

高等学校试用教材

透平机械制造工艺学

上海机械学院朱佳生 主编

机械工业出版社

前 言

本书是根据1978年4月在天津召开的高等学校一机部对口专业座谈会精神,和1978年6月在安徽黄山召开的透平机械专业教材会议制订的《透平机械制造工艺学》编写大纲编写的。

本书的编写共分三篇。第一篇叙述了机械工艺基本原理;第二篇讲了透平机械主要零件的制造工艺和特种检验,并简要介绍了数控机床的基本原理和在透平机械制造中的应用;第三篇分析了透平机械的厂内装配(包括部套装配,动、静平衡,总装配)以及小型汽轮机的厂内试车。

透平机械包括的面较广,本书以汽轮机的制造工艺为主,也介绍了一些燃气轮机和其它透平机械的制造工艺。

本书由上海机械学院朱佳生同志主编。书中第二篇的第四章由清华大学李秀英同志编写,第三篇由上海机械学院陈行根同志编写。由清华大学李秀英同志主审。

在编写过程中,曾得到上海汽轮机厂,哈尔滨汽轮机厂,北京重型电机厂,杭州汽轮机厂,南京汽轮机厂,无锡动力机厂和东方汽轮机厂等单位的大力支持和帮助,一机部教编室翁善惠同志进行了认真地审核,在此,谨表示感谢。

由于我们业务水平有限,编写时间又很仓促,书中必然存在不少缺点和错误,热忱地欢迎广大读者,特别是从事透平机械制造工作的工程技术人员提出批评指正。

编 者

一九七九年七月

目 录

第一篇 机械制造工艺原理

第一章 机械加工工艺规程的制订	1
§ 1-1 概述	1
一、生产过程、工艺过程和工艺规程	1
二、机械加工工艺过程的组成	1
三、编订工艺规程的目的意义	3
四、生产类型	3
五、编订工艺规程的步骤和内容	4
§ 1-2 零件图的研究和工艺分析	5
1. 分析零件的主要表面	5
2. 分析零件各表面的相互位置	5
3. 分析重要的技术条件	5
4. 分析零件结构的工艺性	5
§ 1-3 选择毛坯	9
一、毛坯的选择	9
二、加工余量	10
§ 1-4 工件的安装和基准	11
一、定位、夹紧和安装	11
二、基准及其分类	12
三、定位基面的选择	13
§ 1-5 工艺路线的拟订	14
一、选择加工方法	15
二、划分加工阶段	16
三、确定工序的数量	17
四、热处理工序的安排	17
五、其他工序的安排	18
§ 1-6 确定工序的具体内容	19
一、确定工序尺寸和工序公差	19
二、选择设备及工艺装备	19
三、确定切削用量及工时定额	19
§ 1-7 工艺文件	19
例题	19
第二章 机械制造精度	24
§ 2-1 概述	24
一、加工精度与产品质量	24
二、加工精度的内容和保证精度的方法	24
三、经济精度	25
§ 2-2 影响加工精度的因素	27
一、加工方法的理论误差	27
二、机床、夹具、刀具的制造误差与磨损	27
三、工艺系统的弹性变形	28
四、工艺系统的温度变形	29
五、由于内应力的影响所引起的加工误差	29

六、度量误差	29
七、工件的安装误差	29
八、机床的调整误差	29
§ 2-3 加工精度的统计分析法	29
1. 系统误差	29
2. 偶然误差	30
§ 2-4 装配精度 尺寸链	32
一、尺寸链的基本概念	32
二、尺寸链的解法	35
§ 2-5 尺寸链的应用	41
§ 2-6 表面质量	44
一、零件加工后的表面质量、光洁度等级	44
二、表面质量对零件使用性能的影响	45
三、机械加工中影响光洁度的因素	46
四、表面光洁度的选择	49
第三章 夹具	52
§ 3-1 概述	52
§ 3-2 工件在夹具中的定位	53
一、工件的六点定位原理	53
二、工件的定位误差	55
三、定位元件	58
§ 3-3 夹紧装置	63
一、对夹紧装置的基本要求	63
二、夹紧力的选择	64
三、夹紧装置	64
四、气动液压传动装置	67
§ 3-4 导向元件	71
一、钻套	71
二、导套	72
三、对刀装置	72
四、靠模装置	72
§ 3-5 夹具体	74
§ 3-6 夹具设计	75
第二篇 透平机械主要零件的制造工艺	
第四章 叶片的制造工艺	76
§ 4-1 概述	76
一、叶片的工艺分类	76
二、叶片的技术要求	77
§ 4-2 叶片材料	80
一、对叶片材料的要求	80
二、常用的叶片材料	81
§ 4-3 叶片毛坯制造工艺	84
一、标准条制	84
二、热轧冷拉或热轧冷轧毛坯	84
三、高速锤热挤压叶片毛坯	86
四、锻锻与复合成形	89
五、模锻毛坯	91
六、叶片的精密模锻	93
七、叶片的精密铸造	94
八、爆炸成形毛坯	100

