

汽轮机技术改造译文集

第一集

汽轮机行业情报组

第一机械工业部情报所

目 录

1. 透平叶片毛坯的集中生产〔俄〕	(1)
2. 透平制造业中生产过程的机械化和自动化〔俄〕	(5)
3. 透平叶片制造的新工艺〔俄〕	(10)
4. 透平叶片的自动生产线〔英〕	(14)
5. 汽轮机叉形叶根工艺的改进〔俄〕	(20)
6. 检验叶片毛坯叶型的多尺寸检查仪〔俄〕	(24)
7. 燃气轮机枞树形叶根的检验〔俄〕	(28)
8. 汽轮机转子的加工和精度〔日〕	(30)
9. 提高劳动生产率的潜力〔俄〕	(39)
10. 检验汽轮机气缸用的 Rank Taylor Hobson 检查仪〔英〕	(42)
11. 美国 GE 公司新建的查理斯顿 (Charlston) 汽轮机工厂〔英〕	(43)
12. BSF-40/26A 型超大型卧式铣镗床〔日〕	(49)
13. 加工长达 2000 毫米的汽轮机低压级叶片用的液压靠模铣床〔德〕	(59)
14. 多工位钻削〔捷〕	(62)
15. 东芝数字控制管板钻孔专用机床〔日〕	(66)
16. 美国 GE 公司大型汽轮机的制造工艺〔英〕	(72)
17. 原子能透平隔板的铸造〔日〕	(89)

一、透平叶片毛坯的集中生产

早在七十年前列宁就曾在“论所谓市场问题”一文中指出了生产专业化的意义。列宁写道：“要把制造整个产品的某一部分的人类劳动的生产率提高，就必须使这部分的生 产专业化，使它成为一种制造大量产品因而可以（而且需要）使用机器等等的特种生产。”

在透平制造业中专业化生产具有重大的意义。迄今全国的透平生产被安排在许多工厂里，它们的生产是小批的，有时是单个的。在这种情况下，为了制造透平的个别零件，例如叶片，使用可以采用先进工艺过程的高效率专用设备是不经济的。在透平叶片分散生产的情况下，其制造工艺也是处于低水平的。

在叶片毛坯的生产中，金属的利用系数是非常低的，平均为0.2，有时不超过0.1，这就是说80%的贵重钢材都作为切屑和其它废料被浪费掉了。至于金属加工切削花费的大量时间就更不用提了。

为了提高透平叶片生产的工艺水平，提高其质量，降低劳动量和节约金属，全苏动力机械制造工艺设计研究所（ВНИИ Энергомаша）提出了透平叶片必须集中生产的建议，并列举了有关论据。目前正在列宁格勒建造透平叶片专业化工厂。这是一个联合工厂，可以生产由各种钢号和合金制成的、任何结构和尺寸的透平叶片，并对其进行机械加工。该厂将能满足全国各透平工厂的叶片需要量，而且还可以出口。

该厂的建设规定分为两个阶段。第一期工程包括建设下列六个车间：

锻压车间：采用各种热变形的方 法制造毛坯；

实验车间：研究确定叶片熔模精密铸造工艺和各种新型毛坯的机械加工工艺；

冲压车间：制造工艺装备（锻模、压模及其它装备）；

备坯车间：为热变形工序制造毛坯；

熔模精铸车间及型轧车间。

第二期工程将建造叶片的综合机械加工车间，其中包括制造专用工具的车间、辅助车间、试验室及工程技术大楼。透平叶片毛坯的制造将集中在三个车间，即：锻压车间、熔模精铸车间及型轧车间。

叶片毛坯生产按专业化车间进行划分时考虑到：

- 1) 零件的用途及其使用条件（动叶片或静叶片，透平叶片或压气机叶片）；
- 2) 制造叶片的材料钢种（钢或合金，铸件或锻压件）；
- 3) 结构特点（全通式叶片、封闭式叶片、双层叶片、等截面或变截面叶片、空心或实心叶片等等）。

为便于确定整批叶片的生产方针、按其结构和工艺特点进行分组及从各组选定可以据之编制典型工艺文件的最典型的代表，已编制了叶片分类总系统图以及叶片毛坯按锻压、精铸和型轧三种基本生产工艺分类的系统图。附图所示是锻压车间热模锻叶片毛坯分类系统图。根据系统图将所有毛坯分成类别、组别和型号。类别有两种，即：工作部分带有精加工（磨削和抛光）余量的第3类和带有全部机械加工余量的第四类。这里的类别号和组别号保持在

透平叶片所有各类和各组毛坯分类总系统图中所用的编号，而该总系统图在本文内没有列出。热模锻毛坯的组别分为五种：

1. 挤压和精压的精密毛坯 (B4)，余量为 0.3 毫米，长度在 300 毫米以下；
2. 挤压和辊锻的精密毛坯 (BB)，余量为 0.4~0.6 毫米，长度在 525 毫米以下；
3. 精锻毛坯 (IIIT)，余量为 0.3 毫米，长度在 300 毫米以下；
4. 挤压和辊锻毛坯 (BB₁)，余量为 2~5 毫米，长度超过 500 毫米；
5. 模锻毛坯 (III)，每边余量为 1.5~5.5 毫米。

B4、BB、BB₁ 和 IIIT 组都只有一种型号，而 III 组有八种型号，每种型号的简略规格列于附图说明中。

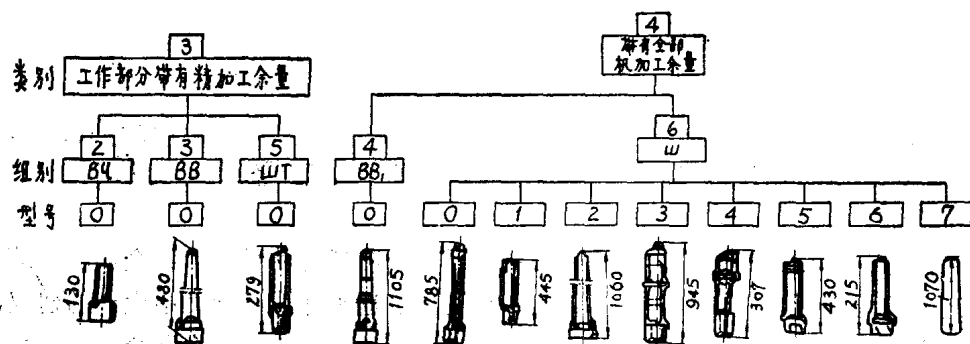


图1-1 热模锻叶片毛坯分类系统图

型号规格:

