

叶片加工资料选编

第一机械工业部情报所

前 言

在汽轮机、燃汽轮机、废气涡轮增压器中有着各种型式的叶片，它的特点是数量多、形状复杂、要求加工精度高。过去我国不少厂长期采用方钢铣削的落后工艺，这不但浪费了大量的贵金属(材料利用率仅10%左右)，而且劳动生产率也很低。

汽轮机制造行业广大革命职工，遵照伟大领袖毛主席的教导：“中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。”狠批了刘少奇一类骗子的反革命的修正主义路线，发扬自力更生精神，大搞群众运动，采用了精密铸造、辊锻、高速锻、粉末冶金等新工艺制造叶片，这样不但节约了大量的贵金属(材料利用率可达40%左右)，并且提高了叶片的质量和劳动生产率。

为了交流这方面的经验，现将1972年5月在南京召开的汽轮机叶片加工新工艺经验交流会的技术资料选编成册，供各有关部门参考。

叶片辊锻

无锡动力机厂

一、叶片的特点

对叶片进行成型辊锻，首先必须分析叶片的特点。

图1为几种动叶片。

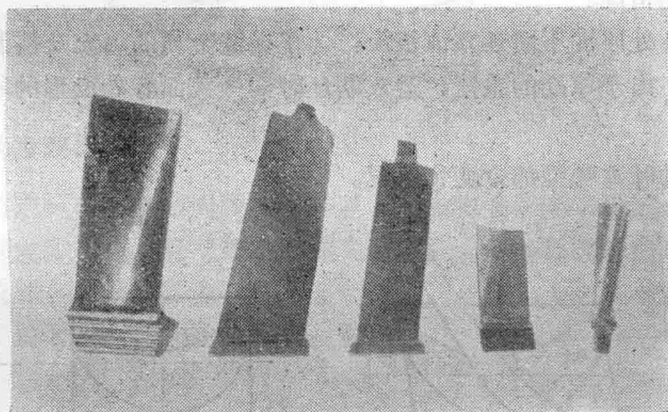


图1 几种动叶片

根据叶片零件图及技术条件分析，动叶片一般有如下特点。

(一) 叶型为变截面、变弦长、变扭角且同一截面各处厚度差大

动叶片叶型各截面形状、厚度都不相同。为了保证在辊锻过程中根部截面到顶部截面变形的均匀性，必须增加辊锻道次。在叶片的单位长度上，截面的厚度差越大，预成型道次就越多，制坯工序变形就越不均匀。叶片截面变化情况如图2。

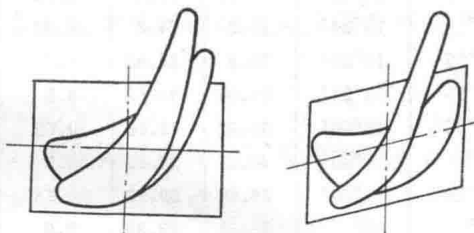


图2 叶片截面变化情况

动叶片叶型各截面弦长也是变化的，弦长的变化影响到成型辊锻时叶片的出模及制坯模膛的形状。叶片单位长度上弦长变化越大，叶片出模越困难且制坯模膛越复杂。叶片各截面弦长变化情况如图3。

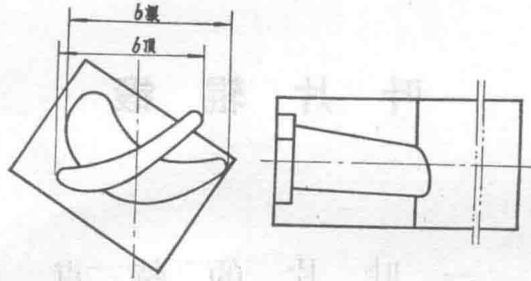


图3 叶片各截面弦长变化情况 右图为模膛示意图

动叶片叶型的根部截面到顶部截面间都有一定扭角。扭角越大，辊锻时产生轴向力就越大。轴向力使辊锻机产生位移，使上下模产生错动，影响叶片精度。扭角越大，制坯也越困难。图4为叶片扭角情况。

叶片同一截面各处厚度不同且差值很大。为了保证金属的填充及控制叶片的走向，必须增加预成型的道次。由于厚度的差值，造成制坯时同一截面各处变形的不匀性。图5为同一截面厚度变化情况。