§ 4-4 叶片型面的机械加工	101
一、汽(气)道部分的成型规律	101
二、汽(气)道型面的机械加工方法	107
三、叶片型面的光精加工	120
§ 4-5 叶根加工	121
一、T形及外包T形叶根的加工	122
二、叉形叶根的加工	125
三、齿形叶根的加工	126
四、枞树形叶根的加工	127
五、外包式叶根的加工	129
六、叶根加工的自动线简介	129
§ 4-6 叶片加工的工艺路线分析	134
一、叶片工艺路线的特点	134
二、基准面的选择与加工方法	135
三、径向面及端部的加工	137
四、叶片典型工艺过程	139
§ 4-7 叶片的表面处理	155
一、汽轮机叶片	155
二、燃气轮机叶片	156
§ 4-8 叶片的检验	157
一、材料化学成分及机械性能检验	157
二、表面裂缝检验	157
三、内部质量的无损探伤	157
四、叶片外形尺寸的检验	157
第五章 叶轮的制造工艺	164
§ 5-1 概述	164
§ 5-2 叶轮的毛坯	165
§ 5-3 叶轮的热处理和特种检验	168
§ 5-4 叶轮的机械加工	170
一、叶轮加工的技术要求	170
二、叶轮的加工顺序和工艺特点	170
三、叶轮内孔及轮面加工	172
四、轮槽加工	175
五、其他面的加工	177
六、数显和数控在叶轮加工中的应用	177
§ 5-5 叶轮超速预应力处理	178
第六章 转子的制造工艺	181
§ 6-1 概述	181
§ 6-2 转子的锻造	183
§ 6-3 焊接转子的焊接	186
§ 6-4 转子的热跑试验	188
§ 6-5 锻坯供应厂中的机械加工	190
§ 6-6 转子的机械加工	192
一、加工技术要求	192
二、转子的精加工	193
三、转子的工艺规程	197
第七章 汽缸的制造工艺	200
§ 7-1 概述	200
§ 7-2 汽缸的铸造	202
一、铸钢汽缸	202
二、铸铁汽缸	204

§ 7-3 汽缸的焊接	206
§ 7-4 汽缸的机械加工	207
一、汽缸加工技术条件	207
二、汽缸加工顺序	207
三、铸造汽缸的粗加工	208
四、铸造汽缸的精加工	210
§ 7-5 汽缸的水压试验	214
第八章 隔板的制造工艺	216
§ 8-1 概述	216
§ 8-2 铸造隔板	218
§ 8-3 焊接隔板	220
一、汽叶围带焊接隔板	220
二、喷嘴焊接隔板	223
§ 8-4 隔板的机械加工	224
§ 8-5 隔板的挠度试验	227
第九章 数显及数控在透平机械制造中的应用	229
§ 9-1 数显装置在透平机械制造中的应用	229
一、数显装置的优点	229
二、数显装置的组成	229
三、感应同步器的工作原理	234
§ 9-2 数控机床在透平机械制造中的应用	238
一、数控机床的基本工作原理	238
二、数控机床程序编制简介	245
三、数控机床的发展	254
四、在 ND ₆ -630 数控车床上加工叶轮进汽端的程序	257
第十章 透平机械制造中的特殊检验	262
§ 10-1 磁粉探伤	262
§ 10-2 着色探伤	264
§ 10-3 荧光探伤	265
§ 10-4 超声波探伤	266
一、超声波	266
二、超声波探伤的基本原理	266
三、超声波发生器	268
四、探伤图形、缺陷的定位、定量	270
五、优缺点	271
§ 10-5 射线探伤	271
§ 10-6 硫磷偏析试验	273
§ 10-7 酸浸试验	274
§ 10-8 煤油试验	274

第三篇 透平机械的装配和试车

第十一章 转子的装配和平衡	275
§ 11-1 动叶片的装配工艺	275
一、动叶片装配的技术要求	275
二、叶片的装配方法	276
三、封口叶片的装配	280
四、拉筋的装配	281
五、围带的装配	283
六、保证叶片装配质量的技术措施	284
§ 11-2 套装式转子叶轮的装配	285

