

增压器动叶片辊锻

上海交通大学 编

国防工业出版社

316

增压器动叶片辊锻

上海交通大学 编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书主要介绍增压器动叶片的辗锻工艺、概况及辗锻过程理论分析、模具设计、辗锻设备、辗锻力的测定与计算以及技术经济效果等方面内容。

本书可供锻压专业的技术人员、技术工人阅读，也可供大专院校锻压专业师生参考。

EG63/02

增压器动叶片辗锻

上海交通大学 编

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

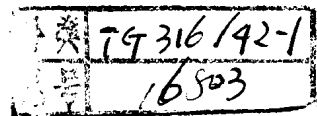
国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 1/32 印张 37/8 80千字

1981年12月第一版 1981年1月第一次印刷 印数：0,001—21,800册

统一书号：15034·2214 定价：0.42元



前 言

涡轮叶片是柴油机增压器中数量多、加工周期长、性能要求高，而型线又较复杂的零件。以前采用整块方钢铣削而成，不但生产率很低，而且有90%以上的贵金属材料被铣削为废屑，造成了浪费，这就促使我们寻求新的压力加工方法来代替落后的方钢铣削工艺。经初步调查，认为动叶片的加工工艺以辊锻较为适宜。因为辊锻变形是一个连续的静压变形过程，具有局部变形的特点。这个特点对于一些结构、形状及尺寸适合采用成型辊锻工艺的零件，在大批量生产条件下，为优质、高产、低消耗和降低设备吨位，改善劳动条件，实现机械化和自动化操作提供了很大的技术上的可能性。因此，在国内外较普遍采用辊锻工艺来生产叶片。

在我校和沪东造船厂合作的辊锻试验中，曾得到无锡动力机厂和冶金部钢铁研究院的大力支持，使之初步掌握了辊锻叶片工艺的规律。在这段工作的基础上，结合上海新中动力厂的生产实践经验，编写了本书。由我校锻压教研室洪慎章同志写第一章、第二章及第三章；胡仁国同志写第四章及第五章。由于业务水平有限，书中难免存在一些缺点和错误，希望读者提出批评指正。

编 者

目 录

第一章 辊锻工艺简介	1
§1 概况	1
§2 辊锻过程的理论分析	7
§3 辊锻力和辊锻力矩	14
第二章 叶片辊锻工艺分析及模具设计	17
§1 叶片辊锻工艺设计	17
§2 模具设计	31
第三章 叶片辊锻工艺及其装备	58
§1 叶片辊锻生产的工艺过程	58
§2 模具材料及其热处理	66
§3 辊锻设备及其装置	71
第四章 辊锻力的测定与计算	81
§1 辊锻力的测定	81
§2 辊锻力的计算	84
§3 辊锻力的测定值与计算值分析	86
第五章 辊锻叶片性能及其技术经济效果	89
§1 GZ380 增压器动叶片的机械性能与金相组织	89
§2 TZ251 增压器动叶片的机械性能与金相组织	94
§3 辊锻叶片的技术经济效果	99
附 录	
图 1 第一道制坯辊锻模	104
图 2 第二道制坯辊锻模	106

Ⅵ

图 3	第三道预成型辊锻模	108
图 4	第四道预成型辊锻模	110
图 5	第五道预成型辊锻模	112
图 6	第六道终成型辊锻模	114
图 7	精压模	116
参考资料		118

第一章 辊锻工艺简介

§1 概 况

一、辊锻工艺实质

辊锻工艺是目前锻压生产中具有一定发展前途的先进工艺之一，它是在研究轧制工艺的基础上逐步地发展起来的。所谓辊锻是使金属坯料（冷态的或是热态的）在装有上下两个相反方向旋转的轧辊上的扇形模块中发生塑性变形，在坯料的前后方向发生主变形（连续延伸变形），而在其两侧有宽展现象（图1），从而获得所需的锻件或毛坯。

辊锻工艺既可作为模锻前的制坯工序，亦可直接辊制成形锻件。随着模具加工工艺的改进，辊锻工艺发展很快，目前已有多种锻件或锻坯，如各种扳手、剪刀、呆扳手、榔头、钢丝钳、镰刀、锄头、犁刀、

