

美国波音飞机公司
产品制造与装配手册

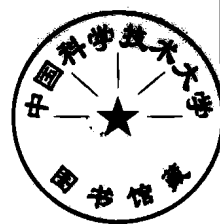
钛合金成形部分 译文集



国外航空编辑部

1976年3月

钛合金成形部分译文集



1976年3月

目 录

一、波音飞机公司钛合金模具设计手册 (M35—08)	(1)
前 言	(1)
引 言	(1)
Ⅰ. 总设计考虑	(2)
Ⅱ. 资料与一般知识	(2)
Ⅲ. 基本设计因素	(5)
Ⅳ. 设计程序和设计准则	(12)
Ⅴ. 压床加热成形模具的一般设计	(19)
Ⅵ. 绘图程序、画法和标准	(50)
Ⅶ. 参考部分	(51)
二、熔凝硅石陶瓷模的设计和制造 (6M51—100)	(94)
Ⅰ. 引 言	(94)
Ⅱ. 技术资料	(95)
Ⅲ. 陶瓷模材料	(99)
Ⅳ. 水泥和泡沫块合成模具的制造	(102)
Ⅴ. 重作和修理	(120)
Ⅵ. 参考资料	(120)
三、钛板零件热成形用的炉内加热的陶瓷模具 (6M51—250)	(121)
Ⅰ. 引 言	(121)
Ⅱ. 技术资料	(121)
Ⅲ. 陶瓷模材料	(144)
Ⅳ. 模具制造	(144)
Ⅴ. 参考资料	(149)
四、退火Ti—6Al—4V的陶瓷模蠕变成形 (6M58—551)	(150)
Ⅰ. 引 言	(150)
Ⅱ. 模具和设备	(150)
Ⅲ. 工艺限制	(156)

IV. 工艺准备	(156)
V. 工艺过程介绍	(156)
VI. 参考资料	(160)

五、退火Ti—6Al—4V薄板与厚板的校平 (6M58—555) (161)

I. 引言	(161)
II. 工艺方案的制订	(161)
III. 模具与设备	(161)
IV. 工艺限制	(166)
V. 准备	(168)
VI. 工艺过程介绍	(169)
VII. 参考资料	(173)

六、退火Ti—6Al—4V的落锤成形 (6M58—350) (174)

I. 引言	(174)
II. 落锤成形的设备	(174)
III. 模具	(176)
IV. 工艺限制	(177)
V. 工艺过程说明	(179)
VI. 生产修整	(182)
VII. 参考资料	(183)

七、退火Ti—6Al—4V的拉形 (6M58—851) (184)

I. 引言	(184)
II. 设备	(184)
III. 模胎	(184)
IV. 工艺限制	(187)
V. 工艺过程介绍	(190)
VI. 参考资料	(191)

八、Ti—6Al—4V型材的加热拉弯成形 (6M58—855) (193)

I. 引言	(193)
II. 工艺限制	(194)
III. 工具介绍	(196)
IV. 材料准备与成形	(198)
V. 电源和控制	(199)

VI. 在模具上陶瓷涂层的应用	(199)
VII. 参考资料	(200)

九、钛钎金件的闸压成形 (6M58—054) (201)

I. 引言	(201)
II. 应用	(201)
III. 闸压成形的优点	(201)
IV. 设备	(204)
V. 模具	(212)
VI. 工艺限制	(221)
VII. 工艺过程的说明	(221)
VIII. 参考资料	(222)

十、退火Ti—6Al—4V型材的拉拔成形 (6M58—050) (223)

I. 引言	(223)
II. 工艺过程	(223)
III. 工艺限制	(235)
IV. 工装说明	(236)
V. 参考资料	(243)

十一、钛钎金件的热校形 (6M58—550) (244)

I. 引言	(244)
II. 钛钎金件热校形工艺的制订	(246)
III. 车间的操作步骤与工艺程序	(248)
IV. 热校形模的设计	(253)
V. 质量控制	(297)
VI. 热校形装置与设备	(297)
VII. 操作人员的防护用具	(316)
VIII. 参考资料	(316)

十二、热校形方法的应用 (6M58—562) (317)

I. 引言	(317)
II. 热校形的应用	(317)
III. 热成形的应用	(332)

附录 I

1. BAC 5300 金属零件的成形、矫直和装配.....(345)
2. BAC 5492 钛合金的机械加工和切割.....(350)
3. BAC 5753 钛和钛合金的清洗、去氧化皮和表面准备.....(351)
4. BAC 5613 钛和钛合金的热处理.....(360)
5. BAC 5756 热处理保护涂料的应用.....(372)
6. BAC 5748 用磨料清洗、去毛刺和精加工.....(377)
7. BAC 5750 溶剂清洗.....(384)
8. BAC 5423 渗透检验法.....(389)

附录 II

1. 吋—毫米换算表(一)(吋的分数换算为毫米数).....(398)
2. 吋—毫米换算表(二)(每隔1/16吋一算).....(399)
3. 磅/吋²—公斤/毫米²换算表.....(401)
4. 温度换算表 (°F—°C).....(402)

