

赵如福 主编

金属机械加工

工艺设计手册

JINSHU
JIXIE JIAGONG
GONGYI SHEJI
SHOUCE

上海科学技术出版社

金属机械加工工艺设计手册

赵如福 主编

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本手册介绍机械加工工艺人员在日常工作中所需的一些参考资料,包括:工艺规程的编制、各种机械加工工艺、毛坯余量和工序间余量的选择、机动时间计算等。

本书可作为机械工厂、设计及科研单位机械加工工艺人员的日常工具书;也可供高等院校、中等技术学校有关专业的师生参考。

前 言

本手册内容力求切合生产实际,反映机械加工工艺新水平。

手册使用的单位和符号均按最新规定修改。手册内所有的标准,一律采用我国现行标准,随着生产发展的需要,标准亦在不断修改更新,因本版出版时间关系,有些标准本手册未能列入,希读者使用时注意。

为查阅方便,并使篇幅不致过多,手册中对各部分的基本原理,不加叙述,一般仅附必要的计算公式。所列资料尽可能列成表格形式。

在修订过程中承有关单位和同志热情指导,提供资料,谨在此表示衷心感谢。由于编者学识、经验有限,在内容编制和资料收集等方面,一定还有不少缺点,衷心希望读者提出意见,以便今后再次修订时加以改进。

编 者

目 录

第一章 工艺规程的编制

基本概念	2	轮廓支承长度率 R_{mr} 的数值(表 1-29)	31
工艺规程编制的要点	3	表面粗糙度(光洁度)代号与参数数值对照 (表 1-30)	32
编制的依据	3	表面粗糙度 R_a 数值与原表面光洁度符号 对照(表 1-31)	34
编制的步骤	4	各种机械加工方法所能够达到的零件表面 粗糙度(表 1-32)	35
工艺文件	4	表面粗糙度与加工精度和配合之间的关系	37
定位夹紧符号(表 1-1)	4	轴的表面粗糙度与加工精度和配合之间的 关系(表 1-33)	37
定位、夹紧符号应用及夹具结构示例(表 1-2)	8	孔的表面粗糙度与加工精度和配合之间的 关系(表 1-34)	38
机械加工过程卡之一(表 1-3)	11	各种连接表面的粗糙度	39
机械加工过程卡之二(表 1-4)	12	活动连接接合表面的粗糙度(表 1-35)	39
机械加工工艺卡(表 1-5)	13	固定连接接合表面的粗糙度(表 1-36)	39
机械加工工序卡之一(表 1-6)	14	丝杠传动接合表面的粗糙度(表 1-37)	40
机械加工工序卡之二(表 1-7)	15	螺纹连接的工作表面粗糙度(表 1-38)	40
多轴自动车床工序卡(表 1-8)	16	齿轮、蜗轮和蜗杆的工作表面粗糙度(表 1-39)	40
单轴六角自动车床工序卡(表 1-9)	18	车床加工	41
单轴纵切自动车床工序卡(表 1-10)	20	车床加工示例(表 1-40)	41
技术检查卡(表 1-11)	22	车床装夹方法及装夹精度(表 1-41)	44
经济的加工精度	23	仿形车床加工(表 1-42)	47
孔加工精度(表 1-12)	23	多刀车床加工(表 1-43)	48
圆柱形深孔加工精度(表 1-13)	24	转塔车床加工(表 1-44)	50
圆锥形孔加工精度(表 1-14)	24	自动车床加工(表 1-45)	59
多边形孔加工精度(表 1-15)	24	多轴立式半自动车床加工(表 1-46)	67
花键孔加工精度(表 1-16)	24	镗床加工	71
圆柱形外表面的加工精度(表 1-17)	24	镗床加工示例(表 1-47)	71
端面加工精度(表 1-18)	25	镗床加工的基准面及校准方法(表 1-48)	75
平行表面的加工精度(表 1-19)	25	镗床工作的测量方法及测量精度(表 1-49)	77
成形铣刀加工精度(表 1-20)	25	刨、铣床加工	79
平面加工精度(表 1-21)	25	刨、铣床加工示例(表 1-50)	79
公制螺纹加工精度(表 1-22)	26	外圆磨床加工	81
花键制造的经济精度(表 1-23)	26	螺纹加工	82
齿轮加工精度(表 1-24)	27	丝锥与板牙组合加工	82
表面粗糙度	27	螺纹铣	82
基本概念	27	螺纹滚压	83
轮廓算术平均偏差 R_a 的数值(表 1-25)	30	螺纹滚压方法及其应用(表 1-51)	83
轮廓最大高度 R_z 的数值(表 1-26)	30	用滚压方法可获得的螺纹精度与表面粗糙	
取样长度的数值(表 1-27)	31		
轮廓微观不平度的平均间距 RS_m , 轮廓的 单峰平均间距 S 的数值(表 1-28)	31		

度(表 1-52)	85	珩磨余量和工序数(表 2-21)	105
滚压螺纹工件的毛坯直径(表 1-53)	85	按表面粗糙度选择孔的珩磨余量(表	
螺纹滚压工具	85	2-22)	105
滚压工具螺纹形状的要害(表 1-54)	86	按原始形状误差选择的珩磨磨块粒度(表	
滚压工具的螺纹形状公差(表 1-55)	86	2-23)	106
滚压螺纹的基本(工艺)时间(表 1-56)	87	按余量和加工材料的磨块的选择(表 2-24).....	106
齿轮加工	88	铰珩	107
圆柱齿轮加工	88	超精加工	109
齿轮加工示例(表 1-57)	88	概述	109
齿轮冷滚压	89	超精加工示例(表 2-25)	109
		超精加工用磨块	110
		磨料的粒度与表面粗糙度及金属切除量	
		(表 2-26)	110
		磨条硬度的选择(表 2-27)	110
		超精加工磨条组织(表 2-28)	110
		超精加工余量和磨块的选择及加工工艺	110
		超精加工余量和磨块的选择(表 2-29)	111
		超精加工的工艺参数(表 2-30)	111
		超精加工的工艺参数举例(表 2-31)	112
第二章 光整加工		滚轮珩磨	114
光整磨削	92	滚轮珩磨的特点	114
光整磨削对机床的要求	92	滚轮珩磨工具结构	115
光整磨削磨轮	93	滚轮珩磨磨轮的选择	115
外圆磨削磨轮选择(表 2-1)	94	磨轮粒度(表 2-32)	115
光整磨削工艺参数	95	滚轮珩磨工艺参数的选择	116
光整外圆磨削工艺参数(表 2-2)	95	滚珩主要工艺参数(表 2-33)	116
光整内圆磨削工艺参数(表 2-3)	95	珩磨磨削余量(表 2-34)	116
光整平面磨削工艺参数(表 2-4)	96	零件表面冷压加工	116
无心光整磨削工艺参数(表 2-5)	96	概述	116
研磨	96	常用的表面冷压加工举例(表 2-35)	117
研磨精度	97	滚轮滚压加工	121
研磨的精度水平(表 2-6)	97	材料性质和滚压次数对加工表面粗糙度的	
研磨剂	97	影响(表 2-36)	126
粒度与研磨材料(表 2-7)	97	各种滚压力下表面粗糙度减小程度 U 值	
粒度与加工方法(表 2-8)	97	(表 2-37)	127
粒度与工件表面粗糙度(表 2-9)	97	滚轮型面为圆柱带时的滚压力(表 2-38)	128
切削液(表 2-10)	97	进给量与滚压前、滚压后的表面粗糙度、滚	
硬脂酸混合脂配方(表 2-11)	98	轮球形面半径、滚轮数、滚压次数的关系	
研磨膏的成分及其应用(表 2-12)	98	(表 2-39)	129
研具	98	滚压加工进给量(表 2-40)	129
研磨用量	99	圆柱形内表面滚压用量(用扩铰式滚压工	
研磨压力(表 2-13)	99	具)(表 2-41)	130
研磨速度(表 2-14)	99	铸铁导轨平面的滚压用量(表 2-42)	131
平板研磨	99	滚珠滚压加工	131
珩磨	99	滚珠滚压加工对碳素钢零件表面性质的改	
珩磨头	100	善程度(表 2-43)	133
珩磨尺寸的控制	102	各种黑色金属及有色金属零件的滚珠滚压	
珩磨磨条的选用	103	用量(表 2-44)	134
磨条数量和宽度(表 2-15)	103		
珩磨头参数(表 2-16)	103		
磨条长度的选择(表 2-17)	103		
磨块的选择	104		
珩磨料的选择(表 2-18)	104		
珩磨头的回转和往复运动速度(表 2-19)	104		
磨条工作压力及珩磨力计算系数(表 2-20)	105		
与原始表面形状误差和表面粗糙度有关的			

