

# 美 国 飞 机 制 造 工 艺

宁玉成、韓偉等編譯



國防工業出版社

## 出版者的話

本書系根据苏联国防工业出版社1958年出版的戈登·阿希米德著“美国飞机制造工艺”一書的俄文本譯出并补充了有关美国飞机制造工艺的鈦合金加工，化学銑切，金屬胶接，特种工艺等四部分資料。在翻譯过程中譯者还参考了英文原書。本書系統而全面地介紹了美国飞机制造工艺的如下几个方面：生产准备工作（包括工艺装备及装配型架的制造、安装工艺装备时光学及电视装置的应用以及塑料的应用）；毛坯冲压工作；热处理、表面处理及焊接工艺；机械加工車間的組織；大型零件及壁板的机械加工；排气系統、起落架及座艙蓋的制造；化学銑切；鈦合金机械加工；金屬胶接；几种特种工艺（超声波加工、噴珠成型、爆炸成型）以及飞机的总装檢驗等。

“美国飞机制造工艺”作者是美国人，該書的英文原著是1956年在美国出版的，其他补充資料也都采自英美杂志；因此，書中有些地方难免出現資本家的立場与口吻，这些地方尚希讀者加以分析批判。但是，書中叙述了不少值得注意的設備与工艺方法，并載有379幅圖片，这些圖片对于各种設備的設計、制造与使用都很有参考价值。苏联波依錯夫教授所写的序言关于这方面論述甚詳，希讀者仔細閱讀。

本書可供航空工业工程技术人员（車間領導、設計師、工艺师）、研究人員以及航空院校师生参考之用。

\*

國防工業出版社

北京市書刊出版业營業許可証出字第074号  
机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

\*

787×1092  $\frac{1}{25}$  印張 12 $\frac{2}{25}$  244千字

1959年4月第一版

1959年4月第一次印刷

印数：0,001—3,100册 定价：(11) 1.90元

№ 2836

# 目 次

俄文版原序	4
第一章 关于飞机制造的一般介绍	9
第二章 立体(空间)样件	12
第三章 板材的裁切	24
第四章 板材所制零件在落锤上的模压	41
第五章 板材在拉深、拉弯和弯曲冲床上的成型	49
第六章 板材用辊子和滚棒的成型	62
第七章 板材的成型。盖林成型过程与液压成型	74
第八章 板材零件在维尔逊-惠尔龙压床上的成型	83
第九章 热处理	96
第十章 航空零件表面的最后加工	107
第十一章 用塑料制造的生产工艺装备	121
第十二章 安装工艺装备时光学和电视装置的应用	130
第十三章 装配用工艺装备	136
第十四章 焊接	147
第十五章 机械加工	158
第十六章 靠模机械加工	169
第十七章 大梁的铣切	181
第十八章 排气系统的制造	195
第十九章 起落架的制造	204
第二十章 座舱盖的制造	209
第二十一章 刀具的制造和保管	215
第二十二章 钛合金的加工	224
第二十三章 化学铣切	244
第二十四章 特种工艺方法	252
第二十五章 塑料胶	267
第二十六章 金属胶接	279
第二十七章 检验	291
第二十八章 结束语	300

## 俄文版原序

讀者所殷切注意的戈登·B. 阿希米德所著“飞机制造工艺”一書于1956年在美国契尔頓出版社出版了。

該書在选材时，美国許多巨大的飞机制造公司的專家們曾予原作者以协助。

本書依次研究了典型飞机制造工厂的主要生产問題，介紹了关于美国航空生产水平的資料，叙述了生产方法、夹具結構等。作者認為美国飞机生产工艺所应用的而且經過实践考驗并获得了公認的所有新資料在本書中曾得到了全面的反映。

本書所叙述的某些工艺生产方法以及設備的結構特点是我們由早先美国技术杂志中所公布的文章中已經看到过的，与此同时也有許多材料是第一次發表的。

原書附有大量的插圖以便說明工艺装备，設備和直接在生产条件下工作的工艺过程。

毫無疑問苏联航空工程界的广大讀者都会以極大的兴趣系統而全面地来了解美国飞机制造业中生产工艺的特点。

本書研究了如下各主要問題：生产准备、毛料冲压过程、焊接、大型零件及壁板的机械加工、化学銑切、热处理、装配和檢驗过程等。

在生产准备方面最有趣的是在本書中叙述了非金屬表面标准样件、应用液态塑料及金屬填料进行毛坯冲压工作之工艺装备、鑲有金屬切削刃帶（刃帶由鋼条制成）之价廉的木制冲模以及阴

