

1737

直升機金屬漿葉工藝

張學生

1963

西北工业大学

科学研究资料

总编号 64019

分类及编号 文献综述

直升机金属桨叶工艺

張孚生

本册是根据国外有关直升机金属桨叶工艺的文獻和报导加以綜合整理編出的，主要介紹桨叶大樑的加工檢驗方法。工艺过程和专用的加工、檢驗設備。也介紹了桨叶胶接装配工艺和工夹具。有的地方根据編者粗淺的理解也提出了一些不成熟的探討和評述。原始資料中有几篇文章是編者自譯的，有三篇是國內已有的譯文，也有一篇是張麒麟同志的譯稿。

限于編者的翻譯和学术水平不高，又缺乏生产實踐的过程，册中內容会有不少錯誤和綜合不当之处，請予指正。

本册仅做教学、科研与生产有关部門的一般性参考資料。

*交审日期1963年12月10日 审毕日期1964年1月5日

印出日期1964年2月

目 录

前言

第一章 桨叶大梁的工艺过程

§ 1。大梁加工的主要要求

§ 2。三种桨叶大梁的工艺过程

§ 3。大梁工艺过程的探讨

第二章 桨叶大梁的外形加工

§ 1。等截面大梁的型面铣削

§ 2。变截面大梁的型面铣削

§ 3。大梁的扭转加工

§ 4。大梁切端及桨尖接棒铣削

§ 5。防冰管槽的铣削

§ 6。大梁型面抛光

第三章 桨叶大梁的内形加工

§ 1。大梁的内形拉削

§ 2。大梁的内形磨光

第四章 桨叶大梁的测量检验

§ 1。气动检验量具

§ 2。大梁内腔光学检验

§ 3。大梁的壁厚检验

第五章 桨叶的装配及动平衡

§ 1。胶膜及胶接表面的处理

§ 2。桨叶装配的工艺装备

§ 3。桨叶的装配过程

§ 4。桨叶的动平衡和锥度偏差电子测量设备

参考文献

前 言

直升机上的升力螺旋桨相当于飞机上机翼、拉力螺旋桨和一部分舵面的作用。它在发动机的驱动下旋转，产生升力、前飞拉力，还可以操纵直升机的运动状态。因此，升力螺旋桨是直升机特有的主要部件，它本身的质量直接影响到直升机的飞行性能和使用可靠性。

由于直升机发展的初期继承了旋翼机的一些特点，所以前一个时期的直升机上采用的桨叶结构型式大都是混合式的，混合式桨叶（图一1）。一般是由钢管大梁、木质叶肋及桁条等构成骨架，再

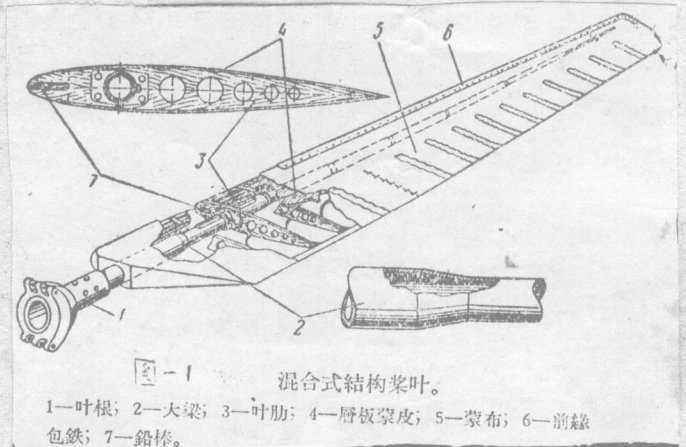


图1。混合式桨叶结构

1.根部接头；2大梁；3.叶肋；4.层板蒙皮；5.蒙布；6.前缘包铁；7.铅棒配重。

敷以层板、蒙布构成外形。这种桨叶的优点是重量比较轻。但它也具有气动性能差，使用寿命低、工艺性差以及不能保证桨叶外场互换使用的严重缺点。因此，在直升机技术迅速发展，为了提高飞行性能、使用寿命、降低成本和便于外场互换使用，研究成功了新式的金属桨叶。自50年代以来，这种金属桨叶逐渐取代了混合式桨叶，广泛的应用到直升机上。

金属桨叶是整体壁板技术、金属胶接技术及夹层技术在桨叶设计与制造中综合应用的产物。它是由前缘整体空心大梁构成主要承力的前段，后段是由若干分段件组成的。分段件是蒙皮、叶肋、尾

