

XIXIAO

GONGYI

FENXI

JI

CAOZUO

ANLI

铣削

工艺分析及操作案例



卢玲 主编

杨继宏 孙景南 副主编



化学工业出版社

铣削

工艺分析及操作案例



卢玲 主编

杨继宏 孙景南 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书结合铣削加工生产实际,详细讲解了铣削工艺基本知识和技能,重点讲述了不同典型零件的图样识读和工艺分析,包括切割成形零件铣削加工、特殊多面体铣削加工、台阶和沟槽的加工、铣削凸轮及特形表面、齿轮及刀具齿槽的铣削、蜗轮蜗杆铣削加工、牙嵌离合器铣削加工、难加工材料及零件铣削等典型铣削加工实例。绝大部分操作案例来自工厂一线,所讲解内容尽量接近铣工岗位的需求,由易到难、由繁到简,便于学习者模仿和借鉴。

本书可供企业中高级技术工人和技师参考学习。

图书在版编目(CIP)数据

铣削工艺分析及操作案例/卢玲主编. —北京:化学工业出版社, 2009.3

ISBN 978-7-122-04573-7

I. 铣… II. 卢… III. 铣削-工艺 IV. TG54

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 002437 号

责任编辑:张兴辉

文字编辑:项 激

责任校对:王素芹

装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:三河市延风印装厂

850mm×1168mm 1/32 印张7 $\frac{3}{4}$ 字数207千字

2009年5月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:24.00 元

版权所有 违者必究

前 言

工艺方案的制定是机械加工过程中最重要的环节。本书以铣工工艺技能为主线,以实用、够用为宗旨,将铣工工艺基本知识和实际操作案例相结合。主要内容包括:铣削加工工艺基础、切割成形零件的铣削加工、特殊多面体的铣削加工、台阶和沟槽的加工、凸轮及特形表面的铣削加工、齿轮及刀具齿槽的铣削加工、蜗轮蜗杆的铣削加工、牙嵌离合器的铣削加工、难加工材料及零件的铣削加工。内容精炼、实用,给出了典型的铣削加工实例,有较强的实用性和参考价值。

本书是特别为铣削加工中高级技术工人和技师编写的典型铣削操作案例,其中大部分操作案例来自工厂一线,所讲解的操作案例尽量接近铣工岗位的需求,由易到难、由繁到简,便于读者学习和借鉴,使读者能更方便、更好地运用到实际生产中去。本书具有以下特点。

① 知识性强。除大量操作案例外,补充了铣削方面的基础知识,以提高操作工人的专业知识水平。

② 实用性强。按生产过程中实际工作顺序编排知识内容,把知识点与实际工作技能相结合,体现了较强的知识融合性。

③ 典型加工实例。本书主要是对工厂铣削方面加工实例进行讲解,所以列举了大量的铣削操作案例,并详细介绍了加工实例的工艺分析,供操作者借鉴和学习铣削技能。

本书由卢玲任主编,杨继宏、孙景南任副主编。参加本书编写的还有吉林电子信息职业技术学院的刘占斌、白洁、于秀娜、巴金等,黄东为本书编写收集、整理了许多资料。全书由卢玲统稿。

虽然编者力求做到编写内容准确无误,但限于水平,仍难免有不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 铣削加工工艺基础	1
1.1 铣削加工工艺基础	1
1.1.1 铣削加工定位基准的选择	1
1.1.2 铣削加工工序的划分	7
1.1.3 工件在铣床上的装卡方法	13
1.1.4 铣刀的安装	20
1.2 铣削加工参数选择	27
1.2.1 铣削加工刀具的种类及特点	27
1.2.2 切削用量的选用	32
第 2 章 切割成形零件的铣削加工	36
2.1 径向切割成形零件的铣削加工	36
2.1.1 平行面与垂直面的加工实例	37
2.1.2 径向切割平面零件的加工实例	46
2.2 偏心切割成形零件	47
2.2.1 偏心切割零件铣削实例	47
2.2.2 转动立铣头加工斜面工件实例	49
2.2.3 转动工件和用角度铣刀加工斜面工件实例	56
第 3 章 特殊多面体的铣削加工	62
3.1 等腰三角形的铣削实例	62
3.1.1 已知坯料直径 d	62
3.1.2 已知底边长 T 和边长 S	62
3.2 六面体的加工	63
3.2.1 六面体铣削加工准备	63
3.2.2 六面体铣削加工操作步骤	66
3.2.3 六面体质量检验与常见质量问题及其原因	70
3.3 圆头菱形的铣削实例	71