模为鑄鋅合金制的冲切模的制造过程。同时并叙述了用万能开式砂箱和虹吸澆注法制造模具的方法和关于应用鋁及他种合金制成的而表面上包复有弹性塑料以便提高耐磨度的模具的資料。

为了安装装配工艺装备而采用了光学仪器和电视装置，这样即可大大提高工艺装备的安装精度和大大縮短安装工序的劳动用时。

在闡述切削工具制造問題一章中提出了用銀焊料釐焊硬質合金刀片的問題而且叙述了銑刀必定要进行靜平衡和动平衡的問題。

在毛料冲压过程方面，美国所采用的一些方法也是很有趣的。譬如：变截面型材是在赫弗尔德机床上制造的，其上的工作台可以轉动，包角等于 $360^\circ$ ，而且装有补充夹紧装置；骨架零件是在增高压力的情况下（ $350\sim 500$ 公斤/公厘<sup>2</sup>）于各种功率的直动式冲床上用橡皮模压出来的。在生产零件时同时亦在阴模液压力为 $1000$ 公斤/公分<sup>2</sup>以上的特种液压机上采用液体阴模模压-拉伸零件，而且在万能弯曲冲床上还应用一种由磁台进行固定的夹子型冲模，关于这种冲模在苏联航空工业中应用得还是很不普遍的。在关于用断續拉弯法制造鋁合金蒙皮上所介紹的材料以及关于在維尔逊公司所产功率为 $1800$ 吨的弯曲冲床上弯曲厚度达 $25$ 公厘的整体壁板的材料亦是有趣的。在普通旋压車床上装上增压装置以便大大減輕工人的劳动和提高旋压工作的質量亦是值得注意的。

在闡述焊接过程一章中值得注意的是点焊接头和壁板以及对焊起落架承力接头用的設備和工艺过程。

在闡述机械加工一章中叙述了流水生产的情形和制造整体壁板、型材零件及起落架零件用的設備和工艺方法。其中并談到了应用装有液压随动装置和电气随动装置的設備、用油霧进行冷却的电动机、吉丁斯和留易斯公司所产用来加工整体壁板和变截面板材的靠模銑床以及法納姆公司所产有环形靠模組合加工大梁型

零件的机床的問題。特別之处是应用高速动力头（达21000轉/分）。

在化学銑切一章里介紹了关于用腐蝕法制造零件的效率和在加工过程中所应用的設備。

在热处理一章中介紹了关于热处理过程綜合机械化和自动化的問題，并介紹了关于爐子和盐槽的构造等材料。

在本書中同时亦研究了金屬零件及組合件的胶接工艺、表面的准备方法、塗胶的方法、加压规范和固化，并介紹了胶接时所用的一些設備。

在装配过程方面值得注意的是傳送带装配（它能保証工件上下部分很方便地同时进行工作）以及精加工部件孔用的机械化装置。所談到的关于装配工作作用的組織性工艺装备的結構亦值得提及。

在本書最后一章中叙述了試驗和檢驗工序，介紹了檢驗大型零件和壁板用的超声波装置，以及在封閉試車間內試驗飞机發动机的設備。

\* \* \*

如上所述，尽管作者断言（原作者序言，因无技术內容，在中譯本中已删去——譯者）在本書中已經闡述了美国飞机制造业中所应用的全部新的工艺方法，但由書中所举的例子来看，許多重大的关于美国近代飞机制造方面的問題在該書內还是未曾得到反映的。

必須指出，一般說来近年来有关美国航空工业的公开情报的数量减少了，可以料想得到，正是由于这些緣故，本書是远远不能充分反映美国飞机生产中近来所取得的成就的。

譬如，書中关于火箭試驗和生产工艺的特点，就一点兒也未曾談及。据瑞士“国际航空”快报报导，美国在1955年出产了近8000架軍用飞机，而1956年出产了7000架。然而飞机的略微减产已由導彈生产的扩大得到了补偿。若1957年有人駕駛的