孔的挤压加工	134	台阶轴类锻件机械加工余量与公差(表	
圆柱体和平面的振动滚压用量(表 2-45)	135	3-12)	160
挤压塑性变形 K_2 公式参数经验数值(表		台阶和凹档的锻出条件(表 3-13)	161
2-46)	137	法兰的最小锻出宽度(表 3-14)	163
多环装配式拉压杆示例(表 2-47)	139	单拐曲轴类自由锻件机械加工余量及公差	
抛光	139	(表 3-15)	163
用弹性抛光轮抛光	139	钢质模锻件的公差和机械加工余量	164
磨料的选择(表 2-48)	139	锻件的长度、宽度、高度及错差、残留飞边	
抛光时选用的磨料粒度(表 2-49)	139	公差(普通级)(表 3-16)	168
抛光轮的速度(表 2-50)	139	锻件的长度、宽度、高度及错差、残留飞边	
用砂纸抛光	140	公差(精密级)(表 3-17)	169
用钢丝轮抛光	140	模锻件的厚度及顶料杆压痕公差及允许偏	
抛光工艺参数示例(表 2-51)	140	差(普通级)(表 3-18)	170
液体抛光	141	模锻件的厚度及顶料杆压痕公差及允许偏	
磨料粒度和表面粗糙度(表 2-52)	141	差(精密级)(表 3-19)	171
各种原始表面状态和加工后表面粗糙度		平锻件冲孔同轴度公差(表 3-20)	172
(表 2-53)	142	锻件加工表面直线度、平面度公差(表	
磨料粒度、加工次数和加工表面粗糙度(表		3-21)	173
2-54)	142	锻件的中心距公差(表 3-22)	173
第三章 毛坯的机械加工余量			
毛坯的选择	144	钢质模锻件其他公差(表 3-23)	174
毛坯的加工余量	144	锻件内孔直径的单面机械加工余量(表	
各种毛坯的表层厚度(表 3-1)	145	3-24)	174
铸件的机械加工余量与公差	145	锻件内外表面加工余量(表 3-25)	175
要求的机械加工余量	147	锻件公差应用示例——连杆(表 3-26)	175
要求的铸件机械加工余量(表 3-2)	148	锻件公差应用示例——半轴(表 3-27)	176
在图样上的标注	148	径向锻机上轴类锻件公差和机械加工余量	177
铸造公差	149	热锻实心轴类锻件公差及机械加工余量	
铸件尺寸公差(表 3-3)	150	(表 3-28)	177
大批量生产的毛坯铸件的公差等级(表		热锻空心轴类锻件公差及机械加工余量	
3-4)	150	(表 3-29)	178
小批量生产或单件生产的毛坯铸件的公差		钢冲压件的机械加工余量	179
等级(表 3-5)	151	在锻锤下垫模中制出的冲压件(表 3-30)	179
毛坯铸件典型的机械加工余量等级(表		钢冲件的尺寸公差(表 3-31)	179
3-6)	151	轧制材料轴类的机械加工余量	179
锻件的机械加工余量与公差	151	热轧钢轴类外圆的选用(表 3-32)	179
锤上钢质自由锻件的机械加工余量与公差	151	易切削钢轴类外圆的选用——车后不磨	
锤上钢质盘、柱类自由锻件机械加工余量		(表 3-33)	180
与公差(表 3-7)	153	易切削钢轴类外圆的选用——车后须淬火	
带孔圆盘类自由锻件机械加工余量与公差		及磨(表 3-34)	181
(表 3-8)	154	下料加工余量	181
圆环类自由锻件机械加工余量与公差(表		下料加工余量(表 3-35)	181
3-9)	156	第四章 工序间的加工余量	
套筒类自由锻件机械加工余量与公差(表		选择工序间加工余量的主要原则	184
3-10)	158	轴加工余量	184
光轴类锻件机械加工余量与公差(表 3-11)		切断余量(表 4-1)	184
.....	159	轴的加工方法(表 4-2)	185

轴的折算长度(确定精车及磨削加工余量用)(表 4-3)	185	锥齿轮的精加工余量(表 4-35)	197
轴在粗车外圆后的精车外圆的加工余量(表 4-4)	185	蜗轮的精加工余量(表 4-36)	197
粗车外圆、正火后的精车外圆的加工余量(表 4-5)	186	蜗杆的精加工余量(表 4-37)	198
轴磨削的加工余量(表 4-6)	186	花键精加工的余量	198
研磨的加工余量(表 4-7)	187	精铣花键的加工余量(表 4-38)	198
抛光的加工余量(表 4-8)	187	磨花键的加工余量(表 4-39)	198
用金刚石细车轴外圆的加工余量(表 4-9)	187	花键加工余量(表 4-40)	198
精车端面的加工余量(表 4-10)	188	攻螺纹及装配前的钻孔直径	199
磨端面的加工余量(表 4-11)	188	攻螺纹及装配前的钻孔直径(表 4-41)	199
切除渗碳层的加工余量(表 4-12)	189	英制螺纹及管螺纹攻螺纹前钻孔直径(表 4-42)	201
孔加工余量	190		
在钻床上用钻模加工孔(孔的长径比为 5)(表 4-13)	190		
在自动车床、六角车床、车床或另一些机床上加工孔(孔的长径比为 3)(表 4-14)	190		
按照基孔制 7 级公差(H7)加工孔(表 4-15)	191		
按照基孔制 9 级公差(H9)加工孔(表 4-16)	191		
按照 7 级与 9 级公差加工预先铸出或热冲出的孔(表 4-17)	192		
环孔钻加工余量(表 4-18)	192		
单面钻削深孔的加工余量(表 4-19)	193		
拉孔的加工余量(表 4-20)	193		
拉正方形及多边形孔的加工余量(表 4-21)	193		
拉键槽的加工余量(表 4-22)	193		
磨孔的加工余量(表 4-23)	194		
金刚石细镗孔的加工余量(表 4-24)	195		
珩磨孔的加工余量(表 4-25)	195		
研磨孔的加工余量(表 4-26)	195		
刮孔的加工余量(表 4-27)	196		
平面加工余量	196		
平面的刨、铣、磨、刮加工余量(表 4-28)	196		
平面的研磨余量(表 4-29)	196		
齿轮精加工的余量	197		
精滚齿或精插齿的加工余量(表 4-30)	197		
剃齿的加工余量(表 4-31)	197		
磨齿的加工余量(表 4-32)	197		
直径大于 400 mm 渗碳齿轮的磨齿加工余量(表 4-33)	197		
交叉轴斜齿轮及准双曲面齿轮精加工的余量(表 4-34)	197		
		第五章 机动时间计算方法	
		车削工作	204
		车削加工计算(表 5-1)	204
		刨削、插削工作	205
		刨削、插削加工计算(表 5-2)	206
		车刀及镗刀切入及超出长度(表 5-3)	206
		龙门刨床工作台的超出长度(表 5-4)	207
		牛头刨床及插床上切刀的超出长度(表 5-5)	207
		试刀的附加长度 l_3 (表 5-6)	208
		钻削工作	208
		钻削工作计算(表 5-7)	208
		加工计算长度(表 5-8)	209
		在实体材料上钻孔单刃磨钻头的切入及超出长度(表 5-9)	210
		双重刃磨的钻头钻孔和扩孔的切入及超出长度(表 5-10)	211
		单刃磨钻头扩钻时的切入及超出长度(表 5-11)	211
		扩孔的切入及超出长度(表 5-12)	212
		铰孔的切入及超出长度(表 5-13)	212
		与清除切屑有关的钻头退出及引入的次数(表 5-14)	212
		铣削工作	214
		铣削加工计算(表 5-15)	214
		圆柱形铣刀、三面刃铣刀、槽铣刀及样板铣刀的切入及超出长度(表 5-16)	216
		圆柱形铣刀、三面刃铣刀铣削圆形表面的切入及超出长度(表 5-17)	217
		面铣刀对称铣削的切入及超出长度(表 5-18)	218
		面铣刀不对称铣削的切入及超出长度(1)(表 5-19)	219
		面铣刀不对称铣削的切入及超出长度(2)(表 5-20)	219
		立铣刀切入及超出长度(表 5-21)	220

螺纹加工.....	220	半精磨及精磨分度转换的时间(表 5-29)	228
螺纹加工计算(表 5-22)	221	分度转换时间(表 5-30)	228
齿轮加工.....	223	工作行程长度(表 5-31)	229
齿轮加工计算(表 5-23)	223	拉削工作	229
在插齿机上用梳形插齿刀加工时的计算齿 数(表 5-24)	226	拉削工作计算(表 5-32)	229
用盘形模数铣刀铣圆柱齿轮的切入及超出 长度(表 5-25)	226	由零件长度所决定的拉刀齿距(表 5-33)	230
用滚刀滚齿时的切入及超出长度(表 5-26)	227	磨削工作	231
插齿机的切入及超出长度(表 5-27)	228	磨削加工计算(表 5-34)	231
刨齿机的切入及超出长度(表 5-28)	228	外圆磨的系数 K (表 5-35)	233
		平面磨的系数 K (表 5-36)	233
		外圆磨的光整时间 τ (表 5-37)	234
		外圆磨的光整时间的修正系数(表 5-38)	234

第 一 章

工艺规程的编制

基本概念

生产过程 由原材料到成品之间各个相互关联的劳动过程的总和。其中包括：

1. 原材料的运输保存；
2. 生产的准备工作；
3. 毛坯制造；
4. 毛坯经机械加工、热处理等而成为零件；
5. 零件装配成机器；
6. 检验及试车；
7. 机器的油漆和包装。