第 4 章 台阶和沟槽的铣削加工	73
4.1 台阶工件的加工	73
4.1.1 对称台阶工件的加工	74
4.1.2 矩形台阶工件的加工	79
4.2 直角沟槽工件的加工	84
4.2.1 敞开式直角沟槽工件的加工	85
4.2.2 半封闭直角沟槽工件的加工	91
4.2.3 封闭键槽工件的加工	97
4.3 T 形槽和 V 形槽工件的加工	102
4.3.1 T 形槽的加工	103
4.3.2 V 形槽的加工	107
4.3.3 燕尾槽和燕尾块工件的加工	112
4.3.4 燕尾槽和燕尾块的加工实例	115
第 5 章 凸轮及特形表面的铣削加工	122
5.1 等速盘形凸轮铣削加工	122
5.1.1 等速凸轮的工作型面	122
5.1.2 等速凸轮的三要素	123
5.1.3 等速盘形凸轮的铣削	124
5.1.4 凸轮铣削的质量分析	130
5.1.5 凸轮铣削实例	131
5.2 等速圆柱凸轮铣削实例	136
5.3 非等速凸轮的铣削实例	138
5.4 曲面的铣削	139
第 6 章 齿轮及刀具齿槽的铣削加工	142
6.1 直齿圆柱齿轮铣削	142
6.1.1 标准直齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸计算	142
6.1.2 标准直齿圆柱齿轮的铣削实例	143
6.2 斜齿圆柱齿轮铣削	145
6.2.1 斜齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸计算	145
6.2.2 斜齿圆柱齿轮的铣削实例	147
6.3 直齿圆锥齿轮铣削加工	149
6.3.1 锥齿轮的基本知识	150
6.3.2 锥齿轮铣刀和锥齿轮的检测	152

6.3.3	锥齿轮的铣削	156
6.3.4	卧式万能升降台铣床加工直齿锥齿轮实例	164
6.3.5	立式铣床加工直齿圆锥齿轮实例	167
6.3.6	大质数直齿圆锥齿轮铣削实例	169
6.3.7	直齿锥齿轮铣削实例	171
第7章	蜗轮蜗杆的铣削加工	175
7.1	盘形铣刀铣削蜗轮蜗杆的加工	175
7.1.1	蜗杆蜗轮的基础知识	175
7.1.2	蜗杆的铣削	180
7.1.3	蜗轮的铣削	186
7.2	蜗轮滚刀精铣蜗轮	188
7.3	飞刀铣削蜗轮	190
7.3.1	断续分齿飞刀铣削蜗轮	190
7.3.2	连续分齿飞刀铣削蜗轮	194
7.3.3	断续分齿飞刀铣削蜗轮实例	197
7.4	蜗杆蜗轮的检测与质量分析	200
7.4.1	蜗杆蜗轮的检测	200
7.4.2	蜗杆蜗轮的质量分析	201
第8章	牙嵌离合器的铣削加工	203
8.1	牙嵌离合器铣削	203
8.1.1	牙嵌离合器的种类与齿形特点	203
8.1.2	矩形齿牙嵌离合器的铣削实例	203
8.2	尖齿形和锯齿形牙嵌离合器的铣削	208
8.3	梯形收缩齿牙嵌离合器的铣削	209
8.4	梯形等高齿牙嵌离合器铣削实例	210
8.5	螺旋齿牙嵌离合器铣削实例	215
第9章	难加工材料零件的铣削加工	219
9.1	难加工材料的铣削	219
9.1.1	高锰奥氏体钢的铣削	219
9.1.2	不锈钢的铣削	219
9.1.3	高温合金的铣削	221
9.2	有色金属材料的铣削	222
9.2.1	铝合金的铣削	222

9.2.2	钛合金的铣削	222
9.2.3	纯铜的铣削	223
9.3	易变形零件的铣削	223
9.3.1	薄板工件的铣削加工	223
9.3.2	薄壁筒形和槽形工件的铣削加工	225
9.4	高精度零件的铣削	225
9.4.1	凹凸模铣削	225
9.4.2	铣床上坐标镗孔	229
9.5	典型零件的铣削	231
9.5.1	铣削五组合体	231
9.5.2	特殊凸轮的铣削加工	234
参考文献		237