一、套装式转子的结构及装配技术要求	285
二、套装式转子控制轴向尺寸的方法	285
三、叶轮的套装工艺	287
四、叶轮套装后的检验	289
§ 11-3 拉杆式转子的装配	290
一、压气机转子的装配	290
二、拉杆的紧固	291
三、透平及整个转子的组装	292
§ 11-4 叶轮的静平衡	293
一、转子平衡的概念	293
二、叶轮静平衡	294
§ 11-5 刚性转子的动平衡	297
一、刚性转子动平衡的力学原理	297
二、刚性转子的动平衡设备	299
三、动平衡机上进行转子动平衡的工艺过程	302
四、动平衡台及其平衡方法	302
§ 11-6 挠性转子的动平衡	308
一、挠性转子的一般概念	308
二、挠性转子动平衡的基本原理	309
三、振型分离平衡法	310
四、影响系数法	312
§ 11-7 平衡精度及其选择	316
第十二章 汽轮机厂内总装配	320
§ 12-1 概述	320
一、总装前的准备工作	320
二、厂内总装配的基本要求和过程	321
§ 12-2 汽轮机静体装配	324
一、汽缸的組合	324
二、下汽缸和轴承座的安置与校水平	326
三、汽缸的负荷分配	327
四、汽轮机滑销系统的装配	329
五、隔板的装配与校准	332
§ 12-3 汽轮机找中心	334
一、汽轮机找中心的目的及要求	334
二、汽轮机找中心的方法	335
三、转子扬度的测定和轴系的联接方式	337
四、转子按联轴器找中	340
§ 12-4 三轴承转子找中	344
§ 12-5 汽轮机运行状态对找中的影响	346
一、冷凝器的影响	346
二、汽缸、轴承座温度的升高对找中的影响	346
三、轴承油膜厚度对转子中心的影响	347
四、转子材料弹性模量变化的影响	348
§ 12-6 通流部分间隙的测量和调整	348
一、通流部分的轴向间隙及其测量	348
二、通流部分轴向间隙的调整	349
三、径向间隙的测量和调整	349
§ 12-7 径向一止推轴承的装配	351
一、径向一止推联合轴承的结构及装配要求	351
二、径向一止推联合轴承的装配	352
三、上轴承及上轴承盖的装配	352

§ 12-8 光学找中	354
一、普通光学找中	354
二、激光找中	356
§ 12-9 汽轮机的闭合及各汽缸的联接	357
一、汽轮机闭合的要点及准备工作	357
二、汽缸的闭合	358
三、汽缸水平中分面螺栓的热紧	359
四、汽缸中分面螺栓紧固的顺序	360
§ 12-10 电子计算机在汽轮机装配中的应用	361
第十三章 厂内试车	363
§ 13-1 厂内试车的目的	363
§ 13-2 汽轮机试车时的试验项目及测点布置	363
一、汽轮机试车时的试验项目	363
二、试车时测点布置	365
§ 13-3 汽轮机试车的步骤	366
一、起动前的准备	366
二、起动汽轮机	366
三、停车	367
四、试验结束后的调整与检查	367

第一篇 机械制造工艺原理

透平机械制造工艺学是研究透平机械零件制造、装配、安装和试车等方面的工艺问题。

第一章 机械加工工艺规程的制订

§ 1-1 概 述

一、生产过程、工艺过程和工艺规程

任何机器从设计绘图到制成产品，要经过一系列的劳动过程，这些劳动过程的总和就是机器的生产过程。一台复杂的机器，它的生产过程往往是由许多工厂联合完成的。这样可以使各工厂的生产专业化，有利于提高质量、产量和降低成本。同样，汽轮机的生产过程也是由许多工厂共同完成的。如汽轮机上的电机、电器、滚动轴承、标准件、非金属制品等都是由相应的专业工厂完成的。

工厂的生产过程是指从生产准备开始到成品出厂的全部过程。它不仅包括那些直接作用到生产对象上去的工作，还包括许多生产准备工作（如制订生产计划、准备生产工具、编订工艺规程等）和生产辅助工作（如设备维修、刀具刃磨、材料供应、保管运输、统计核算等）。它的目的是如何将进厂的原材料和半成品多快好省地制成成品。因此，工厂生产过程中最重要的是与改变原材料或半成品状态（尺寸、形状、加工质量、材料性能等）直接有关的过程，这个过程称为工艺过程。

工厂为了保证机器生产有节奏地进行，按生产特点分为若干车间，各车间既有分工又互相配合。因此，一个工厂的生产过程通常又按车间分成若干车间的生产过程。

透平机械制造中，工厂的工艺过程包括如下几个主要阶段：毛坯制造（铸造、锻造等），将毛坯加工成零件（机械加工、热处理等），将零件装配成机器并调试成合格的产品。

工艺过程中的各项内容写成文件就是工艺规程。因此，机器制造过程相应的有铸造工艺规程，锻造工艺规程，机械加工工艺规程，热处理工艺规程，装配工艺规程和安装试车规程等。这些工艺规程所要解决的主要矛盾是：将原材料制成毛坯（铸、锻），将材料制成所要求的机械性能（热处理），将毛坯制成成品零件（机械加工），将零件装成合格的产品（装配、安装、试车）。

