、床身和导轨、靠模滚弯机构、进给机构、钛合金热成形设备等几个方面的设计问题。

全书共分六章：第一章设计概论；第二章夹头和收缩模具的设计；第三章床身和导轨；第四章靠模滚弯机构的设计；第五章进给机构；第六章钛合金热成形设备设计。

本书可供从事钣金设备设计的工程技术人员以及高等院校有关专业的师生参考。

参加本书编写工作的有邓宗彦、刘道忠、恽君璧、张中元、欧阳祖行等。由欧阳祖行主编。张壮杰、王良云参加了部分描图工作。

作者向给本书提供资料的各有关单位和个人深表谢意。并恳切地期望广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 设计概论	1
§ 1-1 钣金设备设计制造的发展概况	1
§ 1-2 钣金成形设备设计的指导思想和基本原则	3
§ 1-3 钣金成形设备零件设计计算的一般原则	5
第二章 夹头和收缩模具的设计	12
§ 2-1 概述	12
§ 2-2 型材夹头的结构类型及其特点	13
§ 2-3 型材夹头的设计	19
§ 2-4 蒙皮拉形机夹头的结构类型及其特点	23
§ 2-5 导管夹头	26
§ 2-6 加热夹头	27
§ 2-7 收缩模具的结构类型、特点及其设计	27
§ 2-8 型材拉伸量的控制原理	34
第三章 床身和导轨	38
§ 3-1 床身的要求和床身结构	38
§ 3-2 床身结构的工艺分析	41
§ 3-3 盒型床身的刚度计算	46
§ 3-4 盒型床身的扭转刚度和强度计算	49
§ 3-5 框架型床身的内力计算	51
§ 3-6 框架型床身的刚度计算	57
§ 3-7 滑动导轨	63
§ 3-8 滚动导轨	71
§ 3-9 导轨的润滑	80
§ 3-10 液体静压导轨	82
第四章 靠模滚弯机构的设计	96
§ 4-1 蒙皮靠模滚弯机构的设计	96
§ 4-2 型材靠模滚弯机构的设计	110
第五章 进给机构	123
§ 5-1 概述	123
§ 5-2 滚珠丝杆传动	124
§ 5-3 齿轮传动间隙的消除措施	137
§ 5-4 液体静压丝杆	140
第六章 钛合金热成形设备设计	150
§ 6-1 钛和钛合金热成形原理	150
§ 6-2 钛合金热成形设备设计特点	156
§ 6-3 加热炉设计	158
§ 6-4 电热平台设计	177
§ 6-5 感应加热器设计	182
§ 6-6 辐射加热器设计	189
§ 6-7 隔热装置的设计	199
§ 6-8 辅助工具	203
§ 6-9 测温装置	206

第一章 设计概论

§ 1-1 钣金设备设计制造的发展概况

解放以来,我国航空工业,从无到有,从小到大,取得了很大成绩。

飞机具有构造复杂,重量轻,薄壁钣金零件特别多,零、部件之间要保证相互协调,外形要求高等特点。例如每架歼击机的有色金属钣金件有5000~7700项,黑色金属钣金件有900~1600项,分别占全机总零件数的37~44.6%和8~11%;每架轰炸机的有色金属钣金件有19600项,黑色金属钣金件有1822项,分别占全机零件总数的39.2%和3.5%;每架直升机的有色金属钣金件有8100项,黑色金属钣金件有547项。有色金属钣金件所费工时占全机工时的百分比:歼击机为7~12%;轰炸机为12.2%;直升机为10.9%。从制造方法来说,有冲裁、压弯、滚弯、拉弯、拉形、拉深、橡皮成形、液压胀形、落锤冲压、旋压和高能成形等。此外,由于高速飞机的发展,采用了相当数量的低塑材料,如镁合金、钛合金等。特别是钛合金材料在飞机上的使用愈来愈多。低塑材料的成形,在工艺上必须加热,提高材料的塑性,才能成形。

总之,飞机钣金零件由于“品种多,数量大,外形要求高,低塑材料难于成形”等特点,用一般通用设备是不适宜的,为此,需要采用适合制造飞机钣金零件的各种专用设备。如制造框、肋零件的橡皮液压成形机;制造型材零件的型材拉弯机和型材滚弯机;制造蒙皮零件和整体壁板的拉形机、压弯机和滚弯机;制造复杂零件的落锤;制造钛合金零件的热成形校形机等,这些钣金成形专用设备在解放初期都是从国外进口的,虽然它对我国航空工业的发展发挥了一定的作用,但是价格昂贵,质量低劣,技术落后。例如五十年代进口的II-307型大型橡皮液压成形专用机床,设计单位压力是400公斤/厘米²,名义工作压力是9600吨,经常只能用到180~240公斤/厘米²,只有原设计单位压力的50~60%,达不到设计要求,而且漏水、漏油,经常处于检修状态,设备使用率低。

三十年来,航空工业战线上的广大工程技术人员,在中国共产党和毛主席的领导下,奋发图强,自力更生,从六十年代开始,自行设计与制造各种类型的钣金成形专用机床设备。所研制的各种专用机床设备,总结了国内现有的专用机床设备的使用经验,吸取了国外同类机床的优点,结合我国的具体情况,设计出适合我国国情的专用机床。如6000吨圆筒式橡皮囊液压机,不受II-307型橡皮液压机的约束,吸取了许多国家同类橡皮液压机的优点,相对于同功用的其它机床,在相同的吨位下,它具有体积小、重量轻、液压系统简单、制造容易等优点。