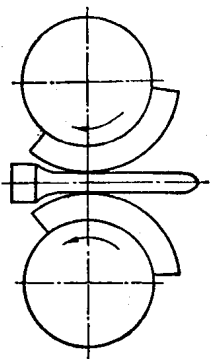


图1 辊锻过程示意图

麻花钻、柴油机连杆、调节臂、叶片、拖拉 机履带节、步枪刺刀、穿甲弹尾翼及铁路道岔等都采用了辊锻工艺。

二、辊锻工艺特点和应用

目前国内许多厂广泛采用的锻造方法，主要是自由锻锤上胎模锻或锤上模锻。它有很多难以克服的缺点，如生产率低、设备庞大、制造困难、振动大、劳动生产条件差、对厂

房和地基要求高、难以实现机械化和自动化等，因而不能适应国内生产大力发展的要求。而辊锻工艺与之相比，却有着极其显著的优越性。

(1) 生产率高：据统计，成型辊锻的生产率为锤上模锻的 5~10 倍。这主要是由于辊锻工艺基本上是连续生产，而锤上模锻工艺中，锤与压力机的空行程占有较长的时间。例如柴油机增压器动叶片经辊锻成型后，除榫头部分仍需机械加工外，其叶身型线部分只需电解加工，比旧工艺方料电解，其生产率提高 2.5 倍以上。又如锻造坦克走动部分的履带节这个零件，采用锤上模锻工艺每班可生产 600 件，而采用辊锻成型工艺的班产可达 1300 件。再如辊锻飞机发动机的涡轮叶片，用矩形截面的长条料，每辊一次能成型 10 只叶片(图 2)，以每分钟 30 转计算，则每小时可生产 18000 只叶片，这是压力机上模锻所无法与之相比的。

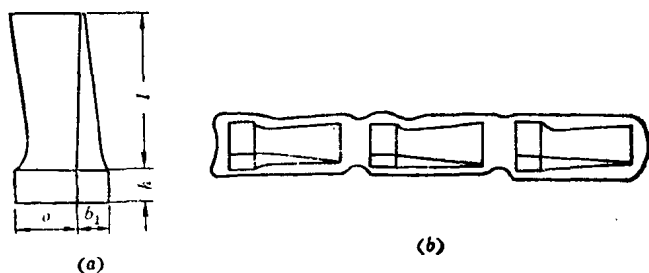


图2 动叶片辊锻工艺

a —动叶片锻件； b —动叶片辊锻后在长条料上的简图。

(2) 节约金属材料：据统计，多型槽辊锻成型坯料的金属耗量比锤上多型槽模锻降低了 6~10%，这是由于辊锻的坯料是顺序定位翻转，以使坯料的整个体积能得到正确地

分配，并获得较大拔长的条件，因此在辊锻机上模锻所产生的飞边宽度比锤上模锻的要小而均匀。例如增压器叶片的闭式辊锻工艺比压力机上的开式模锻工艺，其材料利用率可提高30%左右。若与方钢铣削叶片旧工艺比较，约提高3倍以上。

(3) 提高锻件的内在质量：在两个扇形模块转动的影响下，金属发生局部的连续变形，使金属的纤维按照锻件的外形分布，金相组织均匀、致密、机械性能高。例如柴油机增压器叶片经辊锻后，金属流线完全符合叶片外形要求，材料中心层的偏析不暴露在叶片表面，从而提高了叶片的质量。

(4) 采用精密铸造辊锻模具或电脉冲加工辊锻模，不仅可节约大量合金模具钢，还能减少大量模具加工工时和模具加工专用设备（如仿型铣床等）。

(5) 劳动条件好：辊锻过程是一个连续的静压变形过程，没有冲击和振动，操作简单，易于实现机械化和自动化。该工艺与锤上模锻相比，工人劳动条件得到显著改善。

(6) 辊锻机的结构简单、制造方便，对厂房、地基条件要求低，并且设备造价较低，节约国家基建投资。

(7) 设备动力不象模锻锤那样需有锅炉蒸汽装置或压缩空气装置，而仅有电力就能启动设备。

辊锻除有上述特点外，也有其工艺局限性和缺点：首先，就成型辊锻来说，它不具备锤的万能性，只适用于长轴类锻件的辊锻成型；其次，从变截面锻件的成型辊锻来看，是属于刚体的啮合运动与金属在型槽中塑性流动混合在一起的复杂过程。实践表明，辊锻出的锻件形状和尺寸与辊锻模具的形状和尺寸并不完全一样。如叶身到根部的过渡处有不同的

圆角半径痕迹，辊出后的锻件不平直。鉴于以上两个原因，往往在终成型辊锻后采用局部整形精压的工序，从而增加了精整设备和精整模具。这是辊锻工艺的很大弱点，也是今后辊锻工艺需要研究解决的重要任务。