图2。金属胶接桨叶

1.根部接头；2大梁；3.分段件；4根部转接段。

缘条、或填有轻质夹心块组成，分段件和大梁的装配采用了胶接连接。大梁和分段件的材料一般都是轻合金的。图2。是一种金属桨叶的典型结构图。

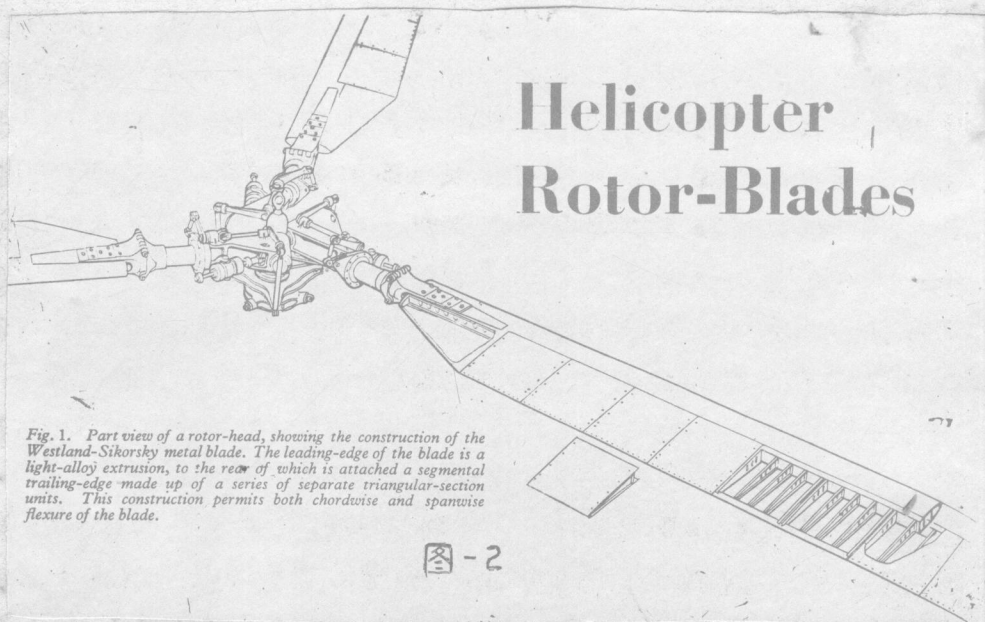
做为桨叶前段的大梁外形通过加工可以达到较高的叶型和扭转角的准确度以及得到良好的表面光洁度。有利于提高气动性能。桨叶装配中采用了胶接，连接处平滑不产生应力集中，有利于提高疲劳寿命。整体大梁的结构型式以及分段件简单的内部构造，可以有效地减少桨叶装配工作量和简化装配过程。由于工艺过程中能保持桨叶几何，物理参数的较高的准确度，再经过最后的平衡过程，可以保证桨叶在外场使用中能够互换。金属桨叶使用寿命的提高是很显著的，可达数千小时，而混合式桨叶仅为几百小时。

金属桨叶一般都采用矩形的平面形状，这主要限于大梁毛坯制造方法的特点。挤压空心大梁的毛坯还是一件新技术，它不仅需要大吨位的挤压机（5000吨以上），还要有复杂的挤压模具和严格的工艺过程，挤压出的大梁毛坯一般沿展向都是等截面的形状，国外曾有台阶形的挤压毛坯制品出现，但这仅是毛坯外形的分段变化，目前尚无法制出内形变化的大梁毛坯，这样就限制了金属桨叶采用更合理的外形设计。

金属桨叶大梁的加工工艺是保证桨叶质量的关键，也是一个新鲜的工艺问题，虽然航空技术领域已经拥有较多的壁板加工工艺和大

型飞机长型材的加工工艺的經驗，但解决大梁加工完善的工艺方法还需要結合产品特点进一步研究和實踐，这主要表现在目前一般的桨叶大梁加工过程中手工劳动量很大，几乎是用钳工修磨的方式来达到最后的技术要求，这当然会造成产品成本的提高和生产周期的加长，不利于組織成批生产。这一方面是大梁外形特点是过去少見的，而更重要的另一方面是桨叶使用特点所提出的一系列苛严的技术要求是过去极少碰到过的。所以为了进一步提高金属桨叶的經濟性，还需要不断改善大梁加工的工艺过程。

採用胶接連接方式的結構型式还有一定的应用范围，因为金属胶接剂的高温性能較差，如合成树脂制成的胶，当工作温度超过 260°C ，用它連成的胶縫强度降低很多，所以像英国“洛托达因”飞行器所用的热压气驱动式金属桨叶还不能採用胶接結構，仍採用了铆接結構。