- IIIT-0——不锈钢叶片，两面有过渡台阶，半通式，不扭曲，等截面，长度在300毫米以下。
- BB-0——不锈钢叶片，两面有过渡台阶，半通式，扭曲角60°，长度在525毫米以下，沿叶型无加厚部分，叶根除了圆弧形、斜角截面和纵树形以外，可以选用任何结构。
- IIIT-0——不锈钢叶片，两面有过渡台阶，半通式，变截面，扭曲角30°，长度在300毫米以下。
- BB₁-0——不锈钢叶片，两面有过渡台阶，半通式，扭曲角60°，沿叶型有加厚部分，任意长度；或沿叶型无加厚部分，长度超过525毫米，叶根除了圆弧形、斜角截面和纵树形以外，可以选用任何结构。
- III-0——不锈钢叶片，两面有过渡台阶，半通式，变截面，扭曲角大于60°，长度超过400毫米，或扭曲角小于60°，沿叶型有加厚部分，叶根除了圆弧形以外，可以选用任何结构，用模锻锤模锻而成。
- III-1——不锈钢叶片，两面有过渡台阶，半通式，变截面，扭曲角大于60°，长度在525毫米以下，沿叶型有加厚部分，叶根可以选用任何结构，用锻压机模锻而成。
- III-2——不锈钢叶片，两面有过渡台阶，半通式，变截面，长度超过525毫米，叶根是圆弧形结构。
- III-3——不锈钢叶片，两面有过渡台阶，半通式，变截面，双层结构，长度超过500毫米。
- III-4——不锈钢叶片，两面有过渡台阶，半通式，等截面或变截面，双层结构，长度在500毫米以下。
- III-5——奥氏体钢叶片，两面有过渡台阶，半通式，等截面或变截面，可以采用任何长度。
- III-6——耐热合金钢叶片，两面有过渡台阶，半通式，变截面，可以采用任何长度。
- III-7——不锈钢静叶片，全通式，变截面，可以采用任何长度，用模锻锤模锻而成。

制造上述毛坯的锻压车间基本上已经建成，预计年产量约为4000吨或150万片叶片毛坯。根据列宁格勒金属工厂和哈尔科夫透平工厂为20万、30万及50万千瓦大功率汽轮机提出的订货，以及列宁格勒金属工厂、涅瓦列宁工厂、哈巴罗夫斯克《动力机械》厂及其它工厂为燃气轮机提出的订货，该车间已在生产最大型和最复杂的不锈钢及耐热合金钢的叶片。

根据锻压车间的设备组成情况，不仅可以完成设计规定的透平叶片毛坯制造工艺，而且还能完善工艺过程，在各种热变形工序的不同组合的基础上创造出新的先进的毛坯生产方法。

为了制造模锻和精锻毛坯，安装了1600、2500、4000和6300吨的曲柄锻压机，2000吨的单曲柄精压机，还应当安装4000吨的压力机，及16吨和25吨的大型模锻锤。还有模锻前备坯工序用的800吨和1250吨的平锻机及100吨和250吨的辊锻机。

为了按照《挤压-辊锻》的方法制造毛坯，设计中规定有800吨的专用水压机（用于挤压工序）及150吨和315吨的专用辊锻机（用于辊锻叶身型线）。

《挤压-精压》（校型）系统的毛坯用315吨和800吨的水压机及单曲柄精压机制造。所有的模锻设备都配有切除模锻后飞边用的切边机。没有完善的加热方法、加热设备和热处理等，就不能掌握各种新型毛坯，特别是精密毛坯的生产。为了防止毛坯表面氧化及合金元素的烧损，规定了先进的加热方法和设备。

为了加热热变形第一道工序前的原始毛坯（初辊、顶锻、挤压）采用了感应加热设备。

对于作为模锻、校型和辊锻前最后一道工序的毛坯加热，规定采用以前从未用过的步进带梁式低氧化炉气炉和煤气转炉。

安装在车间里的锻压设备和加热设备，基本上可以说完全是新的，是第一次用于生产，它们是根据专门任务为该厂设计的。25吨的模锻锤在苏联还是第一次制造。两台模锻锤（16吨和25吨的）都安装在防振地基上。挤压用的专用水压机和叶片工作部分成型的辊锻机都是专门设计制造的，并将在列宁格勒透平叶片工厂首次调试掌握。

安装在锻压车间里的设备能保证生产所有这些类别的毛坯，并使其具有较小的加工余量或不带加工余量。

上面列举的五组毛坯的简略制造工艺特点如下：对于所有各种热塑性变形毛坯来说，其原材料是圆截面或矩形截面的棒料。原料材（棒料、条钢）由料材库运至专门的备坯车间，在那里对它们进行矫正、检查、下料、磨削（在必要时）并在端部进行倒棱。

在该厂锻压车间里，毛坯（模锻件）的制造工艺在很大程度上不同于其它工厂所采用的工艺过程，是比较先进的工艺。

下面介绍该厂所采用的几种主要的毛坯制造方法。

带加工余量之毛坯的模锻。长度为500~1500毫米的不锈钢动叶片毛坯，各种尺寸的耐热合金钢叶片毛坯在制造时是带加工余量的。

根据新的模锻过程，叶片的模锻是在单模膛的锻模里完成，而不同于以前采用的多模槽模锻法。模锻前按尺寸下料的圆形毛坯应在辊锻机上加以辊锻，以便沿毛坯的长度方向重新分配材料。需要时可作为准备工序在平锻机上对毛坯的一端进行顶锻，以便在叶根处聚料。采用这样的工艺过程可以使模锻时材料均匀挤压（对于合金这是很重要的）、飞边最小而且均匀以及节省材料。

用锻锤和压力机热模锻毛坯的主要工序为：毛坯加热、辊锻、加热、镦粗毛坯的中部或一端、加热、模锻、切边、矫正及热处理。

模锻毛坯的余量比现用的小 $1/3 \sim 1/2$ 。但是首次经验已经表明今后还能进一步减小余量。

精锻。用各种热变形方法（模锻、辊锻、校型）制造的毛坯或是叶片工作部分每边余量为0.3~0.5毫米的铸造毛坯称之为精锻毛坯。在这种情况下，叶根的余量为1.5~2.5毫米。

采用无氧化加热和专用润滑剂的多次模锻可以达到所要求的锻件尺寸精度、质量和表面光洁度。

按照毛坯的分类，属于精锻的是最复杂的变截面大扭角动叶片。设计规定该厂在第一阶

段对长度在 250~300 毫米以下的叶片采用精锻，所有模锻工序均用曲柄锻压机完成，而精压校型工序用单曲柄精压机完成。与此同时，在该厂还进行用模锻锤精锻大型叶片的试验工作。

用压力机精锻叶片毛坯的工艺过程包括以下几个主要工序：下料、磨削、毛坯加热、辊锻、加热、第一次模锻、切边、加热、第二次模锻、切边、加热、校型-精压及热处理。 2×13 钢的叶片淬火与热变形最后一道工序（校型）同时进行。