表1列出几种动叶片叶型部分变化情况。

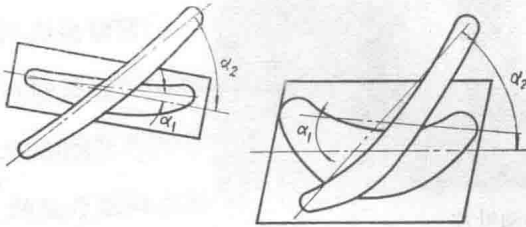


图4 叶片扭角情况

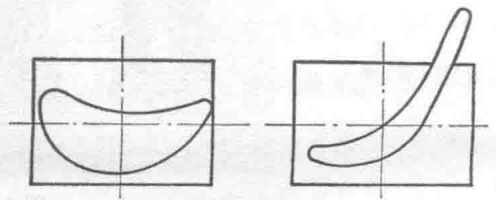


图5 叶片同一截面厚度变化情况

表 1

编 号	叶片根 顶两截 面间长 (毫米)	叶 型 扭 角			叶型弦长(毫米)		叶 型 厚 度 (毫米)			
		根部截面 相对 顶部截面	根部截面 相对榫头	顶部截面 相对榫头	根 部 截 面	顶 部 截 面	根 部 截 面		顶 部 截 面	
							最小厚度	最大厚度	最小厚度	最大厚度
1	22	5°31'	0°26'	5°57'	29.95	29.85	0.78	3.0	0.4	1.9
2	22	6°50'	3°30'	10°20'	30.53	30.10	0.54	2.9	0.4	1.86
3	22	8°2'	2°40'	10°42'	34.03	33.9	0.78	2.7	0.34	1.59
4	22	8°20'	5°	13°20'	25.0	24.8	0.82	2.67	0.28	2.88
5	25	10°15'	1°35'	11°50'	33.8	33.85	0.4	2.48	0.27	1.5
6	33	13°5'	2°15'	15°20'	34.08	33.65	0.8	3.15	0.2	1.5
7	41	14°15'	2°35'	16°50'	33.82	33.66	0.62	2.89	0.4	1.44
8	50	15°30'	4°	19°30'	30.01	29.63	0.6	3.38	0.3	1.52
9	66	18°6'	3°14'	21°20'	29.69	29.63	0.78	3.65	0.3	1.2
10	52	20°	30°	50°	31.85	29.25	0.6	8.37	0.4	5.61
11	38	25°	10°	35°	25.0	28.6	1.2	6.6	0.8	1.7
12	83	28°	-3°	25°	41.0	45.46	1.4	8.5	0.84	2.12
13	95	28°30'	29°30'	58°	56.8	57.84	1.18	13.1	0.96	4.3
14	87	33°	3°	36°	40.5	40.15	0.9	5.05	0.22	1.7
15	90	33°30'	21°30'	55°	60.61	65.77	1.24	20.66	1.24	7.16
16	55	38°	15°	53°	12.1	14.9	0.45	3.5	0.45	1.6

(二) 榫头与根部截面形状不同且榫头面积大于根部截面面积

动叶片都是带榫头的，而且榫头的形状、大小与根部截面是完全不相同的。榫头在进出气边方向超出根部截面，就必须增加制坯道次，超出越多，制坯道次就越多。榫头在内背弦方向超出根部截面，就必须增加预成型道次，超出越多，预成型道次就越多，保证榫头与根部截面过渡处园滑连接就越困难。榫头与根部截面相互关系如图 6。

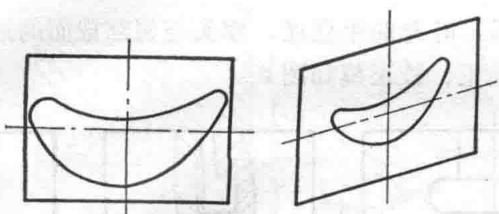


图 6 叶片榫头与根部截面相互关系

(三) 叶型出气边超出榫头

动叶片一般出气边从根部截面到顶部截面逐渐高出榫头。为了保证金属的填充，必须有合理的制坯模膛和预成型模膛。出气边高出榫头越多，金属的填充越困难。根部截面出气边高出榫头时，只靠合理的模膛还不能保证金属的填充，必须加大榫头毛坯尺寸，结果增加了制坯、预成型道次。叶片出气边超出榫头情况如图 7。

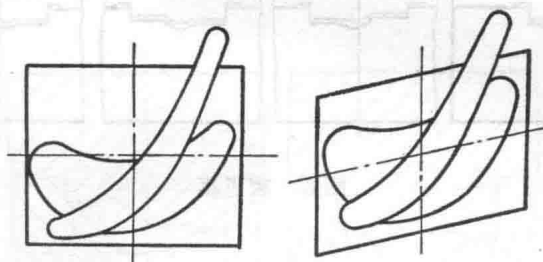


图 7 叶片出气边超出榫头情况

(四) 叶片精度及光洁度要求高

一般叶片叶型部分内背弧尺寸要求对理论型面的偏差不大于 0.1 毫米。榫头部分要求更高。

叶片叶型部分光洁度要求为 $\nabla 6 \sim \nabla 9$ 。

这样高的精度及光洁度，不仅要求叶片在辊锻成型时有合理的模膛，而且对辊锻前的加热，模具精度，辊锻设备提出了很高的要求。

(五) 叶片要求一定的机械性能和晶粒度

对于机械加工的叶片，机械性能、晶粒度原材料已保证，因此叶片加工后不需再重新热处理，可以达到要求。但采用辊锻方法加工叶片，要经过加热和变形，破坏了原来的热处理，改变了原来材料的组织、晶粒度和机械性能。为了达到叶片的机械性能、晶粒度的要求，在

辊锻时必须采取工艺措施和相应的热处理。

二、模具设计

为了保证叶片的成型及精度，叶片辊锻成型需校正模、终成型辊锻模、预成型辊锻模、制坯辊锻模、坯料模、榫头辊锻模等。

(一) 校正模

叶片经终成型模辊锻后，叶身的平直度、榫头与根部截面的过渡处还不能完全达到锻件图要求，需要在校正模内校正、校正模如图 8。

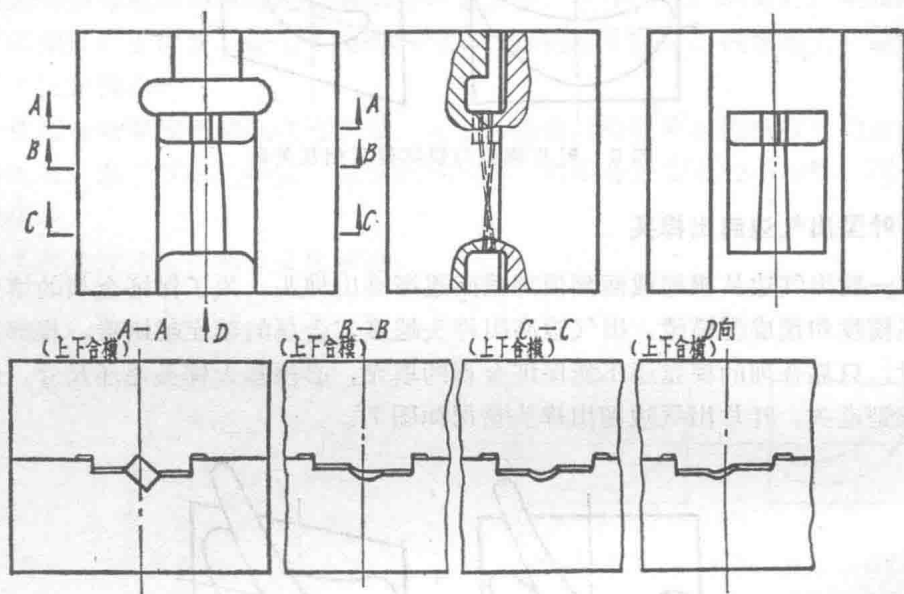


图 8 校正模

校正模设计步骤如下：

1. 确定叶片余量

按 10:1 或 20:1 的比例画出叶片每一截面与榫头重迭在一起的放大图。根据工艺要求沿叶型各坐标点法向均匀放余量，画出放余量后的叶型。按榫头各边余量不应小于叶型余量的原则，根据叶片的特点及加工工艺确定榫头每边余量，画出放余量后的榫头。根据叶片特点及工艺需要加放进出气边余量。图 9 为叶片放余量前后的情况。