目前,国外研制的圆筒式橡皮囊液压机,规格很多,最小工作台面尺寸为1270×506×104毫米,单位压力为350公斤/厘米²,总工作吨位为2500吨;最大工作台面尺寸为6040×1270×254毫米,单位压力为700公斤/厘米²,总工作吨位为60000吨。

根据我国航空工业目前发展的趋势,对于橡皮囊液压成形机的研制,今后应发展工作台面尺寸为2700×1200×200毫米,单位压力为1000公斤/厘米²,总工作吨位为32000吨

和工作台面尺寸为 $5400 \times 1200 \times 250$ 毫米，单位压力为 1000 公斤/厘米²，总工作吨位为 64000 吨的橡皮囊液压成形机。这样，在工作台面尺寸的长 \times 宽 \times 厚、单位压力几项指标上，既根据我国实际需要，又都基本上达到了世界水平。

型材零件的拉弯成形设备，过去进口的 ПГР 型张臂式拉弯机，其工作原理仍停留在单纯的拉弯成形阶段。ПГР 型型材拉弯机除存在型材剖面畸变及扭翘等质量弊病外，还有技术性能差，使用范围窄等缺陷。例如包角小于 270° 的零件及“S”形零件，飞机纵向型材以及空间曲度零件等在该类机床上是无法成形的。有些国家采用转台式拉弯机，它的特点是，在拉弯过程中，在型材的弯曲变形部位施以法向压力，由这个压力导致的最大剪应力与拉力产生的最大剪应力在材料的滑移面上相叠加，增加了材料的“塑流”，从而可以极大地减少零件的回弹，也限制了型材剖面的畸变及扭翘。

我国研制的 10 吨和 30 吨两种规格的带侧压的转台式型材拉弯机，通过几个机种各类型材零件的拉弯试验，证明在质量上能够达到相当满意的结果，它不仅提高了零件的外形准确度，而且在下述几个方面均显著地优于 ПГР 型张臂式拉弯机：

- (1) 能加工零件的开闭斜角；
- (2) 能有效地防止零件剖面畸变；
- (3) 零件剖面尺寸均匀，解决了过去在张臂式拉弯机上成形零件时，出现剖面尺寸局部收缩而超差的问题；
- (4) 加侧压后，拉伸力比在张臂拉弯机上拉弯所需的拉伸力要小 10% 左右，从而减少了零件的断裂的机会；
- (5) 由于侧压力的作用，能增加材料的“塑流”，有利于一些弹性很大的硬料如 30CrMnSiA ， ЭИ100H 和塑性很差的材料如钛合金 TA_2 ， TC_1 的成形；
- (6) 在成形范围方面，能够拉弯在 ПГР 型拉弯机上不能完成的另一些类型的零件，如包角大于 270° 的零件，“S”形零件，空间曲度零件和长桁类零件等。

钛和钛合金材料的优点是比强度高，耐热性、耐腐蚀性好，所以在飞机结构中得到了广泛的应用。它的缺点是塑性差，塑性变形范围小，回弹大，缺口敏感性高，因此在常温下只能制造形状简单，变形量小的零件，多数零件需在加热状态下成形和校形。由于热成形机床设备，模具材料，工艺方法等长期没有解决，限制了钛合金材料在飞机上的应用。七十年代，我国研制成功了 RX-1 型热压校形机和电炉式热成形机。经长期生产使用考验，证明性能良好，初步解决了钛合金成形的关键问题，现正在将机床系列化。

RX-1 型热压校形机是在“C”形床身内安装两个垂直油缸，两个悬挂式侧压油缸和两个顶缸。上下台面有两套电热平台，其周围用“门”起着隔热保温作用。单台和双台主缸可单独工作，也可联合工作，攻克了两缸的同步问题。RX-1 型热压校形机的最大工作吨位，单缸为 100 吨，双缸为 200 吨，行程为 700 毫米，侧压缸的工作吨位，单缸为 30 吨，双缸为 60 吨。工作台的最高工作温度为 800°C ，工作台升温到 800°C 需要两小时，有效台面尺寸为单台 600×760 毫米，双台 1300×760 毫米。加热电功率为单台 54×2 千瓦，双台 54×4 千瓦。

电炉式热成形机床身是框架式钢板焊接结构，电炉采用五面加热方式，前后有两个炉门，炉壁采用中硅铝耐热球墨铸铁骨架，硅酸铝纤维作隔热材料，因此，隔热效果好，升

温速度快。工作台面是碳化硅陶瓷平台，上下台面有循环水冷却，使热影响减小。该机床最大工作吨位为 100 吨，行程为 650 毫米，最高工作温度为 900℃，工作台升温到 900℃需两小时，电炉的功率为 75 千瓦，有效工作台面尺寸为 600×760 毫米。并自动控制压力、时间、温度，能实现半自动化压制零件。

我国还研制成功了蒙皮拉形机、蒙皮滚弯机、无齿收缩机、1200吨立式橡皮囊液压机等钣金成形专用设备，投入了生产使用。

总之，由于广大知识分子和工人相结合，发扬自力更生，奋发图强的精神，不但设计制造了一些钣金成形专用设备，而且培养了一支又红又专的设计制造的技术队伍，为航空工业自制钣金成形专用设备奠定了基础。