一、波音飞机公司

钛合金成形用的模具设计手册

(M35—08)

前 言

本手册为钛板零件的成形设计经济而有效的工装提供参考资料和方法指导。由于钛合金的强度—重量比高，高温性能好，耐腐蚀，所以它日益受到波音公司人们的重视。看来，其用量将会显著地增加。

到目前为止，许多涉及钛的成形工作都是基于小批生产的。因此，专门为加工成形钛而设计的设备和工装数量极少。1968年6月，在“CAG制造和服务部”内设立了专门的钛的研究机构，来执行一项有关大量生产钛构件，特别是大小钛板成形零件的工艺方法、设备和工艺过程的研究计划。

成形工艺已发展到如此复杂的程度，以致为解决许多目前面临的问题，需要作科学的分析，而不能单凭以往的经验试着干。经过“制造研究和发展”部门的技术上的努力，这项任务大部分已经完成。本手册就是一种涉及经济有效的工装设计准则，工装材料的选择，成本分析和根据零件几何参数、材料性质及成形工艺方法确定钛板成形极限的唯一可得资料，包含有文字说明、设备介绍、表格和插图。

当认为技术水平有所提高和工艺有所改进时，将修订本手册。

手册的修订：

无论何时，凡认为本手册需要修订、更改或补充的机构，都应通过一定的渠道向工装管理者、“CAG制造和服务部”提出申请单。然后进行研究，并在需要更改处作出更改。

引 言

为了使金属加工设备和方法能适应加工和成形钛合金，则需要采用不同于传统工装的设计和制造的准则，尤其是用于高温成形的设备更是如此。本手册介绍了影响钛合金零件成形所需的模具设计和制造的基本的和有时是独特的因素。本手册不能代替设计经验、正确的技术上的判断或者一般感性上的知识。

模具的生产效率、成本和使用寿命是模具设计人员必须考虑的主要项目，这些项目能够通过本手册的文字说明、插图和表格等形式迅速地判断出来。各种模具和设计准则系根

据打算使用的模具的一种特性或一组特性来分类。钛合金模具设计手册的第一卷介绍了用金属模成形的工艺方法。

各种加工方法所用的参考资料（在每类模具设计说明书中有专门叙述的除外）均包括在本手册的“参考资料”的一节内。在这一节内还包括那些对所有模具设计都适用的资料（例如，各种钛合金及其加工特性），还有模具材料（成本、可用性、清单）、生产设备及机床规格、材料处理设备和有关安全要求、可加工性图表及其它适当的说明。本手册列出了用于钛合金成形的模具的新标志和名词解释。

本手册将使模具设计人员大大地减少研究时间，避免考虑不周，并使设计人员有把握进行设计和确定钛合金成形模具的极限性能。

本手册对于产品设计、模具和生产计划及成本核算等人员是一本有价值的指导性的资料。

第 I 节 总的设计考虑

在成形钛板零件时，压床加热成形模具具有很多优点，这些零件在通常的室温下成形是很困难的，或是不可能的。

A. 压床加热成形模（PHFD）是一种预热的金属模具，其温度是由装在压床工作台的模座内的加热系统来保持的。模具用来成形或校形零件。应力消除可在象热校形那样的工序中同时完成。

1. 模具应设计得能在 $900^{\circ}\text{F}(482^{\circ}\text{C})$ 到 $1500^{\circ}\text{F}(816^{\circ}\text{C})$ 的温度下使用。

2. 模具在热成形和热校形压床上使用，两者带有或不带有顶料器。

3. 模具材料必须是高强度的锻造或铸造合金，并具有能胜任使用状况的热硬度值和抗高温氧化能力。

注：维奇他（Wichita）分厂使用模具符号FD（成形模）来代替PHFD。

B. 压床加热成形模通常做成缩尺的，除非零件外形和（或）零件尺寸公差允许，可制成实尺的（零件的净尺寸）。

可以在双动热成形与校形压床上用加热成形模拉深成形出筒形件、盒形件或杯形件。

C. 高温成形或校形使生产操作比通常的室温成形困难得多。压床加热成形模应设计得使用简便，使零件与模具能迅速而容易地装卸。

第 II 节 资料与一般知识

A. 设计员完全有必要了解在应用压床加热成形模时加热成形方法的基本步骤。

钛与钛合金零件是用热成形、热拉深、热弯曲和热校形中的一种制造方法成形出各种不同的形状的：

1. 将平板毛料绕其中性面内一根直的轴线弯曲成形为角形件、波纹件与槽形件。常用下一方法：

闭合模或对合模成形法。用这种方法时毛料与阳模和阴模均完全接触。

2. 一次成形一个零件或多个零件到最后尺寸。这项工作是在热成形与热校形压床上，

通过压床一次冲程施加垂直力、水平力和夹紧力而进行的。

3. 一次拉深成形一个零件或多个零件。装在模具与压边圈之间的板料向下或往凸模上拉深。压边圈由模具的顶料杆推动。

4. 对不能一次成形，而在最后热校形前需预成形的零件校形。热校形可改善或校正：角度或型面母线尺寸的变化、外形偏差、弯曲半径的变化、凸曲线弯边的波纹、形成的皱摺、腹板翘曲以及鼓动等情况。在校形或压缩工序中，金属参与变形的体积比较小，通常局限在一个小的区域内。热校形所用的一些方法有：