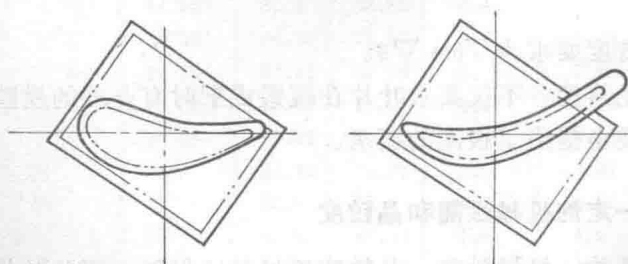


图 9 叶片的余量

注：图中双点划线为没放余量的叶型和榫头、实线为放余量的叶型和榫头。

2. 确定模具位置

由于叶片有一定扭角，在校正时产生水平分力，使上下模产生移动，影响叶片精度。为了减少水平分力，将叶片转过一定角度进行校正，如图10。对于叶型比较平坦的叶片，一般转角取根部与顶部两截面的平均角即可。对于叶型曲率比较大的叶片，由于进气边面积小，出气边面积大，且出气边薄抗力大，因此取根部与顶部两截面的平均角，仍然会产生很大的水平分力，必须适当提高进气边以减少水平分力。

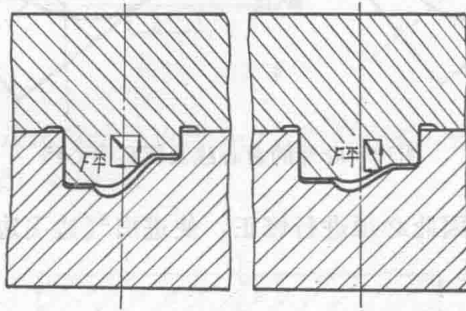


图10 叶片校正模转角前后产生水平分力情况

提高叶片进气边必须保证叶片容易出模。图11所示为进气边提的太高，叶片不易出模。图12所示为叶片容易出模。因工艺需要进气边提的较高，而产生叶片不易出模及模具不好制造等情况时，必须将下模进气边突出部分以R做出。

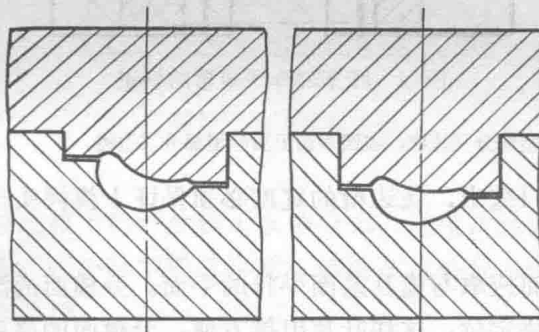


图11 叶片不易出模

图12 叶片容易出模

3. 确定叶型重心及模具中心

用重量法求出叶片放余量后的各截面重心，后确定叶片叶型的重心，动叶片叶型重心做转角后中心线的平行线，即为叶片重心线。根据叶片根部、顶部两截面弦宽及相互位置，考虑把叶片尽量放在模具中间，确定模具中心。图13为叶片的重心线及模具中心线。

4. 确定飞边槽及分模面

为了保证叶片校正后与校正模形状一致，校正模在榫头部分及叶型部分均留有飞边槽容纳多余金属。考虑模具加工的方便，榫头部分飞边槽取在方形或棱形榫头两角部。叶型部分飞边槽取在进出气边水平方向的最大值处，这样有利于叶片的定位及保证校正时叶片不跑出模膛。由于叶片各截面是变化的，故按上述方法确定的叶型部分飞边槽在高度方向可能是一

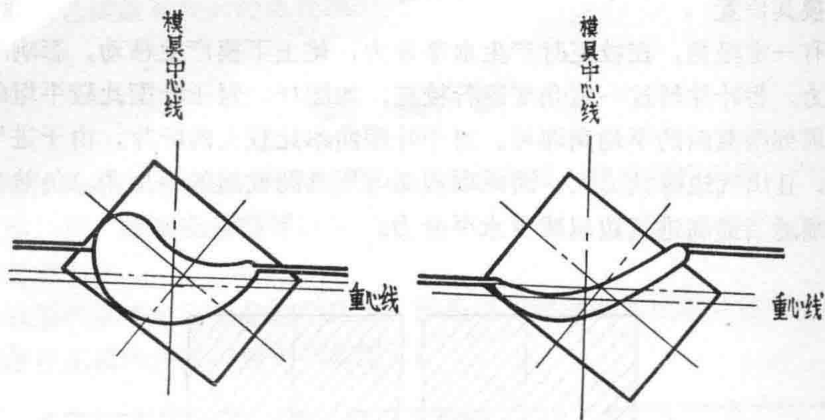


图13 叶片的重心线及模具中心线

不规则的曲面，不好加工，因此必须进行修正，使进出气边飞边槽在高度方向为与模具基面成一定角度的斜面，如图14。

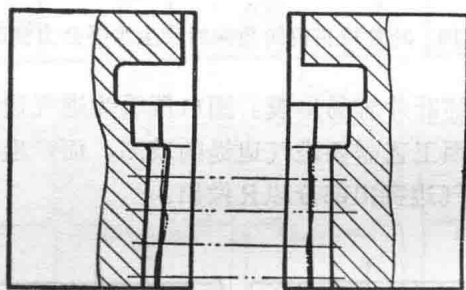


图14 叶型部分飞边槽的修正

注：图中双点划线为修正前叶型部分飞边槽，实线为修正后叶型部分飞边槽。

飞边槽的高度为0.5~1毫米，飞边槽的宽度必须保证上模榫头部分的强度及分模面有一定的宽度。

为了加工方便，分模面应取与模具基面平行的平面。分模面的深度取决于叶片榫头的大小。校正模榫头部分为镶块定位，这样叶片出模方便。分模面的高度必须使榫头大部分在下模内，保证校正模榫头部分定位镶块的强度及模具加工方便，如图15。