飞机和導彈的定貨比是 65:35，則在 1961 年，該比显然會等於 50:50。

目前某些公司在導彈生產上已經投入了巨大的力量。特別據馬丁公司報導，1956 年導彈的生產已占其全部生產能力的 49%（見“航空周刊”雜誌 31/XII 1956）。

另外導彈的生產工藝問題在本書中並未得到反映。

書中沒有談到飛機成本的問題，大家知道，近年來飛機成本大大提高了。“國際航空”快報（№3612）刊載了一些美國公司所製飛機的成本的資料如下：同溫層堡壘 B-52 轟炸機——800 萬美元；康維爾 F104 殲擊機——100 萬美元，洛克希德 C-103 大力士式運輸機——250 萬美元。分析飛機成本的提高具有很大意義，但關於此一問題書中未能分給一席之地。

飛機結構中所用新的材料問題亦談的不够，大家知道美國航空工業正在從事大量試驗飛機的設計，在設計中正在研究新材料，其中包括高強度鋼和合金的應用問題。

整體壁板結構的應用和生產問題亦談得不詳，雖然我們知道美國航空工業在這方面曾花了很大力量。譬如美國道格拉斯 DC-8 型旅客機機翼蒙皮即由變截面大型板材製成，板材的尺寸為 3×14 公尺，一邊的厚度為 2.25 公厘，而另一邊為 5.75 公厘。板材的軋制在阿爾考公司所產大型軋鋼機上進行（見“航空周刊”19/XI 1956）。美國還應用各種平的壁板，壁板由二層鋁板製成，而且在軋軋車間軋制時進行冷焊。這種壁板有內冷卻道，某公司已能製造長達 2500 公厘、寬達 385 公厘的壁板。

本書關於裝原子能的飛機的設計及製造以及與此有關的各項生產問題概未涉及。據“美國航空”雜誌報導（31/XII 1956），目前美國正在採取最堅決措施設計裝原子能發動機的飛機。

裝原子能發動機的飛機和載有導彈的火箭的生產給航空工業提出了極其嚴重的技術課題，而且必須尋找出新的材料來。譬如從“西方航空”雜誌 1957 年 1 月份所刊消息中得知美國原子能委

員会国家試驗室曾制造出来了一种新的材料——硼鋁合金，它是純碳化硼与純鋁的混合物，制成板材形状，外复以鋁。硼鋁合金和鋁一样容易加工而且具有碳化硼的优点：硬度高，原子密度大，熔点高，化学性能稳定。硼鋁合金用来防止放射能的輻射，而且在飞机上用来隔离飞机結構、發动机和設備易輻射部分，以及用来制造分裂材料的存放匣和原子能反应堆的内間等。从这些例子即可看出制造装原子能發动机的飞机的問題是多么复杂。但是关于这些問題在本書中是未曾予以注意的。

尽管戈登·阿希米德著“美国飞机制造工艺”一書中缺乏关于上述問題的材料，但是它还是引起了苏联專家們的密切注意，因为在其絕大部分章节中都还介紹了不少美国飞机制造工业中有关生产工艺的报导和資料。

B. 波依錯夫



## 第一章 关于飞机制造的一般介绍

对于在飞机工厂从事机械工、冲压工或板金工仅仅只知道本身工作而不特别关心工作地以外事物的人来说，飞机制造工艺似乎是相当简单的。但是对于从另外一种角度看问题的人来说，飞机制造则是充满着矛盾、工艺要求非常严格、因而不能采用汽车拖拉机工业所用的大量生产方法的工业。

到过飞机制造工厂的许多小工厂厂主认为他们能够更快、更便宜地在自己的工场制造同样的零件，并曾试图证明这点，但是，其所化费的巨大劳动推翻了这种论断●。

任何时候都不应忘记，飞机有一个特定的目标。飞机的功用就是在很短的时间内以最小的运输成本和最大的安全性运输货物或人员。这三个条件是运输机、军用机和导弹的基本条件。载重、速度和安全三个因素是提给设计师们考虑一切问题的着眼点。

本书讲的不是飞机的设计而是飞机的制造过程。人们都知道，设计工程师们需要化费成百上千的工时来设计飞机。人们也知道，现在电子计算装置能够解决以前由试飞解决的问题。我们还知道，准备风洞试验用的飞机模型有时不能证实飞机的飞行性