§ 1-2 钣金成形设备设计的指导思想和基本原则

要圆满地完成飞机钣金成形专用设备的设计任务，就得首先抓住设备设计的基本问题。首先，设备是供用户使用的，因此，它必须满足使用部门的要求。其次，必须符合制造厂的条件，能够制造的，要尽可能制造出来。为此，设计专用设备时，必须很好地掌握有关的科学技术知识，遵循设备设计时所应遵循的基本原则，这些原则是：

一、满足使用要求

要求飞机钣金成形专用设备能够有效地执行预期的全部职能。这包括执行全部职能的可能性和可靠性两个方面：

首先是能够按照规定的技术要求顺利地执行设备的全部职能。要正确考虑专用设备的工作原理，正确设计实现工作原理的机构。

其次要保证在预定的寿命期间内可靠地工作。即设备在使用中不发生破坏，不致过度磨损或产生过度变形；不因专用设备的运转不够正常，出现强烈的冲击和振动等现象，而损害专用设备的工作质量。所有这些，都要靠正确设计专用设备的零、部件来保证。

二、满足经济性要求

飞机钣金成形专用设备的经济性是一个综合指标，它表现在设计、制造和使用的整个过程中：在设计、制造上，要求成本低，生产周期短；在使用上，要求生产率高，效率高，能源和辅助材料等消耗少，管理方便，维护费用低等。

1. 提高设计和制造经济性的主要途径

大力推广产品系列化、部件通用化、零件标准化，是提高设计和制造经济性的主要途径。飞机钣金零件是多种多样的，即使是同一类型的机床，所加工的零件的尺寸、形状、材料等也差别很大，同时，各飞机工厂，例如运输机、轰炸机、歼击机制造厂，对某些钣金成形专用设备的要求就不完全相同，因此，如果对某一类型的设备只生产一种规格尺寸专用设备，一方面不能同时满足各飞机制造厂的要求，另一方面也可能造成不必要的浪费。所以我們必須在調查研究的基礎上，尋找一個合理的方案，來確定同一類型的钣金成形专用设备应有那几种型式和规格尺寸，制订出一个合理的系列来，以便满足各飞机制造厂的不同要求。

钣金成形专用设备总是由一些部件、零件组成的。在系列化基础上，可以使同一类型的钣金成形专用设备的若干个部件相互通用，这样可以缩短设计周期，降低生产成本，提高技术，保证质量。除整个部件可通用外，有时还可以考虑若干零件的通用，使通用化的意义扩大为零、部件的通用化。

钣金成形专用设备的零件一般可分为专用件、通用件、标准化零件和外购件等几种。专用件是某一型号设备所特有的零件，通用件是本型号设备和其它设备间通用的零件，标准化零件则是由国家标准化的在各种机床设备或各种机器间都可通用的零件。设计钣金成形专用设备时，凡是可以采用标准化零件的地方应该采用标准化零件，因为标准化零件批量大，可以大批量生产，从而可以大大降低零件的成本和提高质量，这样也就降低了机床的成本、提高了机床的质量。此外，多采用标准化零件也可以减少设计的工作量。零件标准化后所收到的经济效果是很大的，据统计，一般紧固件在大量生产中材料利用率可由原来的30%提高到80~95%，成本则降低到原来的1/4~1/8。这些事例都说明了零件标准化所带来的好处。

2. 提高使用经济性的主要途径

(1) 提高钣金成形专用设备的机械化和自动化的程度，提高劳动生产率，减少管理、维护费用。

(2) 选用效率高的传动系统支承装置，以提高机械效率，减少动力的消耗。

(3) 采用适当的防护（如闭式传动、表面喷涂）和润滑装置，延长设备的工作寿命，降低维护费用。

(4) 采用可靠的密封装置，防止漏油、漏气等无意义的损耗。

三、满足劳动保护的要求

劳动保护是设计飞机钣金成形专用设备时必须特别重视的要求。它可以分为三个方面：

1. 要注意技术安全

对设备中易于造成危害工人安全的部分，均应加装安全罩；所有传动机构，应尽可能设计成闭式的；与工人接触的外露部位，不应有锋利的棱角或灼热、有害的介质；采用各种可靠的安全保险装置和信号报警系统。

2. 要最大限度地减少工人操作时的体力及脑力消耗

在飞机钣金成形专用设备设计中，要适当减少操纵手柄及电器按钮的数目，使其集中于适当的位置，操纵灵便，符合人们的习惯；仪表和信号等指示装置亦应布置适当；力求简化操作过程；采用各种可靠的联锁装置，例如在具有集中润滑的大型设备中，可采用图1-1所示的联锁装置，即在油路中接入一个压力继电器，保证在未接通油泵电机的电源及油压未达到预定的指标时，不可能开动整个设备，防止导轨或轴承等在润滑不良的情况下起动时发生过渡磨损。

3. 要努力改善操作者的工作环境

力求减少设备的噪音；有效地净化或排除操作时产生的废气、废液及灰尘，保持工作

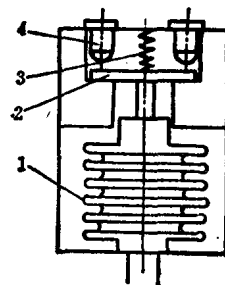


图1-1 联锁装置

1—波纹管；2—金属片；3—弹簧；
4—电触头。

环境通风，温度适中；适当美化设备和零件的外形及表面（如适当协调壳体、机架外形，电镀或喷涂适当颜色的油漆）等。

四、满足工艺性要求

整合设备应具有良好的工艺性。在不影响工作性能的条件下，应使设备的结构尽可能简化，力求用最简单的机构和装置代替复杂的机构和装置。为此，应全面分析对比各种机构组合方案，尽量采用标准零、部件及优先配合、优先系列和标准结构要素等；制造和装配的劳动量要少；装拆维修要方便。