机械加工工艺过程在透平机械制造中占有重要的地位。它是用机械加工方法改变材料或毛坯的状态（形状、尺寸和表面质量），使它逐步制成所要求的成品。

二、机械加工工艺过程的组成

机械加工工艺过程是由一系列的工序组成的。毛坯依次通过这些工序制成成品。

工序 是一个（或一组）工人在一个工作地点（或一台机床）对一个（或同时几个）零件所连续完成的这部分工艺过程。工序是工艺过程的基本单元，它的特征是定人、定活、定点。例如图 1-1 所示的法兰盘，一般分三道工序进行加工。先在车床上由车工车削外圆及内

孔，其次在钻床上由钻工钻四个紧固螺钉孔，最后，在插床上由插工插键槽。如果钻孔时不用钻模，那末钻孔工序之前还要增加一道工序，就是在钳工台上由钳工划四个孔线。

一个零件进行某道工序时，可能在机床上只装夹一次，也可能要装夹几次。工件在机床上定位并将它夹紧的过程称为安装。例如上述法兰盘在进行车工工序时要有二次安装。第一次安装用三爪卡盘夹紧大端外圆，加工小端外圆、端面及粗加工内孔；第二次安装夹紧小端外圆，加工大端外圆、端面及精加工内孔，这样保证了大端端面与内孔的垂直度。

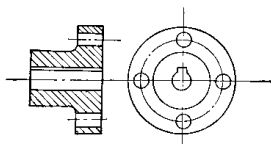


图1-1 法兰盘

汽轮机带有垂直接合面的汽缸，在立车加工工序中也分二次安装。第一次安装车垂直接合面及各档内圆；第二次安装以垂直接合面及内圆为基准，车外汽封槽。

零件的每一次装卸和紧固都要消耗工时，而且每装拆一次就多一次误差。因此，应尽量减少安装次数，最好在一次安装中加工尽可能多的表面。一次装夹后，工件在机床上所占有的每一个位置（每一位置有相应的加工表面）称为工位。例如，在单轴铣床上铣T型叶根时（图1-2），工件叶片一次安装在夹具中先铣叶根的一侧，然后，将工作台平移 $D+A$ 的距离，再铣另一侧。这是一次安装二个工位。避免了用二次安装时造成的工时消耗和安装误差。采用多工位加工可以减少安装次数。

在一个工位中，当加工表面、切削工具和切削用量中的转速与走刀量均保持不变时的那部分加工称为工步。一道工序可包括一个或几个工步。例如，上述法兰盘在车工工序中，两次安装各由一个工位三个工步组成。第一次安装中有车小端外圆、端面、粗车内孔三个工步。第二次安装中也有车大端外圆、端面、精车内孔三个工步。如果有些表面还要分粗精二次加工，则粗加工和精加工因走刀量和切削速度不同又成为一个新的工步。

汽轮机叶轮平衡孔的加工（图1-3）是一道工序，在钻床上由钻工进行。这道工序有五个工步：（1）钻孔；（2）扩孔；（3）铰孔；（4）倒孔口圆角；（5）倒另一端孔口圆角。每更换一次刀具就构成一个新的工步。

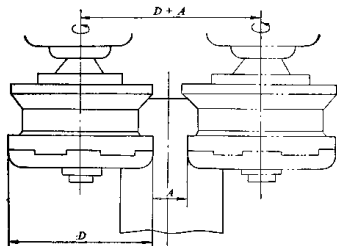


图1-2 一次安装二个工位

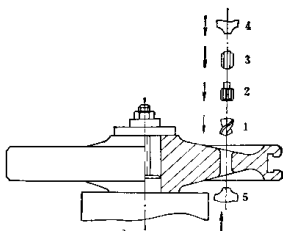


图1-3 叶轮平衡孔加工

1—钻孔 2—扩孔 3—铰孔 4—倒孔口
圆角 5—倒另一端孔口圆角

如果几个加工表面完全相同,刀具、切削用量均不变,在工艺规程上算作一个工步。例如,上述法兰盘上的四个孔钻削时,用一个钻头依次进行加工,因此钻这四个孔算作一个工步。

为了提高生产率,将几个表面同时用几把刀具加工,这种工步称为复合工步。如在龙门刨床上加工汽轮机轴承座时,用上刀架、侧刀架上的几把刨刀同时刨轴承座的上面和侧面,这是一个复合工步。复合工步在工艺规程中也算作一个工步。