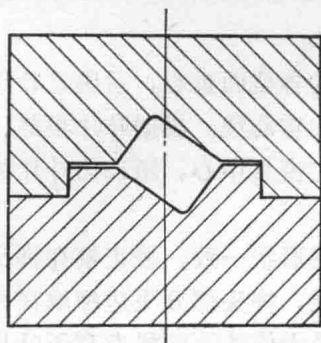


图15 校正模分模面的高度

图16为校正模定位镶块。

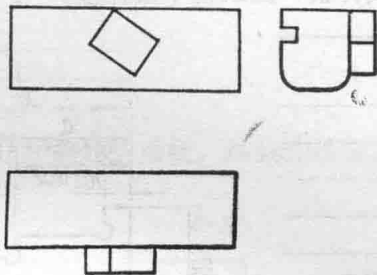


图16 定位镶块

为了减小模具的错动，进出气边飞边槽与分模面形成的止推面，上模以0.1毫米负公差做，下模以0.1毫米正公差做，如图17。

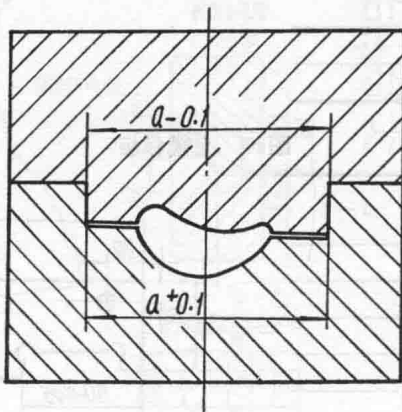


图17 上下模止推面

5. 确定模膛尺寸

叶片转角后，如在校正模中仍产生较大水平分力，使模具错动而影响叶片精度时，可将叶型的相应部分加以修正，减小叶型模膛厚度，抵消在水平分力作用下产生模具错动叶片的增厚。叶型的修正情况如图18。

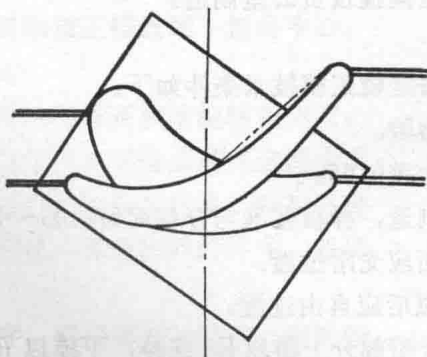


图18 校正模叶型的修正

注：图中双点划线为修正前叶型，实线为修正后叶型。

叶型确定后，用作图法求出转角后X为整数时叶型上各点的Y值。后确定样板尺寸，模具按样板加工检验。图19为上模样板，图20为下模样板。

x	y	1-1	2-2	3-3
a				
b				
c				
d				

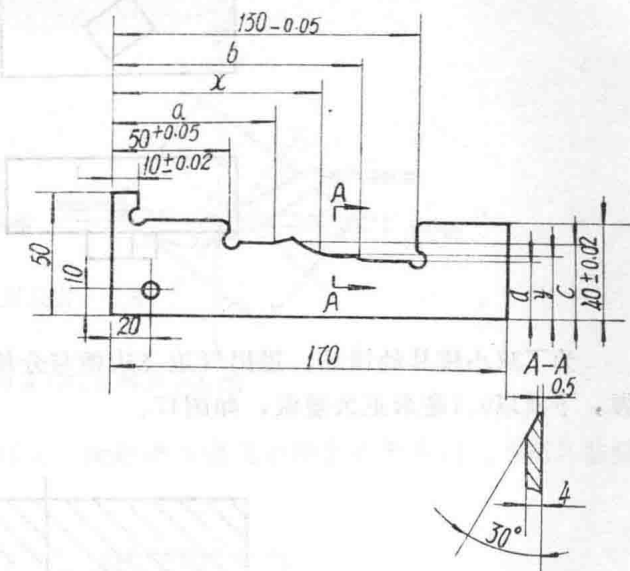


图19 上模样板

x	y	1-1	2-2	3-3
a				
b				
c				
d				

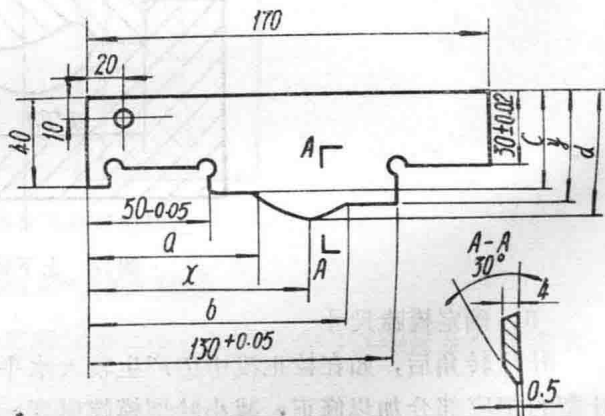


图20 下模样板

为了提高模具寿命，叶型模膛按负公差制造。

6. 校正模的技术条件

根据叶片要求及加工方法定校正模技术条件如下：

- (1) 模膛按样板加工检验。
- (2) 模膛对样板型线允差0.05。
- (3) 新模具按负公差制造，样板基准与分模面留0.05~0.1毫米间隙。
- (4) 模膛沿全长各型面应光滑过渡。
- (5) 模膛 C—C 截面以后应自由过渡。
- (6) 模膛榫头部分与叶型部分上模以 R5 连接，下模以 R2 连接。
- (7) 模膛光洁度全部 $\nabla 7$ 。
- (8) 模膛尖角部分以 R0.5 做出。