辊锻工艺按其型槽次数及变形方式可分为制坯辊锻、成型辊锻、冷辊锻及单型槽和多型槽辊锻等。叶片类锻件有如下二种，见表1。

表1 叶片辊锻工艺的分类及其应用

种 类	应 用 范 围	变 形 过 程 特 点
热态辊锻	适用于叶身型线变形量较大的叶片、难变形高温合金材料。如增压器动叶片。	采用开式型槽、闭式型槽开式与闭式组合型槽，每个型槽辊锻一次。终成型辊锻后，一般要有精压工序。
冷态辊锻	用于终成型辊锻(变形量极小)或做为辊锻最后的精压工序，铝合金、不锈钢等强度较低的材料。它可以使锻件得到较高的表面光洁度 $\nabla 7$ 及提高锻件表面机械性能。如小型叶片的冷辊锻。	在开式型槽中一次或多次辊锻。

三、国内外辊锻工艺现状

由于辊锻工艺具有一系列的优点，所以在国内外都得到普遍推广和应用。在国外制坯辊锻已得到广泛采用。如美国辊锻作为制坯与热模锻压力机配套已达60~70%；西德、苏联用辊锻机与压力机联成各种产品的自动线也为数不少。在军工生产中用辊锻工艺生产航空发动机的涡轮叶片、飞机的大梁、直升飞机的螺旋桨叶、坦克的履带节、穿甲弹尾翼及

步枪刺刀等等。

国外在叶片辊锻工艺及设备方面，尤其是在冷辊锻方面做了很多工作。

1960 年左右苏联采用挤压-热辊锻工艺辊锻汽轮机和压气机动叶片毛坯，虽然叶型留有少许余量，但与原有叶片模锻工艺相比，节约材料 30~40%，减少叶片加工工时 20~30%，降低成本 30% 左右。如对于长度 500 毫米以下的汽轮机叶片采用挤压-热辊锻工艺，叶型部分单面余量 0.4~0.6 毫米。对于长度 500 毫米以上的汽轮机叶片，也采用挤压-热辊锻工艺，但叶型部分单面余量加大至 2~5 毫米。

苏联最近已设计制造了 10 多种规格的压气机叶片冷辊锻机，能辊锻长度 250 毫米，宽 100 毫米的叶片。这种设备的所有部件都具有很好的刚性，机架也具有较大的强度，这样才能保证叶型所需的精度。扇形辊锻模的转动靠液压缸和杠杆系统来实现。辊锻过程全部自动化，辊锻前毛坯经无氧化加热，叶型需辊锻两次，在两对轧辊中，自上而下自动连续完成，辊锻后叶片需校正。模具寿命 3000~4000 件。

1955 年在英国曾采用了精密辊锻发动机涡轮叶片及压气机动叶片工艺，材料为尼莫尼克 80A 或尼莫尼克 90 合金及不锈钢等。叶片尺寸由 38 毫米涡轮叶片至 356 毫米长的压气机动叶片。

1957 年美国通用动力公司采用冷辊锻工艺生产压气机叶片，材料为 403 不锈钢。其主要工艺过程是：第一道冷辊锻、第二道冷辊锻、切飞边、镦粗根部、切除根部飞边、第一次冷精压、第二次冷精压、切边及叶型扭角。

美国生产的叶片冷辊锻工艺：用矩形截面坯料热挤压-冷挤压-冷辊锻联合工艺。采用冷辊锻方法生产，成本降低一倍，机械加工工时减少40%左右。

1960年美国 and 英国共同研制的喷气发动机压气机动叶片采用热挤压叶身与冷辊锻叶型的联合工艺。叶片材料为铝合金、铝铜合金、不锈钢、镍合金和钛合金。采用这种工艺比机械加工经济得多，且精度高，可与精密锻件相比较。