工艺过程 改变毛坯的形状、尺寸和材料性能,使之变为成品或半成品的过程。这过程是车间生产过程的主要部分。将工艺过程中各项内容写成文件,这文件就是工艺规程。

工艺过程由工序、装夹、工位及工步等组成,详见图 1-1。

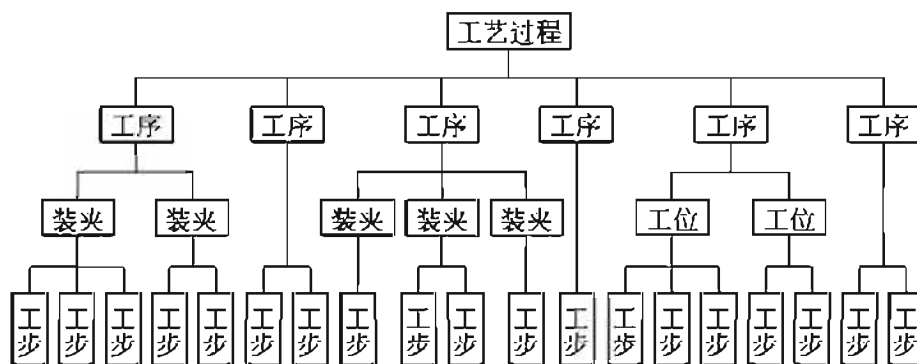


图 1-1 工艺过程的组成

工序 一个工人或一组工人在一个工作地点,连续完成一个或几个零件的工艺过程中的某一部分,称为工序。一个零件往往是经过若干个工序才制成的。

工序是工艺过程的基本组成部分,并且是生产计划的基本单元。

同样的加工必须连续进行,才能作为一个工序,如其中有中断,则作为两个工序。

例如依次将一批同样轴件钻两端中心孔,就作为一个工序;如首先将一批轴中每一件的一端钻中心孔,然后再钻每一件的另一端中心孔,虽然其工作地不变,但应作为两个工序,因为两次加工之间有中断。

每一工序中,应尽量减少装夹次数。因为多一次装夹,就多产生一次误差,而且增加装卸工件的辅助时间。因此,常采用不须将工件重新装卸而能改变加工表面的夹具(如各种回转夹具),如图 1-2b 所示,利用定位销及分

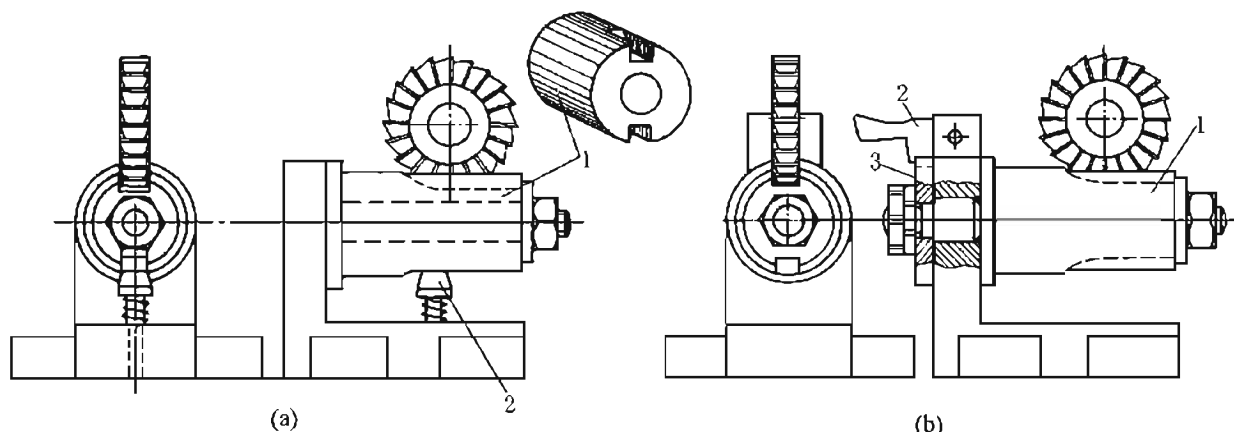


图 1-2 用不同的夹具进行加工

(a) 不用分度盘铣槽; (b) 用分度盘铣槽
1—工件; 2—定位销; 3—分度盘

度盘,只须装夹一次就能铣完两个槽。但如图 1-2a 所示,则必须装夹两次,因为它不用分度盘。

工位 一次装夹后,工件在机床上所占的每个位置(每个位置有一相应的加工表面),称为工位。如图 1-2b 所示,在铣床上加工两个对称的槽,当铣完一条槽以后,不卸下工件而仅将夹具旋转 180°,使另一槽的加工面进入加工位置。这工序只有一次装夹,但包括两个工位。

采用多工位加工,可以减少装夹次数及减少辅助时间。

工步 工序中加工表面、切削工具、切削用量均保持不变的部分,称为工步。每道工序中包括一个或若干个工步。

图 1-3 表示一个带孔的台阶形零件。如果表面 3、5、8、9 和 10 依次地被不同的刀具加工,或被同一刀具,但用各种不同的切削用量(转数或进给量)加工时,则将分为五个不同的工步。如果在多刀车床上用一组刀具来车削所有这些表面,那就成为一个复合工步。用一把刀具加工一个表面属于简单工步,用一组刀具加工一个或若干个表面属于复合工步。如图 1-4 用两把刀具同时加工一个表面,就属于复合工步。

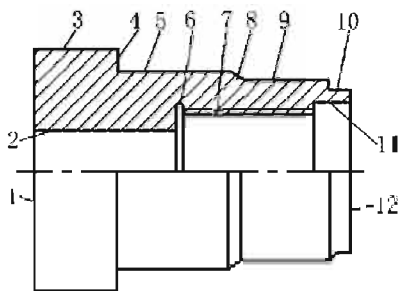


图 1-3 带孔的台阶形零件

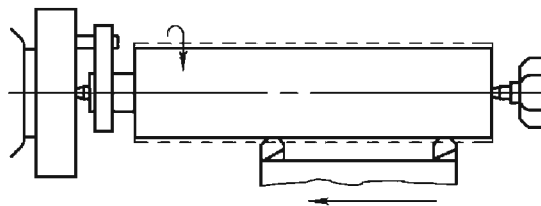


图 1-4 用两把刀具同时加工一个表面

图 1-3 中零件的内孔加工表面 2、6、7 和 11 可以用四个简单工步来加工,但也可以用组合刀具来完成,这时就成为一个复合工步。

在上述工步的定义中指出,把切削用量保持不变是必要的条件。可是在自动机床和半自动机床上,个别的加工情况属于例外,它们在完成工步过程中,常会自动地变更其切削速度(每分钟的转数)或进给量,这时仍应称为一个工步。

行程次数 在日常生产中,常常用同一刀具连续加工同一表面若干次,其目的是为了在切去组成加工余量的各层金属时,能保证最合适的切削条件。上述连续加工次数称为行程次数。

工艺规程编制的要点

零件加工的工艺规程就是一系列不同工序的综合。由于生产规模和具体情况的不同,对同一零件的加工程序综合可能有很多的方案。应当根据具体条件采用其中最完善(在工艺上来说)和最经济的一个方案。

编制的依据

工艺规程根据下列基本因素来选择:

1. 生产规模是决定生产类型(大批、成批、单件)的主要因素,亦即是设备、用具、机械化与自动化程度等的选择依据;
2. 制造零件所用的坯料或型材的形状、尺寸和精度。它是选择加工总余量和加工过程中头几道工序的决定因素;
3. 零件材料的性质(硬度、可加工性、热处理在工艺路线中排列的先后等)。它是决定热处理工序和选用设备及切削用量的依据;
4. 零件制造的精度,包括尺寸公差、形位公差以及零件图上所指定或技术条件中所补充指定的要求;
5. 零件的表面粗糙度是决定表面上光精加工工序的类别和次数的主要因素;
6. 特殊的限制条件,例如工厂的设备和用具的条件等;
7. 编制的加工规程要在既定生产规模与生产条件下达到最经济与安全的效果。

编制的步骤

所编制的工艺规程,是受大量的不同因素所限制的。必须随时综合考虑到上述各项条件。工艺规程的编制,可按下列步骤进行:

1. 研究零件图及技术条件。如零件复杂和要求高的,要先详细熟悉零件在机器中所起的作用、加工材料及其热处理方法、毛坯的类别与尺寸,并分析对零件制造精度的要求,然后选择“毛基面”,再选择零件重要表面加工所需的“光基面”。

2. 加工的毛基面和光基面确定后,最初工序(由毛基面所决定的)和主要表面的粗、精加工的工序(在某种程度上系由光基面决定)已很清楚,就能编制零件加工的顺序。

3. 分析已加工表面的粗糙度以后,在已订的加工顺序中增添光精加工工序。

4. 然后视加工时的便利情况,确定并排列零件上不重要表面加工所需的所有其余工序(带自由尺寸的表面的加工,减轻零件重量的工序,改善外观的工序,不重要的螺纹切削等)。这一类次要工序往往分配在已设计了的主要工序之间(或与之合并),也有时放在加工过程的末尾。这时必须考虑到,由于次要工序排列不当,在执行时会有损坏精密加工后的重要表面的可能性。

5. 如果有限制加工工艺规程选择的特殊条件存在,通常要作补充说明,以修正加工的顺序。

6. 确定每一工序所需的机床和工具,填写工艺卡和工序卡。

7. 详细拟订工艺规程时,必须进行全部加工时间的标定和单件加工时间的结算,并计算每一工序所需的机床。并因此有可能把已设计的规程予以某些修正(例如个别机床负荷太小,则有必要把几个单独工序合并成一个工序等)。

