

压气机叶片生产 新工艺

航空工艺技术编辑部

1976年8月

航空工艺技术专题资料
压气机叶片生产新工艺

*

北京市1665号信箱出版发行

(内部资料)

*

1976年8月 书号: 0003

目 录

前言

压气机八、九级转子叶片生产新工艺线

一、高速锤挤压形变热处理制坯工艺	5
(一) 概述	5
(二) 挤压工艺	5
(三) 挤压工艺分析	7
(四) 挤压叶片的质量分析	8
(五) 模具设计	9
(六) 挤压设备	10
(七) 存在的问题	11
二、转子叶片加工工艺	11
(一) 叶片的设计特点及对冷轧工艺的影响	11
(二) 工艺程序	12
(三) 新工艺中主要工序介绍	15
(四) 冷轧前后工序安排的说明	25
(五) 冷轧中的几个问题	27
三、高速锤挤压制坯及冷轧转子叶片的组织性能研究	28
(一) 高速锤挤压形变淬火加热制度的选择	28
(二) 高速锤挤压形变淬火叶片回火温度的选择	31
(三) 冷轧叶片稳定回火温度的选择	34
(四) 冷轧变形对 1Cr11Ni2W2MoV 钢组织性能的影响	37
(五) 冷轧压气机转子叶片的组织性能	42
(六) 初步结论	47
(七) 今后的工作	48
参考文献	48

压气机六至八级整流叶片生产新工艺线

一、压气机整流叶片加工工艺	49
(一) 整流叶片的改进设计	49
(二) 工艺程序	49
(三) 新工艺中主要工序介绍	53
(四) 冲边取形工序中的注意事项	57
(五) 有关工序的安排	58
二、整流器内、外环的加工工艺	58

(一) 工艺程序	58
(二) 主要工序的工艺分析	61
三、整流器的焊接工艺	64
(一) 工艺程序	64
(二) 主要工序的工艺分析	67
(三) 发动机喘振试验	75
四、Cr17Ni2 板材冷轧整流叶片的组织性能研究	76
(一) 冷轧及其退火对板材组织性能的影响	76
(二) 冷轧叶片热处理制度的选择	81
(三) 冷轧整流叶片的组织性能	83
(四) 初步结论	88
参考文献	88

目 录

前言

压气机八、九级转子叶片生产新工艺线

一、高速锤挤压形变热处理制坯工艺	5
(一) 概述	5
(二) 挤压工艺	5
(三) 挤压工艺分析	7
(四) 挤压叶片的质量分析	8
(五) 模具设计	9
(六) 挤压设备	10
(七) 存在的问题	11
二、转子叶片加工工艺	11
(一) 叶片的设计特点及对冷轧工艺的影响	11
(二) 工艺程序	12
(三) 新工艺中主要工序介绍	15
(四) 冷轧前后工序安排的说明	25
(五) 冷轧中的几个问题	27
三、高速锤挤压制坯及冷轧转子叶片的组织性能研究	28
(一) 高速锤挤压形变淬火加热制度的选择	28
(二) 高速锤挤压形变淬火叶片回火温度的选择	31
(三) 冷轧叶片稳定回火温度的选择	34
(四) 冷轧变形对 1Cr11Ni2W2MoV 钢组织性能的影响	37
(五) 冷轧压气机转子叶片的组织性能	42
(六) 初步结论	47
(七) 今后的工作	48
参考文献	48

压气机六至八级整流叶片生产新工艺线

一、压气机整流叶片加工工艺	49
(一) 整流叶片的改进设计	49
(二) 工艺程序	49
(三) 新工艺中主要工序介绍	53
(四) 冲边取形工序中的注意事项	57
(五) 有关工序的安排	58
二、整流器内、外环的加工工艺	58

(一) 工艺程序	58
(二) 主要工序的工艺分析	61
三、整流器的焊接工艺	64
(一) 工艺程序	64
(二) 主要工序的工艺分析	67
(三) 发动机喘振试验	75
四、Cr17Ni2 板材冷轧整流叶片的组织性能研究	76
(一) 冷轧及其退火对板材组织性能的影响	76
(二) 冷轧叶片热处理制度的选择	81
(三) 冷轧整流叶片的组织性能	83
(四) 初步结论	88
参考文献	88