五、满足其它特殊要求

有些设备有特殊的要求，在设计时必须考虑。例如设备大，重量重，制造厂和使用厂不在同一地方，设计时要考虑便于安装、拆卸和运输的要求。

§ 1-3 钣金成形设备零件设计计算的一般原则

零件设计正确与否，对设备的技术性能和制造成本都有影响。这里谈一谈零件设计计算的一般原则。

在设计钣金成形专用设备时，对主要的零件或部件都必须进行最完善的计算。由于设备的零件和部件，都在变速和变载荷情况下工作，因而各零件的工作情况是复杂的；其次由于限制某些零件的变形以提高钣金设备成形零件的精度，因而对设备的刚度要求较高；同时对零件的要求也与载荷的性质有关，这种载荷又与钣金零件成形过程中的作用力有关，因此，钣金设备的零件的计算必须根据不同的特点分别满足各项要求；必须保证：

- 1) 钣金设备的零件不致因承受载荷而损坏，保证设备能正常工作；
- 2) 钣金设备的零件必须具有一定的寿命，也就是说，在预计使用的期限内不致因疲劳而产生不允许的磨损和破坏；
- 3) 防止模具或成形零件的过渡的变形或位移，以保证设备的工作精度；
- 4) 在全部变速范围和载荷范围内，设备具有高度的抗振性能。

为了满足以上各项要求，下面分别叙述钣金设备中零件设计计算必须考虑的几个问题：

一、静力强度

当机床零件的载荷固定不变或变化很小时，可作静力强度计算。属于这类的零件有：固定螺钉、托架、低速转动的轴和齿轮等。这些零件通常可用材料力学中的已知公式进行计算。

材料的屈服极限 σ_s 和抗拉强度极限 σ_b 是表示材料的机械性能的主要标准。通常，对未淬硬钢平均可取 $\sigma_s = 0.55\sigma_b$ ，淬硬钢可取 $\sigma_s = (0.75 \sim 0.85)\sigma_b$ 。

如断面上的应力分布不均匀时，则屈服极限须根据这一零件的断面形状而定。当受弯曲作用时，如薄壁形断面取 σ_s ，则矩形断面取 $(1.25 \sim 1.3)\sigma_s$ ，则圆形断面取 $(1.3 \sim 1.4)\sigma_s$ ；当受扭转作用时，薄壁环形断面取 $0.58\sigma_s$ ，圆形断面取 $0.65\sigma_s$ 。

许用应力的大小除与安全系数的选择有关外，还与材料的屈服极限 σ_s （对韧性材料，

如钢材而言)和强度极限 σ_b (对脆性材料,如铸铁而言)有关。因此,韧性材料的许用应力为

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{n}$$

脆性材料的许用应力为

$$[\sigma] = \frac{\sigma_b}{n}$$

式中 $[\sigma]$ ——许用应力;

n ——安全系数。

安全系数的选择应根据下列标准:

1) 对于未经热处理的和经过调质的钢材,如能判断钢材所承受的载荷情况和断定零件不存在残余应力时,取 $n_s = 1.1 \sim 1.4$ (对于 σ_s)。当比值 $\frac{\sigma_s}{\sigma_b}$ 较大时取大值,比值较小时取小值。

2) 对于受弯曲载荷的铸铁,取 $n_b = 3 \sim 4$ (对于 σ_b)。圆形断面零件取较小的值,矩形断面取较大的值。受拉的铸铁零件,其许用应力为弯曲许用应力的 $0.45 \sim 0.6$ 倍;受压的铸铁零件,其许用应力为弯曲许用应力的 $1.8 \sim 1.9$ 倍。受扭转的铸铁零件,如为薄壁环形断面,其许用应力为圆形断面的许用弯曲应力的 $0.4 \sim 0.5$ 倍;如为圆形断面,其许用应力为圆形断面的许用弯曲应力的 $0.5 \sim 0.6$ 倍;如为矩形断面,其许用应力为圆形断面的许用弯曲应力的 $0.7 \sim 0.8$ 倍。

二、动力强度和寿命系数

钣金设备中的某些零件,是长期承受变载荷作用的,如高速旋转的轴、滚动轴承、齿轮等。这种零件需要作动力强度计算。动力强度计算不同于静力强度计算的地方在于:

- 1) 要根据材料的疲劳极限选取许用应力;
- 2) 不仅对脆性材料,并且对韧性材料,都应考虑应力集中。

材料的基本动载特性,也就是在对称循环下的弯曲疲劳极限 σ_{-1} ,可由材料的动载强度的资料中选取,对钢料可以平均取 $0.45\sigma_b$ (即从高强度的淬硬钢到软钢,可取 $0.4\sigma_b \sim 0.5\sigma_b$),对于铸铁可取 $0.4\sigma_b$ (即根据铸铁的优劣程度,可取 $0.35\sigma_b \sim 0.5\sigma_b$)。随着零件断面尺寸的增大,其疲劳极限必须降低:例如,直径50毫米左右的钢轴,应降低 $15 \sim 30\%$,直径100毫米左右的钢轴,应降低 $30 \sim 40\%$ 。硬钢制成的零件或断面变化激烈的零件,应取大值。