- a. PHFD——压床加热成形模。
- b. 在重复打击工序中，用装有薄垫板（Fiberfrax）的PHFD。
- c. HSF——热校形夹具。

注：热校形夹具用的工装识别符号“HSF”现在保留着，但将来则称之为加热校形用型架夹具式工装。图1表示一个典型的热校形夹具。

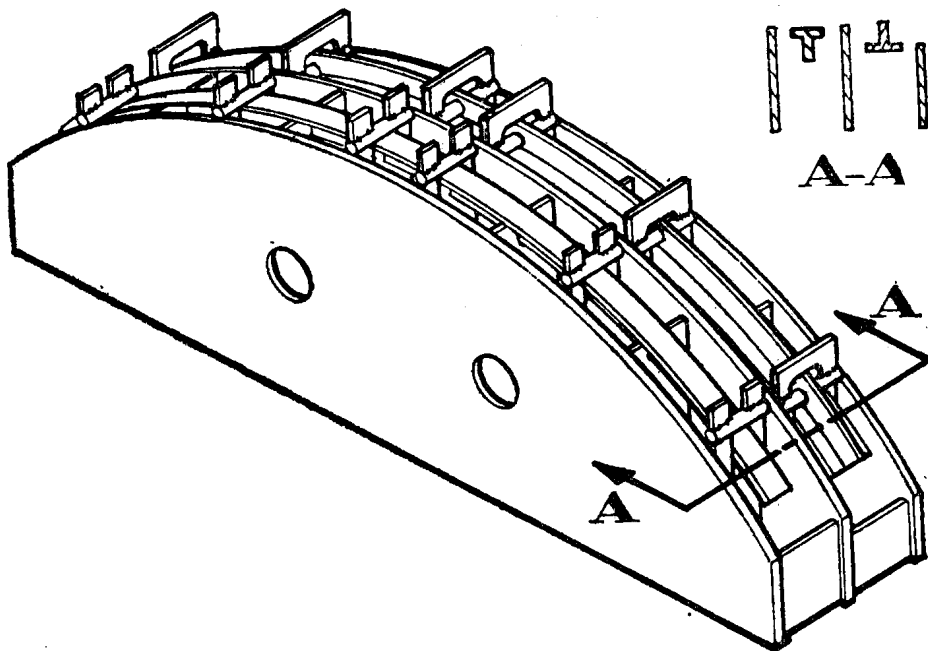


图1 典型热校形夹具

B. 加热成形或校形方法的基本环节是：预热模具；将模具装到压床上并升到使用温度；将平板毛料（或预成形零件）装到模具上让它升温到模具同样的温度；加温加压并保持一定的时间，以便能足够地消除应力，热蠕变并形成出所需尺寸的零件；最后，取下零件，在空气中冷却。图2说明一种典型的加热成形过程。