在每道模锻工序之前，毛坯要涂上玻璃润滑剂以防止产生氧化皮、脱炭及合金元素的烧损。

在每道热变形工序之后，毛坯要进行喷丸清理以去除可能产生的氧化皮和残留的玻璃润滑剂，并要仔细修整所发现的缺陷，以防止把有缺陷的毛坯漏入下一道工序。

在精锻时，金属消耗定额几乎缩减一半，精锻毛坯的叶片制造工时也可大大节省。

挤压和辊锻。叶片毛坯先挤压后辊锻的方法如下：原材料是经过磨削的、具有一定尺寸的矩形毛坯。先在毛坯上涂一层玻璃润滑剂，放到感应炉中进行加热，然后用 315 吨和 800 吨的专用水压机进行挤压。辊锻之前，毛坯在低氧化煤气炉中加热，然后用 150 吨和 315 吨的专用辊锻机进行辊锻。

用辊锻制造叶片毛坯的工艺过程是有发展前途的，因为它能够用辊锻机来代替大型锻锤。用辊锻法可以制造大尺寸的叶片精密毛坯。

用先挤压后辊锻的方法制造叶片毛坯的工艺过程具有如下主要工序：加热、挤压、加热、辊锻、加热、圆角顶锻及热处理。

如同精锻时一样，每道工序之后，应清理掉毛坯上可能产生的氧化皮和残留的玻璃润滑剂。

挤压和精压。先挤压后精压的叶片毛坯制造方法主要是用于制造长度在 250~300 毫米以下的等截面叶片毛坯。挤压前的原材料是经过磨削，有一定尺寸并涂有玻璃润滑剂的方钢。毛坯在感应炉中进行加热。

挤压用 315 吨和 800 吨的专用水压机完成。挤压后的毛坯涂上玻璃润滑剂，再次在低氧化煤气炉里进行加热，然后在精压机上进行模锻-精压。

因此，有理由认为：通过进一步研究挤压过程、研制出新的高强度模具钢及有效的润滑剂，就能不需要精压而仅用挤压便得到带有抛光余量的精密毛坯。

先挤压后精压（校型）的工艺过程有如下的主要工序：加热、挤压、加热、精压（校型）、切边及热处理。对于 2×13 钢的叶片，淬火与热精压（校型）同时进行。

毛坯在挤压和切边后，便进行喷丸清理及修整缺陷。

对所有精密成形的过程来说，严格地按工序进行检查及严格遵守工艺过程具有很大的意义。

掌握透平叶片毛坯集中生产的全套工艺，即锻压生产、型轧生产及熔模精铸生产，将产生极大的经济效果。

制造透平叶片的金属消耗量将减少一半，这就是说，用节省下来的金属材料可以制造出供全国所有各透平工厂全年计划生产的透平所需要的叶片。叶片的机械加工量可减少 60~67%，透平叶片的质量也将显著提高。

根据列宁格勒透平叶片工厂的生产条件，可以进行进一步完善透平叶片制造工艺的工作。为了使所有的辅助车间都投入生产，然后再建造各叶片机械加工车间，还需要花费很大

气力和进行大量工作。

再经过一段时间,列宁格勒透平叶片工厂,一个为全国整个透平工业集中生产叶片的专业化企业,将投入生产。

《Энергомашиностроение》1970, №6, 28-30

北重李德新译

北重郭 晶校

二、透平制造业中生产过程的机械化和自动化

生产过程的机械化和自动化是汽轮机、燃气轮机和水轮机生产中技术发展总方针之一。(在1966~1970年),苏联透平制造部门生产的商品产量增长了50.7%,其中约75%是通过提高劳动生产率达到的,这时生产过程机械化工具的应用具有重大意义。

全苏动力机械制造工艺设计研究所把生产过程的机械化和自动化当作一项综合任务,为解决这项任务正在采取大量准备措施,诸如实行生产的专业化、实现各部套和零部件的通使化、改进各制品的工艺性、合理组织生产、采用组合工艺以及其它许多能保证增加零件批量的改进措施,无疑地,所有这些都将反映出采用机械化工具的效果。

在开始设计前,先要从经济上来详细论证采取这些措施所需的费用、每年能产生的效果及其回收期。

该研究所正在进行的工作有以下几个方面:研制高度机械化的工艺装备、改进万能金属切削机床、使起吊运输工具机械化、研制高度机械化的专用设备、扩大程序控制机床的应用范围、在一系列工段采用自动化和流水线生产、设计和采用机械化的非标准设备与专用工具以及在采用机械制造设计文件统一制的基础上使生产技术准备工作自动化和机械化等。

下面探讨采用机械化的某些典型实例。

譬如,透平叶片在结构上具有复杂的几何形状,也就是说其长度可达1200毫米,截面厚度最小处达2毫米,而其工作部分型线的精度比较高——0.05~0.15毫米。到目前为止,生产这种复杂的非刚性零件时主要是使用通用设备,因此其生产效率低、手工劳动量大以及加工质量差。

为了急骤降低叶片生产的劳动量,提高其质量并实行生产机械化,按照全苏动力机械制造工艺设计研究所的建议,目前正在列宁格勒透平叶片制造厂组织集中生产。在新工艺方面预定将有76%是迄今在叶片生产中还未用过的崭新的半自动专使设备,可以将手工劳动的比重从35%降低到1%。目前已制成和试验了一系列半自动专用设备的样机。图2-1所示是带有自动分配的余量装置、加工基准面的CM-160型机床。在这台机床上叶片只需一次装夹就能加工其全部基准面,因此各基准面机械加工工序完成得较准确。

此外,还采用了四种规格尺寸的机床来加工叶片的进出汽边,从而使其劳动量减少了三分之二,并改善了叶片的质量。

在加工焊接隔板导叶汽道的半自动机床上,一次装夹就能加工其进汽边的型面和汽道的曲面,从而提高效率2倍,减少了手工抛光的劳动量。

已采用了两种规格尺寸的、无需外设靠模（叶片本身就是靠模）加工叶片减薄部分的半自动机床。

采用了一台能同时加工叶片内弧和背弧的半自动六轴机床，可减轻手工抛光劳动量，改善叶片质量。

采用了一台磨削倒角的半自动机床。

采用了 56 种规格尺寸的专用机床。

正在研制一整套自动化检验工具。

叶片毛坯和成品的形状和尺寸予定用多尺寸可调检查仪进行检验。其中将广泛采用与转子流量计组成的千分表配合使用的气动式传感器，带色灯信号指示系统的电触头传感器以及其它一些使测量过程设自动化的措施。由于采用新的检验工具来检验叶片的形状和尺寸，可节省许多费用。