经过渗碳、氰化,特别是氮化处理后,零件的疲劳极限可提高 $50 \sim 130\%$ 。对断面变化很大的零件,效果更加明显。

钢料的扭转疲劳极限,取 $\tau_{-1} = 0.58\sigma_{-1}$,铸铁的扭转疲劳极限,取 $\tau_{-1} = 0.75 \sim 0.9\sigma_{-1}$ 。

当应力变化从零到最大时,即应力变化是脉动循环时,钢的脉动循环疲劳极限为 σ_0 ,可取为 $1.6 \sim 1.8\sigma_{-1}$;钢的扭转脉动循环疲劳极限为 τ_0 ,可取 $1.7 \sim 2.0\tau_{-1}$ 。这里 σ_{-1} 与 τ_{-1} 是钢的对称循环疲劳极限和钢的扭转对称循环疲劳极限。

在考虑应力集中和尺寸的精确计算中,动载荷许用应力的安全系数大约为 $1.3 \sim 1.5$ 。

对于受动载荷作用下的零件，应按使用期限计算，这时许用应力不应根据疲劳极限决定，而是根据破坏应力来确定许用应力；也就是在超过零件使用期限以后的载荷循环次数，材料才可能被损坏。这样，可以根据机床的必需寿命进行计算，使大多数零件都能保持大致相同的使用时间。对于容易配换的零件，特别是可以买到的成品零件，例如滚动轴承。如果能使某些部件的构造体积缩小时，则合理地减少这种零件的使用时间，就可以更经济一些。

计算寿命的原则是：如果零件到损坏前所需的工作时数 T 已定，并且已经知道零件在单位时间内的载荷循环次数 n 时（通常都等于这个零件的每分钟转数），就可以确定这个零件在机床全部工作时间内所受载荷的总循环次数 n_{Σ} 。也就是 $n_{\Sigma} = 60nT$ 。

如果利用零件的材料的疲劳曲线，例如图 1-2 所示，根据所求得的 n_{Σ} 值就可以确定所需寿命的应力 σ ，再将这个应力值 σ 用安全系数来除，就可求得许用应力 $[\sigma]$ 。

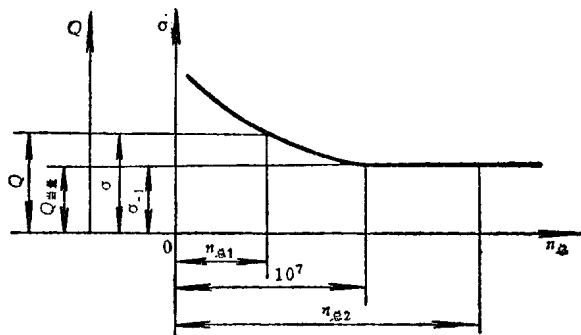


图1-2 各种钢料受弯曲应力和未淬硬钢接触应力时的疲劳曲线

疲劳曲线系以 σ 和 n_{Σ} 为坐标，其弯曲线段部分由下面的双曲线方程式表示：

$$\sigma^{m_{\sigma}} \cdot n_{\Sigma} = \text{const} \quad (1-1)$$

式中 m_{σ} ——对于某一一定的材料，在某一类型的应力下（例如在弯曲，拉伸，接触压力等应力下）所具有的常数。

如果疲劳曲线系以载荷 Q 和 n_{Σ} 为坐标所制成，如图 1-2 左面纵坐标所示，则疲劳曲线的弯曲线段部分的方程式为：

$$Q^{m_Q} \cdot n_{\Sigma} = \text{const} \quad (1-2)$$

在应力与载荷成正比的应力状态下，除接触变形外，所有各类型的变形都有如下的关系式：

$$m_Q = m_{\sigma} \quad (1-3)$$

通常，在接触应力状态下，有下述关系：如为线的初接触时，

$$m_Q = \frac{1}{2} m_{\sigma} \quad (1-4)$$

如为点的初接触时

$$m_Q = \frac{1}{3} m_{\sigma} \quad (1-5)$$

各种钢料如为接触应力时，

$$m_Q = 3$$

如为弯曲应力时，

$$m_Q = 9$$

任何种类的钢料在弯曲应力下（未淬硬钢在接触应力作用下），疲劳曲线左部的曲线

段部分都终止在应力循环次数 $n_a \approx 10^7$ ，在这以后就开始转变为平行于横坐标轴的直线，如图 1-2 所示。因此，通常疲劳极限的数据都是相当于应力循环 $n_a = 10^7$ 时的应力值。