(9) 模块各垂直面不垂直度允差0.02。

(10) 模块各平行面不平行度允差0.02。

(11) 未注倒角 $1 \times 45^\circ$ 。

(12) 淬火硬度 $HRC48 \sim 52$ 。

(二) 终成型辊锻模

终成型辊锻模是用来辊锻叶片的最后形状，终成型辊锻模如图21。

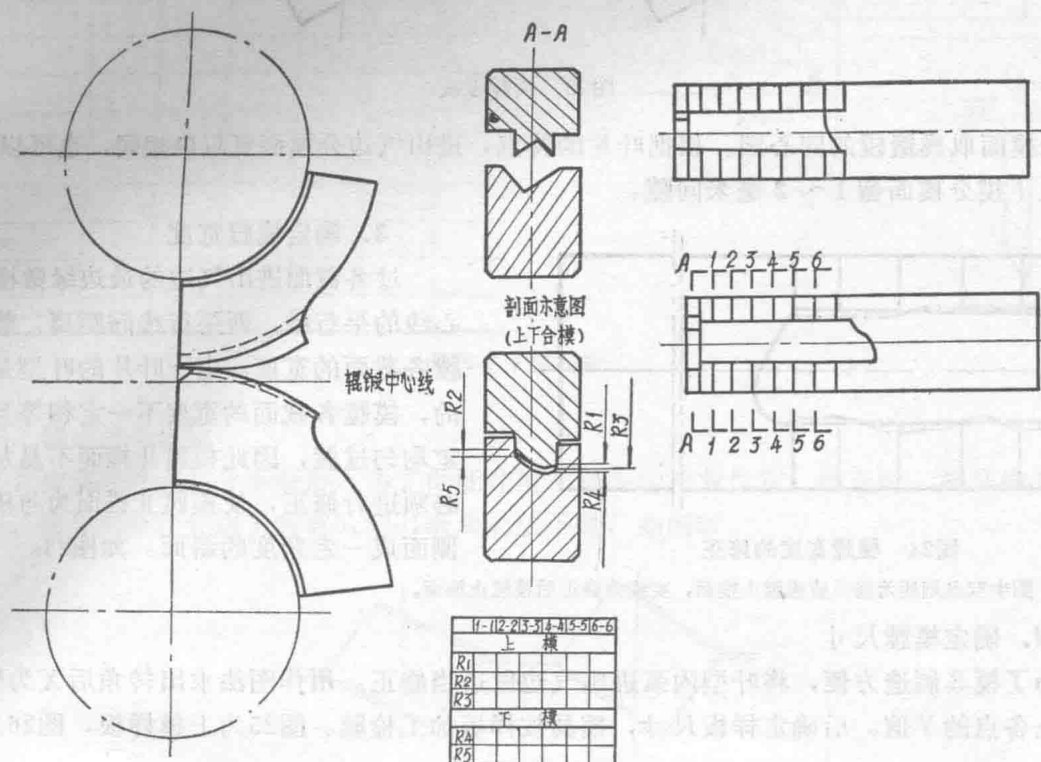


图21 终成型辊锻模

终成型辊锻模设计步骤如下：

1. 确定辊锻中心及模具中心

为了保证辊锻叶片的平直，必须合理选择叶片的辊锻中心，最合理的方法是将叶片的重心放在辊锻中心线上。为了设计的方便，辊锻模可以和校正模选同一模具中心。

2. 确定模膛位置及深度

终成型辊锻模模膛转角可以与校正模模膛转角相同。但必须注意到，为了保证出气边精度而提高进气边所造成的下模膛加深对叶片榫头部分产生的根切现象。如果这种现象影响到叶片的成型，就应减小原来模膛的转角。根切现象如图22。

为了节省材料，减少工序，辊锻模膛为闭式，模膛的深度应保证经制坯模膛辊锻后的坯料在成型辊锻时不跑出模膛。

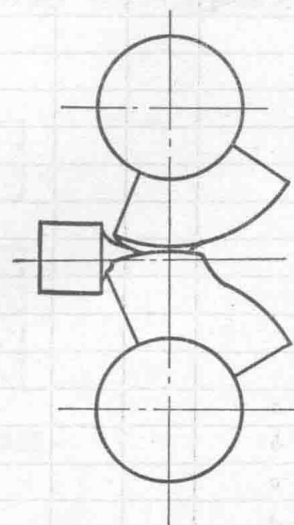


图22 下模对叶片产生的根切现象

模膛深度如图23。

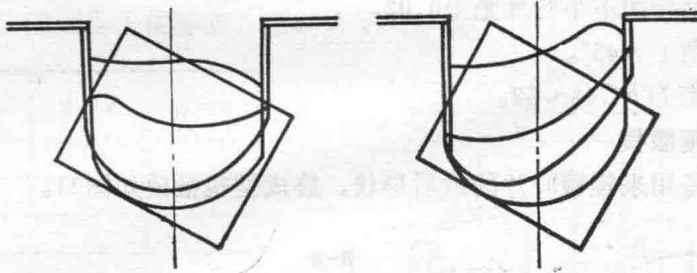


图23 模膛深度

分模面取成锻辊的同心圆。根据叶片的特点，进出气边分模面可以取相同，也可以取不同。上下模分模面留1~2毫米间隙。

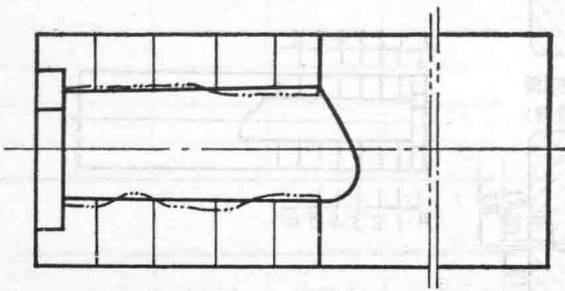


图24 模膛宽度的修正

注：图中双点划线为修正前模膛止推面，实线为修正后模膛止推面。

4. 确定模膛尺寸

为了模具制造方便，将叶型内弧进出气边做适当修正。用作图法求出转角后X为整数时叶型上各点的Y值。后确定样板尺寸，模具按样板加工检验。图25为上模样板，图26为下模样板。