对提供给工厂的成型轧材和锻件的材质检验采用自动化检验工具具有很大的经济效果。这里指的就是所谓进厂检验。这时通常用的是带有手动式传感器的万能超声波探伤仪和涡流探伤仪，如果在列宁格勒透平叶片制造厂也采用这些仪器，则需要 100 名检查员。为了提高检验效率，正在研制一些可把毛坯机械化传送到探伤仪下面去的专用装置。如果是废品，则由自动涂色标记器在毛坯表面作上记号，同时也能用自动记录器记录下来。这时操作者的任务仅限于观察探伤仪和机械化工具是否正常工作。

采用涡流探伤仪来检验材质的表面缺陷，超声波探伤仪来检验其内在缺陷，精密浇铸毛坯的内在缺陷将用 X 光电视侵入检查仪进行检验；翻料时利用遥控翻料器，由于不需要再采用照相软片等而大大提高了劳动生产率和经济性。

已拟定了列宁格勒透平叶片制造厂的综合机械化备料车间的设计，设计了一些综合自动化和机械化的生产线、专用机床和自动机床，确定了通用机床和零件工序间传送工具的机械化。

图 2-2 所示是棒料校正线。棒料用桥式起重机从钢材仓库送到机械化校正线的受料台上，进行弯曲和密实性的检验。校正过程是机械化的，棒料的弯曲利用在示波器萤光屏上输

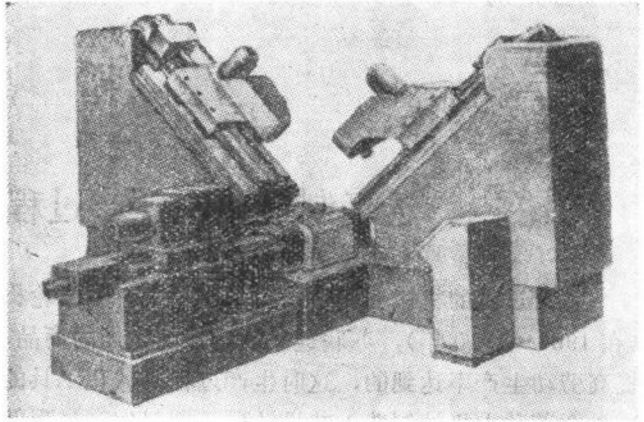


图2-1 带有自动分配余量装置、加工基准面用的机床

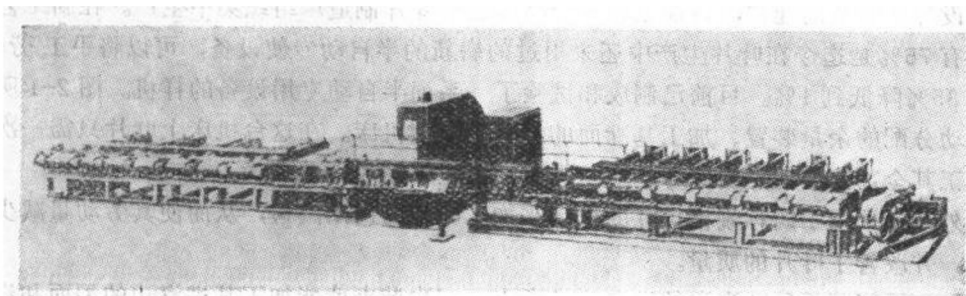


图2-2 棒料校正线

出的传感器进行测量，而棒料的密实性（是否存在内部缺陷）用自动循环的超声波探伤仪进行检验。

棒料在经过校正和检验后通过专门的底槽送到毛坯切割打印线（图 2-3）。这些生产线是在切料铣床、砂轮切料机和曲柄式剪床的基础上设计的。根据材料牌号以及对毛坯精度和端部光洁度的要求不同，棒料被分别送到相应切割打印线的受料台。在这些生产线上棒料以自动循环的方式在辊道上运出，进给切割段的挡板处，进行毛坯切割、打印并运出包装。

毛坯在切割打印后送往自动倒棱机（图 2-4）。

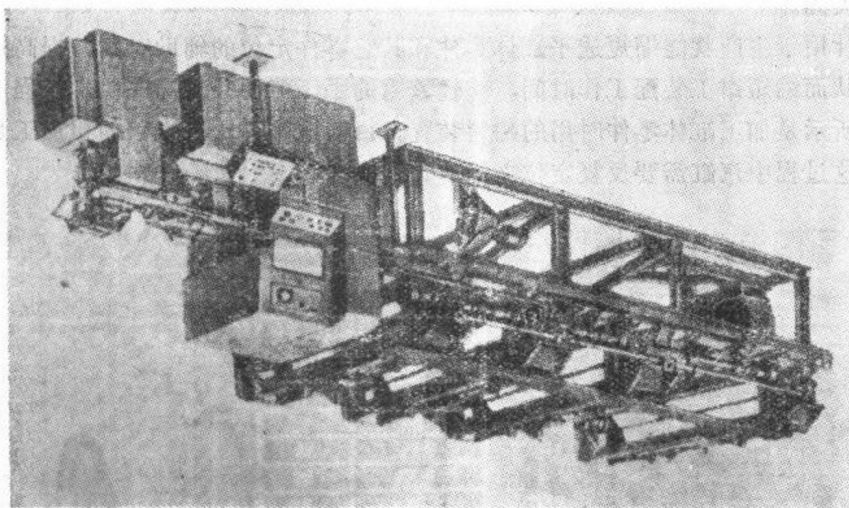


图2-3 毛坯切割打印线

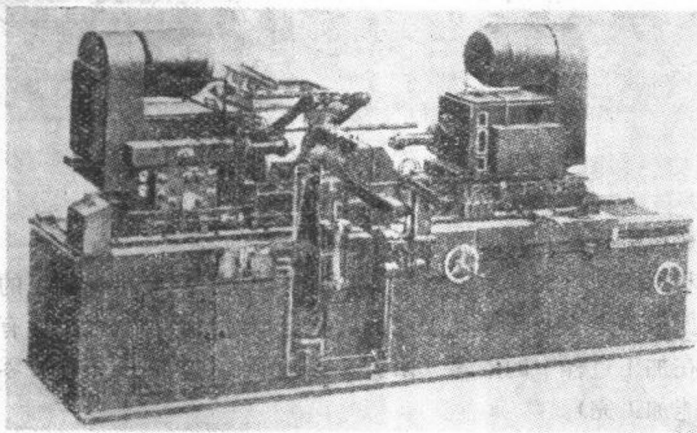


图2-4 自动倒棱机

矩形截面的毛坯从盒式夹具中自动地装入自动倒棱机，而加工后的毛坯送出进入盒式夹具也是自动的。圆截面的毛坯则利用专门的拣选槽把毛坯送入自动倒棱机的受料槽。零件在加工后落入料夹中，然后被送至磨削段。