第1章 铣削加工工艺基础

1.1 铣削加工工艺基础

各种零件的材料、结构、精度、表面粗糙度、热处理以及生产数量等具体的要求不同,因此,如何合理地拟定工艺路线和工艺方法,安排好工艺规程,是一个复杂而又十分重要的问题。就铣削工艺来说,如何根据整个工艺路线的要求,从全局出发,综合分析零件各个铣削工序之间的关系,从而制定最合理的工艺规程及各个铣削工序,这与零件的铣削质量和生产效率有着极其密切的关系。

本章将详细介绍工艺规程的基本知识,合理安排零件各表面的加工顺序,工件的定位与夹紧以及铣床常用的夹具等知识。

1.1.1 铣削加工定位基准的选择

在零件图、工艺文件和实际零件上,必须根据一些指定的点、线、面来确定另一些点、线、面的位置,这些作为参照物的点、线、面就称为基准。

1.1.1.1 基准的种类

根据基准作用的不同,可分为设计基准和工艺基准,其分类、定义及说明见表1-1。

1.1.1.2 基准的选择原则

选择定位基准是加工前的一个重要内容,定位基准选择得正确与否,对加工质量和加工时的难易程度有很大的影响,这也必然会影响到产品的质量和加工成本。所以在选择定位基准时,应注意两个方面,一要保证加工精度,二要使装夹方便。

表 1-1 基准的种类

类别	图 示	说 明
设计基准	图(a)中的平面 1、2 及孔 4 的上下位置是根据平面 3 决定的,故平面 3 是平面 1、2 及孔 4 的设计基准。孔 5 的上下位置是由孔 4 的轴线决定的,故孔 4 的轴线是孔 5 的设计基准。 图(b)中的面 M、线 N 及点 O,都是设计基准。	设计基准是零件设计时所依据的基准,是在图样上所采用的基准。图(a)中的平面 1、2 及孔 4 的上下位置是根据平面 3 决定的,故平面 3 是平面 1、2 及孔 4 的设计基准。孔 5 的上下位置是由孔 4 的轴线决定的,故孔 4 的轴线是孔 5 的设计基准。 图(b)中的面 M、线 N 及点 O,都是设计基准。
工艺基准	(1) 定位基准 定位基准	工件在机床上或夹具中定位时,用以确定加工表面与刀具相互位置关系的基准,即在加工中用作定位的基准,称为定位基准。 铣削箱体顶面时,底面为定位基准。
	(2) 工序基准 图(a)中工序加工内容为铣削顶部平面,工序要求保证尺寸 h_1,尺寸 h_1 是由工件的轴线向外给出的,工序基准为轴线。 图(b)中工序加工内容仍然是铣削顶部平面,但工序图要求保证尺寸 h_2,工序基准是工件外圆柱面的下素线。 图(c)中工序加工内容是铣削端面,工序图要求保证工序尺寸 L,工序基准为工件的左端面。	工序基准是指在工件加工的某道工序中,加工工序图上用以确定本工序加工内容的几何要素位置的基准。 左图为圆柱形工件铣削平面工序: 图(a)中工序加工内容为铣削顶部平面,工序要求保证尺寸 h_1,尺寸 h_1 是由工件的轴线向外给出的,工序基准为轴线。 图(b)中工序加工内容仍然是铣削顶部平面,但工序图要求保证尺寸 h_2,工序基准是工件外圆柱面的下素线。 图(c)中工序加工内容是铣削端面,工序图要求保证工序尺寸 L,工序基准为工件的左端面。

续表

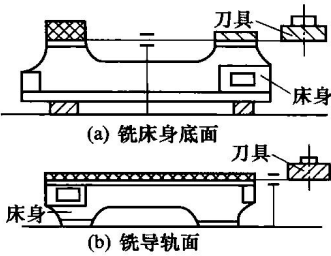
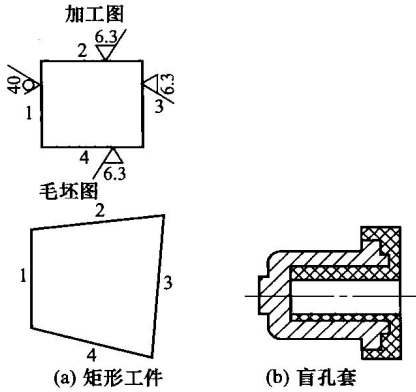
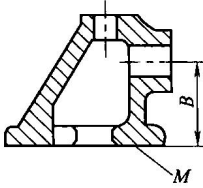
类别	图 示	说 明
工艺基准		装配时用来确定零件或部件在产品中的相对位置所采用的基准,称为装配基准。 图中圆柱齿轮的内圆柱面为径向装配基准,圆锥齿轮中的$\phi 25H7$为径向装配基准,端面B为轴向装配基准。