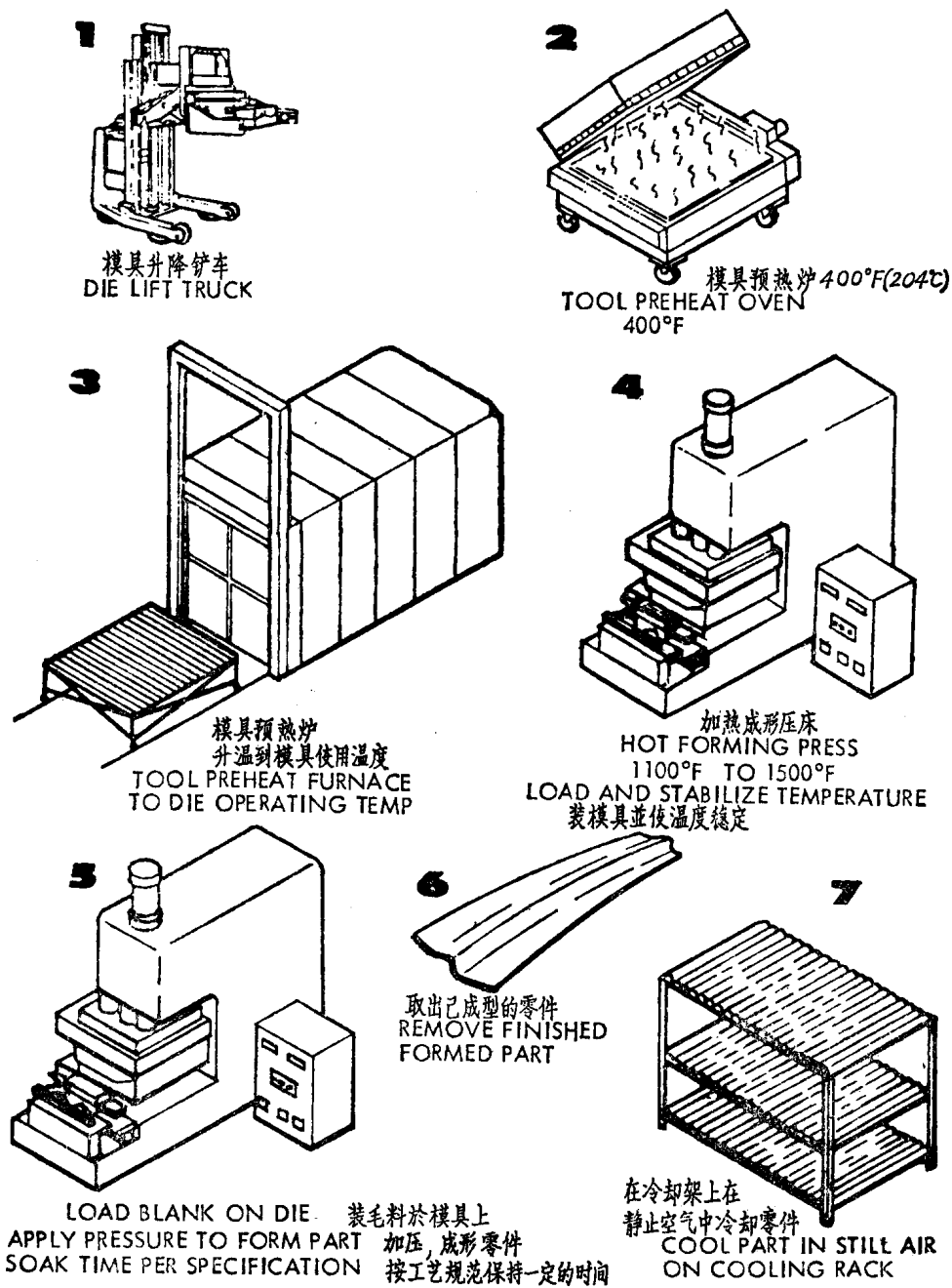


图 2 钛板零件热成形的简化流程

C. 设计压床加热成形模所需资料的来源。

本手册中包含的参考资料有：

缩尺工艺装备
工装材料
有关钛的资料
热电偶
设 备
成本与流程时间
模具装卸系统
名词解释

其它资料：

BAC 工艺规范5300, 5613
M32—13 钛零件制造手册
M35—02 波音工具设计手册
M37—20 波音“A”类模具设计手册
M41—01 波音工具加工程序说明书
M41—03 波音塑料工装手册
M41—08 机械加工耐热工具材料
M44—51 波音液压模工具手册
MDR 6—64042 热校形夹具焊接的介绍

第Ⅲ节 基本设计因素

A. 压床加热成形模分为以下三种结构型式：

1. 机械加工的

模具用锻造或铸造的工装材料做成，几乎需要 100% 的机械加工和手工修整。

2. 铸造至形状（砂型铸造）

模具用工装材料铸造到接近零件的外形，需要机械加工和手工修整。

3. 铸造至尺寸（精密铸造）

模具用工装材料铸造到成品零件的外形，稍需手工修整。

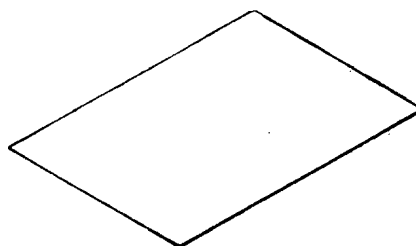
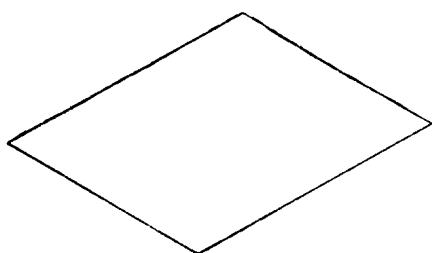
B. 用常规的成形压床生产的绝大多数钣金件的外形，也适于钛与钛合金的加热成形，只要零件的尺寸符合热成形和热校形压床的工作范围与技术性能。

图 1 列举一些零件，其形状直接由对合模复制出，零件只有小的变形或无变形。

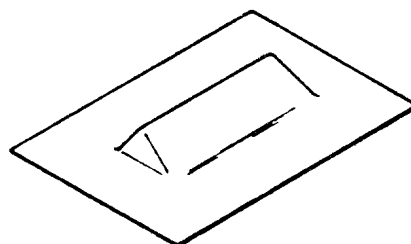
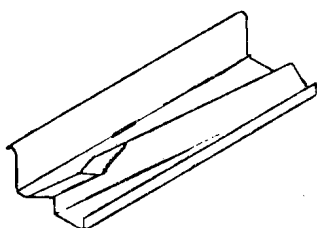
图 2 示出了需要预成形的典型零件。