压气机叶片生产新工艺

黎明机械厂

前言

在毛主席的革命路线指引下，在无阶级文化大革命和批林批孔运动的推动下，在部和省、市委的正确领导下，我厂职工以阶级斗争为纲，坚持党的基本路线，高举“鞍钢宪法”伟大红旗，深入开展工业学大庆群众运动，贯彻执行**独立自主、自力更生**的方针，为了改变工艺技术的落后面貌，从一九六八年开始，对压气机转子叶片和整流叶片的生产工艺进行了技术改造。全厂开展了大会战，组织了“三结合”革新组，与专业部门一起，先后自制了高速锤、轧机、真空钎焊炉等设备 36 台，工装二百多项，同时从产品设计、制造工艺、工厂试车、外场试飞到冷轧叶片的机械性能、材质、冶金性能等方面入手，研究了几百个课题，做了几千次试验，对设计、工艺进行了初步定型，基本上摸清了冷轧叶片与模压、抛光叶片的各自特点，为新工艺线投产提供了科学依据。经过六年多的努力，在兄弟单位的大力支持下，已获得了初步成果。到目前为止，八、九级转子叶片生产新工艺线已投入了批生产，六至八级整流叶片生产新工艺线开始了试生产。这是文化大革命的胜利成果，是对右倾翻案风的有力回击。

转子叶片生产新工艺线是采用高速锤挤压毛坯、纵横向组合拉削棒头、辊轧叶身、光学投影仪检查等新工艺方法，代替了原来的模锻毛坯、靠模铣叶身、砂带磨叶身、部分手工抛光等旧工艺。整流叶片采用“掐头去尾”的结构，以板材下料、辊轧叶身、冲切取形代替原来的精铸毛坯、铣削叶身及安装板、砂带磨叶身、手工抛光叶身等旧工艺。整流器用钎焊组合代替原来的螺钉连接组合。

从目前投入批生产和试生产情况看，两条叶片生产新工艺线投产后，对于提高我厂压气机叶片的生产能力，将起到较大作用。仅以六至九级转子叶片及六至八级整流叶片为例，全部投产后，预计其技术经济效果如下：

1. 提高发动机的性能

如整流叶片生产新工艺线建成后，可以使发动机减少 646 个小零件，发动机本身重量减少 5 公斤，提高发动机的推重比。

2. 节约人力、物力

减少生产工人二百余名，节约生产面积近一千平方米。每年为国家节约原材料七十多吨。辅助材料仅以砂带磨一道工序为例，每年节约砂带七十六万条，折合幅宽三尺六寸的工业用布三万四千一百多尺，折合人民币二十万四千余元。节约大量工装，腾出标准设备和非标准设备一百一十二台，同时减轻一千六百吨曲轴压力机等四台大型锻造设备的负荷百分之六十以上。

3. 改善劳动条件

叶片手工抛光量占叶片生产总工时的百分之五十，新工艺线可甩掉手工抛光量的百分之七十以上，使百分之七十的抛光工人，从较差的劳动条件下解放出来。

4. 降低叶片生产成本

仅以六至八级整流叶片为例，叶片成本由原来每片 4.86 元降低到每片 1.5 元，每年为国家节约人民币八十五万元。

5. 提高生产能力

叶片生产车间是发动机生产的短线。新工艺线投产后，使叶片生产能力增长 1.5 倍以上。还可以减轻其它车间的生产压力。

两条叶片生产新工艺线，虽然部分地投入了批生产，但时间还不长，对有的问题还没吃透，问题暴露的还不够充分，还会出现一些前进中的新问题。我们决心在较短的时间内，使新工艺线继续臻于完善，为全部投产而努力奋斗。

由于我们的实践经验较少，认识水平也很低，在总结中可能存在很多错误，请同志们批评指正。

压气机八、九级转子叶片生产新工艺线

一、高速锤挤压形变热处理制坯工艺

(一) 概述

过去,我厂压气机转子叶片毛坯生产,一直沿袭落后的苏修工艺。虽然几经改造,采用了半精锻工艺,但仍然存在下列缺点:

1. 工序多,周期长,耗费大量人力电力。
2. 材料利用率低,仅18.8%。
3. 模具数量多,制造费用高。
4. 需要数台大吨位压力机和大功率电炉。

遵照毛主席关于“我们必须打破常规,尽量采用先进技术”的教导,我们学习和引用了高速锤挤压工艺。对1Cr11Ni2W2MoV钢制压气机转子叶片,采用小余量挤压形变热处理制坯工艺,充分发挥了材料的性能,精化了毛坯,细化了组织,提高了机械性能,从而延长了叶片的使用寿命,其经济效果是显著的(见表1-1)。

表1-1 八、九级压气机转子叶片毛坯挤压与模锻经济效果比较

加工方法		模 锻	挤 压	挤压节约(%)
加工余量(毫米)		1.0±0.2	0.4 ^{+0.2} _{-0.1}	
工 序 数		29	13	55.2
材料消耗(公斤)	单 件	0.16	0.075	57.2
	单 台	20.8	9.75	
模 具 数(套)		4	1	75
锻压设备数(台)		4	1	75
加热设备数(台)		11	3	72.7
主要工序人员		17	8	53

(二) 挤压工艺

我厂生产的压气机转子钢制叶片,均为1Cr11Ni2W2MoV马氏体型不锈钢,其化学成分见表1-2。

表1-2 1Cr11Ni2W2MoV钢的化学成分(HB773-68)(%)

C	Cr	Ni	W	Mo	V	Si	Mn	S	P
0.1~0.16	10.5~12.0	1.4~1.8	1.5~2.0	0.35~0.5	0.18~0.30	≤0.6	≤0.6	≤0.025	≤0.03

1Cr11Ni2W2MoV 钢具有淬透性高、形变热处理效果好的特点。所以，我们采用了高速锤挤压形变强化和相变强化相结合的叶片制坯工艺——高温挤压形变热处理，从而保证了小余量挤压工艺的顺利开展。

压机机八、九级转子叶片毛坯现行挤压形变热处理工艺（参见图 1-1）：

1. 切料：砂轮切割机，下料公差 ± 0.5 毫米。
2. 滚磨：滚磨机，去除尖边毛刺。
3. 吹砂：吹砂机。
4. 预热并浸涂玻璃：预热 $80\sim 120^{\circ}\text{C}$ ，浸涂 B12 玻璃。
5. 加热：硅碳棒电炉， $1100\pm 10^{\circ}\text{C}$ ，保温 $12\sim 15$ 分钟。
6. 挤压：2.2 吨-米高速锤，一次成型。
7. 打磨飞边：砂轮机。
8. 回火：电阻丝炉 $590\pm 20^{\circ}\text{C}$ ，保温 $3.5\sim 4$ 小时，空冷。
9. 高温碱爆、吹砂：高温碱槽，酸槽，吹砂机。
10. 标印：化学法。
11. 打磨检查硬度处：砂轮机。
12. 检验。