8. 为了达到所编制的工艺规程符合具有最大经济性的要求,在确定了规程的全部项目以后,必须再检查对该零件的加工是否还可能作出同样完善而更为经济的工艺规程,以资比较。然后确定最后方案。由此可见,在这最后步骤中,也还可能对已设计的工艺规程有所修正。

因此,在一般场合,工艺规程的拟订必须根据工艺条件与经济条件,用逐次修正的方法来进行。

毫无疑问,在个别场合,尤其是工件结构简单时,上述的顺序可稍有简化,甚至由于工件的特殊,在个别步骤的先后次序上也可能有某些更改,但原则上不能有很大的变更。

工艺文件

零件的机械加工工艺过程制定出来以后,有关内容应分别填入各种不同的卡片,以便贯彻执行,并作为生产前的技术准备工作的依据。各种卡片总称为工艺文件。

在各工序简图中,为了减少画图的工作量,定位、夹紧均可用符号表示,见表 1-1;定位夹紧装置、夹具的标注示例,见表 1-2。

表 1-1 定位夹紧符号(JB/T 5061—2006)

1. 定位夹紧符号

标注位置		固定式	活动式	辅助支承
		定位支承		
独立定位	标注在视图轮廓线上			
	标注在视图正面			
联合定位	标注在视图轮廓线上			
	标注在视图正面			

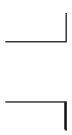
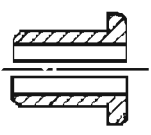
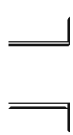
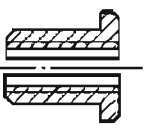

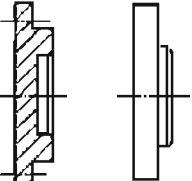

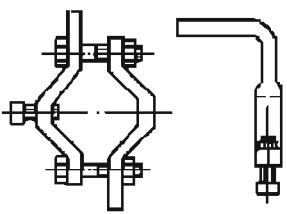

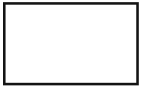

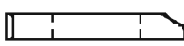

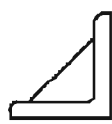



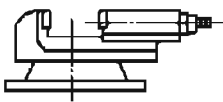
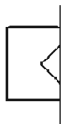
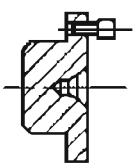

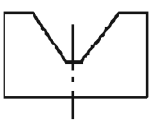

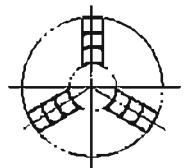
表 1-1 续

标注位置		手动夹紧	液压夹紧	气动夹紧	电磁夹紧
独立夹紧	标注在视图轮廓线上				
	标注在视图正面				
联合夹紧	标注在视图轮廓线上				
	标注在视图正面				

2. 常用装置符号

<p>固定顶尖</p>		<p>内顶尖</p>		<p>回转顶尖</p>	
<p>外顶尖</p>		<p>内顶尖</p>		<p>浮动顶尖</p>	
<p>伞形顶尖</p>		<p>圆柱心轴</p>		<p>锥度心轴</p>	
<p>(花键心轴用此符号)</p> <p>螺纹心轴</p>		<p>(包括塑料心轴)</p> <p>弹性心轴、弹簧夹头</p>		<p>三爪卡盘</p>	
<p>四爪卡盘</p>		<p>中心架</p>		<p>跟刀架</p>	

表 1-1 续

  <p>圆柱衬套</p>	  <p>螺纹衬套</p>	  <p>止口盘</p>
  <p>拨杆</p>	  <p>垫铁</p>	  <p>压板</p>
  <p>角铁</p>	  <p>可调支承</p>	  <p>平口钳</p>
  <p>中心堵</p>	  <p>V形块</p>	  <p>软爪</p>

3. 定位、夹紧符号与装置符号联合标注示例

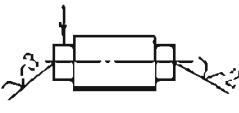
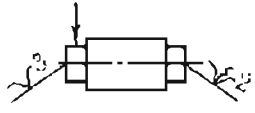
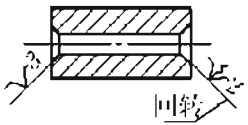
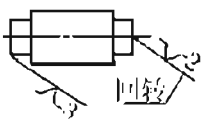
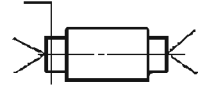
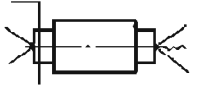
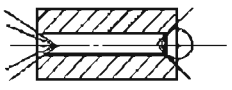
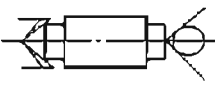
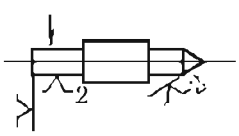
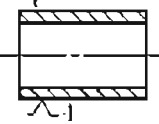
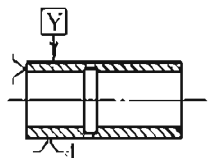
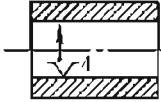
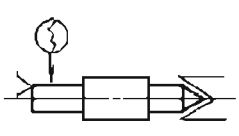
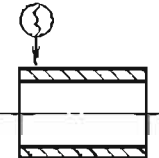
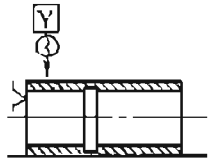
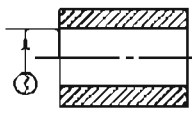
说 明	固定顶尖、拨杆	固定顶尖、浮动顶尖、拨杆	内拨顶尖、回转顶尖	外拨顶尖、回转顶尖
定位、夹紧符号标注				
联合标注				
说 明	弹簧夹头带轴向定位、内顶尖	弹簧夹头	液压弹簧夹头带轴向定位	弹性心轴
定位、夹紧符号标注				
联合标注				

表 1-1 续

说明	气动弹性心轴带端面定位	锥度心轴	圆柱心轴带端面定位	三爪卡盘	
定位、夹紧符号标注					
联合标注					
说明	液压三爪卡盘带端面定位	四爪卡盘带轴向定位	四爪卡盘带端面定位	固定顶尖, 浮动顶尖, 跟刀架, 拨杆	
定位、夹紧符号标注					
联合标注					
说明	三爪卡盘带轴向定位、中心架	止口盘, 螺栓压板	止口盘, 气动压板联动	螺纹心轴	
定位、夹紧符号标注					
联合标注					
说明	圆柱衬套带轴向定位、三爪卡盘	螺纹衬套, 三爪卡盘	平口钳	电磁盘	软爪三爪卡盘
定位、夹紧符号标注					
联合标注					

表 1-1 续

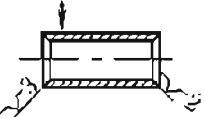
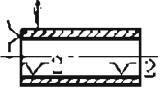
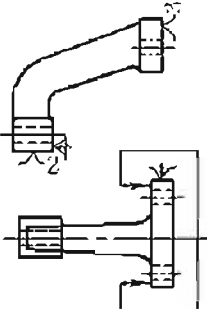
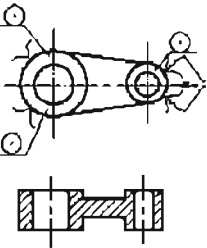
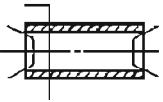
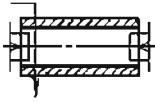
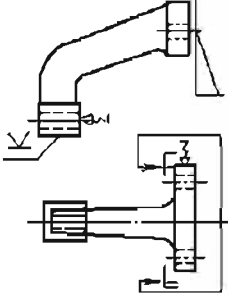
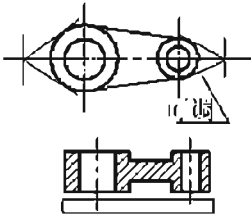
说 明	伞形顶尖, 拨杆	中心堵, 拨杆	角铁, V 形块, 可调支承, 联动压板	固定 V 形块, 可调 V 形块, 垫铁
定位、夹紧符号标注				
联合标注				

表 1-2 定位、夹紧符号应用及夹具结构示例(JB/T 5061—2006)