§ 1. 大樑加工的主要要求

前緣整體大樑是金屬槳叶的主要承力元件，並帶有前部叶型表面。所以，為了保證槳叶的性能和滿足使用上的互換，必須對大樑的工藝過程提出嚴苛的技術要求，主要有下列幾方面：

1. 保證氣動外形的準確度：符合要求的叶型及扭轉角，還要滿足縱向波紋度和局部凸凹度的要求。

2 保證足夠的表面光潔度：一般要求達 $\nabla \nabla \nabla$ 的表面光潔度，並且要求微粗度定向分佈，即拋磨痕跡應沿大樑縱向。要求較高的表面光潔度不僅是為了提高氣動性能，而且還有利於提高疲勞強度，微粗度定向分佈的要求正是從這一點提出的。

3. 保證壁厚尺寸的準確度：以保證大樑的強度，在任何情況下壁厚不允許小於下限尺寸。

4 保證重量及重量分佈的一致：為了保證槳叶容易達到動力平衡要求，以便外場互換，僅嚴格控制氣動外形誤差還是不夠的，還必須嚴格控制重量及重量分佈的誤差。所以大樑加工也必須保證重量特性的一致，具體體現為大樑應達到一定的縱向靜平衡力矩。

另外，像任何產品一樣，在保證質量的前提下，應降低製造成本，這一點對目前生產成本尚較高的直升機而言也應非常重視。

槳叶大樑是一空心、薄壁、大長度的以及內外形輪廓都較複雜的另件，加工具有這些形狀特點的另件，又要同時滿足上述幾項嚴格的技術要求是很困難的，也是金屬槳叶工藝中的關鍵問題。

上述幾項技術要求之間，有着程度不同的相互關連，對某個特定的工件的一定的加工階段，可能出現彼此矛盾的現象。例如，限於加工條件困難而沒有採取內形現削加工的工藝過程中，由於大樑的內形存在着原始擠壓誤差，所以，在大樑的型面銑削時，就可能出现局部壁厚和外形尺寸的矛盾。此時，應以保證壁厚不小於下限尺寸為主要前提，採取相應的技術措施來解決。另一方面，在擬定技術要求時，應充分考慮到可能採取的工藝過程以及工藝過程中可能產生的矛盾，適當降低較為次要的要求，如上述情況，應適當降低叶型準確度和放寬縱向波紋度的要求。

也正是由於大樑加工技術要求的相互關連的特點，大樑加工所採用的工藝過程不可能分階段的逐項滿足上述要求，而是逐次漸近和最後全部達到要求，當然，這勢必會造成工藝過程的複雜化。

§ 2. 三種槳叶大樑的工藝過程

1955年3月，英國的 Westland 航空公司的 Yeovil 工廠成批生產出1000片可以互換的金屬槳叶來裝備“S-51”式直升機。這種槳叶的構造見圖1.1，是典型的金屬槳叶結構型式，主要承力件是一根整體空心大樑，大樑本身帶有前緣叶型，內腔有兩條縱向加強腹板隔成多室結構。“S-51”和“S-55”

見前圖2.

圖1.1 “S-51”直升機的金屬槳叶結構圖

直升機槳叶大樑都是由鎂矽合金的擠壓毛胚加工成的，這種材料是一種低銅成分，沉澱硬化的輕合金，具有較好的抗腐蝕疲勞性能。裝在大樑後面的是數個分段件，它們帶有槳叶後部外形。“S-51”的每片槳叶上裝了20個這樣的分段件，“S-55”裝了22個。槳叶的叶型和弦長不沿展向變化，所以這些分段件皆以相同的方式固定於大樑相同的寬度上，每個分段件是由合金蒙皮和5個內部叶肋組成的，並用向前伸出的蒙皮前緣與大樑後緣膠接裝配成一体，為此，在大樑後緣要預先加工出與分段件蒙皮裝配的樣面，各分段件之間沒有剛性連接，只裝以彈性橡皮密封塊，以防止氣流通過分段件間的間隙上溢。

前緣大樑擠壓毛胚長約26呎，當接收時經過熱處理，毛胚在擠壓過程中系分兩半擠出再於模具出口段焊合成一体，在毛胚截面

的对称綫上有四条焊合綫延伸于大梁全长。在毛坯制造廠中还要将它加工出 3.5 至 4° 的扭轉角，毛坯的两端长约 $1/4$ 吋的一小段先切下来做成試件来檢驗其金相組織，特别是在焊合处容易发生未焊合的缺陷，有些缺陷也容易在毛坯刚开始挤压的一端发现，这往往是鑄錠和模具之間的温差造成的，但它們也可能在以后的加工中被切掉，此时应根据經驗来判断这种缺陷能否在以后切掉，从而决定毛坯是否須要报废。另外，还要在 $1/4$ 吋长的試件上做硬度試驗。