● 这正是作者站在大资本家立场说话的突出表现。我国承认科学技术的新成就就能够使工业生产成本低、周期缩短；但是，在我国国家里，只要政治挂帅，发动了群众，小厂也能多快好省地生产精密零件，非专业厂也可以制造出专业产品。这不仅可能，而且为了打破技术神秘观点、突破尖端，实现技术革命，这也是必要的。——国防工业出版社编辑部

能，因而为了完成一項飞机設計常常需要两年以上的時間。

随着超音速飞机的日益普遍，飞机的蒙皮和承力結構将具有更其重大的意义。这些构件应该承受由于飞机以巨大速度移动时而产生的很大的負荷，并且还要安置大量現代飞机所需的各式各样的仪表和机构。

飞机已被充滿到極限程度。在一架飞机里装有：液压設備、氧气設備、雷达装置、操縱組合件、發动机和燃料、軍械、人員和貨物。因此在安排設備时一切設備都应该仔細地研究权衡并合理地布局。

設計經驗表明，如果飞机飞行重量由于設備重量增加而增長1%，那么为了满足原来的飞行要求整个飞机結構、机翼、动力装置和燃料的重量就要增長10%。假如一架已經准备好發出的飞机飞行重量是11400公斤，但是訂貨者决定在飞机上安装新的更現代化的設備。假定新設備比原来的重114公斤。这时飞机应当进行部分重新設計以便承担这个載荷。重新設計过的飞机重量将等于12540公斤<sup>●</sup>。

多年設計經驗証明每公斤飞机重量的成本是88美元，随着飞机成本的增長，每一公斤的成本也增至110美元。就以飞机重量每公斤值88美元来算，額外增加1140公斤載荷的飞机成本将上漲100 000美元。《增長参数》几乎影响着飞机制造的所有工序。它迫使人們采取更严格的公差制度，更細心地檢驗表面塗复，以及在蒙皮厚度上进行节省。軸長公差，即使仅固定軸的一端，也不得大于0.02公厘；部件应该紧凑，这时它們要求更精确的修配，因而必然使装配困难。

飞机构造不断地迅速改变着，仅仅这一个因素就使得在飞机制造上不能采用那种适于大量生产的自动化。尽管在美国飞机生产数量相当大，飞机制造业还不能算大量生产。

● 1:10的参数是平均数，对活塞式飞机和高速噴气式飞机都适用。对将来的噴气式飞机这个参数将等于1:15以至1:20。

运输机制造批量为3到6架。军用飞机批量是20到100架；但是它们的构造，像上面已经提过的那样是在不断改变着（只有战时例外）。某一型别的飞机从1945年第一次出产以来，已生产了十年，总共出产了2500架，但最后生产的一些飞机已完全不像原来的样子。因为在这个时期里飞机结构改变了6次，并总共完成了24种方案的新模型设计。

同一牌号的汽车的构造在一年和更多的时间里通常是不改变的。在新模型结构已确定、工艺装备已制成以后，模具安装在冲床上就要制造100 000和更多的零件；而对机械加工的零件的制造就可以按年度来计划生产而不致有修改制造工艺的危险。在飞机制造中，在一个相同冲床上每个工作班需要重新安装四个以上的不同模具。需要进行机械加工的零件结构在一年当中可能改变几十次。由于一架飞机在个别情况下对每种零件只需要一个，在完成100架订货时，一个工作周期内不过生产6到20个零件，然后机床就要重新调整以制造他种零件。

国际局势也可以是影响飞机制造业生产发展的因素。国际紧张局势和缓、国家经济生活正常时，政府与私人厂商间制造飞机的合同可能取消或是推迟完成期限。如果合同取消，新飞机的制造就要停止；如果合同推迟，制造工作也要拖延。

不允许在工厂囤积成品零件，因为飞机制造工厂通常是不准备足够的面积以保管零件的，而且囤积零件将冻结周转资金，从而使公司在得到新的基金以前缺乏资金购买厂外制造的零件。