Parts Formed In One Operation

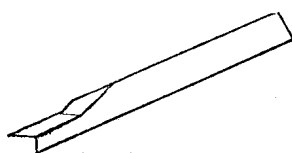
一次成形的零件



剪切毛料
Shear Blank

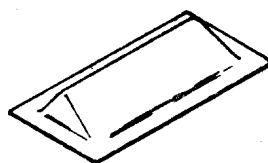


成形零件
Form Part



65-53553-29, -30

修边
Trim

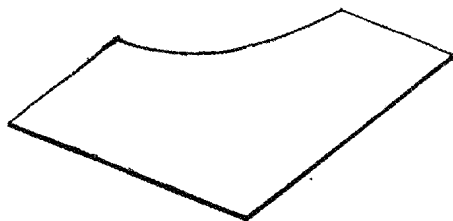
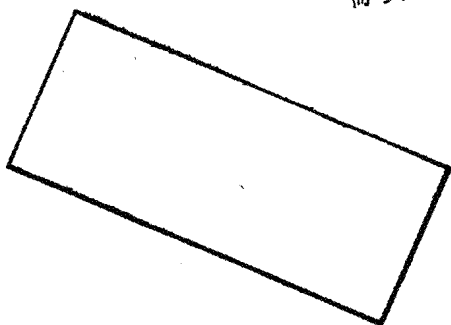


65-53555-11

图 1

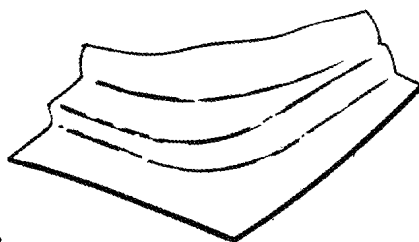
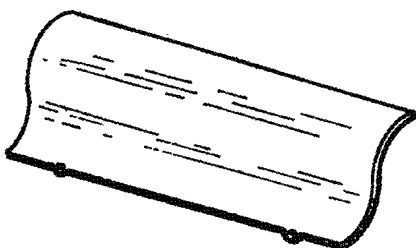
Parts Requiring Preform

需要预成形的零件



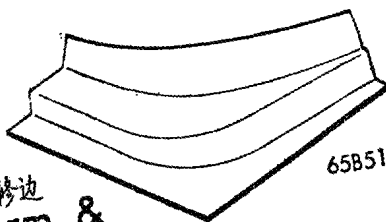
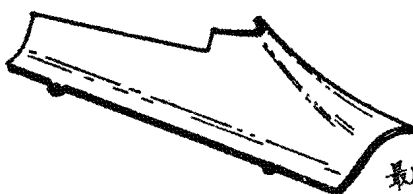
Shear/Trim Blank

剪切/修剪毛料



Preform

预成形



65-53553-5

Final Form & Trim

最后成形与修边

65B51353-3

图 2

- C. 在设计压床加热成形模时，模具设计员必须对压床设备的技术特性，限制条件与适用范围有一个清晰的了解。现行的波音加热平台和压床的说明列入本手册的参考部分中。
- D. 压床加热成形模必须依据特定的钛合金成形所需要的加热温度下的工装材料的特性来进行设计。良好的锻造或铸造类型的工装材料，其物理与机械性能的数据表，有关热处理的考虑，各种材料的成本与适用性，均列在参考部分中。
- E. 制造压床加热成形模的直接加工费用与修整费用变化很大，这取决于所选用的制

造方法。设计员一定要关心每种制造方法的优缺点和经济性。细心考虑这些因素就可以降低压床加热成形模的成本。

有助于工具工程师与计划员造预算的成本预算表和容许的制造工时均列在 参 考 部 分 中。

F. 钛与钛合金热成形与热校形温度的范围是从900°F(482℃)至1500°F(816℃)(参看BAC5613)。由于工件材料与模具材料有着不同的热膨胀系数,针对这种不同的热膨胀值必须在模具中给予补偿,除非零件外形和(或)零件尺寸公差允许,模具才做成实尺的。要着重强调设计压床加热成形模时计入适当缩尺修正量的重要性,最好举例说明,见图3。这个典型零件的尺寸积累误差超过了普通钣金件的公差,即0.030吋(0.76毫米)。这是因为没有考虑缩尺修正系数(吋/吋)的缘故。