这种金属槩叶整体大梁的加工采用了如下的工艺过程（主要工序的排列）：

1.校直：毛坯放在压机上用3点加压的方法校直到0.01吋公差范围以内（见图1.2）。在加压部位，通过带型面的垫块对工件加压。

2.內腔表面檢驗：用光学檢驗仪表檢驗毛坯內表面缺陷及焊合綫的质量。檢驗前，工件应經過除油。

3.修出两端导向面：用千分尺測量两端壁厚分佈来控制。

4.型面試銑：切深很小，判断表面高低情况。

5.型面初銑：在全长銑出輪

6.壁厚檢驗：使用超声測厚仪，取試件，上下測量工件中間部份的壁厚，标出最薄区，並根据測量結果决定精銑加工量。

7.型面精銑：銑刀每次切深約为0.005吋，銑后外形誤差应保持0.030—0.040吋之內，还应保持最薄区的壁厚在下限尺寸以上。外形按样板用塞尺檢驗。

8.腹板后面的銑削。

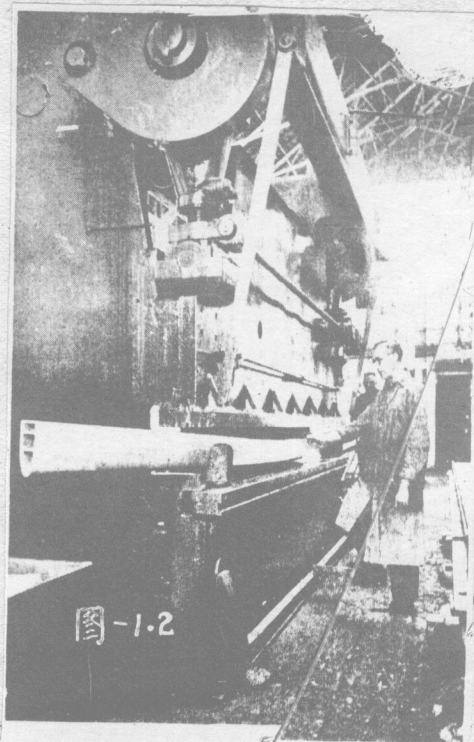


图-1.2

情

Fig. 3 (Above). Straightening a Verson press-brake.

leading edge extrusion on a

取試件，上下測量工件中間部份的壁厚，标出最薄区，並根据測量結果决定精銑加工量。

2. 大樑後緣的蒙皮膠接樺面的銑削。
3. 樺面前端蒙皮彎邊和容槽的銑削。
4. 粗磨表面：手工操作，補償局部厚度的差異，並用樣板控制外形。
5. 加工扭轉角：分段扭轉，全長應扭至 $7^{\circ} 7'$ 。
6. 銑切兩端至一定長度。
7. 銑掉根部內腔腹板長約 $5\frac{1}{4}$ 吋的一段，以供安裝根部裝配螺栓的螺母。
8. 表面拋光。
9. 外端槳尖接樺的加工：工件兩端夾持於專用設備的卡板內，由一裝在水平銑頭中的銑刀環繞靠模板送進銑出樺面，並留有 0.01 吋的手工精加工余量，銑頭的運動是通過手輪來操縱的，靠模板上帶有大樑標準截面的外形。
10. 鉗制根部裝配螺栓孔：鉗出的孔小於名義尺寸，鉗孔時，大樑根部端頭定位夾緊於盒式鉗模夾具中。

在上述過程中還應有與根部接頭配合面的加工。最後還應有陽極化及靜平衡等工序。

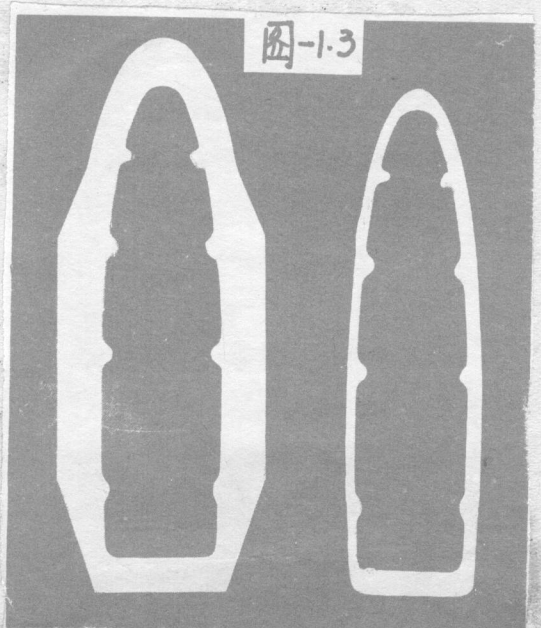


圖 1 • 3 加工前後的大樑截面圖

图1·3是美国 SKORSKY 公司生产的大型金属桨叶的大梁毛坯和成品的截面图，与上述者不同之处是没有纵向加强腹板，代之以纵向加强筋。另外梁壁的厚度是由根部向外逐渐变薄。桨叶大梁长约10米，毛坯净重317公斤，成品为102公斤，大梁材料为6061-T6铝合金。桨叶的整个构造与上述者相仿，大梁的制造工艺过程也大致相同。现列之如下：