(1) 粗基准的选择原则 以毛坯上未经加工的表面作为定位基准,称为粗基准。粗基准的选择原则见表1-2。

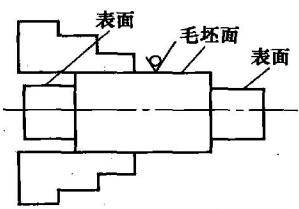
表 1-2 粗基准的选择原则

项目	图 示	说 明
零件上所有表面都需要加工		零件上所有表面都需加工时,应选择加工余量最小的表面作粗基准。左图为铣削六角四方台阶零件。四方对边的尺寸等于22mm,加工余量较小。而毛坯在锻打时,$\phi 32\text{mm}$与$\phi 36\text{mm}$两圆柱的同轴度误差可能较大。此时若以$\phi 46\text{mm}$外圆作基准先铣四方,由于四方对角线的余量只有1mm,当毛坯的同轴度误差大于0.5mm,就铣不出22mm的四方来。若以$\phi 32\text{mm}$外圆作粗基准先铣六角,则六角对角线的余量有4.5mm,只要同轴度偏差在2.25mm以内就能加工出六角。用铣好的六角作基准,再铣出四方就可达到图样要求。

续表

项目	图 示	说 明
保证重要表面余量均匀	 (a) 铣床身底面 (b) 铣导轨面	保证重要表面余量均匀时,则应选择该表面为粗基准 为保证导轨面余量均匀,以导轨面作粗基准加工床身底面[图(a)];然后用已加工好的床身底面作基准来加工导轨面[图(b)],保证了导轨面的余量均匀
表面不需要全部加工	 (a) 矩形工件 (b) 盲孔套	零件上表面不需要全部加工时,应以不加工的表面作粗基准 图(a)加工矩形工件,若以面1为粗基准铣面2,铣出的面2必定与面1有良好的位置关系(采用台虎钳加工,保证面2与面1垂直),再以面2作基准加工出的其他表面,必然也与面1有良好的位置关系 图(b)加工盲孔套,若以不加工的外圆柱面为基准,则加工出的各表面与外圆柱面有较好的同轴度,因此壁厚也较均匀
光洁、平整和幅度大的表面		尽量选择光洁、平整和幅度大的表面作粗基准,如图所示的M面,以便定位准确、夹紧可靠

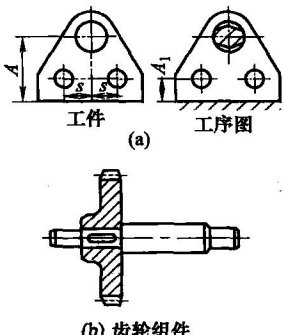
续表

项目	图 示	说 明
一般只使用一次		粗基准一般只使用一次, 尽量避免重复使用。因粗基准的表面粗糙度大、精度差, 不能保证两次安装的位置相同, 若重复使用会产生较大的误差 例如, 左图中, 用小轴的毛坯面定位, 分别加工上表面, 则必然会使表面的轴线产生较大的同轴度误差。因此, 加工中粗基准一般只能使用一次, 尽量避免重复使用

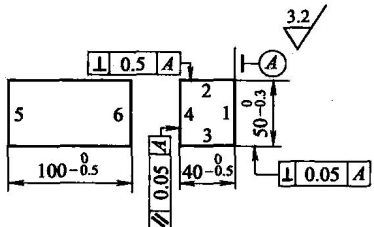
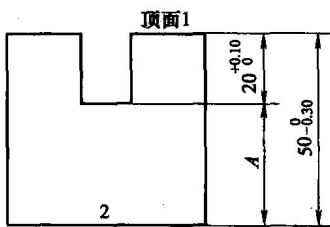
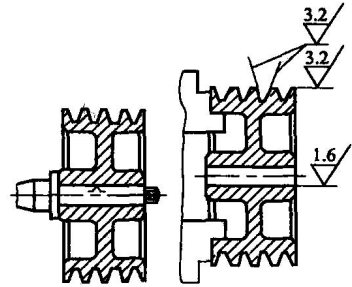
为保证某重要加工面余量均匀, 而选择该表面作为粗基准。为保证工件上加工表面与不加工表面之间的相互位置和尺寸要求, 而选择不加工表面作为粗基准。粗基准在同一方向只允许使用一次。应保证定位准确、夹紧可靠, 夹具简单、操作方便。“粗基准一般只使用一次”的原则是必须做到的, 而其余原则是有条件执行的。