每一工步可以有一次或几次走刀。走刀是被加工表面、刀具切削用量不变时切去一层金属的过程。走刀次数可以根据加工余量和切削深度算出来。若需切去的金属厚度(余量)等于切削深度、只需一次走刀。

每次走刀又可细分为若干动作。例如调整主轴转速、调整走刀量、变换刀具、开动机床、快速送进、切削、退刀、停车等,动作是组成工序最基本的单元。

由此可见,工艺规程由工序组成。工序又由安装、工位、工步、走刀、动作等组成。每一工序所包含内容的多少可以有很大的差别。这从工艺规程上可以清楚地看到。

工艺规程分得这样细的目的主要是便于编订工艺规程,便于合理地、有组织有计划地进行生产,以便多快好省地制造零件。在透平机械制造中,一般零件的工艺规程都比较笼统,只是对一些主要零件才将工序的内容编订得比较具体。但是,从数控机床应用于透平机械制造后,对工序中的每一个动作都必须加以细分,以便在编订数控机床的程序时有相应的指令加以控制。

三、编订工艺规程的目的意义

合理的工艺规程对组织生产、保证产品质量、提高生产率、降低成本、改善劳动条件都有重要的意义。一般编订工艺规程有四种情况。

1. 为筹建新厂而编订工艺规程。这时编订工艺规程还不是具体的指导生产,而是由工艺规程来确定新厂的主要车间面积、设备的数量和规格、设备的布置、工艺装备的准备、劳动力的配备等。因此,这种工艺规程不必订得很详细,一般只订工艺流程或过程卡。

2. 为生产新产品而编订工艺规程。这时工艺规程的目的是指导生产、组织生产、保证质量、降低成本、提高产量、改善工人劳动条件。因此,根据零件的主次对工艺规程要求较详细,而且必须考虑到厂内现有的设备、工艺装备、劳动力的具体情况。

3. 为现有产品扩大生产计划而编订工艺规程。这时根据扩大计划的数量不同,工艺规程的编订情况也不同。如计划增加不太多时,一般只对少数零件的工艺规程进行修订。不必对所有零件重新编订工艺规程。

4. 旧工艺规程的修改。随着生产技术的发展,设备和工艺装备的更新,新工艺新技术不断涌现,这将影响原有的工艺规程。因此,不断总结生产经验,听取合理化建议,修订工艺规程也是一项经常性的任务。例如,喷嘴采用精密铸造毛坯时,原有对锻造毛坯编订的工艺规程就不相适应;必须进行修订。

四、生产类型

根据工厂生产规模的大小,生产类型分为三种:

1. 单件生产。单个地制造结构不同、尺寸不同的产品,并极少重复生产,甚至完全不重复。例如重型机器制造、大型船舶制造、大功率汽轮机制造等属于单件生产。

2. 大量生产。当一种产品的数量很多,大多数工作地点经常重复地进行某一零件的某一工序。例如汽车、拖拉机、滚动轴承的制造属于大量生产。

3. 成批生产。一年中分批地制造相同的零件(产品)。每批所制造的相同零件的数量称为批量。批量是根据年产量及一年中所分成的批数而计算出来的。根据批量的大小和产品的特征,成批生产又可分为小批生产、中批生产和大批生产。小批生产的工艺特点接近于单件生产,大批生产的工艺特点接近于大量生产。中批生产介于单件小批生产和大批大量生产之间。例如某些小功率汽轮机年产量较大时属于小批生产。汽轮机的叶片生产属于中批生产或大批生产。

生产类型不同,无论在生产组织、生产管理、车间布置、毛坯、设备、工具、加工方法和工人的熟练程度等各方面均有所不同。表1-1列举了三种生产类型的特点。

表1-1 生产类型的特点

特 点	单 件 生 产	成 批 生 产	大 量 生 产
产品数量	小	中	大
品 种	各式各样	几种类型	一、二种类型
产品互换性	一般不能互换,钳工修配	大部分有互换性,少数钳工修配	全部有互换性
毛 坯	铸件用木模手工造型,锻件用自由锻,毛坯余量大	部分采用先进的毛坯制造方法,部分毛坯余量较小	采用先进的高生产率的毛坯制造方法,毛坯余量小
设 备	万能的	万能的,部分专用设备	专用的,高生产率的自动化的设备
工夹具	极少用专用工夹具,用划线和试切法加工	大都采用专用工夹具,少部分划线	采用高生产率的专用工夹具
刀量具	采用通用刀具、万能量具	部分采用专用刀具,专用量具	广泛采用高生产率的专用刀具、专用量具
工艺文件	有简单的工艺路线卡,重要零件有工艺卡	重要工序有工序卡、工序图	有详细的工艺文件
工 人	工件加工重复性少,需要技术熟练的工人	工件周期地重复生产,需要一定熟练程度的工人	长期重复生产一、二种工件,对工人的熟练程度要求较低,对调整工的要求较高