参考部分中的表1列出钛合金与模具材料的平均热膨胀系数,用以计算所需的缩尺容差。

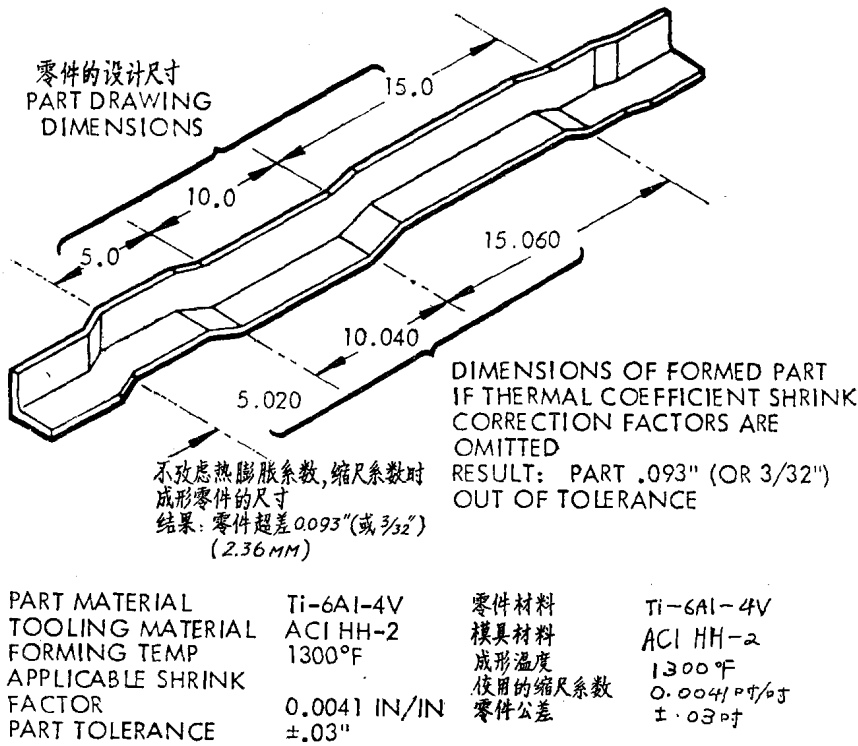


图 3 一次成形有多处下陷的零件

G. 要考虑零件和模具材料的不同的热膨胀系数,就需采用缩尺工具。在设计研制钛钣金件加热成形用的模具中,也许这是最重要但又最不了解的方面。

缩尺工具是在压床加热成形模的设计制造中所需用到的控制手段。这些工具可称为模型、样板或特定工装等。缩尺工具(模具按它机械加工或铸造到尺寸)必须做出修正系数,以补偿工件与模具材料膨胀与收缩的变化。当一个产品零件从模子上取下并允许在静止空气中冷却时,将用检验规或零件模型来检查零件的尺寸精度。完工零件的精度与缩尺工具的精度是成比例的。

可预计的缩尺容差数据、公式和计算实例，广泛收集在参考部分里。

H. 零件与模具材料之间的温度关系，正如 BAC5300和BAC5613 中的工艺过程的要求所规定的，是在严格的检查监视之下的。因此，在压床加热成形模中一定要能插热电偶，以便检查成形温度。参考部分中介绍了有关各种热电偶的实际的应用，以及安排和安装的方法。

I. 被加热的模具与零件的装卸不同于冷成形的模具，这要求从设计上加以考虑。用在高温范围的材料装卸设备要特别考虑装卸速度和人员安全，标准化也是重要的。各种现行可利用的和在使用中的装卸设备的类型是工具设计员在设计压床加热成形模中所考虑的因素。这些在参考部分给以说明并给出尺寸大小。本节中所包含的是用于压床加热成形模的新式装卸概念和模具铲车。这种铲车是新近设计的，具有升降和安全的特点。

J. 成形钛或钛合金钣金件的成功程度，很大程度取决于材料的成形极限，厚度和弯曲半径。一般地说，形状比较简单的零件可以在液压机、闸压床或落锤上冷成形至最终尺寸。零件越复杂，冷成形就越困难。在此情况下需要把时间、高温和压力结合起来，以便消除残余应力、回弹和控制完工的零件尺寸。

K. 外形变化剧烈的零件，和（或）具有明晰母线的零件（角形与槽形），可用过渡工序或预成形工序，来改善金属的流动和便于放进成形模。首先做出把工件恰当地放进成形模所需要的最小的预成形形状。通过用模具拉伸钛板和压出母线的方法来完成零件的最终成形。预成形形状只需要近似的，并且可以在冷态下完成这一工序。使用车间设备中的标准工具（ST），如闸压床和滚弯机，将大大减低预成形模具的成本。薄膜式或液囊式橡皮压床和落锤模用于复杂形状的预成形工序。将适当的标记，包括预成形件大致形状的 1 : 1 的视图（在需要时），画在预成形模具图上，以保证预成形件的形状与最后成形模具相适应。预成形模具必须同成形模具完全协调。

同能用冷成形方法制出的零件相比，热校形零件的外形对预成形件要求有更大的限制。按以往的经验来决定是否需用加热预成形模。预成形模具的结构和功用应根据现用的模具图来决定。

L. 对一个最佳的模具系统而言，在设计压床加热成形模时，应首先考虑一次加热成形法。设计员必须考虑工件材料的物理与机械性能，诸如类型、成份与状态。根据波音的工艺规范，工业纯钛(CP)无须消除应力或高温成形，零件可以冷成形和（或）热成形到最后零件形状。钛合金材料可以在室温或高温下制出部分形状（预成形件），随后再在一次或几次热成形和（或）热校形工序中消除应力。在零件外形允许一次成形时，应力消除可与压制成形同时完成。