由于采用这些机械化生产线和自动化专用机床，而提高了经济效果。此外，也应该提到在透平缸体零件和其它一些主要零件的加工机械化方面采取的某些独特的措施。

列宁格勒金属工厂现用的缸体零件制造工艺不能保证工艺基准稳定不变，因此要采用通用化机械化的工艺装备有困难。

为了消除这些缺陷，在缸体零件的图纸上标有专门的工艺标准，籍此可以实现透平缸体零件的机械化定位、调整和夹固。

对用来作为零件定位基准和夹固处的工艺搭子的各要素已进行了研究，并给出了其加工时的连系尺寸。

研究所已研制了一整套专用台架，用以在机床上利用定位的工艺搭子进行缸体零件的定位、调整和夹固。

将此设计用于生产就能缩短透平缸体零件和其它零件定位的辅助时间，提高缸体零件的加工质量，从而缩短钳工装配工作时间，减轻繁重的手工劳动并提高文明生产程度。

图 2-5 所示是加工缸体零件时用的翻料装置。目前透平高压缸半部的粗加工是在搪床上进行的，在这过程中汽缸需要反复定位夹固达数十次。

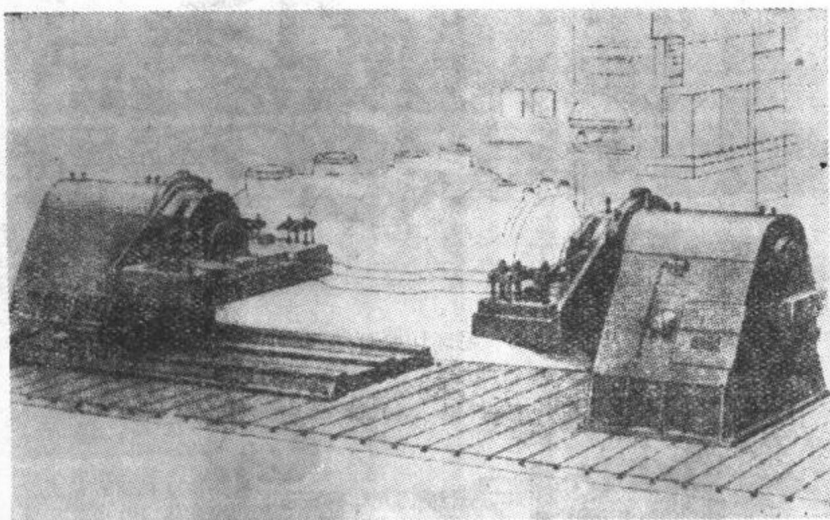


图2-5 加工汽轮机缸体零件时用的翻料装置

每调整一次就要占去很多时间，而且是用手工进行的。

根据所编制的利用翻料机在搪床上对缸体零件半部进行组合机械加工的工艺过程可以保证完成规定工序的搪床高度专业化，大大减少反复定位的次数，减轻数量有限的吊车设备的负担，使缸体零件在加工过程中的翻料（回转）实现机械化，从而不需要零件多次调整夹固（零件一次装夹就能加工完）。

仅采用一个翻料机就可减少辅助工作量达 2000 定额工时以上。已为列宁格勒金属工厂完成了此项设计，并也将在其它各工厂加以采用。

下面介绍一下有关大型机床上繁重工作机械化方面的工作。乌拉尔透平发动机厂 1M557 型立车的改进就是一个例子。

在该立车上可以进行叶轮之类零件的找正和夹固。由于采用了预定的机械化，使辅助时间减少了 20%。

已完成了在涅瓦列宁工厂建造一个汽轮机和燃气机叶轮和外壳粗加工工段的设计。在此

工段中用改进现有设备并使主要生产过程和辅助生产过程实现机械化的方法可提高劳动生产率。综合解决了有关制造工艺和生产组织方面的问题后就可以在现有生产面积和现有设备的条件下提高劳动生产率20%。

在研究工艺组织问题的同时也进行了毛坯通用化工作,从而能采用高度机械化的组合加工方法。

数控机床记录在程序存储器中的协调程序能自动地保证全部长度连接尺寸。予定将用数控重型车床进行转子主轴和装配后之转子的机械加工,用数控专用重型机床来搪削高压缸和中压缸的通流部分,用单柱和双柱两种型式的数控专用立车来进行汽封体和隔板的精加工。

这些机床的研制将由全苏动力机械制造工艺设计研究所、透平工业管理局的各工厂及重型机床工业管理局的各机床制造厂共同完成。

编制制造这些机床的技术任务书和技术文件方面的所有原始资料应该在1971~1975年内完成,而花盘直径达3200毫米的立车是可以制造出来的。

同1965年相比,本部门的焊接构件的生产量到1970年提高了41%,而按每个焊接工的生产量提高了43.6%,这主要是由于提高了备料和焊接工作的机械化程度。譬如,气割工作的机械化程度在1965年为43.2%,而到1970年已达到51.3%;焊接工作的机械化程度在1965年为34.7%,而到1970年已达到47.6%。

列宁格勒金属工厂的气割工作机械化程度最高,达69.8%。其原因是该厂建造了一个专门的划线备料车间并且采用了全苏动力机械制造工艺设计研究所设计的气割机械一条线。

根据这条线的使用经验,已为哈尔科夫透平制造厂和司兹兰重机厂设计了新的气割一条线,其中利用“Одесса”型摄影复制控制系统实现了气割机的钢材传送工序机械化。被切开的钢板利用机械化的搬运小车运到工作场地进行打号、切割、倒棱、用电磁装置整理并进行机械化清渣。这条线可以装成1~3条支线,每条支线有3~5台机器。这条线的生产效率是每年可气割1万个毛坯。目前这条气割线已在上述两厂进行安装。

各厂采用气割一条线后将使气割工作的机械化程度高到70%。

近几年内,在本部门各工厂中,除了采用手电工弧焊以外,还广泛采用了各种各样的机械化焊接方法,如自动化和半自动化的气体保护焊、接触焊和摩擦焊等。

为涅瓦列宁工厂设计了一条制造燃气轮机空气回热器管束的生产线,其装配和焊接过程全盘自动化。

该生产线的采用使繁重的手工劳动实现机械化,将大大缩短空气回热加热器的生产周期。

与1970年相比,焊接构件的生产量到1975年应提高40%。在同时期内,焊接工作的机械化程度应提高55%,而气割工作的机械化程度应提高58%。

为了提高机械化程度,除了采用上述各生产线以外,还打算广泛采用各种高功率的焊接方法,如使用内装药粉的管状焊丝的窄间隙焊接法,使用涂层中含铁粉的焊条,用强规范细焊丝的焊接法以及混合气体保护焊等等。

目前,在本部门所有各厂无一例外都是采用手工装焊。但是,先进经验表明,如果采用带气动、液压和电磁夹具的便携式机械化工具以及万能装配夹具就能提高装配效率。在1971~1972年内全苏动力机械制造工艺设计研究所和本部门各工厂应该对各种焊接构件进行分析,以便确定采用机械化工具和万能装配夹具的经济合理性。