制造飞机零件或组合件的承包商不希望主包公司更改早先签订的订货，因为一有更改就要破坏它们企业的活动，甚至使百分之百承担航空工业订货的企业破产。合同的作废或停滞会使熟悉飞机制造要求和飞机制造公司计划的很好的承包商受到损失。因此，承包商都在以较大部分力量完成其他工业部门的订货，使它们有可能在航空工业中发生停滞时避免倒闭。制造航空零件所用设备是各种类型的也是万能的。这样，承包商就能够迅速重新调

整和利用原有設備以生产新的产品。

本書將依次討論典型飞机制造工厂的一些重要生产問題和叙述飞机制造过程和最新工艺。

## 第二章 立体(空間)样件

飞机生产由制造飞机表面样件开始。样件在尺寸和外形方面應該是飞机某些部分(机身隔間、机翼等)的精确复制体。样件用于生产装备的制造和互相协调。

在表面样件骨架內要装置上所有規定截面的金屬样板。为此要制造金屬結構模綫圖板,在模綫圖板上以实际尺寸划出飞机各部分的外形或必要截面。

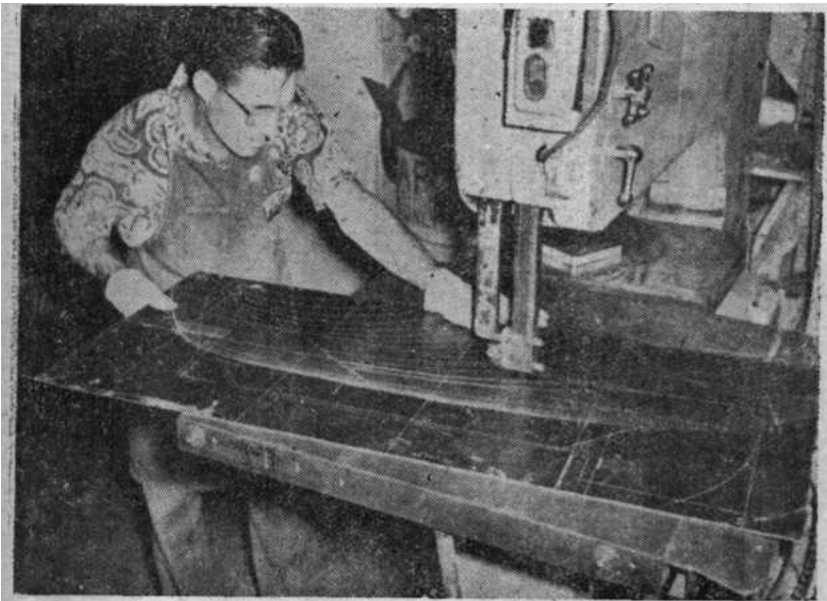


圖1 用帶鋸切割样板(道格拉斯●)

● 圖題后面括号中的字都是公司名,下同此。——譯者

截面外形通过照像复制法从模綫圖板上移到样板的金屬毛料上。毛料用帶鋸切割出样板的規定外形（圖1）。根据外形以手工进行样板的最后加工（圖2），精确度达0.125公厘，并按結構模綫檢驗。

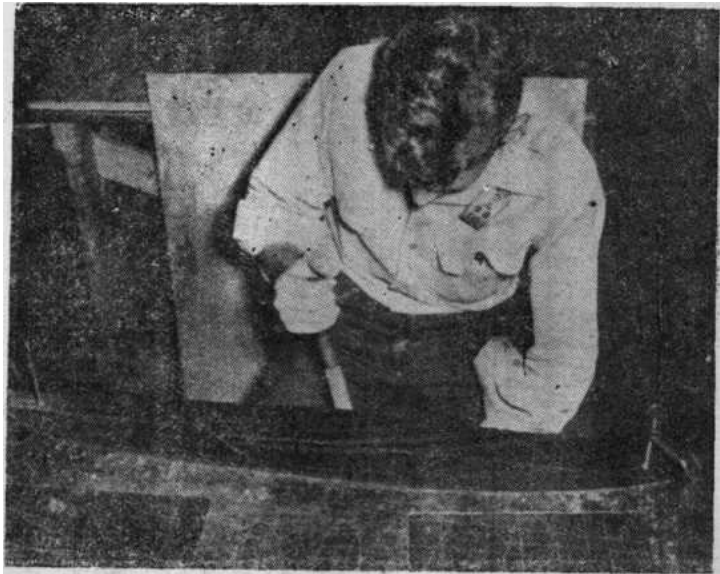


圖2 样板外形手工最后加工。样板的檢驗根据結構模綫进行(道格拉斯)