由于缺乏钛与钛合金的基本成形性方面的资料，实践是目前确定一个具体零件能否一次成形的最好的方法。在能预计成形极限的方程式可用之前，设计准则将通过考察和分析典型零件设计来获得。典型零件设计列在第Ⅳ节——C“成形零件按形状分类”表中。

M. 要有明显的模具识别标记(在压床加热成形模体上打钢印或铸造出)是很重要的。模具设计图上有关模具识别标记的规定将根据“波音工具加工工程程序说明书”，M41—01来定。有关压床加热成形模用的专门的标记要求，将在第Ⅶ节，“绘图程序，画法与标准”中详细介绍。

N. 在平面图上和横截面视图上外形不规则的带下陷的或带曲度的零件，对控制金属

流动带来了许多问题，模具设计员不能准确地预先估计到这些问题。因此，必须在模具试用期间加以解决。但是，由模具试用反过来提供给设计员设计资料的重要性不能过分地强调。现用的和今后使用的模具能够制出合格零件，这是回顾、吸取以往的类似零件试压的经验的结果。

O. 试压结果登记卡如图 4 所示，顾名思义，它帮助车间安装和使用一个具体的模具。卡片在模具试压时填好，所包含的资料对研制设计新模具是有价值的，模具设计员应予以注意。

P. 可用焊接的办法修改与修复模具，或修补铸件不符合要求处。要使焊接质量好，需要严格遵守正确的焊接程序。要使用焊接工程师所制订的焊接程序控制图表(图 5)。

Q. 焊接不限于模具的修改和修复。附件，诸如底座、定位垫和起吊耳环的连接常常采用焊接，比螺栓和销钉连接好。

焊接在压床加热成形模的制造中的一个很重要的应用是将两块（或更多）铸造模具材料连接起来，以降低机械加工的成本，和（或）得到所要求的模具高度。见图 3A。在任一焊接设计中，设计员必须考虑焊缝准备和焊接的费用。必须把材料与机械加工时间的节约潜力同焊缝准备与焊接的费用相比较。

只要采用焊接，不管是模具的修复还是新设计，焊接程序的控制是最重要的。模具图必须参考“设计与发展报告”MDR6—64042，以确保制造人员遵循所应采用的材料准备和焊接方法。