1. 檢驗：毛坯两端各鋸下25毫米长一段，在檢驗設图上进行檢驗，从型面的不同点上測出梁的壁厚，結果記入表內，这样就知道了挤压时芯模偏移造成的内外形的偏心率，可在銑削过程中控制工件每側的切削量来糾正偏心。

同样，也採用光学檢驗仪来檢驗內腔表面有无氧化皮、划伤以及其它缺陷。

2. 加工扭轉角：大梁毛坯在挤压、淬火后校直过程中已加工出 $3-6^{\circ}$ 的預扭度，此时再进行校正，名义扭角为 $5^{\circ}21'$ ，扭轉加工是分段进行的，每段扭度公差为 $\pm 5'$ 。

3. 型面初銑並銑出蒙皮装配榫面。

4. 用超声測厚仪測量工件壁厚。

5. 型面精銑：銑削加工深度由壁厚測量結果而定。

6. 根部配合面的銑削。

7. 校正扭轉角：再将大梁放在扭轉机上，对扭度进行最后的修正。

8. 大梁外端的槳尖装配接榫的銑削。

9. 型面的手工精加工：最后的手工加工要求达到很高的壁厚精度，尽管手工加工仅去掉450克到1.8公斤重的金属材料（銑去215公斤材料），但手工加工的劳动工时在槳叶生产总工时中所佔百分比最高。控制厚度仍用銑削时所用的Vidizage超声測厚仪。因加工要求的精度很高，所以需要工人經過良好的訓練。

图1·4所示为大梁手工加工情况，首先刮掉最厚的部份。然后，当壁厚接近規定尺寸时，改用弯齿銑加工，最后約百分之一毫米的余量則用手动或气动砂磨机磨削。

10. 钻出安装根部接头用的12个直径为11毫米的螺栓孔。

11. 最后抛光：改装两台磨床进行梁的最后抛光。机床主轴上装有抛光轮。各抛光大梁的一个侧面，大梁支持在一个电动行车上沿台面前后移动，在抛光部位有气动加压装置，迫使工件压向旋转的抛光轮。



图1.4大梁手工精加工情况

12 阳极化：先经表面清洗、热水清洗再经铬酸清洗获得阳极化保护层，最后再经热水洗。

英国 Westland 公司的 Belvedere 直升机上，所用的金属桨叶大梁也是由不变截面的空心挤压毛坯加工成的，图1.5是其毛坯和成品的截面形状。毛坯材料是 BACAl019 铝合金，由 Alcan (U.K) 公司承制，供应时应完成热处理的要求。除了最后手加工外大梁的全部机械加工工序由 Bristol 公司的 Filton 加工厂按照和 Westland 公司的合同来承担。

这种大梁的制造工艺过程有较全面的报导，从中可以看到英国工艺水平较生产 S-51 直升机时的提高。

1. 校直：截面形状复杂，长度又大的挤压毛坯在投入加工前必须要求原始直度，先经过直度检查，再将毛坯放在 EMB 校直机中校直超差的部份，最后达到不大于0.01吋的直度要求。