淬硬钢受接触应力时，全部疲劳曲线都是双曲线形状，这个双曲线的右部和横坐标轴稍微倾斜的直线相似，如图 1-3 所示。因此，淬硬钢在受接触应力时，并不存在疲劳极限。

如想直接根据这种疲劳曲线来计算钣金设备中各种零件的寿命时，需要根据各种不同材料和各种不同类型的应力所制成的曲线，实际上这是很麻烦的。因此在计算时，可以利用变

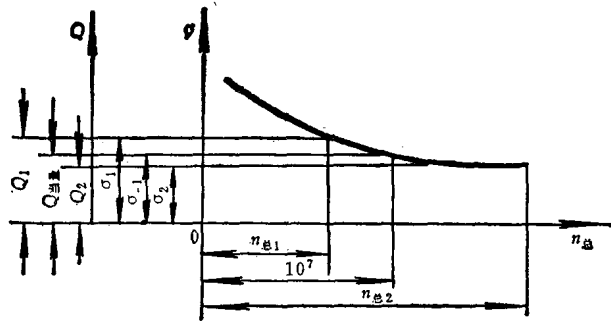


图1-3 淬硬钢受接触应力时的疲劳曲线

数 σ 和 n_a 在下述特殊值时的疲劳曲线方程式（参见图 1-2 和图 1-3）：

$$\sigma_{-1}^{m_\sigma} \times 10^7 = \text{const} = c \quad (1-6)$$

$$\sigma^{m_\sigma} \times n_a = \text{const} = c \quad (1-7)$$

式中 σ_{-1} ——在对称循环载荷作用下的材料的疲劳极限；

10^7 ——相当于疲劳极限 σ_{-1} 时的载荷循环次数（基准的）；

σ ——需求的拟定疲劳极限，在这个极限内，零件应能支持到载荷循环次数 n_a ；

n_a ——预定的计算载荷循环次数， $n_a = 60nT$ ；其中 T ——预定的零件寿命（小时），

n ——每分钟的载荷循环次数（例如转/分）。

如果 (1-6) 式、(1-7) 式两式相除，则得

$$\frac{\sigma_{-1}^{m_\sigma} \times 10^7}{\sigma^{m_\sigma} \times n_a} = 1$$

因此

$$\sigma = \sigma_{-1} \times \sqrt[m_\sigma]{\frac{10^7}{n_a}} \quad (1-8)$$

用这种方法所决定的应力 σ ，就是零件能承受所需的载荷循环次数 n_a 时的应力（也就是拟定的疲劳极限），再除以安全系数，就可以求出许用应力和进行零件的安全尺寸的计算，或验算已有的零件尺寸。由此可见 (1-8) 式中的 $\sqrt[m_\sigma]{\frac{10^7}{n_a}}$ 就是对应于一定寿命的应力的

系数，用这个系数乘 σ_{-1} 可得需要的应力。

但在实际计算中并不先求许用应力，而是以下列系数乘实际载荷来决定当量载荷 $Q_{\text{当量}}$ （参见图 1-2），即：

$$K_1 = \frac{1}{\sqrt[m_\sigma]{\frac{10^7}{n_a}}} = \sqrt[m_\sigma]{\frac{n_a}{10^7}} = \sqrt[m_\sigma]{\frac{60nT}{10^7}} \quad (1-9)$$

K_1 就是 $n_a = 60Tn$ 的寿命系数，因此当量载荷 $Q_{\text{当量}}$ 可由下式求出，

$$Q_{\text{当量}} = Q \cdot K_1 \quad (1-10)$$

所以，如已知 $Q_{\text{当量}}$ 和疲劳极限 σ_{-1} 时，就可以用一般的方法求得零件的计算尺寸，而这个零件实际上就在载荷 Q 和与其相应的应力下工作。

由于各种钢料在弯曲载荷作用下和未淬硬钢在接触应力下的疲劳曲线，在 10^7 处开始为平行于横坐标的直线（图 1-2 所示），如 $n_{\text{当量}} > 10^7$ 时，也是取 σ 等于 σ_{-1} ，因而 $K_1 = 1$ ，虽然根据（1-9）式，当 $n_{\text{当量}} > 10^7$ 时， K_1 应大于 1。所以在这种情形下 K_1 的数值可以小于或等于 1。

由于受接触应力的淬硬钢的疲劳曲线，在 10^7 后仍继续下降（图 1-3 所示），由于 $n_{\text{当量}}$ 的数值小于或大于 10^7 ，而 K_1 的数值也相应地小于或大于 1。

三、刚 度

应用钣金成形专用设备成形飞机零件时，由于设备弹性变形所产生的钣金零件的尺寸和形状的误差，占加工总误差的大部分，同时设备的刚度对抗振性能也有显著的影响；所以提高钣金设备的各个零件的刚度对加工质量有很大的改善。

钣金设备的各个零件的刚度应包括零件本身材料的弹性变形的刚度和连接件之间的表层接触变形的刚度。

钣金设备上的各个零件的弹性变形可根据材料力学的已知公式进行计算。滚轴、靠模轴、心棒、床身等的刚度由钣金零件所能达到的加工精度而定。传动件所需要的刚度，特别是光杆、丝杆等的刚度，由传动精度而定。

设备中的零件的稳定性计算也可属于刚度的问题，在设备中需要作稳定性计算的有受压缩作用力的丝杆和连杆。计算水平安装的丝杆和连杆的纵向翘曲时，安全系数应比垂直安装时的要大。

连接件的表层接触变形可根据以下的实验公式概略计算：

$$\delta = kp \quad (1-11)$$

式中 δ ——接触变形（微米）；

p ——单位压力（公斤/厘米²）；

k ——系数，如单位压力在 $10 \sim 20$ 公斤/厘米² 范围内，铸铁连接件的数值如表 1-1 所示。

表1-1 铸铁连接件的系数 k

接触面的加工方式	刨	刮	磨	研 磨
系 数 k	0.20	0.14	0.06	0.05

提高零件刚度的办法有：采取合理的断面形状，缩短弯曲和扭转力臂，增大支座，用杆或筋条加强支架等。提高接触刚度的方式有：改善接触表面的加工质量；减少接合面的数目；对固定的连接面处增加过盈，使其在受外力作用后的压力仍不小于 15 公斤/厘米²。