垂直和水平基準綫以及在样件骨架內固定样板的孔眼都在准确位于水平面的可調整的装配床台上划綫。

### 骨 架 装 配

骨架內样板的安装 在装配床台上利用直尺和角尺进行。

制造大型样件时要利用水准仪和經緯仪（圖3）。为了装配方便，大型表面样件在旋轉装置中制造（圖4），这时样板的安装必須使用水准仪和經緯仪。

样板用通过样板孔的銷杆联結在骨架內并用螺帽固定。为了便于安装、保管和使用样件，骨架中装以相应尺寸的管子或梁，

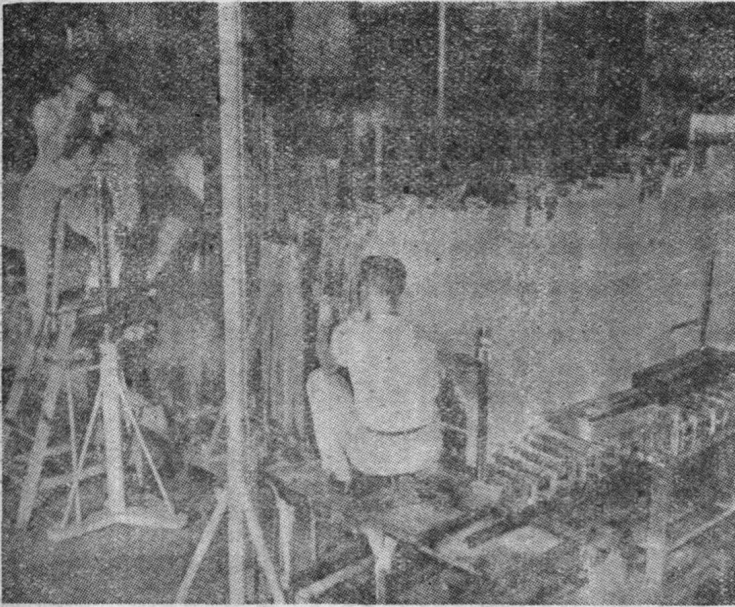


圖 3 樣件裝配。样板的安装用經緯儀檢查(道格拉斯)

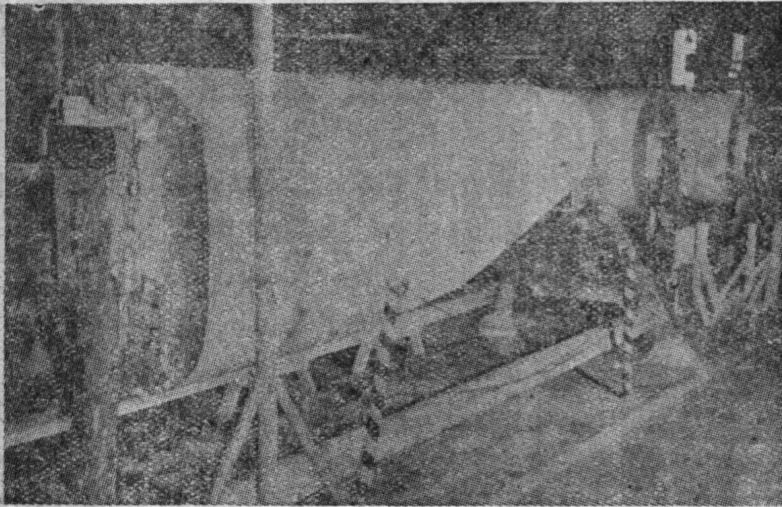


圖 4 固定在旋轉裝置中的表面樣件(道格拉斯)

并用高强度石膏与样板固定在一起。

### 以石膏填充骨架

样板之間安裝上金屬護板，在護板和样板所形成空間中初步裝填上石膏。完成基礎層以後再加一層純淨石膏，並在尚未凝固狀態下，用精加工工具搨平，直到獲得所需外形。搨平單曲度表面時，使用大尺寸尺板，以便同時蓋住幾個样板，從而獲得更精確的外形。在具有變向曲度的表面上採用特種抹板和搨平工具（圖5）。在難于達到的地方用滴進法灌入石膏。