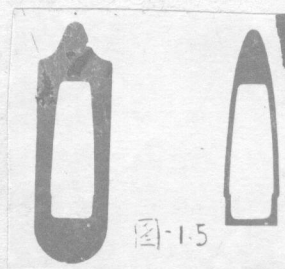


图1.5大梁加工前后的截面图

2 内腔磨光：毛坯内腔充以磨液，两端密封，置于机床上，

传动系统带动大梁往复振荡，造成磨料相对内腔表面运动，磨掉表面缺陷。

3. 内腔检验：内腔磨光后，用专用的气动检验设备沿大梁长度测量数个截面上的内形，即测量六个内形高度尺寸和一个弦向长度尺寸。内形尺寸公差规定为 0.03 吋。

4. 前缘定位面和尾部定位舌片的加工前，工件在机床上装卡时的心孔对准调直：大梁挤压毛坯最初的两道机械加工工序是铣削出前缘鼻部型面和尾部定位舌，做为以后外形加工时的定位基准，因此为了保持以后工序中工件壁厚的分布比较一致，在加工前的工件装卡时要把工件的心孔精确的对准调直。对准用的光学望远镜安放在机床一端的焊接钢支架上，机床的另一端则置一光源，工件由两排彼此相距为 15 吋的虎钳组固定，钳口装有调节螺栓，可对工件局部加压调位。调直时，将一十字规拉过工件内腔，根据望远镜和十字规的十字线是否重合来判断该截面的心孔是否偏离，如发现偏离，则调整该截面处的虎钳，局部移动大梁，使两十字线对准，如此步骤顺序在每把夹钳处进行对准，工件的心孔即被调直。图 1.6 是虎钳，为防止螺栓局部加压时工件侧壁的局部损坏，在钳口处加有保护工件的垫板。图 1.7 表示对准工作进行情况。

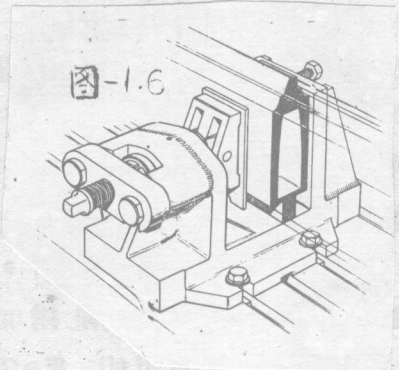


图 1.6 虎钳夹持大梁情况。图 1.6 是虎钳，为防止螺栓局部加压时工件侧壁的局部损坏，在钳口处加有保护工件的垫板。图 1.7 表示对准工作进行情况。

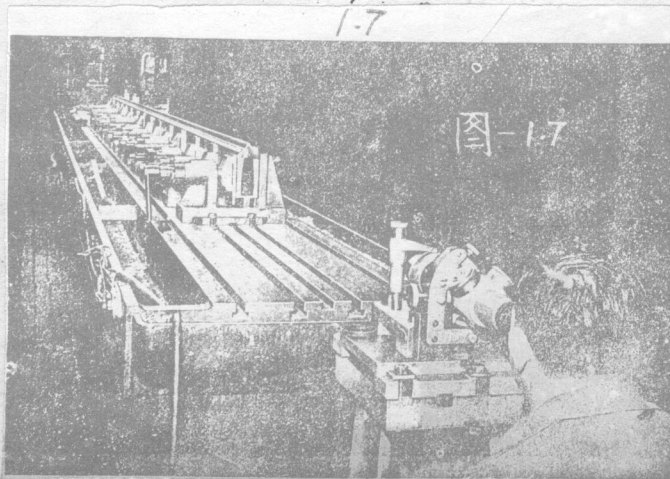


图 1.7 对准工作情况

調直用的十字規(圖1·8)有一個鋁合金壳体，其兩側端頭各固定一青銅鑲塊，每一鑲塊中裝有一個塑料滾輪，接觸內腔后面的滾輪是固定的；另一側的滾輪則是用彈簧压紧的，這套滾輪裝置可以保證十字規穩定的在心孔中移動。另有四對制動銷子分別藏在四個鑲塊內，它們可以在壓縮空氣作用下伸出鑲塊，抵緊內腔側

壁，從而將十字規固定于某一位置。壓縮空氣的通路有上、下兩條，應選用下面的一條(工件在兩道工序中所處位置相反)，以避免冷氣導管遮蔽光綫。在每一站調直以前先操縱冷氣開關，用制動銷固定十字規，再進行對准調直。十字規本身還有與牽引機構相連的接頭，規的內部裝有十字綫，十字綫的十心交叉點與十字規的中心軸綫要保持重台。