压机机八、九级转子叶片毛坯旧生产工艺主要流程（即模锻工艺，参见图 1-2）：

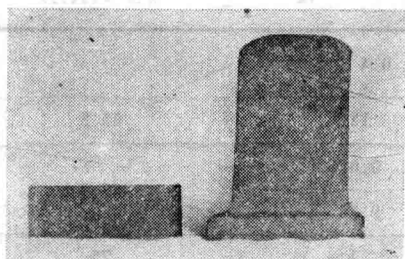


图 1-1 高速锤挤压叶片主要程序

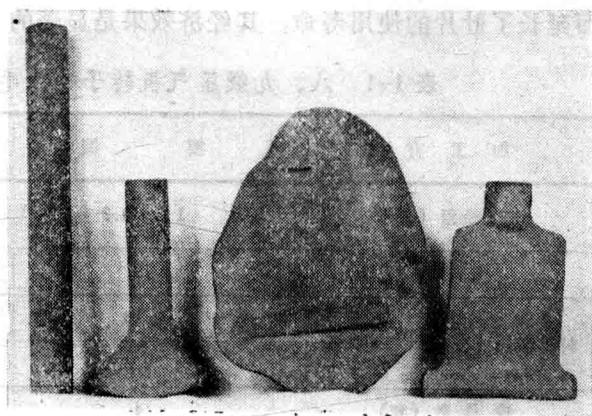


图 1-2 压力机模压叶片主要程序

1. 切料：砂轮切割机。
2. 顶锻：2 吋卧锻机，加热 $1160\pm 20^{\circ}\text{C}$ 。
3. 退火：加热 $720\pm 30^{\circ}\text{C}$ ，保温 $2.5\sim 3$ 小时。
4. 模锻：1600 吨曲轴压力机，加热 $1160\pm 20^{\circ}\text{C}$ ，保温 $5\sim 15$ 分钟。
5. 退火：加热 $720\pm 30^{\circ}\text{C}$ ，保温 $2.5\sim 3$ 小时。
6. 切边：250 吨冲床。
7. 校正：1600 吨曲轴压力机，加热 $800\sim 950^{\circ}\text{C}$ 。
8. 退火：加热 $720\pm 10^{\circ}\text{C}$ ，保温 $3.5\sim 4$ 小时。
9. 淬火： $1000\pm 10^{\circ}\text{C}$ ，升温 1.5 小时，保温 $50\sim 60$ 分钟，油冷。
10. 回火： $580\pm 20^{\circ}\text{C}$ ，保温 $3.5\sim 4$ 小时，空冷。

(三) 挤压工艺分析

压气机八、九级转子挤压叶片毛坯已按新工艺投入批生产，六、七级也即将纳入批生产线。通过生产考验，我们认为上述工艺方案是可行的。

1. 锻件图的设计

为了满足榫头组合拉和叶身冷轧的要求，设计了如图 1-3 所示的锻件图。叶身单面余量 $0.4^{+0.2}_{-0.1}$ 毫米；扭角透光：I-I 截面至 0.4 毫米，II-II 截面至 0.3 毫米，III-III 和 III_a-III_a 截面至 0.2 毫米；定位基准由模具保证。为了确保榫头尺寸精度，在叶尖增加余料槽；为了防止两半凹模回跳错移，啃伤叶片，将叶盆一面榫头和叶身转接圆角以及斜度做了适当调整（详见图 1-3）。

2. 坯料的选择和下料

叶片挤压工艺对坯料提出了高的要求。坯料选择合理与否，将直接影响到叶片的挤压成型、表面质量、尺寸精度和模具寿命。我厂采用热轧扁钢（图 1-4）。要求有较高的尺寸精度，表面不得有裂纹、压坑和氧化皮等。扁钢的宽度方向呈轧制圆鼓形，这有利于挤压成型。

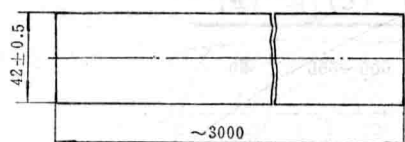


图 1-4 八、九级叶片用热轧扁钢

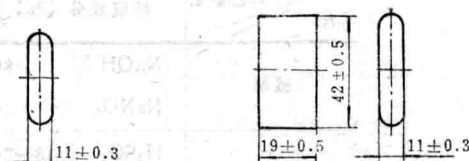


图 1-5 八、九级叶片挤压毛坯

下料在砂轮切割机上进行，坯料尺寸如图 1-5 所示。这种坯料的体积小，周边长，手工打磨毛刺很困难，目前采用在滚筒内滚磨的方法去除尖边毛刺。

3. 毛坯的加热与润滑

加热设备为 25 瓩的硅碳棒电炉。每炉装料 60 件。毛坯放在耐热合金制的托盘上。为了保证强化相完全固溶和玻璃料的完全熔融，其加热保温时间较一般锻造加热时间要长。我们选择保温时间为 12~15 分钟，在炉内停留最长时间不超过 45 分钟。这主要是为了防止玻璃涂层在高温下逐渐氧化和避免组织长大。

为了使玻璃料与毛坯表面吸附良好，毛坯需经吹砂处理，并预热至 80~120℃。然后，浸涂 B12 玻璃剂。B12 玻璃粉的化学成分如下：

表 1-3 B12 玻璃的化学成分 (%)

SiO ₂	BaO	ZnO	CaO	Mo ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	S
42~44	43~45	4.5~5.5	3.7~4.3	3.0~3.5	≤1.0	≤0.03

B12 玻璃剂的配制方法:

“57%的 B12 玻璃粉+3% 苏州粘土+40% 水”混合,再加入 $\geq 50\%$ 总重量的瓷球,一起球磨 10~12 小时,然后用水调整至比重为 1.65~1.75 克/厘米³即可使用。

在玻璃液中加入 5% 水玻璃能增加室温强度,但是玻璃液若长时间放置,因水玻璃发生水解而造成涂敷不均匀。另外,苏州粘土比例的增减将影响玻璃料软化点的降低或提高。

4. 模具的润滑

模具润滑是直接影响叶片表面质量和模具寿命的重要因素。

目前采用的 MoS₂ 润滑剂 (25% MoS₂+25% 石墨粉+50% 炮油) 是比较好的。但是,它对连续工作的模具来说,没有明显的冷却效果。因此,对大量生产、连续作业的挤压模具的润滑,必须探索冷却效果较好的新润滑剂。

另外,在生产实践中,我们发现对新模具必须认真烘烤,使模腔表面形成一层薄氧化膜,防止挤压时发生粘模现象;或者采取在新模腔内涂“L₂”玻璃 (表 1-4) 水溶液的方法,防止粘模现象发生。

5. 表面清理和化学标记

为了满足冷轧工艺的要求,叶片表面不得有氧化皮和残留的玻璃。实践证明,采用普通的腐蚀吹砂方法去除附着的玻璃是很困难的。然而,采用碱爆酸洗的方法 (表 1-5) 却能获得比较满意的结果。

表 1-4 L₂ 玻璃成分 (%)

P ₂ O ₅	Na ₂ O	PbO ₂
66	29	5

表 1-5 碱爆酸洗主要工艺参数

工序	工艺参数	槽液成分 (%)	槽液温度 (℃)	处理时间 (分)
碱爆		NaOH 80	500~550	30
		NaNO ₃ 20		
酸洗		H ₂ SO ₄ 18~20	60~70	10
		NaNO ₃ 5~7		
		NaCl 3~4		
冲洗		高压水		

注:我厂目前未能采用高压水冲洗,而是采用吹砂去除表面挂灰。

挤压叶片叶身很薄,用钢字头打印会引起型面变形。我们采用了橡皮字头化学印记的方法 (表 1-6),得到了满意的效果。

表 1-6 化学标记酸液配方 (毫克)

(四) 挤压叶片的质量分析

HCl (d = 1.17~1.19)	CuO	H ₂ SeO ₃	H ₂ O
30	20	150	10

1Cr11Ni2W2MoV 钢制挤压叶片,在生产中质量是比较稳定的。自生产以来,116 个回火炉批的检验结果,均达到了技术条件要求的各项性能指标,机械性能普遍高于模锻叶片。余量和透光符合锻件图的要求。下面,将生产实践中常见的质量问题及其产生的原因分析如下:

1. 表面缺陷

1) 麻点、凹坑、皱纹和裂纹。产生的原因:原材料 (即热轧扁钢) 表面质量差;坏

料清理不干净，玻璃润滑剂内混入了异物以及涂敷不均匀等。

2) 啃伤和压伤。产生的原因：凹模的两半模挤压时受力不均匀，引起回跳错移，造成叶片的叶身和榫头转接处啃伤。凹模的型腔清理不净，残留的飞边毛刺将叶片压伤。

2. 叶型透光度大

产生的原因：模具制造精度不高；模具定位基准磨损等。

3. 榫头高度尺寸不精确

产生的原因：毛坯下料尺寸不精确；挤压操作速度和设备气压不稳定；冲头镦粗。

(五) 模具设计

1. 模具的结构设计

模具结构经过多次改进后，现基本适应批生产要求。具体改进部件是：①下模套由单层套改为双层套，并设有分模装置；②上模板改为可卸结构，由上模板和易损部分——平锤头构成。这种结构形式简单、安全、可靠、操作方便。具体结构见图 1-6。