五、编订工艺规程的步骤和内容

零件机械加工工艺规程的编订要根据具体条件进行,其中主要的条件有:零件的结构及所要求的加工质量;毛坯的生产情况;生产类型;本厂现有的生产条件(机床设备、工艺装备、工人技术水平等);国内外的先进工艺及今后生产技术的发展状况等。了解了这些情况就可编订工艺规程。

编订工艺规程的基本步骤和内容是:

- 1) 研究零件图,并进行工艺分析;
- 2) 选择毛坯或按标准确定型材规格;
- 3) 选择基准及制订工艺路线;
- 4) 确定工序的具体内容;
- 5) 填写工艺文件。

下面分别加以叙述。

§ 1-2 零件图的研究和工艺分析

零件图是制订工艺规程的基本依据。制订工艺规程必须从分析研究零件图开始。通过仔细的分析研究,不仅能了解零件的全部特征,而且可以对零件工艺过程的内容与特点形成大致的概念。

研究零件图首先应熟悉零件图,并检查零件图的完整性,例如:视图、尺寸、公差、光洁度、表面几何形状和相互位置的偏差是否齐全;零件材料、热处理要求及其它技术要求是否完整合理。在熟悉零件图的同时要对零件结构的工艺性进行初步分析。还要了解零件在机器中的作用。只有这样,才能综合判别零件的结构、尺寸公差、技术要求是否合理;才能制订合理的工艺规程。

对较复杂的零件,还要深入分析几个问题:

1. 分析零件的主要表面——零件的主要表面是指零件的配合表面,或是直接参与机器工作的表面。例如汽轮机叶片的叶根,轴承内孔的支承面等。主要表面的尺寸精度和位置精度一般都比较高。零件在机器中的工作质量在很大程度上取决于主要表面的加工质量。因此在制订工艺规程时,首先要保证主要表面的要求。通过主要表面的分析,便可初步确定在工艺过程中应采用那些最后的加工方法和加工步骤。例如汽轮机主轴或转子的轴颈表面要求较高、需要有粗车、精车、粗磨、精磨等几个基本工序加以保证。

2. 分析零件各表面的相互位置——零件各表面相互位置尺寸的标注对表面加工的先后次序很有关系。例如带有垂直接合面的汽缸,轴向尺寸都以垂直接合面为基准。加工时一般先加工垂直接合面,然后再以垂直接合面为基准加工各挡内孔。所以,零件图上与较多的表面有直接尺寸联系的面应首先加工。由此可见,尺寸标注方式与加工顺序密切相关。如果尺寸标注方式不同,表面的加工顺序亦会不同。因此设计人员正确地标注尺寸和公差是很重要的。

3. 分析重要的技术条件——这是影响工艺规程制订的重要因素之一。例如零件的材料成分,热处理要求都会影响工艺规程。铝合金不宜磨削;低碳铬镍钢(12Cr2Ni4A)韧性好,切削加工前需经正火等。

4. 分析零件结构的工艺性——零件结构工艺性,它对工艺过程的影响很大。使用性能完全相同,而结构不同的两个零件,它们的加工方法及制造成本可能有很大的差别。所谓结构工艺性好,就是零件的结构在满足工作性能要求的前提下,能多快好省地制造出来。结构工艺性包括毛坯生产、零件加工和装配工艺几个方面。

从整个机器考虑,必须在满足性能要求的前提下尽量简化结构,减少机械运动链中的环节数;减少零件的品种和数量;恰当地选定配合部分的制造精度和表面光洁度。

在毛坯生产方面,铸造毛坯应有一定的拔模斜度;零件壁厚应大体均匀;不应有尖边、尖角。锻造毛坯的形状应尽量简单;不能有尖边尖角;用模锻时应易于出模等。

在加工方面零件的结构应设计得便于加工和减少工时。有时,应将一个形状复杂的难加工的零件,分为几个简单的零件。有时则相反,宜将几个简单的零件合并成一个整体。例如,汽轮机的汽缸,为了便于加工内部的各挡隔板槽,为了便于使用不同的材料,将它分成前后

二个部分，由垂直接合面加以连接。

简化零件的结构形状，尽可能减少加工表面数和减少加工表面的面积。这样不仅可以减少机械加工量，减少刀具的消耗，还可减少装配工作量，提高装配质量。例如直径较小的深孔加工时会使钻头弯曲，甚至折断，如图1-4 a)所示。为改善加工性，可改为b)图的结构。