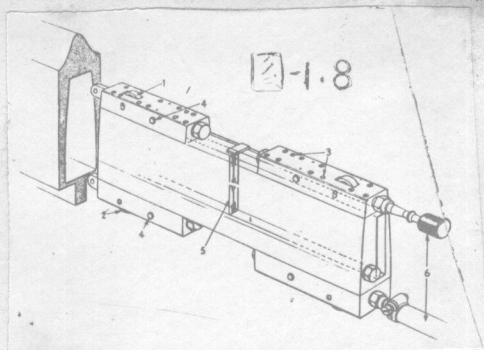


圖 1·8 十字規

1. 压紧滾輪；2. 固定滾輪；3. 銷釘；4. 制動銷子；5. 十字綫；6. 通氣咀。

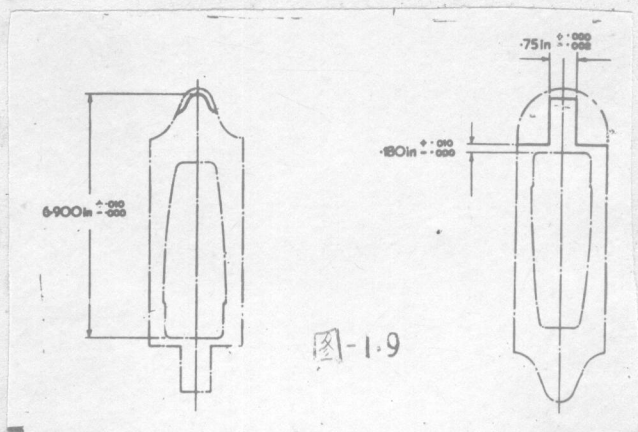


圖 1·9 定位面加工尺寸要求

5. 銑削尾部定位舌片：見圖1·9，先加工定位舌片至0.75吋厚，後壁保持0.18吋，使用一組兩把鑲硬質合金的平側兩用銑刀，轉速為640轉/分，送進速度為8吋/分。

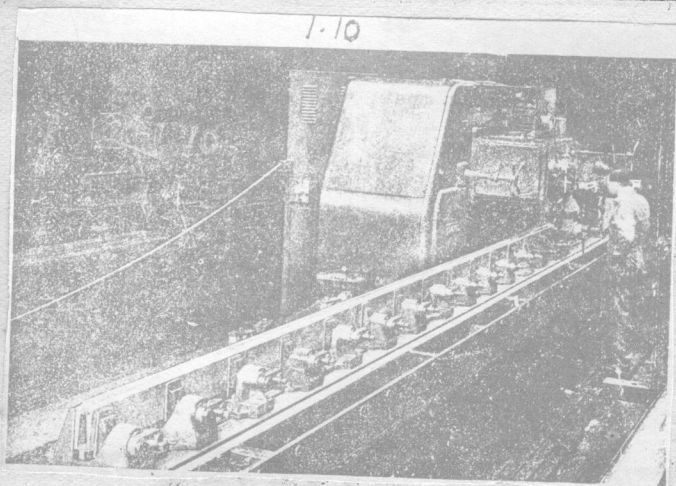


图 1.10 在铣床上加工大梁前缘定位面的情况

6. 工件反转 180° 在铣床上装卡并对准调直心孔：同 4。

7 铣削前缘鼻部型面：使用高速钢仿型铣刀，转速为 320 转/分，送进速度也是 8 吋/分。从前端至内腔基准面要保持 6.900 吋的高度尺寸。加工情况可见图 1.10.5 及 7 工序都是在 Wadkin L-2.5 大梁铣床上进行加工的。

8. 型面铣削：铣前先测量加工表面的原始壁厚，以确定铣切量。

9 钻定位孔：在靠近工件根部定位舌片上钻定位孔，使用手提钻。

10. 铣削后缘的分段件蒙皮装配榫面：榫面下陷深度为 0.035 吋，铣出的两侧榫面的宽度尺寸应保持 1.852 ± 0.005 吋，使用的机床是 Onsrud 大梁铣床。

11. 铣削根部配合平面：仍用上述机床加工出与接头装配的两个平行的配合面，以后还将这两个铣出锥度。

12 锯切大梁至一定长度并铣出榫尖装配接榫：这两道工序在一组合设备中进行，榫尖装配接榫采用靠模铣削加工。

13. 铣出心孔内的根部螺栓座：用卧式铣床。

14 钻制根部装配孔：使用的钻模如图 1.11 所示，共钻 25 个孔，孔径为 $3/8$ 吋的为 20 个，其余 5 个孔径为 $1/4$ 吋，以后都按

NeWall B 級配合精度鉋孔。

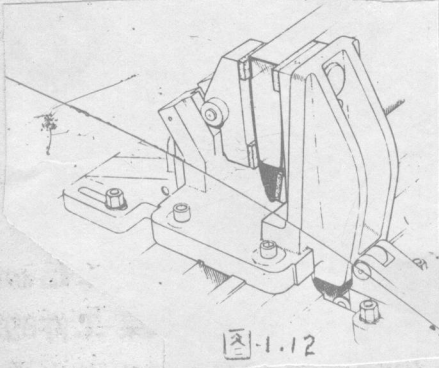


图 1.12 鉋定位舌片时大樑的
夹持情况

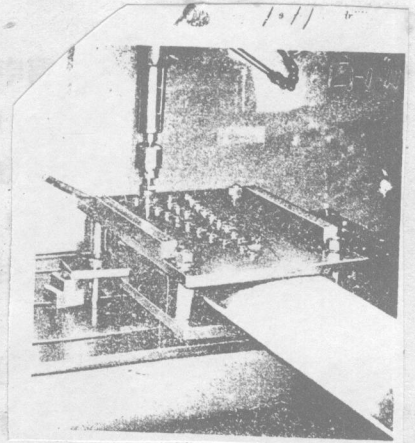


图 1.11 使用钻模夹具鉋制
大樑根部螺栓装配孔

／5. 鉋削根部配合面的錐度：根部与根部接头是錐面配合、錐面长为 16.25 吋，鉋出錐度为 1° 。鉋时，大樑以前緣及尾部定位舌片在专用夹具中定位並夹紧，夹具底面預先做出要求的斜度。