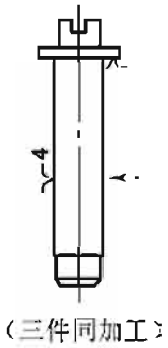
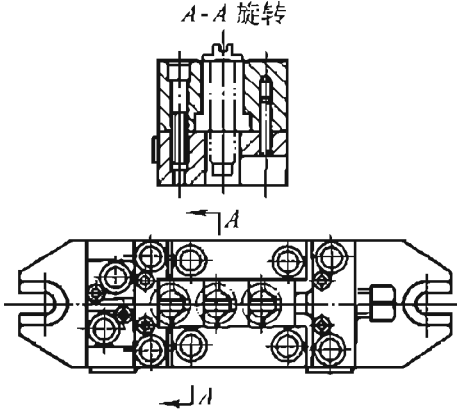
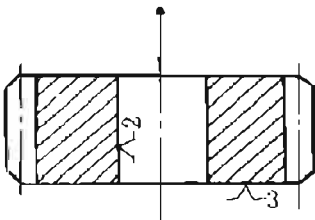
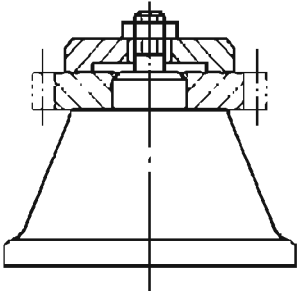
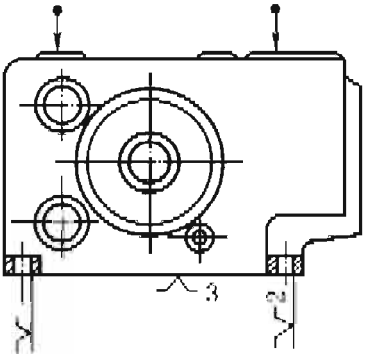
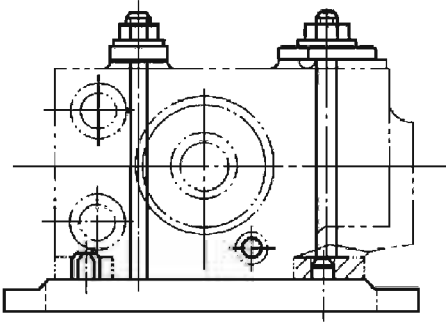
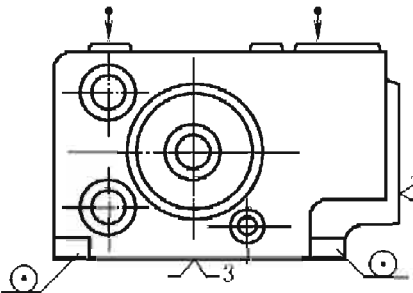
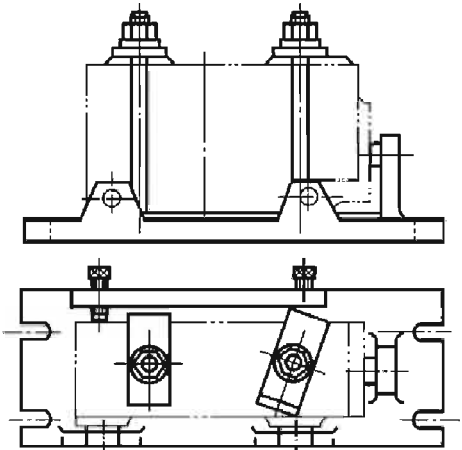
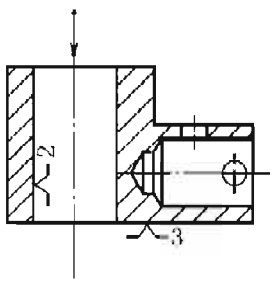
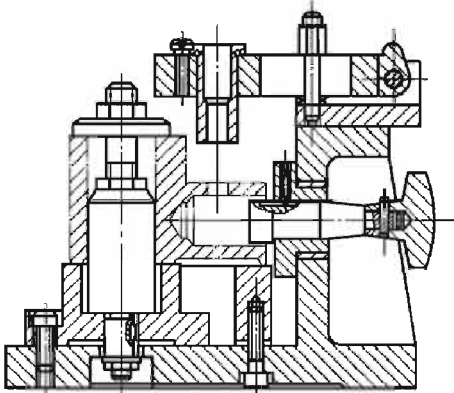
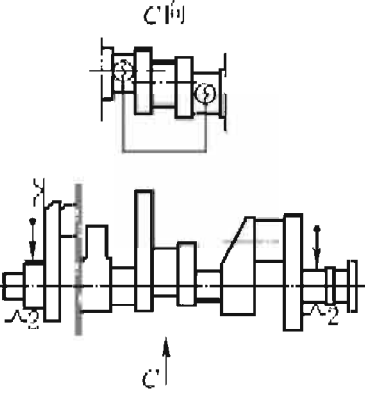
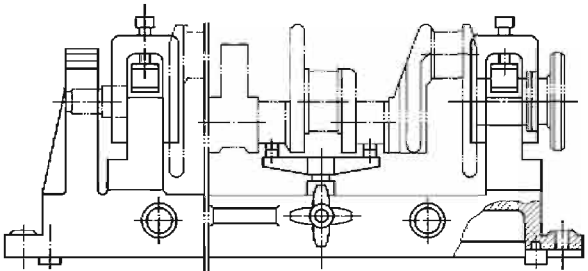
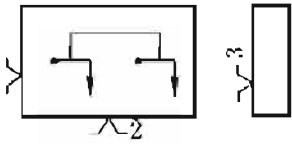
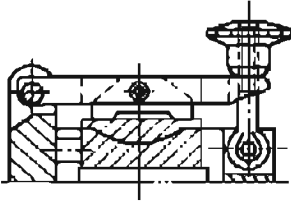
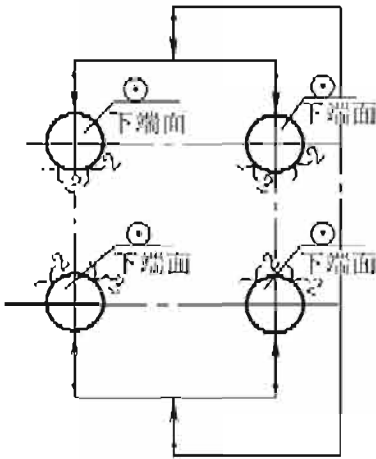
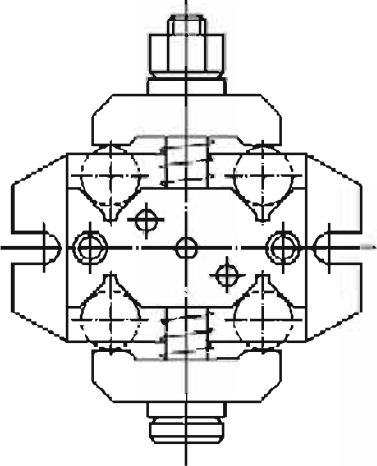
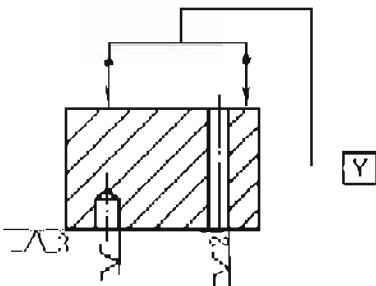
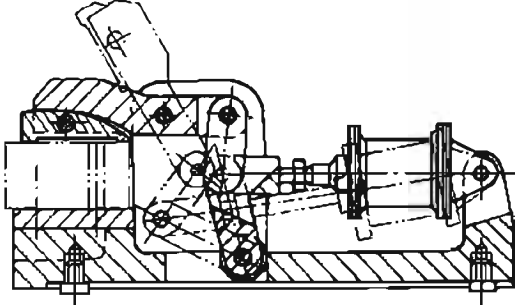
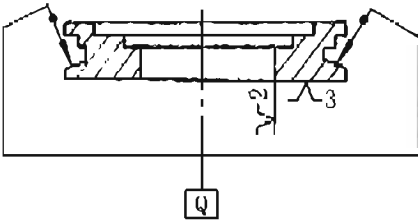
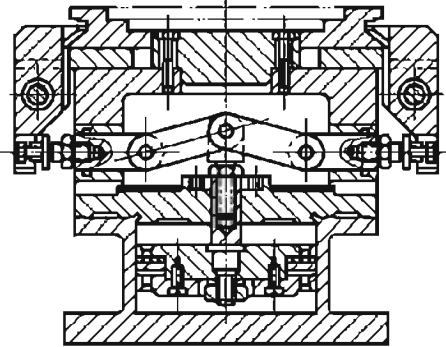
名 称	定位、夹紧符号应用示例	夹具结构示例
V 形夹具	 <p>(三件同加工)</p>	
铣齿底座		

表 1-2 续

名称	定位、夹紧符号应用示例	夹具结构示例
一圆柱销、 一菱形销夹具		
三面定位夹具		
钻模夹具		
专用曲轴夹具		

名称	定位、夹紧符号应用示例	夹具结构示例
联动夹紧夹具上的垫块		
多件短轴的联动夹紧夹具		
液压杠杆夹紧夹具上的垫块		
气动铰链杠杆夹紧夹具上的圆盘		

在生产中使用的工艺文件,种类与格式很多,主要有下列几种:

过程卡 或称工艺过程综合卡,是简要说明零件整个生产过程的一种卡片。包括零件生产过程所经过的工序名称及序号,完成各个工序的车间和工部(或工段)等内容,其格式见表 1-3。另外,对批量小的简单零件可以“一卡多件”以产品或部套为单位填卡,只填写每一零件所需的工序名称、设备型号和工时定额,其格式如表 1-4。

工艺卡 以工序为单位详细说明零件的机械加工工艺过程的文件。在工艺卡上不仅填写所有工序的序号及名称,而且详细说明每一工序所包括的工位和工步顺序以及工作内容等,进行详细的工艺分析。工艺卡的格式如表 1-5。

表 1-4 机械加工过程卡之二

共 页 第 页

车间		制订过程卡的零件数量		制订工序卡的零件数量		机械加工过程卡						产品图号		产品名称		产品图号		工作令号		备注	
						夹具		刃具		量具											
序号	零件图号	零件名称	每台数量	毛坯	工艺过程	工序名称	设备型号	工序号	单件时间 [min]	准备终结时间 [min]											
一金工	36	8																			
1	7200-50-04	平衡块	14	铸铁	钻 Z3040																
2	7200-50-07	套筒	1	35	划线	铣 X2010	划线	锉 T6216	钻 Z3080												
3	7200-50-08	轴套	1	45	车 CW6163	划线	铣 X208														
4	7200-50-20	车架	1	35	划线	刨 B2010	钻 Z3040														
5	7200-50-40	工具	1	35	车 CW61100	划线	刨 B2010	钻 Z3040													