四、抗 振 性

钣金设备在成形加工过程中，有时也会产生振动，从性质上来说，振动有自激振动和强迫振动，这些振动的来源往往是由于成形加工过程或传动机构所引起的。设备发生了振动现象，必然影响生产率，也影响成形加工的精度、光洁度、形状准确度，加速设备中的零件的磨损，缩短寿命，发生噪音，容易引起工人的疲劳，因此在设计钣金设备时，必须采用抗振的结构，以避免或减少振动的发生。

在成形加工过程中，由于工件和模具（或刀具）之间的摩擦，被加工材料的塑性变形，以及成形加工中作用力的变化等，都可能引起设备的自激振动；断续的成形加工则会引起强迫振动。这些振动除可采用变更成形加工方法，提高模具、夹头等的刚度，增加阻尼装置（消振器）等方式来解决，还可从设备中的零件设计方面来解决。

由钣金设备的传动机构而引起振动是由于：

- （1）高速转动零件的不平衡而产生的惯性力，如电机转子、皮带轮、滚动轴承等。
- （2）往复运动或摆动零件的惯性力以及由于机构中的间隙而引起的冲击力。
- （3）齿轮的齿形和齿距的误差，链轮的齿数较少等。这些都会引起强迫振动。某些具有变化刚度的零件也会成为振动的来源，如滚动轴承的滚动体的载荷变化，受弯曲载荷的带有长键槽的轴，相互啮合的齿轮轮齿的接触点沿齿廓的移动等。

在进给机构中，常因摩擦力的变化等原因而出现自振现象，防止这种振动的主要方法是提高零件的刚度，尽可能用丝杆而不用齿条作为进给机构。

目前在钣金设备上所采取的减振措施，除注意高转速零件的平衡，减少冲击力，提高零件的刚度等办法外，还要设法控制零件的固有振动频率以防止共振。钣金设备中的零件的振动频率通常可根据简化的近似公式进行计算。此外，尽可能减小接合面间的间隙，提高接合面的光度，采用合理的润滑以及采用预紧的滚动轴承等，可以避免或减少振动。

五、耐 磨 性

钣金设备中的零件，多半是由于磨损而改变形状，由于精度降低而损坏；零件的磨损直接影响设备的寿命，因此提高零件的耐磨性就有较大的意义。设备零件的磨损大部分属于磨料磨损，也就是在摩擦面之间存在灰尘、磨粒等形成磨料而加速摩擦面的磨损。由于设备的使用条件较为复杂，既不能完全避免磨损，也不能单纯地用计算方法决定磨损。因此，在设计钣金设备时，除配备保护装置以减少磨损和采用合理润滑措施外，还可以采用以下几种方式，以减少磨损或补偿磨损而延长设备的寿命。

1. 选择适当的材料

零件的耐磨性不仅决定于材料的性能，也与摩擦副的工作条件有关。为避免摩擦面被擦伤和咬焊，就应选择硬度差别稍大的摩擦副和材料，避免咬焊，例如，用铸铁对有色金属或铸铁对塑料就比铸铁对铸铁要好些。对于磨料磨损，实验证明，纯金属和未经热处理的碳素钢的耐磨性与硬度成正比；但经过热处理的钢，耐磨性的提高则比硬度的提高缓慢，还有，用表面机械冷硬的方法提高硬度并不影响耐磨性。

2. 控制摩擦面的单位压力

磨损的计算就是选择单位压力,在这种压力下,钣金设备在预定的使用期限内,零件的形状和尺寸的改变不会超过允许限度。因为磨料磨损与单位压力成正比,所以控制摩擦的单位压力就可以减少磨损,这种计算应根据钣金设备的实际磨损的统计资料,在不同的润滑和其它的使用情况下,单位压力与磨损间关系的试验资料。

3. 选择合理的构造

如果构造的方案选择得合理,同样的磨损情况下,对机床的精度影响较小,甚至没有影响,如图 1-4 所示的凸轮机构,如凸轮与摆杆之间的磨损为 U_1 ,摆杆与滑块之间的磨损为 U_2 。虽然这两处的磨损完全一样,但对滑块运动所产生的误差,图 1-4, a 所示的构造方案为 $\Delta_a = U_1 + U_2$,而图 1-4, b 所示的构造方案则为 $\Delta_b = U_2 - U_1$ 。所以在同样的条件下,第二种构造方案的使用寿命必然较长。

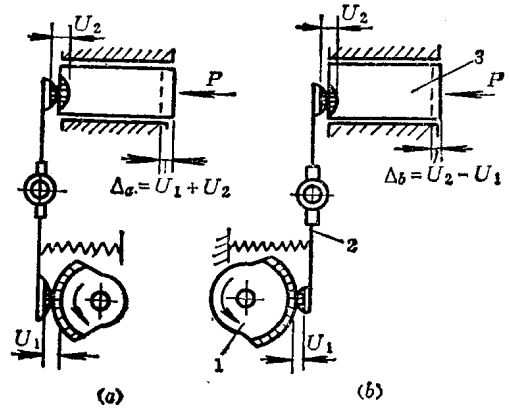


图1-4 减少因磨损而引起误差的比较方案

1—凸轮; 2—摆杆; 3—滑块。

4. 均匀磨损

既然磨损是不可避免的,但如能使磨损均匀,在一定的条件下可以不影响设备的精度,可用调整的办法消除磨损所引起的间隙。例如床身导轨,通常是某一段的磨损量较大,这样必将影响加工精度。如能延长溜板的长度,合理安排受力点的位置,以减少导轨上的压力和改善其分布情况,可以提高导轨的均匀磨损程度;也可将床身导轨的磨损较快的一段,事先把硬度淬得稍高些,这样也可使磨损均匀。