x \ y	1-1	2-2	3-3	4-4	5-5	6-6
a						
b						
c						
d						

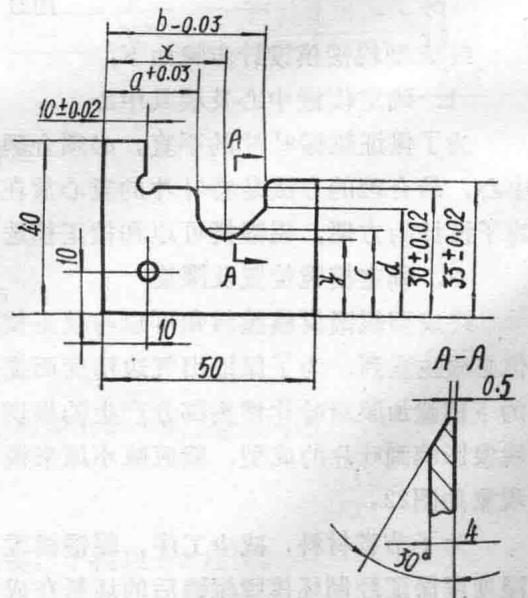


图25 上模样板

$x \backslash y$	1-1	2-2	3-3	4-4	5-5	6-6
a						
b						
c						
d						

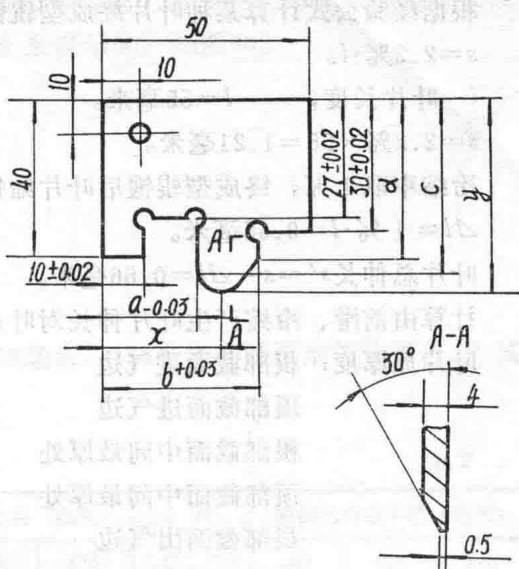


图26 下模样板

5. 确定榫头模膛

叶片辊锻时榫头部分不变形，为了保证叶型与榫头的相对位置，校正时，根据榫头尺寸的大小，榫头部分在长边上留有0.5~1毫米的压下令，如图27。

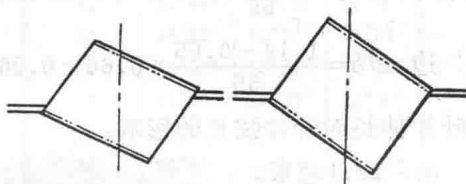


图27 校正时榫头部分压下令

辊锻模的榫头部分模膛，在辊锻时只起定位作用。为了加工方便，根据叶形模膛宽度，将上模榫头模膛从图28所示形式，修改为图29所示形式。

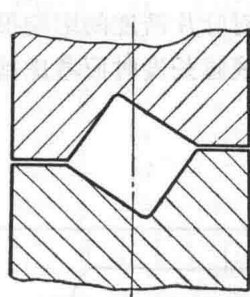


图28 修改前榫头模膛

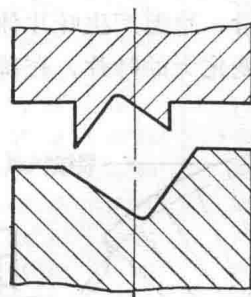


图29 修改后榫头模膛

6. 确定模膛长度

为了获得尺寸精确的叶片，在确定终成型模膛长度时必须考虑前滑、冷缩对叶片长度的影响。

根据经验公式计算某种叶片终成型辊锻时前滑值：

$$s = 2.2\% \cdot l。$$

l —叶片长度， $l = 55$ 毫米。

$$s = 2.2\% \times 55 = 1.21 \text{毫米}。$$

冷缩率取 1%，终成型辊锻后叶片缩短值：

$$\Delta l = 1\% \cdot l = 0.55 \text{毫米}。$$

叶片总伸长 $s' = s - \Delta l = 0.66$ 毫米。

计算由前滑、冷缩产生叶片伸长对叶片厚度的影响。

叶片原厚度：根部截面进气边 $h_1 = 1$ 毫米。

顶部截面进气边 $h_2 = 0.45$ 毫米。

根部截面中间最厚处 $h_1 = 3.5$ 毫米。

顶部截面中间最厚处 $h_2 = 1.6$ 毫米。

根部截面出气边 $h_1 = 0.65$ 毫米。

顶部截面出气边 $h_2 = 1.14$ 毫米。

$$\text{厚度变化：} \Delta h = \frac{h_1 - h_2}{l} S'。$$

$$\text{进 气 边 } \Delta h = \frac{1 - 0.45}{55} \times 0.66 = 0.0066 \text{毫米}。$$

$$\text{中部最厚层 } \Delta h = \frac{3.5 - 1.6}{55} \times 0.66 = 0.023 \text{毫米}。$$

$$\text{出 气 边 } \Delta h = \frac{1.14 - 0.65}{55} \times 0.66 = 0.006 \text{毫米}。$$