辅助过程和维护过程的机械化目前已成为进一步提高劳动生产率的一个最重要因素，而在许多情况下已是决定性的因素。

本部门的机械化程度在 1965 年为 65%，而到 1970 年为 83%。

在各企业正在开展对成箱制品实行多层贮存和运输的工作，使用配备着能自动寻找零件的堆料机的仓库，购买先进的起吊运输设备，如起重机、堆料起重机、电动式自动装卸机及内燃机车等等。

但是，各企业在这些工作方面实现机械化的现状和发展情况不能认为是令人满意的。

在各企业中应该成立一些从事辅助工作机械化和辅助工人劳动组织的部门。

在装卸、运输和贮存工作的总劳动量中，货物本身的运输量仅占 20%，而 80% 是与装卸、移交给每台机床、堆放在工作场地等有关的转运工序。

应该将转运工序减少到最低程度。解决这个任务的最主要因素之一是采用生产运送箱。

目前全苏动力机械制造工艺设计研究所已进行了运送箱的通用化和标准化工作，并确定了其在各工厂的需要量。运送箱必须集中生产，因为由每个企业分别生产，其成本高、质量低。

准备在本部门的某一工厂组织运送箱的集中生产，可提高经济效益。

起吊运输工作实现综合机械化和自动化的严重障碍是仓库设施的现状。

对透平制造行业进行的分析表明，在仓库总面积中，只有 35% 是非露天仓库，而其中 45% 是木棚式仓库、临时性仓库和陈旧的砖房，在这种条件下要实现贮存工序的机械化是不可能的，也是不妥当的。

预定到 1975 年在本部门将增建 76 个仓库，除了采用先进的起重运输设备外，也将采用通用化的运送箱，使这些工作的机械化程度提高到 90%。

综上所述，可以得出结论，即使对像透平制造业这样的单件和小批量生产的条件来说，实现生产过程的机械化和自动化在经济上往往也完全是合算的。

全苏动力机械制造工艺设计研究所已制订了在实现生产机械化和自动化方面的长远行动规划。

《Механизация И Автоматизация производства》, 1972, №10, 1-4

哈汽厂情报组译

哈汽厂王苗法校

三、透平叶片制造的新工艺

苏联决定在列宁格勒建立一个集中生产汽轮机和燃气轮机装置叶片的唯一专业化企业（即列宁格勒透平叶片制造厂）。这个决定确立了像透平叶片这种加工量占透平总加工量的 30~35%，精度高、技术上复杂的零件综合生产过程的专业化的方针。经济核算已证实此决定的合理性。

加工叶片工作部分和根部型线所要求的精度和光洁度、叶片沿高度是变截面的、在铣削叶片型线部分过程中，由于其刚性不够而产生变形现象，以及其他一些工艺上的困难，对工艺人员提出了更高的要求。其中较重要的是研制一些原理新颖且生产率高的专用设备和完善

的检验工具。

本文不可能全面阐述包括原始毛坯制造在内的透平叶片综合生产过程的工艺原理和组织原理, 所以只是介绍了一些在已批准的综合技术任务书中有关叶片毛坯机械加工方面规定的新工艺数据。

目前在进行毛坯机械加工的一些透平制造厂叶片车间装备的主要是通用设备, 这些设备不能保证叶片加工的高效率和所要求的精度。存在着叶型部分变形, 特别是大功率透平低压部分的末几级叶片, 存在其几何轴线在径向和轴向的偏差(“倾斜”), 采用砂轮手工抛光叶型部分而产生的不均匀度及其他偏差。加工叶片的工艺方法也应该认为是不完善的, 而解决与叶片工作部分和叶根截面成型有关的最复杂工艺任务的途径又是多种多样的, 而且在工艺上也未统一。

在透平制造厂叶片间车中, 专用机床, 数控机床和叶片电化学加工设备的应用, 同样也是不够的。

除该计划外, 自 1971 年在各透平制造厂中已采用了由瑞士“史塔拉克”(Starrag) 公司设计和制造的五轴专用靠模铣床, 可对长达 1000 毫米的叶片工作部分进行圆铣。

在一个工厂中集中生产透平叶片, 首先予示了叶片加工工艺的质的变化, 其中包括扩大采用了原理新颖的专用设备比重的途径。(见附表)。

附 表

专 用 设 备 类	所 占 比 重 (%)	
	透平制造厂的叶片车间	列宁格勒透平叶片制造厂集中生产
专用铣床和车床	5.4	22.0
专用刨床	2.4	0
专用拉床	0.1	5.6
数控机床	0.4	9.6
电化学加工和电脉冲机床	1.5	7.3
叶片机械磨削和抛光机床	4.8	25.5
共 计	14.6	70.0

机床制造工业部所属各级设计部门和机床制造厂应设计、制造并向列宁格勒透平叶片制造厂提供所需要的专用设备和仪器, 以装备正在建造的各叶片机械加工和电化学加工车间。

透平制造部门的主要工艺设计研究所——全苏动力机械制造工艺设计研究所与列宁格勒透平叶片制造厂的工程技术人员在各透平制造厂的参与下, 共同编制了设计、制造的 60 种型式专用机床和仪器的技术任务书, 并与机床制造工业部取得了一致意见。

这些机床和仪器根据所完成的基本工艺工序的任务, 可以分成以下几类:

1. 加工原始工艺基准的机床;
2. 加工叶片工作部分型线用的铣床、电化学加工机床和电脉冲加工机床;
3. 铣削叶片端面、斜面和径向面用的机床;
4. 同时加工叶片进出汽边用的机床;
5. 铣削叶片工作部分与叶根过渡段背弧或内弧型线用的机床;
6. 加工叶根型线用的铣床和拉床;
7. 用宽砂带抛光叶片型线部分用的机床;

8. 叶片的振动抛光机床;

9. 对加工过程中的叶片原始毛坯和叶片成品进行机械化检查用的测量装置和仪器。

在所编制的研制新设备的技术任务书中,提出了下列工艺基础:

在满足所要求的叶片加工精度和光洁度的同时达到高生产效率;

加工工艺基准时,采用专门的自动化装置来保证余量的均匀分布;

机床的工作过程实现自动化和半自动化;

采用能同时加工若干只叶片的多工位和多轴组合加工的原理;

在以铣削、车削、抛光和其它工序加工叶片零件时,采用高精度的靠模和跟踪装置。

下面列举一些在技术完善性方面最令人感兴趣的新型设备:

1. 加工基准面和基准孔用、带有均匀分配余量装置的半自动定心铣床;

2. 能同时圆铣长达 1250 毫米的叶片工作部分全型线的六轴半自动靠模铣床;

3. 能加工长达 1250 毫米的叶片内弧和背弧型线的宽砂带半自动靠模抛光机;

4. 加工叶片全型线的半自动振动抛光机;