编制:

定额:

会签:

审核:

批准:

日期:

表 1-5 机械加工工艺卡

共 页 第 页

零件简图及技术条件:		(厂名)		机械加工工艺卡		
		产品型号	零件名称	零件号		
		材料	名称	牌号	机械性能	
		毛坯	种类	尺寸	每一毛坯可制件数	
		每台件数	批量	净重[kg]	毛重[kg]	
序号	工序	工序和工步名称	加工尺寸[mm]	加工工用量		工 时 [min]
				工艺装备名称及编号	加 工 用 量	
1	2	3	4	夹 具	行程次数	22
				刃 具	切削深度 [mm]	
1	2	3	4	量 具	每边余量	24
				辅 具	计算的行程长度	
1	2	3	4	机床 (名称、 型号、 财产 编号)	直径或宽度	26
				同时加工零件数	长 度	
1	2	3	4	定位表面	每 分 钟 转 数 或 双 行 程	26
				加工面号数	切削速度 [m/min]	
1	2	3	4	加工面号数	进给量 [mm/min] 或 [mm/rev]	26
				加工面号数	切削功率 [kW]	
1	2	3	4	加工面号数	辅助时间	26
				加工面号数	机动时间	
1	2	3	4	加工面号数	工作地服务时间	26
				加工面号数	准备终结时间	
1	2	3	4	加工面号数	合 计	26
				加工面号数	合 计	

日期:

批准:

会签:

审核:

校对:

编制:

表 1-6 机械加工工序卡之一

共__页第__页

工步	工步名称	工具名称及编号			直径或宽度 [mm]	加工计算长度 [mm]	加工余量 [mm]	行程次数	切削深度 [mm]	进给量 [mm/r]或 [mm/min]	切削速度 [m/min]	每分钟 转数或 行程数	工时 [min]		班产 件数		
		刀具	量具	辅具									机动时间	辅助时间		单件时间 [min]	单件时间
加工简图及技术条件:		产品名称		零件名称		零件名称		零件名称		零件名称		零件名称		零件名称		零件名称	
		材料牌号		硬度		净重 [kg]		每台件数		机床名称		型号		资产编号		冷却液	
		夹具名称		夹具名称		夹具名称		夹具名称		夹具名称		夹具名称		夹具名称		夹具名称	
		同时加工 工件数		准备-终 结时间 [min]		机动时间		辅助时间		附加时间		单件时间 [min]		单件时间		班产 件数	
		批 量		加工 余量 [mm]		行程 次 数		切削 深 度 [mm]		进给 量 [mm/r]或 [mm/min]		每分 钟 转 数 或 行 程 数		机 动 时 间		工 时 [min]	
		批 量		加工 余量 [mm]		行程 次 数		切削 深 度 [mm]		进给 量 [mm/r]或 [mm/min]		每分 钟 转 数 或 行 程 数		机 动 时 间		工 时 [min]	
		批 量		加工 余量 [mm]		行程 次 数		切削 深 度 [mm]		进给 量 [mm/r]或 [mm/min]		每分 钟 转 数 或 行 程 数		机 动 时 间		工 时 [min]	

编制: _____ 校对: _____ 审核: _____ 会签: _____ 批准: _____ 日期: _____

在工艺卡的首页的左上角绘制零件简图，用数字或符号标注出各个加工表面，并注明主要表面的尺寸及技术
要求，例如图 1-5 所示。

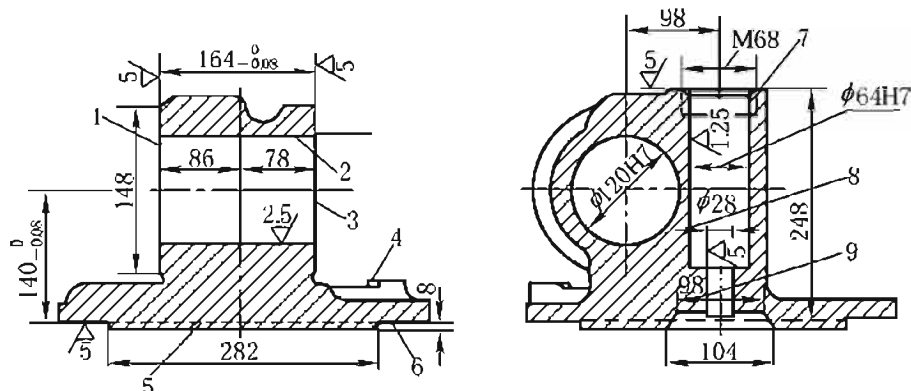


图 1-5 用数字来标志被加工表面

工序卡 是在过程卡或工艺卡的基础上分别为每一个工序制定的，详细说明该工序的全部工作内容，作为指导性资料，还附有工序简图。工序卡的格式如表 1-6。而表 1-7 为另一种工序卡格式，主要列出工序简图和使用的刃、量、夹、辅具。表 1-6 和表 1-7 两种格式可根据具体情况来选用。

表 1-7 机械加工工序卡之二

共 __ 页 第 __ 页

机械加工工序卡				产品名称	零件名称	零件号
工序号	工序名称	材料牌号	材料硬度	机床名称	机床编号	工具名称
加工简图及技术条件:					工具编号	工具名称

编制: 校对: 审核: 会签: 批准: 日期:

调整卡 主要用于单轴及多轴的自动和半自动机床、切齿机床等需要复杂调整的工序。调整卡的格式须符合该机床调整的特点，因此，各类机床的调整卡格式是不同的。调整卡的格式如表 1-8~1-10。

技术检查卡 是技术检查人员用的工艺文件。在卡片内应详细填写检查的项目，允许的偏差，检查方法和使用的工具等，并附有零件的简图。该卡格式如表 1-11。

表 1-8 多轴自动车床工序卡

多轴自动车床工序卡 (一)				冷却液	工序号																		
厂 车 间	设备名称	材料牌号	材料规格	材料定额	零件图号																		
C2150-6D	六轴自动车床	35	S14		72-05-003																		
	刀 具	量 具	夹 辅 具		车外圆钻铰孔																		
					技术要求: 平面 C 对外圆 D 的垂直度公差 0.06 mm。 其余 10/√																		
	编号	名称	规格	数量	技术要求																		
	761-PN-001	样板刀	塞规	761-SQ-007																			
	761-PN-004	光平面刀																					
	761-PN-007	60°倒角车刀																					
	T-003-02	φ6.9 铰刀																					
	T-003-03	φ7 铰刀																					
		φ5.7 钻头																					
		φ6.8 钻头																					
		φ18×90°铰钻																					
		3×200 剃刀片																					
交 换 凸 轮																							
	编号	名称	规格	数量	技术要求																		
	761-FU-007	I、IV工位刀夹			<table border="1"> <tr> <th>纵 刀 架</th> <th>横 刀 架</th> <th>独 立 刀 架</th> </tr> <tr> <td>56160J₁₋₄-40</td> <td>I. 56H₁₂-10 IV. 56H₄₅-5</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>II. 56H₁₂-10 V. 56H₄₅-5</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>III. 56H₁₂-10 VI. 56H₁₂-10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>夹料夹头</td> <td>送料夹头</td> <td>对刀装置</td> </tr> <tr> <td>56K₃-14</td> <td>56K₄-14</td> <td>56D-14</td> </tr> </table>	纵 刀 架	横 刀 架	独 立 刀 架	56160J ₁₋₄ -40	I. 56H ₁₂ -10 IV. 56H ₄₅ -5			II. 56H ₁₂ -10 V. 56H ₄₅ -5			III. 56H ₁₂ -10 VI. 56H ₁₂ -10		夹料夹头	送料夹头	对刀装置	56K ₃ -14	56K ₄ -14	56D-14
纵 刀 架	横 刀 架	独 立 刀 架																					
56160J ₁₋₄ -40	I. 56H ₁₂ -10 IV. 56H ₄₅ -5																						
	II. 56H ₁₂ -10 V. 56H ₄₅ -5																						
	III. 56H ₁₂ -10 VI. 56H ₁₂ -10																						
夹料夹头	送料夹头	对刀装置																					
56K ₃ -14	56K ₄ -14	56D-14																					
	8019-FU-008	II、III、V工位刀夹																					
	8019-FU-009	切断刀夹																					
	8019-FU-018	纵向刀夹																					
	2126-DW-012	弹簧夹头																					
	ME-063	弹性衬套																					
	ME-652	3号锥度衬套																					
	ME-681	2号锥度衬套																					
	ME-2102	φ7 变径衬套																					
	8019-FU-072	浮动铰刀具																					
	J5672	转移式工具轴																					
	761-FU-200	增速机构传动																					
	761-FU-304	φ17 垫圈																					

编制:

校对:

审核:

会签:

批准:

共

页第

页

表 1-8 续

多轴自动车床工序卡 (二)		零件名称		零件图号		工 序 号			
厂 车 间		产 品 代 号		管接头		15			
工 步 简 图		工 步 名 称		切 削 速 度 [m/min]		工 作 行 程 [mm]		备 注	
	I	纵	车 $\phi 13.20$ 外圆并起钻	31.2	0.088	28	$h = 40$		
	II	横	车平面倒角	31.2	0.027	9	$h = 10$		
		纵	钻 $\phi 5.7$ 孔	11	0.088	40	$h = 40$		
	III	横	车 $\phi 14.0$ 外圆及沉割外形	31.2	0.0135	4.5	$h = 5$		
		纵	钻 $\phi 6.7$ 孔, 车 $\phi 11.5$ 外圆	12.92	0.088	40	$h = 40$		
	IV	横							
纵		粗铰 $\phi 6.9$ 孔	13.5	0.038	40	$h = 40$			
V	纵	精铰 $\phi 7H7$ 孔	13.5	0.088	40	$h = 40$			
	横								
VI	纵								
	横	割下	27	0.027	8.5	$h = 10$			
交 换 齿 轮									
工作主轴		分 配 轴		增 降 速 附 具		切 螺 纹 附 具			
A/B	41/53	挂 轮	E/F 29/65	挂 轮		挂		转 速	绝对
C/D	41/53	工作主轴 对分配轴 的传动比	0.0008	转 速 [r/min]	绝对	轮		[r/min]	相对
转 速 [r/min]	615				相 对				绝对
工作行程时间	47.35 s	总机动时间	50.07 s	损失时间	16%	生产率	58.87 件/h		
辅助行程时间	2.72 s	不计损失生产率	71.8 件/h	同时加工	1 件	班产定额	470 件		

编制:

校对:

审核:

会签:

批准:

共

页第

页

表 1-9 单轴六角自

零件图		工件名称		序号	工序内容		
材料	黄铜 59-1	铜套					
直径	φ22	主轴转速 [r/min]	切削速度 [m/min]				
		1 790		1	送夹料 换位		
		1 790	121, 47.2	2	车外圆(φ21.5),倒角,钻孔 φ8.4 换位,变速 前刀架快速		
<p>工 艺 程 序 草 图</p>		1 340	90.5, 75.7	3a	成形及车槽(3×1.1) 停持 退回 后刀架快速		
		1 340	90.5	3b	滚字 φ21.5 退回		
		1 340+3 050=4 390	69.4	4	高速钻孔 φ4.7 换位,变速		
		1 790	28.1	5	扩孔 φ5H8 退回,换位,变速,逆车		
		逆 152	8.6	6	套螺纹 M18×1.5 顺车退出 换位,变速,逆车		
		680	38.5	7	攻螺纹 M10 顺车退出 换位,变速		
		逆 303	9.6	7	立刀架快速 切断 退回 回转刀架快速		
		1 340	42	8			
		基本主轴转速 [r/min]		变速箱交换齿轮		凸 轮	
		1 790	43	35	36	42	1. (Z)卡 C1336 甲 2. (Z)卡 C1336 乙
每一工件主轴转速		1 154.8	分配轴交换齿轮				3. (Z)卡 C1336 丙 4. (Z)卡 C1336 丁
生产率 [件/min]		1.55	a	b	c	d	
每工件所需时间[s]		38.7	60	71	75	45	

动车床工序卡

刀具行程 [mm]	进给量 [mm/r]	各工序 主轴所 需转数 n_i	n_i 至 n_j 的折合 系数	计算工 序主轴 所需转 数 n_j	绘 凸 轮 曲 线 的 数 据								凸 轮 符 号
					工作行程		空 行 程		格 数		半 径 高 度		
					本工序	计 算 工 序	本工序	计 算 工 序	自	至	自	至	
							2.5	2.5	0	2.5	61.5		甲
							2.5	2.5	2.5	5			甲
29	0.15	193.3	1	193	16.7	16.5			5	21.5	61.5	90.5	甲
							2.5	2.5	21.5	24	90.5		甲
27.5							4			24	45	69.5	乙
2.5	0.04	62.5	1.34	83.5	7.22	7			24	31	69.5	72	乙
							0.5	0.5	31	31.5	72		乙
30							4		31.5		72	45	乙
19.5							5			24	45	64.5	丙
0.5	0.15	3.3	1.34	(4.5)	0.4	(0.5)			24	24.5	64.5	65	丙
20							5.5		24.5		65	45	丙
15	0.08	187.5	0.38	71.5	6.18	6.5			31.5	38	90.5	105.5	甲
							2.5	2.5	38	40.5	105.5		甲
14.5	0.122	119	1	119	10.3	10.5			40.5	51	105.5	120	甲
59							6	6	51	57	120	61	甲
19	1.5	12.7	11.78	149	12.9	13			57	70	61	78	甲
24.5	1.5	16.3	2.63	43	3.72	3.5			70	73.5	78	55.5	甲
							3.5	3.5	73.5	77	55.5		甲
11	1.5	7.33	5.9	43	3.72	3.5			77	80.5	55.5	65.5	甲
11	1.5	7.33	1.34	10	0.86	1			80.5	81.5	65.5	55.5	甲
							3.5	3.5	81.5	85	55.5		甲
20							4			85	45	65	丁
10	0.07	143	1	143	12.4	12.5			85	97.5	65	75	丁
30							4	2.5	97.5		75	45	丁
8							2.5		97.5	100	55.5	61.5	甲
				855		74		26					
夹 辅 具					刃 具			(厂 名)					
1. GV/47-30		9. (Z)卡 C1336-J1			1. 3121-4.7			编 制					
2. GV18/47-31		10. (Z)卡 C1336-J2			2. 3121-5			校 对					
3. V/47-40		11. (Z)卡 C1336-J3			3. 3121-8.4			审 核					
4. V/47-43					4. 612/M10			会 签					
5. C1336-1605/φ5					5. 620/1M18			批 准					
6. C1336-1607(2)					6. C1336 试卡 1 刀 2			机 床 型 号		C1336			
7. C1336-1668/M10					7. (Z)卡 1336D ₁ -D ₅			编 号		(Z)卡 C1336			
8. C1336-1673/M16-20					(供应 8×8×L 高速钢)								

表 1-10 单轴纵切自

						序号	工序内容
						1	No. 3 刀退回
						2	No. 1 刀进至 phi 4
						3	主轴箱送进
						4	停 持
						5	No. 1 刀退回至 phi 7
						6	停 持
产品名称	零件名称	材 料	材料硬度	棒料直径	零件图号	7	主轴箱送进
	轮 轴	45 钢		phi 10	734-016	8	No. 1 刀退回
刀 具 位 置 图						9	主轴箱送进
						10	No. 1 刀退回
						11	主轴箱送进
						12	No. 2 刀送进至 phi 6
						13	停 持
						14	主轴箱送进
						15	No. 2 刀退回
						16	No. 5 刀进至 phi 2
						17	No. 5 刀退回
						18	No. 3 刀进至 phi 7
						19	No. 3 刀送进切断
						20	夹头松开
						21	主轴箱退回
						22	夹头夹紧
23							
24							
25							
26							
27							
合 计							
凸 轮							
			编 号	名 称			
交换带轮		减 速 箱 刻 度 值	交换齿轮		每工件主轴转数	3 647	
A	B		a	b	生产率[件/min]	0.362	
126	224	4.19			每工件所需时间[s]	165	
						单轴纵切自	

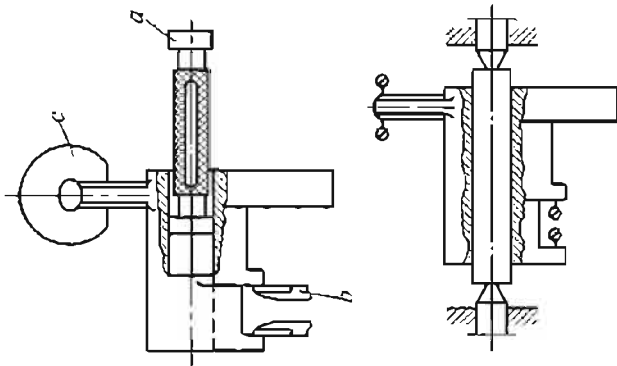
注：306°~355°由分配轴快速运动完成，故实际生产一个零件所需时间为 144 s。

表 1-11 技术检查卡

共__页第__页

厂名		技术检查卡		产品名称	零件名称	零件编号
		技术检查卡			叉	06-01-32
工序名称		尺寸	公差	工序号	检查方法	量具编号
序号	检查项目	尺寸	公差	工序号	检查方法	量具编号
1	检查铸件质量,工作表面上有无气泡、裂纹及夹砂				从外表上观察	
2	检查铸件上型砂是否清除干净					
2	检查孔(见图中 a)	φ20H7	$\begin{matrix} +0.023 \\ 0 \end{matrix}$		塞规	
3	检查槽宽(见图中 b)	25	$\begin{matrix} +0.14 \\ 0 \end{matrix}$		卡尺	
4	检查凸出部分宽(见图中 c)	12	$\begin{matrix} -0.02 \\ -0.07 \end{matrix}$		卡规	

简图及说明:



编制:

校对:

审核:

会签:

批准:

日期:

经济的加工精度

机械加工的经济精度 每种机床上机械加工所达到的精度愈高,所耗费的工时和成本就愈大。可是这两者不是完全按比例直线上升的。当一种机床上所加工的精度超过一定限度以后,所需工时就会迅速增加,这就大大降低了生产率,增加了成本,因而是经济的。每种机床在正常条件下能经济地达到的加工精度是有一定范围的,在这个范围内的精度就是这种加工方法的经济精度。经济精度是以正常生产条件下,零件加工所得的表面尺寸对于公称尺寸的平均偏差值来表示的。正常的生产条件主要是:(1)设备完好;(2)使用必需的刀具和适宜的夹具;(3)有一定熟练程度的生产工人;(4)定额工时合理。