(2) 精基准的选择原则 以已加工表面作为定位基准, 称为精基准。精基准的选择原则见表 1-3。

表 1-3 精基准的选择原则

项目	图 示	说 明
基准重合原则		尽量采用设计基准、测量基准和装配基准作为定位基准 图(a)中工件的大孔和底平面已加工好, 现需加工两个小孔, 若要保证尺寸 A_1, 因测量面是底平面, 故用底平面作为定位基准, 这样尺寸 A_1 就不受尺寸 A 的偏差的影响, 此时定位基准是设计基准, 定位误差为 0 图(b)中齿轮组件, 把内孔作为测量基准又作为装配基准, 还作为定位基准, 这样不仅避免了加工时因基准不重合所引起的定位误差, 而且容易保证其装配精度

续表

项目	图 示	说 明
基准统一原则		零件上有几个相互位置精度要求较高的表面,且不能在一次安装中加工出来,则在加工过程的每次安装中应采用同一个定位基准 多数表面用同一个基准定位加工,有利于保证其相互位置精度。图中铣削矩形工件时,都以面 1 为定位基准,这样就保证了各面之间的平行度要求和垂直度要求 一般轴的中心孔,在车、铣、磨等工序中,始终作为精基准。再如齿轮的内孔,在加工中也始终作为精基准
稳定性原则		定位基准应保证工件在定位时有良好的稳定性,尽量使夹具设计简单 在铣槽时,若以顶面 1 为定位基准,虽然定位基准与设计基准和测量基准重合,但夹具的设计较复杂且定位不稳。因此在槽深尺寸精度要求不高时,可用底面定位,这样既能使夹具的结构简单,又能让工件有稳定的定位
变形最小原则	 (a) 不正确 (b) 正确	定位基准应保证工件在受夹紧力、切削力及工件本身重量的作用下,不致引起工件位置的偏移或产生过大的弹性变形。因此,应选择面积较大,尺寸精度、几何形状及表面质量较高的表面作精基准 在心轴上车削直径较大的 V 形槽,因心轴刚度不够而易引起振动和变形,不能以内孔为基准[图(a)],此时应在一次装夹中把内孔和 V 形槽加工完毕[图(b)]

选择精基准应掌握五个原则：

① 基准重合原则。以设计基准为定位基准，避免基准不重合误差，调整法加工零件时，如果基准不重合将出现基准不重合误差。

调整法是在预先调整好刀具与机床的相对位置，并在一批零件的加工过程中保持这种相对位置的加工方法。与之相对应的是试切法加工，即试切→测量→调整→再试切，循环反复直到零件达到尺寸要求为止。试切法适用于单件小批生产下的逐个零件加工。

② 基准统一原则。选用统一的定位基准来加工工件上的各个加工表面，以避免基准的转换带来的误差，利于保证各表面的位置精度，简化工艺规程、夹具设计和制造，缩短生产准备周期。

典型的遵循基准统一原则的是轴类零件、盘类零件和箱体类零件。轴的精基准为轴两端的中心孔，齿轮是典型的盘类零件，常以中心孔及一个端面为精加工基准，而箱体类常以一个平面及平面上的两个定位用工艺孔为精基准。

③ 自为基准原则。当某些精加工表面要求加工余量小而均匀时，可选择该加工表面本身作为定位基准，以提高加工面本身的精度和表面质量。

④ 互为基准原则。能够提高重要表面间的相互位置精度，或使加工余量小而均匀。

⑤ 保证工件定位准确、夹紧安全可靠、操作方便、省力的原则。

实际生产中，在选择定位基准时，对上面的几项选择原则，有时会产生矛盾，如为了使夹具的结构简单而放弃基准重合的原则，所以应该根据工件和生产规模等具体条件灵活应用。

1.1.2 铣削加工工序的划分

工序是工艺过程的基本组成部分，是组织生产和实施计划的基本单元。一个或一组工人，在一台机床上或一个工作地点，对一个或几个零件所连续完成的工艺过程中的某一部分，称为工序。安装是工件在加工前，在一次装夹中所完成的那部分工序。