计算由前滑、冷缩产生叶片伸长对叶片弦长的影响。

叶片原弦长：根部截面 $a_1 = 12.1$ 毫米。

顶部截面 $a_2 = 14.9$ 毫米。

$$\text{弦长变化：} \Delta a = \frac{a_2 - a_1}{l} S'。$$

$$= \frac{14.9 - 12.1}{55} \times 0.66 = 0.034 \text{毫米}。$$

从计算中知，由于前滑、冷缩产生叶片伸长对叶片精度的影响很小，可以忽略不计。

对于截面厚度和弦长变化大的叶片，在确定模膛长度时应考虑前滑、冷缩的影响。

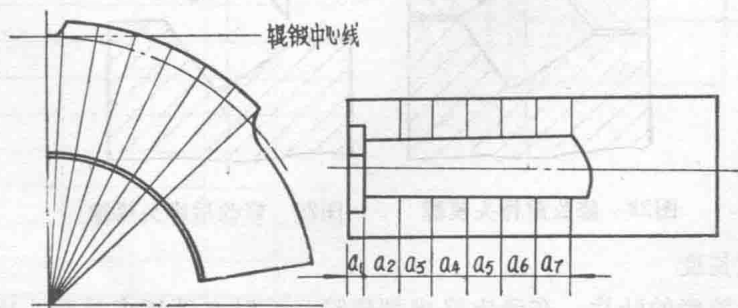


图30 叶片长度对应的中心角

因辊锻模为圆弧形模块，叶片长度尺寸表现在圆弧形模块上为辊锻中心线圆即辊锻机公称直径圆上的弧长。而弧长是用其所对应的中心角 θ 来表示的。如图30。

中心角 θ 可用下式求得：

$$\theta = \frac{l}{R}$$

l —叶片长度，毫米。

R —辊锻机公称半径，毫米。

按上式求出中心角单位为弧度，查表换算为度。

为计算方便，将辊锻机公称半径为100毫米，150毫米，175毫米的圆弧形模块弧长及其所对应的中心角列表2。

表 2

弧 长 (毫米)	辊锻机公称半径 (毫米)			弧 长 (毫米)	辊锻机公称半径 (毫米)			弧 长 (毫米)	辊锻机公称半径 (毫米)		
	100	150	175		100	150	175		100	150	175
0.1	0°3'	0°2.7'	0°2'	25	14°20'	9°33'	8°11'	58	33°14'	22°9'	18°59'
0.2	0°7'	0°4.7'	0°4'	26	14°54'	9°56'	8°31'	59	33°49'	22°33'	19°19'
0.3	0°10'	0°6.7'	0°6'	27	15°28'	10°19'	8°51'	60	34°23'	22°55'	19°38'
0.4	0°14'	0°9.3'	0°8'	28	16°3'	10°42'	9°10'	61	34°57'	23°18'	19°58'
0.5	0°17'	0°11.3'	0°10'	29	16°37'	11°5'	9°30'	62	35°31'	23°42'	20°18'
0.6	0°21'	0°14'	0°12'	30	17°11'	11°27'	9°48'	63	36°6'	24°4'	20°38'
0.7	0°24'	0°16'	0°14'	31	17°47'	11°51'	10°9'	64	36°40'	24°27'	20°57'
0.8	0°28'	0°18.7'	0°16'	32	18°20'	12°13'	10°28'	65	37°15'	24°50'	21°17'
0.9	0°31'	0°20.7'	0°18'	33	18°55'	12°37'	10°48'	66	37°49'	25°13'	21°36'
1	0°34'	0°23'	0°20'	34	19°29'	12°59'	11°8'	67	38°23'	25°35'	21°56'
2	1°9'	0°46'	0°39'	35	20°3'	13°22'	11°28'	68	38°58'	25°59'	22°15'
3	1°43'	1°9'	1°	36	20°38'	13°45'	11°47'	69	39°32'	26°21'	22°35'
4	2°18'	1°32'	1°18'	37	21°12'	14°8'	12°7'	70	40°6'	26°45'	22°55'
5	2°52'	1°55'	1°38'	38	21°46'	14°31'	12°26'	71	40°41'	27°7'	23°15'
6	3°26'	2°17'	1°57'	39	22°21'	14°54'	12°46'	72	41°15'	27°30'	23°34'
7	4°1'	2°41'	2°18'	40	22°55'	15°16'	13°6'	73	41°50'	27°53'	23°54'
8	4°35'	3°3'	2°37'	41	23°29'	15°39'	13°25'	74	42°24'	28°16'	24°13'
9	5°9'	3°26'	2°57'	42	24°4'	16°3'	13°45'	75	42°58'	28°39'	24°33'
10	5°44'	3°49'	3°16'	43	24°38'	16°25'	14°5'	76	43°33'	29°2'	24°53'
11	6°18'	4°12'	3°36'	44	25°13'	16°49'	14°24'	77	44°7'	29°25'	25°13'
12	6°53'	4°35'	3°55'	45	25°47'	17°11'	14°44'	78	44°41'	29°47'	25°32'
13	7°27'	4°58'	4°15'	46	26°21'	17°34'	15°3'	79	45°16'	30°11'	25°52'
14	8°1'	5°21'	4°35'	47	26°56'	17°57'	15°23'	80	45°50'	30°33'	26°11'
15	8°36'	5°44'	4°55'	48	27°30'	18°20'	15°43'	81	46°25'	30°57'	26°31'
16	9°10'	6°7'	5°14'	49	28°5'	18°43'	16°3'	82	46°59'	31°19'	26°51'
17	9°45'	6°30'	5°34'	50	28°39'	19°6'	16°22'	83	47°33'	31°42'	27°11'
18	10°19'	6°53'	5°53'	51	29°13'	19°29'	16°42'	84	48°8'	32°5'	27°30'
19	10°53'	7°15'	6°13'	52	29°48'	19°52'	17°1'	85	48°42'	32°28'	27°50'
20	11°28'	7°39'	6°33'	53	30°22'	20°15'	17°21'	86	49°17'	32°51'	28°9'
21	12°2'	8°1'	6°53'	54	30°56'	20°37'	17°41'	87	49°51'	33°14'	28°29'
22	12°37'	8°25'	7°13'	55	31°31'	21°1'	18°	88	50°25'	33°37'	28°48'
23	13°11'	8°47'	7°32'	56	32°5'	21°23'	18°21'	89	51°	34°	29°8'
24	13°45'	9°10'	7°50'	57	32°40'	21°47'	18°46'	90	51°34'	24°23'	29°28'

(续)