1952年西德设计制造了三种冷辊锻机，能辊锻50毫米、150毫米及400毫米三种长度的叶片。

1957年东德也采用热辊锻方法生产2.5千瓦汽轮机末级动叶片，材料为2Cr13，经七道次辊锻成型，然后校正，叶型部分单面余量0.5毫米。

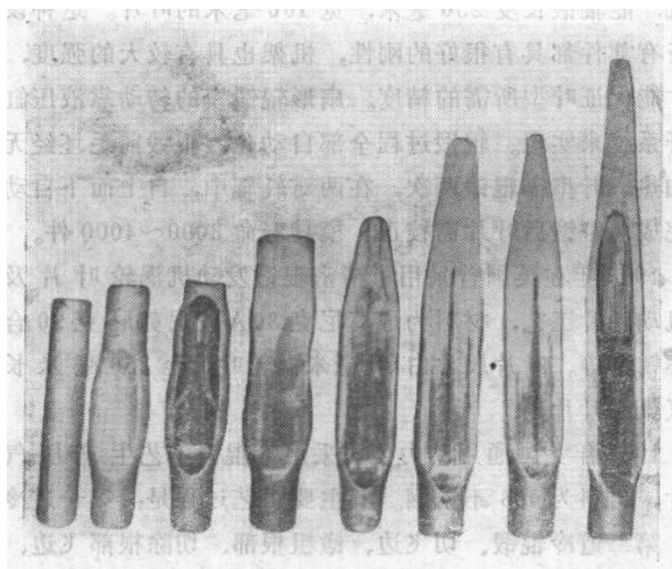


图3 直升飞机螺旋桨叶辊锻工艺

1976年末西德哈森克勒弗尔有限公司制成了一台最大的立式辊锻机，已生产了直升飞机铝合金螺旋桨叶，其尺寸为3米长、0.4米宽及20~90毫米厚，重达220公斤。螺旋桨叶分七道工序辊轧而成（见图3）。

辊锻工艺在我国的发展也是较快的，解放后上海工具厂的麻花钻制坯辊锻在生产上得到应用；1958年上海汽轮机厂首先对汽轮机叶片辊锻工艺作了研制工作。随后，如锄头、履带节、活络扳手、链条侧环、连杆、铁路道岔等产品的成型辊锻在全国各地陆续投产。近几年来，柴油机增压器动叶片的成型辊锻和发动机动叶片的冷成型辊锻都已投入生产；飞机大梁（长约2米多）采用了成型辊锻，从而代替3万吨模锻水压机；还有直升飞机的螺旋桨叶、穿甲弹尾翼及步枪刺刀等锻件都在进行成型辊锻试制及生产。

§ 2 辊锻过程的理论分析

一、辊锻变形过程的基本参数

辊锻变形是由锻造的间断性拔长工序演变而来的连续性拔长工序。辊锻变形过程是坯料在摩擦力的作用下，被相反方向转动的一对轧辊咬入，从而使坯料断面连续地减小、长度不断增加（图4）。下面介绍变形过程中的主要参数。

1. 绝对压下量

辊锻前后坯料高度之差称为绝对压下量。用 Δh 表示（图4），即

$$\Delta h = h_0 - h_1$$

式中 h_0 ——辊锻前坯料高度（毫米）；

h_1 ——辊锻后坯料高度（毫米）。

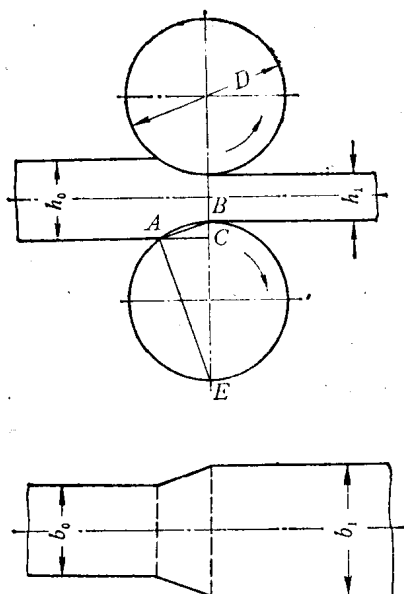


图4 变形时坯料的尺寸变化

2. 相对压下量

绝对压下量 Δh 对原始坯料高度 h_0 之比值称为相对压下量，用 ε 表示（图4），即：

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} \times 100\%$$

3. 绝对宽展量

轧锻前后坯料宽度之差称为绝对宽展量。用 Δb 表示（图4），即：

$$\Delta b = b_1 - b_0$$

式中 b_0 ——轧锻前坯料宽度（毫米）；

b_1 ——轧锻后坯料宽度（毫米）。

4. 宽展系数

坯料绝对宽展量 Δb 与其绝对压下量 Δh 之比值称为宽展系数。用 q 表示, 即:

$$q = \frac{\Delta b}{\Delta h}$$

5. 变形区长度

咬入弧长的弦在轧制方向上的投影称为变形区长度。用 l 表示, 它由几何关系可得 (图 4):

$$l = \sqrt{R \cdot \Delta h - \frac{\Delta h^2}{4}}$$

式中 R ——轧辊的工作半径 (毫米);