零件的结构形状应便于加工，尽量避免内部加工，例如，没有垂直接合面的高压汽缸，内孔加工比较困难，为了减少内部加工量，采用隔板套的结构。图1-5 为避免斜孔加工的例子。不通孔应避免设计成平底孔（图1-6）。零件的被加工表面应易于刀具的引入（图1-7）。并留有退刀槽（图1-8）。退刀槽和键槽的宽度在同一根轴上应一致（图1-9）。上述各个图中 a) 是不好的结构，b) 是正确的结构。

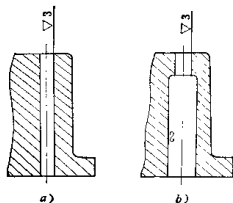


图1-4 缩小加工表面积

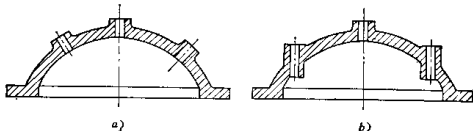


图1-5 避免斜孔加工

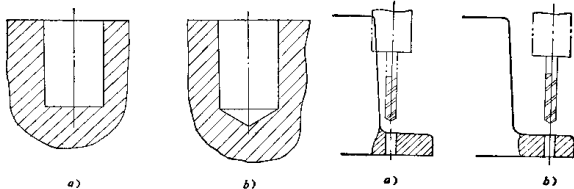


图1-6 避免平底孔加工

图1-7 要易于刀具引入

要进行热处理的零件，它的结构应防止在热处理过程中由于冷却速度不均匀而引起内应力或变形。为了防止产生应力集中或产生裂纹。零件上不应有锐角或尖边。

在装配方面，整台机器应考虑能分解成装配单元，以便简化装配工作。要能先装成部套，然后装成整台机器。这样各部件可同时进行装配，提高生产率。

对互相配合的零件，要求各零件接触面的位置明确，一个方向只能有一个配合面，决不能有几个结合面同时配合。例如如图1-10 a) 为不正确的配合，b) 为正确的配合。

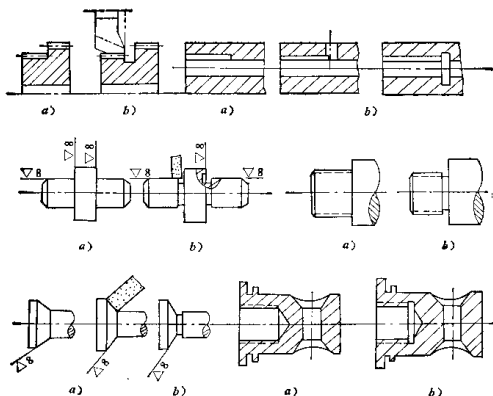


图1-8 要有退刀槽

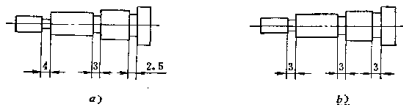


图1-9 退刀槽尺寸应一致

零件的结构应尽量避免装配中的手工修配和机械加工。同时还必须考虑到螺钉的装卸方便。

在透平机械中有些零件的结构受工艺的影响很大。汽轮机叶片汽道型线的设计就是一个很好的例子。最初的直叶片内弧设计成一个圆弧段，这在工艺上很方便，可以用车床或钻床加工，如图1-11所示。后来又设计成由二个圆弧段组成的曲线，这也是考虑加工方便，可以用一个转盘（它的半径等于内弧型线的大半径 R ）在铣床上加工，铣刀的半径等于内弧型线的小半径 r ，如图1-12所示。这种叶片内弧最低点到内弧径向面的垂直距离 a 和内弧小半径 r 之差不能太小，否则铣刀刀杆直径 d' 太小，影响刚性。由三个圆弧段组成的内弧就要用成型铣刀或用靠模加工。

在叶片加工一章中将要讲到的斜切叶片、斜切加 α 向、 γ 向位移，直轴扭转，斜轴扭转等的变截面叶型都是从工艺角度考虑的，这几种变截面型线的设计，是在满足设计要求的前提下尽量凑成成型铣刀加工。由三元流动理论设计的叶型都是按座标点组成的，无法用成型铣刀加工。因此这种型线由于加工困难，使它的应用受到限制，但自从电解加工等新工艺出