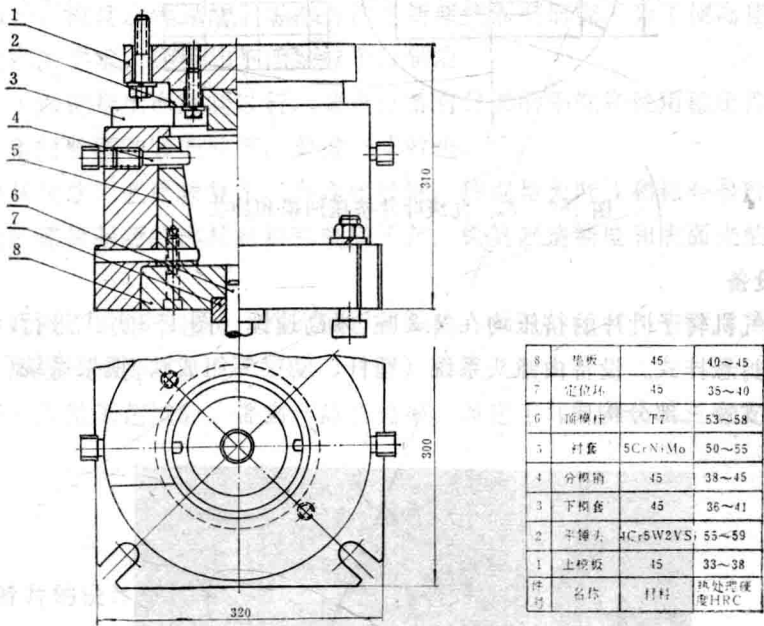


图1-6 挤压模具结构图

2. 凹模设计

挤压凹模先后采用过圆锥体的，方锥体的，铸造的和镶硬质合金的，其中以 4Cr5W2VS 钢制圆锥体凹模使用比较稳定。

从实践中我们体会到：模具寿命长短，模具的材质固然重要，但模具结构合理与否，热处理硬度选择合适与否，都有很大关系。例如对角线分模比按榫头水平中心线分模好得多，出模方便，避免开裂。挤压模的锁根两端与叶身的转接圆角半径应尽量大些，以消除“变形死区”，防止模具胀裂。制造模具时要求用二类量具检查锥度，研配时锥面的着色面积必须达 80% 以上。具体结构见图 1-7。

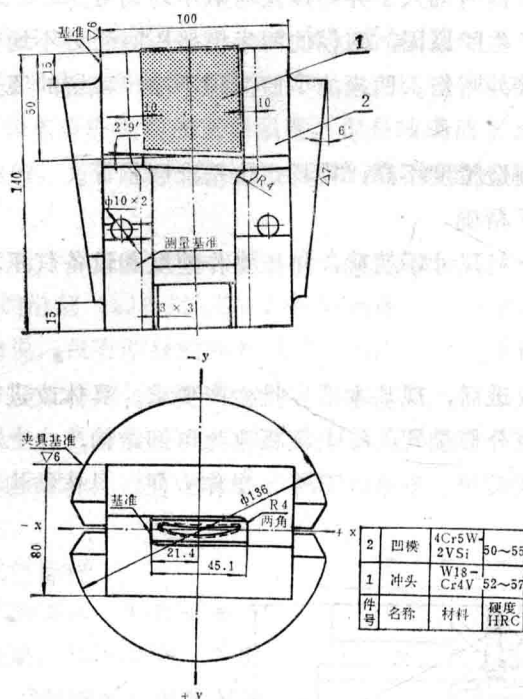


图 1-7 八、九级叶片挤压凹模和冲头

(六) 挤压设备

我厂钢制压气机转子叶片的挤压均在 2.2 吨-米高速锤（图 1-8）上进行。设备结构为三梁两柱端面密封悬挂式。设备由锤头系统（锤杆、动梁等组成）、框架系统（上梁、导柱、底梁等组成）和支座三部分构成。