按下式计算:

$$R = \frac{1}{2} (D - h_0)$$

式中 D ——轧辊的名义直径, 即轧辊中心距。当 Δh 相对于 R 很小时, 则变形区长度为:

$$l \approx \sqrt{R \cdot \Delta h}$$

6. 延伸系数

辊锻后坯料长度 l_1 与辊锻前坯料长度 l_0 之比值或辊锻前坯料截面积 F_0 与辊锻后坯料截面积 F_1 之比值称为延伸系数, 用 λ 表示, 即

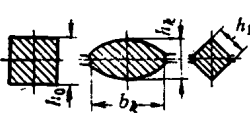
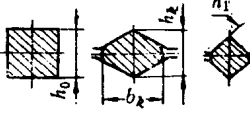
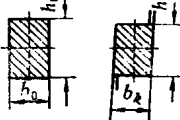
$$\lambda = \frac{l_1}{l_0} = \frac{h_0 \cdot b_0}{h_1 \cdot b_1} = \frac{F_0}{F_1}$$

几种型槽系的许用延伸系数见表 2。

表 2 只有在以下条件下才能使用:

(1) 辊锻材料为中碳低合金结构钢及不锈钢;

表 2 几种型槽系的许用延伸系数

方—椭圆—方		方—菱形—方		矩形—矩形
				
λ_0	$\lambda_{\text{平}}$	λ_0	$\lambda_{\text{平}}$	$\lambda_{\text{平}}$
2.5~3.6	1.6~1.9	2.4~3.2	1.5~1.8	1.8~2.0
当 $\frac{b_2}{h_2} = 3 \sim 4$		当 $\frac{b_2}{h_2} = 2 \sim 3$		当 $\frac{b_2}{h_2} = 3 \sim 5$

注: λ_0 ——总的许用延伸系数;

$\lambda_{\text{平}}$ ——各道辊锻的平均许用延伸系数。

(2) 锻辊直径 D 与毛坯原始直径 d_0 (或高度 h_0) 的比值为 $10 \sim 20$ 的范围内, 即 $\frac{D}{d_0} \left(\text{或} \frac{D}{h_0} \right) = 10 \sim 20$;

(3) 坯料截面的轴长比 $\frac{b_k}{h_k}$ 在表内所规定的范围内。

二、轧件咬入条件

轧制时, 轧件由于轧辊之摩擦力被咬入轧辊后, 在高度上被塑压, 使其纵横方向都发生形状的变化。

只有当轧件被咬入轧辊之间才建立起轧制过程, 一般轧制时的咬入条件由下列分析得到。

当轧件与旋转轧辊接触时, 轧辊对轧件作用有正压力 N 及摩擦力 T , 根据几何关系可知 (图 5):

$$N_x = N \cdot \sin \alpha$$

$$T_x = T \cdot \cos \alpha$$

而 $T = \mu \cdot N$

轧件能否顺利地被轧辊轧入并沿水平方向继续向前运动，取决于正压力的水平分力 N_x 和摩擦力的水平分力 T_x 的大小。 N_x 和 T_x 作用方向相反， N_x 力图把轧件推开，而 T_x 则与之相反，力图将轧件拉进变形区。

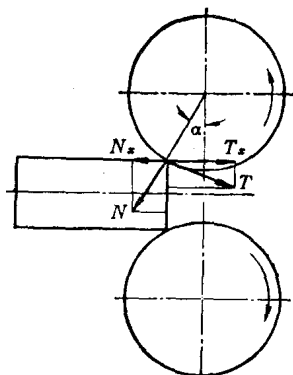


图5 开始咬入时的作用力图解

当轧件与轧辊接触的瞬时力的作用处于平衡状态时，水平方向作用力之和 $\Sigma x = 0$ ，即：

$$2N \sin \alpha - 2T \cos \alpha + U = 0$$

式中 U ——惯性力，因轧制速度较低，可忽略不计。

则：
$$N \sin \alpha = T \cos \alpha$$

代入后，得：
$$N \sin \alpha = \mu \cdot N \cos \alpha$$

即：
$$\mu = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha$$

从上式得知，当摩擦系数等于摩擦角（ $\mu = \operatorname{tg} \alpha$ ）时，轧制过程处于平衡状态。

同理，若要产生咬入，则 T_x 必须大于 N_x 。当 T_x 小于 N_x 时，轧件就被推向后。

根据摩擦系数与摩擦角的相互关系，将会出现下列三种情况：

$\mu > \operatorname{tg} \alpha$ ，轧件被咬入轧辊；

$\mu = \operatorname{tg} \alpha$ ，轧件停滞不进不退；

$\mu < \operatorname{tg} \alpha$ ，轧件被轧辊推动向后。