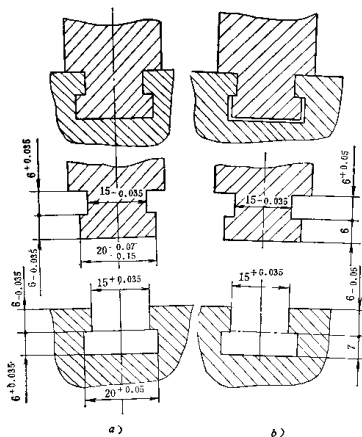


图1-10 装配接触面

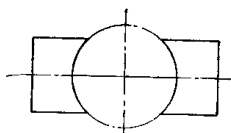


图1-11 叶片内弧为一圆弧段

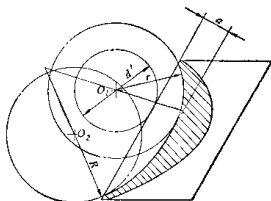


图1-12 叶片内弧为二个圆弧段

现以后, 这种型线的工艺问题得到了解决, 从而使它广泛地应用于透平机械中。

又如叶根型线和叶轮周向轮槽的配合应是一个圆弧, 但许多叶片的叶根型线都设计成直线, 这也是为了加工方便。对于直接插入轮槽进行装配的锯齿形叶片, 它的叶根对角线 OA (图 1-13) 与进汽侧 OB 间的夹角 α 应大于 90° , 否则就不能用这种方法进行装配。图中 $b)$ 上图正确, 下图不正确。

汽轮机主轴(套装式转子)设计成中间大、两头逐段缩小, 这是为了便于套装各级叶轮。汽缸所以要有水平接合面和垂直接合面(筒式装配)也是为了便于装配。

由此可见, 机械的结构设计必须考虑工艺性, 因此设计和工艺密切相关, 设计和工艺是一对矛盾的统一体, 没有设计就不会对工艺提出要求, 没有一定的工艺水平, 设计的东西也无法制造出来。例如, 燃气轮机的原理很早就有了, 但真正造出来, 还是在第二次世界大战以后的事。

综上所述, 对零件图进行工艺分析时, 除了对零件的全面了解外, 还应重点研究零件图的主要表面、主要技术条件、各表面的相互位置和零件结构工艺性。研究和分析了这些问题以后, 对零件加工工艺过程的主要工序可以有个初步的概念, 为具体制订工艺规程打下了基础。

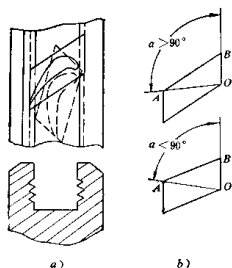


图1-13 叶片装配工艺性

——叶片正确位置 ——叶片侧转前的位置

§ 1-3 选择毛坯

在制订机械加工工艺规程前，应当先选定毛坯种类和制造方法。有时还要绘出毛坯图。毛坯是制订机械加工工艺规程的重要依据之一。毛坯的选择直接影响到机械加工工作量、材料消耗和生产成本。不同的毛坯，它的机械加工工艺规程也不同。

在透平机械制造中常用的毛坯制造方法有型材、铸造、锻压、冷压、焊接和粉末压制等。各种毛坯的制造方法又可分成许多种，各有各的特性和用途。

一、毛坯的选择

毛坯的选择主要从五个方面考虑。

1. 材料——材料往往是决定毛坯制造方法的第一关。一般按照零件在机械中的作用选择毛坯。例如要求承重、耐磨、耐蚀、耐冲击、耐高温等零件要选用较好的材料；要求减轻重量的零件采用轻金属；由于资源关系要少用稀有金属。不同材料选用不同的制坯方法。表1-2是材料和制坯方法的关系。由表可知，每一种材料有好多种制坯方法，而每一种制坯方法又有好多种材料可用。

表1-2 材料和制坯方法

材 料	制 坯 方 法	铸 造				锻 压					焊 接	粉 末 冶 金
		砂型 铸造	金属 型铸造	压力 铸造	精密 铸造	自由 锻造	模锻	冷冲压	压制	旋压		
铸铁铸钢		+	+	+	+						+	+
低碳钢		+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
高碳钢		+	+		+			+				
合金钢		+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
不锈钢		+	+		+	+	+	+		+	+	
镍基合金		+	+		+	+	+	+		+	+	
工具、模具钢		+	+		+	+	+				+	
铝合金		+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
镁合金		+	+	+	+	+	+	+			+	
黄铜青铜		+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
耐热合金					+							+
工业陶瓷									+			

2. 尺寸和形状——通常重量在100公斤以上的大型毛坯常用砂型铸造、自由锻造和焊接等的制坯方法。砂型铸造制出的毛坯尺寸可以很大，形状也可以很复杂，只是强度不及锻造毛坯。锻造毛坯的形状比较简单，而且重量超过1.5吨以上的大锻件，须用水压机、成本较贵。大型毛坯的焊接都常以厚钢板、铸件、锻件作为原始毛坯。

对于小型毛坯，制造方法虽然较多。但由于形状的限制，毛坯的制造方法也不能任意选择。一般地说，旋压、自动机切削只限于圆柱形和对称形。模锻、冷冲压、冷镦、粉末冶金