5. 磨损的补偿

如在产生磨损之后能及时补偿,也可以维持应有的精度,当然磨损愈均匀,补偿的效果也愈大。如床身导轨的镶条和压板,外部为锥形的滑动轴承,滚动轴承的轴向调整,丝杆的可调螺母等都属于这一类。此外,使容易磨损的零件便于更换,也是有利于补偿磨损的另一方式。

六、发热和热变形

钣金设备上热量的来源是由于钣金零件成形变形和摩擦副间所产生的热量。而摩擦副间所产生的热量主要来自轴承(尤其是滑动轴承)、齿轮、摩擦离合器和液压系统等。

由于温升会降低润滑油的粘度,影响润滑性能,引起零件的过度磨损,降低使用寿命,因此在设计钣金成形设备时,应考虑发热零件的散热情况,使设备运转后,在许可的温度范围内,达到热平衡,或改善零件的形状,使其便于散热;或在温升较高的轴承等类零件处增设便于润滑油和空气流通的措施,如使用风扇形叶片、较大的齿轮、蜗杆浸在油池中工作等办法。同时也应使设备的主要部件因热变形而引起的位移情况对加工精度影响较小。

通常,热变形对床身、工作台等的影响很小;但对重型设备,如温升过高,也会因床身与基础的温度和膨胀系数不同,而引起床身的弯曲。

第二章 夹头和收缩模具的设计

§ 2-1 概 述

在飞机钣金零件中有变曲率的骨架零件，如型材类零件，基本上采用拉弯法成形，使用型材拉弯机加工，如图 2-1 所示。对于双曲度的飞机蒙皮类零件，采用拉形法成形，使用蒙皮拉形机加工，如图 2-2 所示。上述两类专用机床规格型号繁多，但都有两个夹持工件

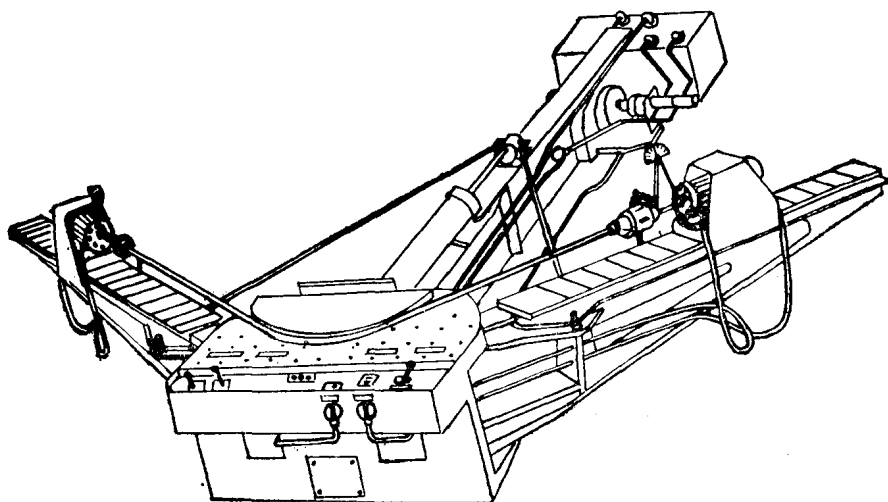


图2-1 型材拉弯机

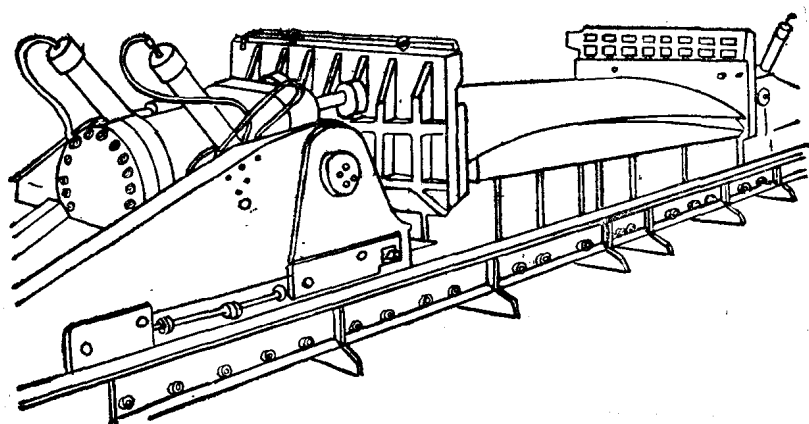


图2-2 蒙皮拉形机

的夹头。在加工时，将工件装入夹头，通过液压作动筒的作用，使载荷经过夹头施加给工件。当成形结束后，松开夹头，卸下工件。在加工过程中，对夹头的基本要求是：在开始时应有一个初始夹紧力，以便夹持工件；在加载时，要始终保持夹紧状态，即随着载荷的增长，夹紧力也要相应地增加，并且要求载荷通过夹头均匀地施加在工件上；在成形结束