弧长 (毫米)	角度 辊锻机公称半径 (毫米)			弧长 (毫米)	角度 辊锻机公称半径 (毫米)			弧长 (毫米)	角度 辊锻机公称半径 (毫米)		
	100	150	175		100	150	175		100	150	175
91	52° 8'	34° 45'	29° 48'	111	63° 36'	42° 24'	36° 20'	131	75° 4'	50° 3'	42° 54'
92	52° 43'	35° 9'	30° 7'	112	64° 10'	42° 47'	36° 41'	132	75° 38'	50° 25'	43° 13'
93	53° 17'	35° 31'	30° 27'	113	64° 45'	43° 10'	37°	133	76° 12'	50° 48'	43° 33'
94	53° 52'	35° 55'	30° 46'	114	65° 19'	43° 33'	37° 19'	134	76° 47'	51° 11'	43° 52'
95	54° 26'	36° 17'	31° 6'	115	65° 53'	43° 55'	37° 39'	135	77° 21'	51° 34'	44° 12'
96	55° 1'	36° 41'	31° 26'	116	66° 28'	44° 19'	37° 59'	136	77° 55'	51° 57'	44° 31'
97	55° 35'	37° 3'	31° 45'	117	67° 2'	44° 41'	38° 18'	137	78° 30'	52° 20'	44° 51'
98	56° 9'	37° 26'	32° 5'	118	67° 37'	45° 5'	38° 38'	138	79° 4'	52° 43'	45° 11'
99	56° 44'	37° 49'	32° 25'	119	68° 11'	45° 27'	38° 58'	139	79° 39'	53° 6'	45° 30'
100	57° 18'	38° 12'	32° 44'	120	68° 45'	45° 50'	39° 17'	140	80° 13'	53° 29'	45° 50'
101	57° 52'	38° 35'	33° 4'	121	69° 20'	46° 13'	39° 37'	141	80° 47'	53° 51'	46° 10'
102	58° 27'	38° 59'	33° 24'	122	69° 54'	46° 36'	39° 56'	142	81° 22'	54° 15'	46° 29'
103	59° 1'	39° 21'	33° 43'	123	70° 28'	46° 59'	40° 16'	143	81° 56'	54° 43'	46° 9'
104	59° 35'	39° 43'	34° 3'	124	71° 3'	47° 22'	40° 36'	144	82° 31'	55° 1'	47° 8'
105	60° 10'	40° 7'	34° 23'	125	71° 37'	47° 45'	40° 55'	145	83° 5'	55° 23'	47° 28'
106	60° 44'	40° 29'	34° 42'	126	72° 12'	48° 8'	41° 15'	146	83° 39'	55° 46'	47° 48'
107	61° 19'	40° 53'	35° 1'	127	72° 46'	48° 31'	41° 35'	147	84° 14'	56° 9'	48° 8'
108	61° 53'	41° 15'	35° 22'	128	73° 20'	48° 53'	41° 54'	148	84° 48'	56° 32'	48° 27'
109	62° 27'	41° 38'	35° 41'	129	73° 55'	49° 17'	42° 14'	149	85° 22'	56° 55'	48° 47'
110	63° 2'	42° 1'	36° 1'	130	74° 29'	49° 39'	42° 33'	150	85° 57'	57° 18'	49° 6'

为了保证叶片的成型及下道工序的需要,终成型辊锻模顶部截面以后要延长一段。如延长部分太长,为了模具制造方便应增加一道样板。

7. 终成型辊锻模的技术条件

根据叶片要求及加工方法定终成型辊锻模技术条件如下:

- (1) 模膛按样板加工检验。
- (2) 模膛对样板型线允差0.05。
- (3) 新模具按负公差制造,样板基准与分模面留0.05~0.1毫米间隙。
- (4) 模膛沿全长各型面应光滑过渡。
- (5) 模膛6~6截面以后应自由过渡。
- (6) 模膛榫头部分与叶型部分上模以R5连接,下模以R2连接。
- (7) 模膛光洁度全部▽7。
- (8) 模膛尖角部分以R0.5做出。
- (9) 平面a、b与φ110孔不垂直度允差0.02。
- (10) φ110孔与φ216, φ222外圆不同心度允差0.02。
- (11) 未注角度公差5'。
- (12) 未注倒角1×45。
- (13) 淬火硬度HRC50~55。

(三) 预成型辊锻模

为了保证终成型辊锻时金属的填充,改善金属流动条件,提高终成型辊锻模的寿命及保

证叶片的机械性能，必须有合理的预成型辊锻模。预成型辊锻模模膛接近终成型辊锻模模膛。

1. 确定辊锻道次

辊锻道次可以用下式确定：

$$n = \frac{\log f}{\log f_{cp}}$$

f —辊锻件的总延伸系数。

f_{cp} —辊锻件的平均延伸系数。

$$f = \frac{F_o}{F_{min}}$$

F_o —原始坯料截面面积，毫米²。

F_{min} —辊锻件最小截面面积，毫米²。

f_{cp} 一般可取1.2~1.3

对于叶片，辊锻道次主要决定叶片材料的允许变形程度和设备能力。根据在保证每道变形不超过材料允许变形程度的条件下变形抗力不超过设备允许最大压力的原则来确定辊锻道次。

辊锻时变形抗力 P 可由下式计算：

$$P = P_{cp} F$$

P_{cp} —平均变形抗力，根据材料和变形温度确定。

F —接触面积。

辊锻时变形情况如图31。

$$F = B_{cp} \cdot \widehat{AB}$$

B_{cp} —变形部分平均宽度。

\widehat{AB} —变形部分弧长。

近似取 $\widehat{AB} = AB$ 。

根据 $\triangle ABC$ 与 $\triangle DBA$ 的相似关系得：

$$AB^2 = BC \cdot BD$$

$$BC = \frac{H-h}{2} = \frac{\Delta h}{2} \quad \Delta h \text{—压下量。}$$

$$BD = 2R \quad R \text{—辊锻机公称半径。}$$

$$AB = \sqrt{R \cdot \Delta h}$$

$$F = B_{cp} \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h}$$

$$P = P_{cp} \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h}$$

2. 确定变形量

为了保证叶片辊锻成型及叶片的机械性能、晶粒度，必须保证叶片各处变形程度的均匀。特别是终成型辊锻前的预成型辊锻，因这时经辊锻的坯料形状尺寸已接近终成型模膛且比较薄，所以变形的均匀性更显得重要。

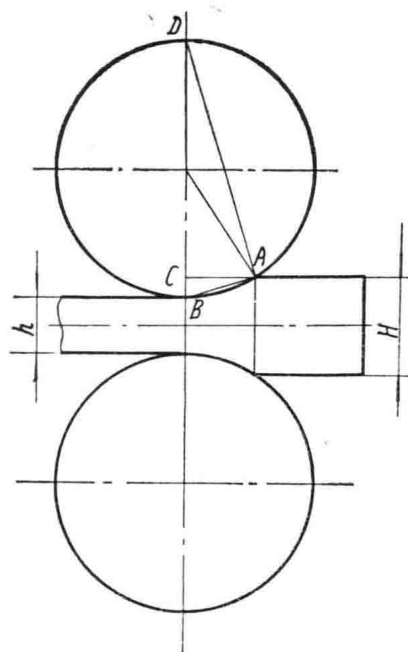


图31 辊锻时变形情况