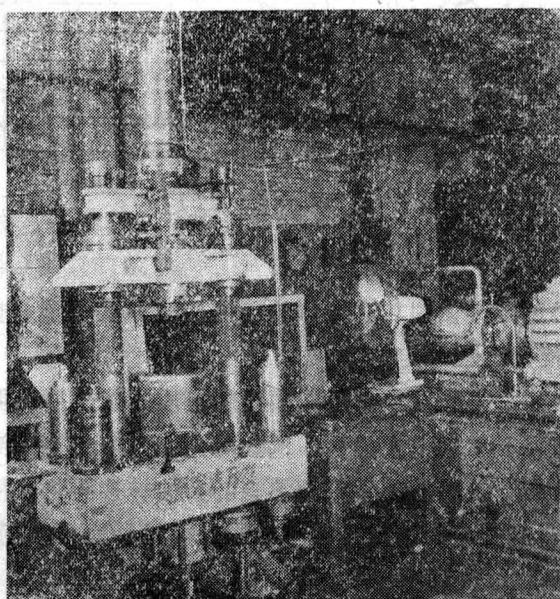


图1-8 2.2 吨-米高速锤

高速锤使用的高压空气由气泵蓄压直接供给；锤体借助弹簧支承在支架上，工作时能有效地消除振动；回程缸和顶出缸各有气室，在泄油状态时能由气体膨胀自动回程；操纵系统全部采用高压油，迅速地实现打击。

设备的主要参数如下：

最大打击能量	2.2 吨-米
相对打击行程	250 毫米
相对打击速度	18 米/秒
最小模具闭合高度	300 毫米
顶出行程	100 毫米
外形尺寸	1060 × 560 × 2015 毫米
本体重量	1 吨

(七) 存在的问题

高速锤挤压叶片在我厂虽然部分地投入了批生产，但这是一项重大的工艺改革，涉及面广，高速锤、模具及叶片加工等都有许多新课题需要研究。为了使高速锤挤压叶片工艺适应成批生产的要求，还有如下问题应予以解决。

1. 为了保证批生产顺利进行，要求设备有足够的刚性和使用稳定性。对经常出问题的管接头、密封胶圈和紧固件等，要进一步改进。

2. 模具制造工艺比较复杂，寿命比较低，特别是大叶片和钛合金叶片的挤压模寿命更低，因此还需研制新的模具材料和制模工艺。模具制造精度和表面光洁度，还要进一步提高。

3. 叶片表面质量不过关，存在麻点等缺陷。为此，原材料表面质量和玻璃润滑剂的涂敷质量，要进一步提高。

4. 进一步做工艺试验，提高产品合格率，改进毛坯加热方式，稳定和简化操作，减轻劳动强度。

二、转子叶片加工工艺

(一) 叶片的设计特点及对冷轧工艺的影响

我们现在生产的压气机转子叶片有以下一些特点：

1. 叶型为变截面，变弦长，变扭角，并且同一截面的厚度也不等。

1) 由于变截面及同一截面各处的厚度不等，使冷轧时变形的均匀性难以保持一致。同时对叶根薄、叶尖厚的叶型，由于冷轧时的金属“后滑现象”，叶尖截面会出现充不满的情况。由表 2-1 可知，六~九级叶片的变形程度在 22.4~74.6% 范围内，但从叶尖与叶根截面的叶型最大厚度 $C_{\text{最大}}$ 和进、排气边缘半径 r_1 , r_2 的数值来看，叶尖截面充不满的现象不存在。可是一级叶片排气边缘半径 r_2 的数值 ($r_{2\text{叶根}} \ll r_{2\text{叶尖}}$) 说明会出现叶尖截面充不满的情况。

2) 由于变弦长，若变化率大则叶片在轧制中出模困难，且金属流动受阻。尤其是当 $l_{\text{叶根}} < l_{\text{叶尖}}$ 时，还会出现叶尖截面弦宽充不满的情况。如一级叶片就存在这种情况，六~九级叶片基本上是等弦长的，不存在这问题。

表 2-1 转子叶片叶型参数及变形程度一览表

级	别	一 级	六 级	七 级	八 级	九 级
变形程度 % (按单面余量 0.5毫米计算)	最小变形程度 $\varepsilon_{\min}$ (叶型最大厚度处)		22.4%	23.8%	32.2%	32.2%
	最大变形程度 $\varepsilon_{\max}$ (进排气边缘处)		70.4%	70.4%	74.6%	74.6%
叶 型 参 数 (叶尖/叶根)	叶型最大厚度 $C_{\max}$	2.95/4.63	1.92/4.10	1.95/3.48	1.45/2.10	1.45/2.10
	进气边缘半径 r_1	0.40/0.45	0.25/0.65	0.25/0.58	0.21/0.30	0.21/0.30
	排气边缘半径 r_2	1.35/0.59	0.33/0.46	0.33/0.46	0.25/0.25	0.25/0.25
	弦 长 l	81.0/68.25	40.3/40.1	40.24/40.16	33.0/33.0	33.0/33.0
	扭 角 α°	40°21'/3°40'	17°32'/0°21'	13°45'/0°26'	9°0'/-0°6'	7°17'/ -1°17'