5. 沿齿形叶根和其它复杂叶根圆弧,同时拉削叶根两侧的半自动圆拉机床;

6. 能加工长达 12.50 毫米的叶片工作部分全型线的电化学加工机床,这种机床预定用来加工耐热合金和钛合金叶片;

7. 确定叶片材质和几何尺寸的机械化检测装置和仪器;

机械制造业约有 20 个企业和单位参加了研制这些设备的工作。

目前已制造出 25 台新设备样机,其中 16 台已安装在列宁格勒透平叶片制造厂的试验车间,正在进行调试,并参与叶片成品的商品制造。

目前对某些型式的机床样机,已经可以按照技术任务书的设计要求来鉴定。其样机在列宁格勒透平叶片制造厂已经过工业性试验的考验。

1. $\Gamma\phi 1325$ 型半自动靠模铣床,其用途是按高度和角等分线同时铣削两个叶片的出汽边,按自动液压靠模方式工作,叶片和刀具采用快速液压夹紧装置。

加工精度为 ± 0.1 毫米,光洁度为 $\nabla 5$ 。

该铣床的工业性试验表明,其生产率比预计的高 1.5 倍,而且使用、调整和操作都很方便。

2. $\Gamma\phi 1330$ 型双向液压靠模系统机床,其工作台是联动进给的,用来加工 90° 角以内两个座标中的复杂共轭面。(例如内外球面倒圆)。

该机床能保证加工表面的预计精度和光洁度。而在加工预定规格尺寸之叶片时,其生产效率比设计值要高。

3. 加工叶片顶部减薄部分的 $\Gamma\phi 1331$ 和 $\Gamma\phi 1332$ 型机床。由于其结构上采用了新的液压靠模系统,并根据机床的布置,能在加工等距离的复杂曲面型线的同时也加工端部。其精度为 ± 0.1 毫米,光洁度为 $\nabla 5$ 。

等距离靠模是由专用液压自动探索装置和传感器系统实现的。

该机床实际达到的生产效率超过了设计值的 2~3 倍。

4. 沿斜度和高度同时加工两个叶片进出汽边的 $\Gamma\phi 1326$ 、 $\Gamma\phi 1327$ 和 $\Gamma\phi 1328$ 型半自动专用机床。能保证预计的精度、表面光洁度和生产效率。

5. 同时加工三个叶片工作部分内弧和背弧型线的专用三工位电脉冲机床,可保证去掉

原始模锻毛坯的加工余量（主要是对耐热合金叶片而言）。并使叶片型线部分留下的余量均匀分布，每侧保持一稳定值，其精度为 0.5 毫米。这一点对下一部在电化学加工机床上加工型线来说，具有特别重要的意义。

该机床的型号是《MЭ-64》由金属切削机床实验设计局设计，样机由特罗伊次克机床制造厂制造。目前正在列宁格勒透平叶片制造厂进行工业性试验。

通过首批样机的试验，可以做出结论。设计者和机床制造者在研制叶片加工专用设备方面进行了大量的工作，并在成批制造这些机床时已考虑到在首批样机调整使用中出现的缺点和个别缺陷。

工厂在 1973 年拟安装一台独一无二的 $\Gamma\Phi 1344$ 型六轴专用组合靠模铣床，该铣床由工艺专业设计局和机床制造局设计，由高尔基铣床厂制造，用于圆铣长达 630 毫米的叶片工作部分全型线。

该机床在高尔基铣床厂，经过了各主管部门共同试验，表明有很高的工艺性能：叶片每侧加工精度在 0.15 毫米以内，同时加工六个 600 毫米长的叶片周期在 5 个小时以内，包括横向毛刺高度在内的加工表面光洁度为 $\nabla 3$ ，机床使用时操作方便。

由于采用了专用的六槽式传感器，靠模系统工作的精度可达 20~30 微米。有根据预料，这台机床的技术操作性能将不亚于瑞士《史塔拉克》公司的靠模铣床。

为加工长达 1250 毫米的叶片而设计的类似机床样机（ $\Gamma\phi 1345$ 型），已由高尔基铣床厂制成并在该厂进行了试验。

在 1973 年内，列宁格勒透平叶片制造厂，将从机床制造者得到近 20 种型式的专用机床样机，并进行安装调试工作，根据其结果将成批订制这些机床。以便将它们陆续安装在该厂正在建造的各叶片车间内。

在实施相应计划的同时，全苏动力机械工艺设计研究所和列宁格勒透平叶片制造厂同机床制造工业部的有关单位正在编制和协商关于研制一系列 24 台数控机床的技术任务书。其中包括以更高的精度圆铣叶片工作部分，加工样板、靠模和电极的机床。

这样，在各叶片机械加工和电加工车间的厂房内安装的设备总数 772 台中专用机床将为 534 台，约占 70%，这表明叶片生产的工艺装备水平是很高的，并能在相当程度上确保叶片的质量。

各叶片机械加工车间工艺组织的原则是采用成批生产的工艺路线。予定将按原始毛坯型式、叶片几何特性和所用材料牌号的不同，组织 17 条可调专用流水生产线。如：

加工大功率汽轮机长叶片的流水线；

加工燃气轮机铸造叶片的流水线；

加工型轧叶片的流水线等。

这些工艺线予定分布在正在建造的约 60000 平方米面积厂房的五个叶片车间内。上述面积中还包括叶片的储存和包装车间，工厂的试验部门和某些生产部门。

考虑到初步编制的工艺组织设计的时隔已久，并考虑到苏联国家计划委员会的动力工业发展远景。全苏动力机械工业设计研究所，列宁格勒重型机器设计院和列宁格勒透平叶片制造厂正在共同进行该设计的修改工作，在设备组成和工艺路线组织方面将有某些质和量的改变。

由于篇幅有限，不可能详细地评论叶片机械加工的特征，只是想通过所叙述的材料使对

新工艺的技术水平和独特性有个概念。

为了较快地建立起对 50、80 和 120 万瓩大型汽轮机动力装置叶片的机械加工能力和扩大大功率动力燃气轮机装置的生产，需要增加基本建设和投资，在目前动力机械工业蓬勃发展的形势下，拖延建设周期不可避免的将导致所研制的专用设备和工艺组织设计原理无形之中过早的陈旧。