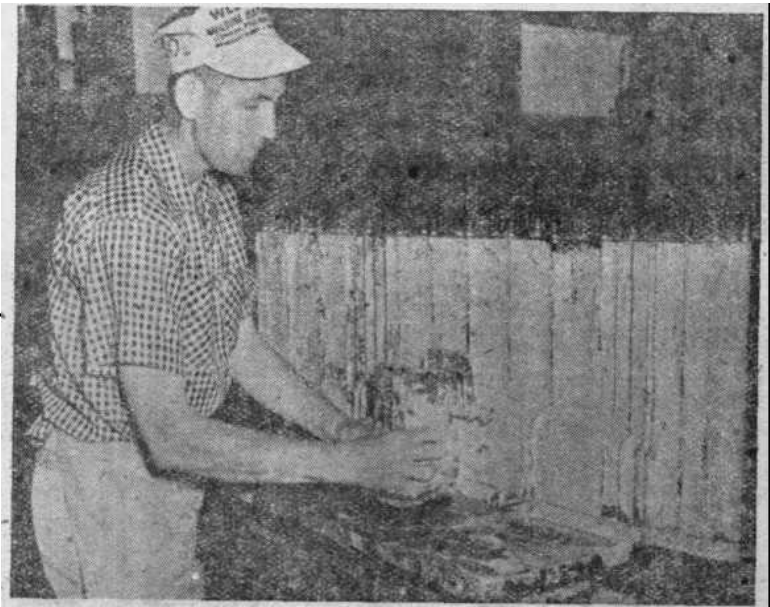


圖5 搨平灌入样板間的石膏用的工具(道格拉斯)

待石膏搨平和完全凝固以後，整個樣件表面塗復油漆作為防護和密封，然後在樣件表面上划出艙蓋位置、零件對接綫以及其他。

表面樣件的製造要求在規定公差範圍內細致地進行，因此必須在樣件裝配工和檢驗員之間保持密切聯系，在樣件製造的整個

过程中，由样板的制造起到最后精加工和划綫止都要进行檢驗。这里有一个極重要的原因——样件上任何漏檢的錯誤都会多次地产生在由按該表面样件制出的装备所制造而成的一系列零件上。

### 利用表面样件制造工艺装备

根据鋁合金板材所制零件的外形和尺寸的不同，采用着不同的成形方法：外形复杂、尺寸有限的零件一般在模具内成形；如果零件尺寸較大，并有匀称的双曲度外形，則在拉深阳模上用拉伸和弯曲方法进行成形。同时，亦可应用拉深冲床和旋压車床进行成形。

冲压板材零件用的金屬模具利用石膏模型制造。为了取得石膏模型，在表面样件的所需部位上盖以厚 35~40 公厘的石膏層（为了加强石膏，其中混有纖維材料）。在沒有凝固的石膏里加上由管子焊成的架子，并增加石膏以便与架子結構联接一起。

一当石膏凝固之后，即可用吊車将制得的反样件取下。



圖 6 按反样件制成的石膏模型(道格拉斯)



石膏模型按照檢驗員驗收过的反样件鑄出(圖6)。大型石膏模型按照反样件鑄成之后,移至成型床台上,側边盖木質型框,并从模型后边灌注液体石膏直到所需尺寸(圖7)。



圖7 鑄制鑄鋅合金模具陰模用的石膏模型成品(道格拉斯)

把准备好的模型放入砂型中造型(圖8和9)。陰模用具有較高熔點能承受冲击的鑄鋅合金●鑄造。

鑄鋅合金在熔化鉛用的普通熔爐中熔化。从前,此种合金系用澆桶往鑄型中澆注(圖10),澆桶用手或吊車移向砂箱;現在,創造出了一種由熔爐送液体合金到鑄造地点的特种泵,从而使工作更安全,效率更高(圖11和12)。

金屬运送泵直接裝于爐子之上并能够从最底部——爐底汲取金屬。

澆鑄管長度可以調整,其上并有活門、帶噴口的流出嘴和手柄。当砂箱分布在爐子周圍时,金屬的澆注工作由一个工人进行

● 鑄鋅合金(Kirk-site)是一种特殊的鋅合金,其熔點高于鉛。