3) 由于变扭角, 因此叶尖与叶根截面间具有一定的相对扭角。轧制时就会产生一定的轴向力, 使上、下轧辊产生轴向移动, 影响叶片精度。如八、九级叶片的叶尖截面对叶根截面的相对扭角 $\Delta\alpha^\circ = 9^\circ 16'$, 轧制时轴向力为轧制力的 15%。

2. 具有榫头并且榫头截面大于叶根截面, 榫头底面不垂直于叶身中心线。

1) 由于榫头截面大于叶根截面, 轧制时模具咬入叶根会有一些困难。因轧制时夹具具有一定的“超前量”, 又有一定的厚度, 夹具的厚度在一定的“超前量”下, 就会妨碍模具“咬口”咬入叶根, 或为保证咬入, 就被迫削弱模具咬口处的强度。

2) 由于榫头底面不垂直叶身中心线, 在模具开始咬入叶根时, 进、排气边不能同时咬入, 这会引起“侧弯”和使叶片榫头进气端面离开夹具定位销, 给调整和夹具设计带来一定的困难。

3. 叶片进、排气边缘均较薄, 一般仅 0.30~0.60 毫米, 因此冷轧无余量叶片时, 需要较大的轧制力, 要求轧机有足够的刚性。

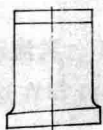
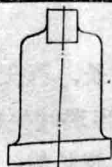
4. 叶片型面的精度、光洁度要求较高, 一般叶型精度为 0.1~0.2 毫米, 光洁度为 $\nabla 8$ 以上。这对冷轧工艺 (轧前准备, 轧后清理, 工艺润滑剂, 模具精度, 设备刚性等) 和加工调整要求较高。

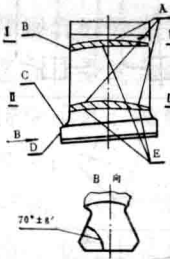
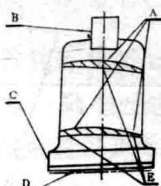
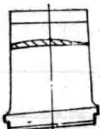
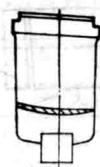
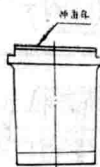
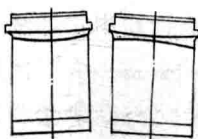
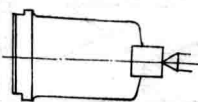
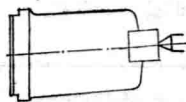
5. 叶片材料一般均具有高的机械性能, 这使轧制时的变形抗力大, 要求轧机有足够的刚性和功率。

(二) 工艺程序

第八、九级转子叶片冷轧工艺程序, 由于在生产中不断出现新的问题, 至今已作了 3~4 次的修改, 现将初步形成的冷轧新工艺程序和旧工艺程序对比如下 (见表 2-2)。

表 2-2 转子叶片新、旧工艺程序

新 工 艺 线				旧 工 艺 线			
工序号	工序名称	工 序 图 表	备 注	工序号	工序名称	工 序 图 表	备 注
1	挤压毛坯		叶身每面余量为 0.4 ± 0.1 毫米, 透光度不大于 0.2 毫米。	1	模锻毛坯		叶身每面余量为 1.0 ± 0.2 毫米, 透光度不大于 0.4 毫米。

新 工 艺 线				旧 工 艺 线			
工序号	工序名称	工 序 图 表	备 注	工序号	工序名称	工 序 图 表	备 注
2	棒头纵向组合拉削			2	毛坯分组		只测量叶背透光, 根据进、排气边处的透光部位, 每间隔0.25毫米左右为一组。
				3	棒头纵向组合拉削		
3	棒头横向组合拉削			4	棒头横向组合拉削		
4	打印记和打毛刺			5	打印记和打毛刺		
5	铣叶肩			6	钻中心孔		
6	磨棒头两侧面		每次加工 8 片	7	铣排气边缘		
7	打毛刺和棒头分组			8	铣进气边缘		
8	打磨麻点			9	粗铣叶身	