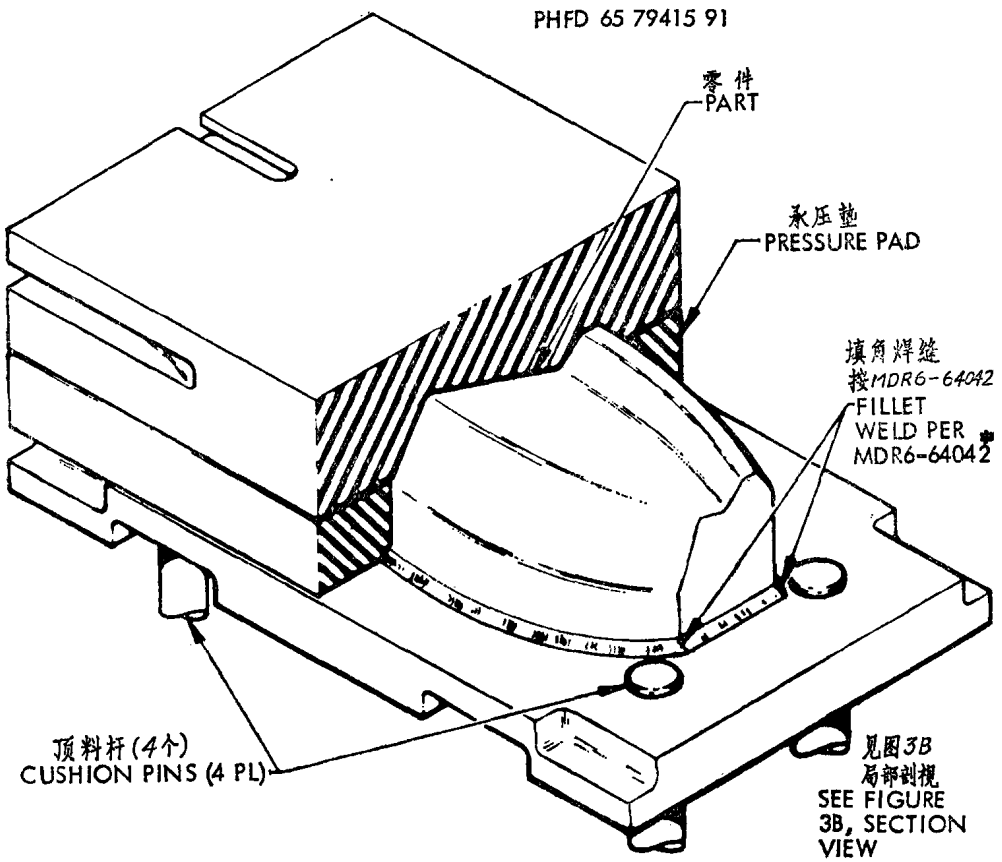
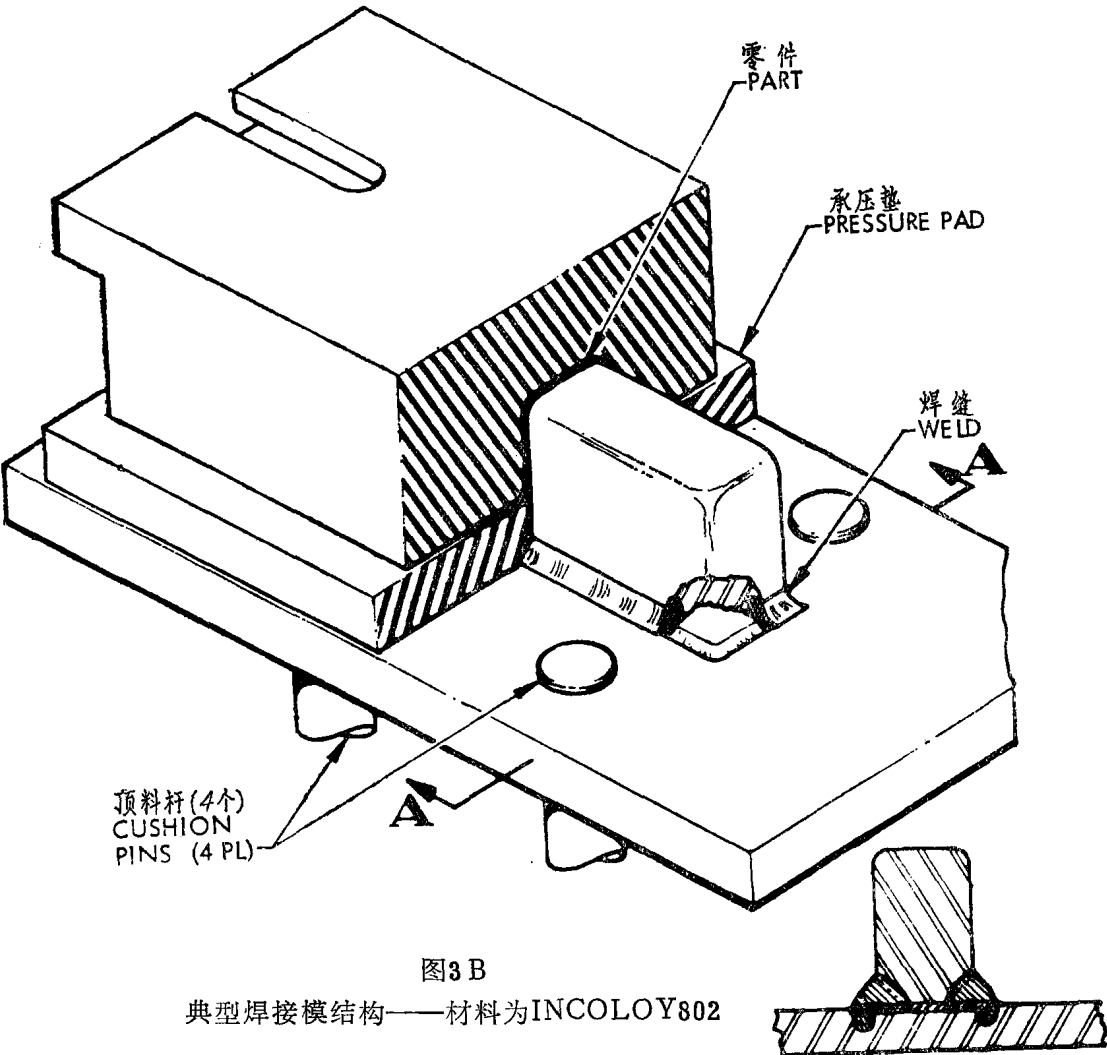


图3A 典型焊接模结构——材料为INCOLOY802

E PHFD R 643010 P3



试压结果记录卡		模具号 _____		零件号 _____				
日期 _____		签 名 _____		材 料 _____				
贮存处 _____				成形与保持时间 _____				
要求采用的压床 _____				温度 _____ 士				
压 力				温 度				
区	1	2	3	4	区	1	2	3
水平缸					上工作台			
垂直缸					下工作台			
顶 件 器				特别说明 _____				
▽ ▽ ▽ ▽				_____				
△ △ △ △				_____				
模具安装示意图				_____				
模具加热速度不超过300°F/小时(167℃/小时)。模具从室温下进入加热环境一 开始受热的温度不得超过300°F(167℃)。模具随炉冷却或在绝热滑板上冷却。								

图 4 试压结果记录卡