非常期望在本五年计划内（1971~1975年）基本上完成该厂的整个第二期工程并过渡到向各透平制造厂供应叶片成品。

除了以上提到的生产透平叶片新工艺的一系列优点以外，今后全完有条件将各透平制造厂叶片车间转为生产其他零件，利用叶片车间的生产能力和面积，来进一步发展透平制造业。

设计者的计算表明，根据透平叶片制造厂全部投产的设计能力，将可使各透平制造厂有可能余出约 30000 平方米的生产面积和约 7000 名职工。

《Энергомашиностроение》

1973, №1, 29~31

哈汽厂情报组译

哈汽厂陈志康校

四、透平叶片的自动生产线

一条定名为“机械加工中心”的全盘自动化生产线最近已在罗尔斯·罗依斯 (Rolls-Royce) 航空发动机公司的希林顿 (Hillington) 工厂和格拉斯哥 (Glasgow) 工厂投入生产，可以加工图 4-1 所示的燃气轮机装置中各压气机级所用的 11 种规格尺寸的动叶片根部和顶部。叶片在生产线上成批生产，一批达 1500 片，而完成封装、拉削、去毛刺和振动抛光等各个工序的整个周期是 30 秒。这条自动生产线的主要部分由斯特夫利 (Stavelly) 工业集团的成员拉普安特 (Lapointe) 机床公司制造，其中包括 8 台 SRV 型立式拉床，并配有工件自动传送系统。图 4-2 是生产线中应用的 Lapointe 机床群。

在生产线起点的一台单独的封装机上（图 4-2 的左侧）用低熔点的锡铋合金 (Cerrotru) 把 IMT-679 钛合金制造的叶片锻件加以封装。此台封装机由布罗斯格罗夫 (Bromsgrove) 工

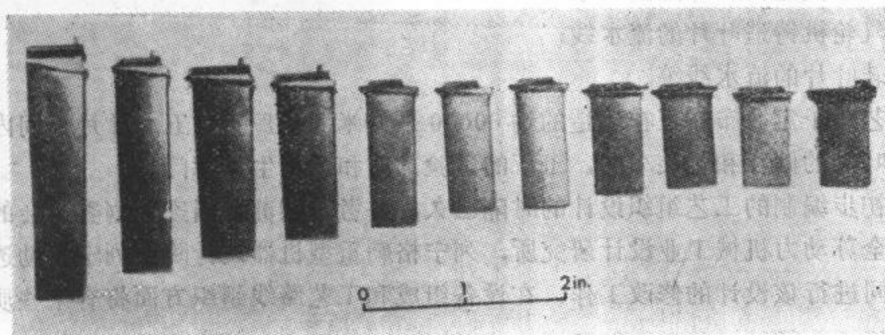


图4-1 自动生产线所加工的11种规格尺寸的叶片

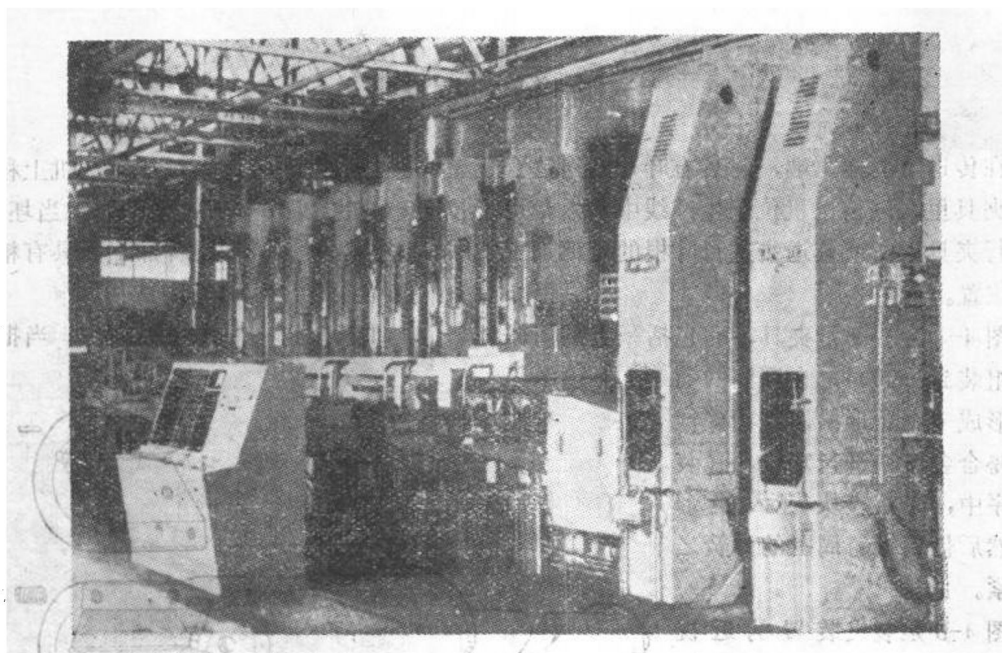


图4-2 8台Lapointe SRV型立式拉床，配有工件自动传送系统。是罗尔斯·罗伊斯公司希林顿工厂生产燃气轮机叶片的全盘自动化生产线中的主要设备

具模具公司制造，它有一个带有三个模子的回转工作台。图3是此封装机的近视图。叶片锻件先被装入一个处于操作工位的模子里（见图3之左侧），然后用一些销子顶住：在叶片型面上有4点相接触，在叶片出气边上有2点相接触，在叶根底面有1点相接触。使用这种方法，当叶片锻件用低熔点合金封装之后，能保证叶片锻件有准确而固定的位置。

在工作台转位之后，用希林顿填料机公司制造的一台填料装置（见图4-3后方）将一定数量的锡铋合金溶液灌入模子。当工作台再次转位时，摆动式气筒A即向下摇摆，然后活塞轴向移动，将上述模子送入生产线中。这时，模子被打开，工作台下面的柱塞向上移动，把封装有叶片锻件的锡铋合金坯块顶出并送至倾斜的滚筒传送机B的上端。坯块从这个传送机上转到一传送带上，然后被送到生产线中的第一台拉床上。

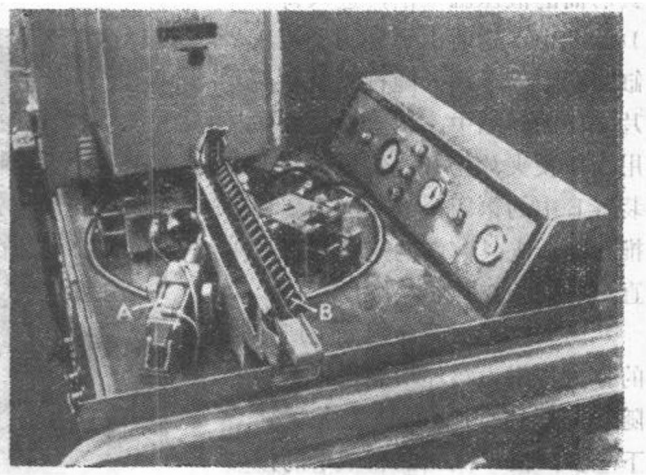


图4-3 在进行拉削和其它工序之前，用低熔点合金封装叶片锻件的封装机

在整个封装过程中，工作台总共转位六次，而锡铋合金的冷却时间需50秒，这样封装机每隔25秒便提供一块坯块。各模子只按一种最长尺寸的坯块浇铸，也即能封装此生产线上加工的最长叶片。