1.1.2.1 加工顺序的安排原则

(1) 铣削加工顺序的确定

① 基准先行原则。即应先加工基准表面后加工其他表面。精基准表面应在工艺过程一开始就进行加工,以便为后续工序提供精基准。

② 先粗后精的原则。一个零件的加工过程,总是先进行粗加工,再进行半精加工,最后是精加工和光整加工。这样做有利于加工误差和表面缺陷层的不断减小,从而逐步提高零件的加工精度与表面质量。

③ 先主后次原则。零件的主要工作表面一般指加工精度和表面质量要求高的表面和装配基面,应首先加工出来。而键槽、螺孔等次要表面对加工过程的影响较小,位置又和主要表面相关,因此应在主要表面加工到一定程度之后,最终精加工之前完成。

④ 先面后孔的原则。对于箱体、支架类零件,应先加工平面,后加工平面上的孔。先加工平面可方便孔加工时刀具的切入、零件的测量和尺寸调整等工作。对于轮廓尺寸大的平面,可先加工出来后用作为定位基准,以使零件稳定可靠地定位。

(2) 热处理工序安排和辅助工序的安排 热处理的目的是提高材料的力学性能,消除残余应力和提高金属的加工性能。

① 退火与正火。退火和正火处理一般用于热加工毛坯。其目的是消除材料组织的不均匀,细化晶粒,改善金属的可切削性。生产中,对于含碳量高的碳钢和合金钢常采用退火处理以降低硬度;对于含碳量低的碳钢和低合金钢,为避免硬度过低导致切削时粘刀,常采用正火处理以提高硬度。退火和正火还能消除毛坯制造中产生的应力。退火与正火处理一般安排在机械加工之前进行。

② 时效。时效处理主要用于消除毛坯制造和机械加工中产生的应力。对一般铸件,常在粗加工前或粗加工后安排一次时效处理;对于精度要求较高的零件,应在半精加工后再安排一次时效处理,即铸造→粗加工→第一次时效→半精加工→第二次时效→精加

工。除铸件外,对于一些刚性较差、精度要求特别高的零件(如丝杠等),为消除加工中产生的应力,稳定零件加工精度,常常在粗加工、半精加工和精加工阶段之间安排多次时效处理。

③ 调质。调质后的零件其综合力学性能较好,对于一些硬度和耐磨性要求不高的零件可作为最终热处理工序。调质处理一般安排在粗加工之后半精加工阶段之前进行。这是因为大截面零件在调质后只是在表层下一定深度内获得了理想的细致索氏体组织,而其心部组织变化不大。如果毛坯先调质再进行粗加工,那么加工中将会把大量的调质组织切除掉,使调质处理的效果受到影响。当然,对淬透性好、截面积小或切削余量小的毛坯,为了方便生产,也可把调质处理安排在粗加工之前进行。

④ 淬火。淬火分整体淬火和表面淬火两种。其中表面淬火因变形小、氧化及脱碳小、外部硬度高、耐磨性好、内部保持良好的韧性、抗冲击力强等优点获得较多应用。淬火处理的特点是零件材料在获得较高硬度的同时,脆性增加,应力增加,组织和尺寸不稳定,易发生变形甚至裂纹。故淬火后一般需安排回火工序。淬火工序一般安排在精加工之前进行。

⑤ 渗碳淬火。渗碳淬火适用于低碳钢和低碳合金钢。由于渗碳淬火变形较大,且渗碳层较薄,一般在 $0.5\sim 2\text{mm}$ 之间,所以渗碳工序一般安排在半精加工与精加工之间。对局部渗碳零件的不渗碳部分采用加大加工余量(渗后切除)防渗时,切除工序应安排在渗碳后淬火前。

⑥ 渗氮处理。渗氮是使氮原子渗入金属表面而获得一层含氮化合物的处理方法。渗氮层可以提高零件表面的硬度、耐磨性、疲劳强度和耐蚀性。由于渗氮处理温度较低,变形小,且渗氮层较薄(一般不超过 $0.6\sim 0.7\text{mm}$),渗氮工序应尽量靠后安排。为了减少渗氮时的变形,在切削加工后一般需要进行消除应力的低温回火。

(3) 辅助工序的安排 辅助工序一般包括去毛刺、倒棱、清洗、防锈、退磁、检验等。若辅助工序安排不当或遗漏,将会给后续工序造成困难,甚至影响产品的质量,所以对辅助工序的安排必