／6. 鉋去尾部定位舌：同时加工腹板后面，壁厚达到 0.115 ± 0.005 吋，工件在机床上使用夹具夹持的情况見图 1.12。

／7. 根部前緣长 38 吋一段鉋出錐度。

／8. 手工打光：首先加工樑的根部。除去与根部接头耳片配合表面周圍多余的金屬並打光以便測量壁厚，再用鉛筆在大樑上标出数个測量站，在每个測量站用一对样板来檢驗叶型剖面（見图 1.13），測量站的位置从根端标起以吋度量，每隔一定长度标綫，当达到

图 1.13 用样板檢驗
大樑外形

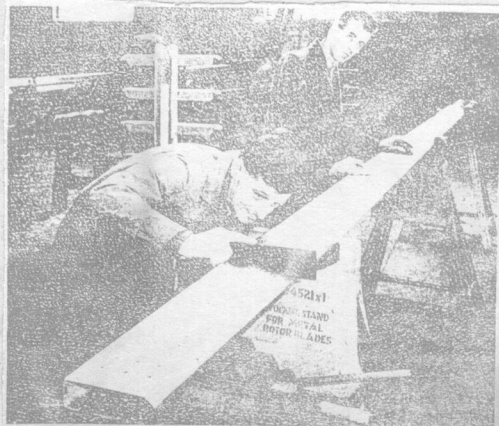


图-1.13

适当的光滑度以后，用电子回声仪测 25.68 吋及 37.68 吋两站的壁厚，然后加工 37.68 吋至根端的全部表面，使用刮刀和砂布加工，並不断测厚及用样板檢驗，当一对样板在测量站对合时，在样板与工件之间不应插进 0.01 吋厚的塞尺。

大梁的全长各段用相似的方法初步打光，以便测量並决定最后加工量。

19. 平衡：大梁在图 1.14 中所示的设备上称量以确定原始纵向平衡力矩，平衡装置上有一平衡秤桿，桿的一端有连接大梁工件的叉头，另一端是已知重量的平衡配重块，平衡桿在不使用时处于水平位置，当使用时它可以在其支持刃口上自由摆动，有两个骑碼可分別給出粗讀数和中讀数，另有一扇形讀数器給出精确的讀数，也作为零讀器。大梁初步平衡檢查时，要装上配重用的根部接头及连接螺栓，此时，纵向平衡力矩应在 250—500 磅吋之間，最終平衡力矩应达到 0 ± 5 磅吋。

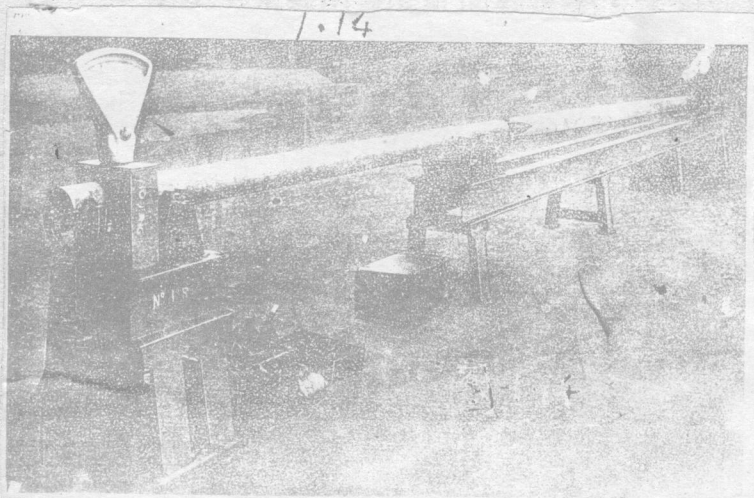


图 1.14 大梁靜平衡設備

20 型面輪廓測量：平衡后，沿长度方向隔一定間隔的 15 个站上測量大梁型面輪廓形状，即測量每站剖面外廓兩側面各 9 个点的尺寸。同时在每一站还要用电子回声仪測量三个壁厚尺寸，将这些数据填入檢驗卡片上送交繪圖室換标出一套最后手工加工数据，这些加工数据由四个厚度尺寸組成：心孔前、后的兩側各一个。