加工精度包括:(1)尺寸精度;(2)形状精度;(3)位置精度;(4)表面粗糙度。

表 1-12~1-24 所列为各种机械加工的经济加工精度。

表 1-12 孔加工精度

孔的公称直径 [mm]	钻及扩钻孔				扩 孔				铰 孔						拉 孔			
	无钻模		有钻模		粗扩	铸孔或冲孔 后一次扩孔	粗扩或 钻后 精扩	半精铰		精 铰		细 铰		粗拉铸孔 或冲孔				
	12	11	12	11				12	12	11	10	11	10	9	8	7	6	11
	加工的精度等级和偏差值[μm]																	
1~3		60		60														
>3~6		80		80					80	48	25	18	13	8				
>6~10		100		100					100	58	30	22	16	9				
>10~18	240			120	240		120	70	120	70	35	27	19	11				
>18~30	280			140	280		140	84	140	84	45	33	23					
>30~50	340		340		340	340	170	100	170	100	50	39	27			170	100	
>50~80			400		400	400	200	120	200	120	60	46	30			200	120	
>80~120					460	460	230	140	230	140	70	54	35			230	140	
>120~180									260	160	80	63	40			260	160	
>180~260									300	185	90	73	45					
>260~360									340	215	100	84	50					
>360~500																		

孔的公称直径 [mm]	拉 孔			镗 孔						磨 孔			研 磨	用钢球、挤压杆 校整,用钢球或 滚子扩孔器扩孔					
	粗拉孔后或钻 孔后精拉孔			粗	半精	精		细		粗	精								
	9	8	7			12	11	10	9			8	7	6	9	8	7	6	10
	加工的精度等级和偏差值[μm]																		
1~3																			
>3~6																			
>6~10																			
>10~18	35	27	19	240	120	70	35	27	19	11	35	27	19	11	70	35	27	19	
>18~30	45	33	23	280	140	84	45	33	23	13	45	33	23	13	84	45	33	23	
>30~50	50	39	27	340	170	100	50	39	27	15	50	39	27	15	100	50	39	27	
>50~80	60	46	30	400	200	120	60	46	30	18	60	46	30	18	120	60	46	30	
>80~120	70	54	35	460	230	140	70	54	35	21	70	54	35	21	140	70	54	35	
>120~180	80	63	40	530	260	160	80	63	40		80	63	40	24	160	80	63	40	
>180~260				600	300	185	90	73	45		90	73	45	27	185	90	73	45	
>260~360				680	340	215	100	84	50		100	84	50	30	215	100	84	50	
>360~500				760	380	250	120	95	60		120	95	60	35	250	120	95	60	

注:1. 孔加工精度与工具的制造精度有关。

2. 6级精度细镗孔要采用金刚石工具。

3. 用钢球或挤压杆校整的方法适用于孔径 ≤ 50 mm。

表 1-13 圆柱形深孔加工精度

加工方法		经济精度 [级]	加工方法	经济精度 [级]
用麻花钻、扁钻、环孔钻钻孔	钻头回转	11~12	镗刀块镗孔	7~9
	工件回转	11		
	钻头和工件都回转	11	铰孔	7~9
扩钻		11	磨孔	7
扩孔		9~11		
炮孔钻钻孔或镗孔	刀具回转	9~11	珩磨	7
	工件回转	9		
	刀具和工件都回转	9	研磨	6~7

表 1-14 圆锥形孔加工精度

加工方法		经济精度 [级]	
		锥孔	深锥孔
镗孔	粗	9	9~11
	精	7	
扩孔	粗	11	
	精	9	
铰孔	机动	7	7~9
	手工	高于 7	
磨孔		高于 7	7
研磨		6	6~7

表 1-15 多边形孔加工精度

加工方法	经济精度 [级]
钻	9~11
插	9~11
磨	7~9
拉	7~9
研磨	7

表 1-16 花键孔加工精度

加工方法	经济精度 [级]
插	9
磨	7~9
拉	7~9

表 1-17 圆柱形外表面的加工精度

公称直径 [mm]	车			磨			研磨	用钢球或滚子工具滚压						
	粗	半精或一次加工	精	一次加工	粗	精								
	加工的精度等级和偏差值 [μm]													
	13~12	12	11	10	9	7	9	7	6	5	10	9	7	6
1~3	120	120	60	40	20	9	20	9	6	4	40	20	9	6
>3~6	160	160	80	48	25	12	25	12	8	5	48	25	12	8
>6~10	200	200	100	58	30	15	30	15	10	6	58	30	15	10
>10~18	240	240	120	70	35	18	35	18	12	8	70	35	18	12
>18~30	280	280	140	84	45	21	45	21	14	9	84	45	21	14
>30~50	620~340	340	170	100	50	25	50	25	17	11	100	50	25	17
>50~80	740~400	400	200	120	60	30	60	30	20	13	120	60	30	20
>80~120	870~460	460	230	140	70	35	70	35	23	15	140	70	35	23
>120~180	1 000~530	530	260	160	80	40	80	40	27	18	160	80	40	27
>180~260	1 150~600	600	300	185	90	47	90	47	30	20	185	90	47	30
>260~360	1 350~680	680	340	215	100	54	100	54	35	22	215	100	54	35
>360~500	1 550~760	760	380	250	120	62	120	62	40	25	250	120	62	40

表 1-18 端面加工精度 [mm]

加工方法		直 径			
		≤ 50	> 50 ~ 120	> 120 ~ 260	> 260 ~ 500
车 削	粗 精	0.15	0.20	0.25	0.40
		0.07	0.10	0.13	0.20
磨 削	普通 精密	0.03	0.04	0.05	0.07
		0.02	0.025	0.03	0.035

表 1-19 平行表面的加工精度 [mm]

加工性质	表 面 长 和 宽					
	≤ 100			> 100 ~ 300		
	表 面 高 度					
	≤ 50	> 50 ~ 80	> 80 ~ 120	≤ 50	> 50 ~ 80	> 80 ~ 120
用圆片铣刀同时铣切	0.05	0.06	0.08	0.06	0.08	0.10

表 1-20 成形铣刀加工精度 [mm]

表面长度	粗 铣		精 铣	
	铣 刀 宽 度			
	≤ 120	> 120 ~ 180	≤ 120	> 120 ~ 180
≤ 100	0.25		0.10	
> 100 ~ 300	0.35	0.45	0.15	0.20
> 300 ~ 600	0.45	0.5	0.20	0.25

表 1-21 平面加工精度

公称尺寸 (高或厚) [mm]	刨削和圆柱铣刀及套式面铣刀铣削									拉 削				磨 削				研 磨	用钢球或 滚子工具 滚压					
	粗			半精或 一次加工			精			细			粗拉铸造 冲压表面		精 拉		一次 加工					粗		精
	加工精度等级和偏差值[μm]																							
	13	12	11	12	11	10	9	7	6	11	10	9	7	6	9	7	9	7	6	5	10	9	7	
10~18	430	240	120	240	120	70	35	18	12						35	18	35	18	12	8	70	35	18	
>18~30	520	280	140	280	140	84	45	21	14	140	84	45	21	14	45	21	45	21	14	9	84	45	21	
>30~50	620	340	170	340	170	100	50	25	17	170	100	50	25	17	50	25	50	25	17	11	100	50	25	
>50~80	700	400	200	400	200	120	60	30	20	200	120	60	30	20	60	30	60	30	20	13	120	60	30	
>80~120	870	460	230	460	230	140	70	35	23	230	140	70	35	23	70	35	70	35	23	15	140	70	35	
>120~180	1 000	530	260	530	260	160	80	40	27	260	160	80	40	27	80	40	80	40	27	18	160	80	40	
>180~260	1 150	600	300	600	300	185	90	47	30	300	185	90	47	30	90	47	90	47	30	20	185	90	47	
>260~360	1 350	680	340	680	340	215	100	54	35						100	54	100	54	35	22	215	100	54	
>360~500	1 550	760	380	760	380	250	120	62	40						120	62	120	62	40	25	250	120	62	

注：1. 表内资料适用于尺寸大小 $< 1 \text{ m}$ ，结构刚性好的零件加工；用光洁的加工表面作为定位基准和测量基准。

2. 套式面铣刀铣削的加工精度在相同的条件下大体上比圆柱铣刀铣削高一级。

3. 细铣仅用于套式面铣刀铣削。

表 1-22 公制螺纹加工精度

工 具	工具标准	工具精度等级	加工螺纹的精度等级
螺纹车刀			4~6(外螺纹) 5~7(内螺纹)
梳形螺纹车刀			4~6(外螺纹) 5~7(内螺纹)
丝锥 手用、机用 长柄机用 短柄螺母 长柄螺母	GB/T 3464—2007 GB/T 3464—2007 GB/T 967—1994 JB/T 8786—1998	H1 H2 H3 H4	4H、5H 5G、6H 6G、7H、7G 6H、7H
圆板牙	GB/T 970—1994		6g、6e、6f、6h
带圆梳刀的自动张开式板牙头			4~6
带径向或切向梳刀的自动张开式板牙头			5~6
梳形螺纹铣刀			5~7
旋风切削装置			5~7
搓丝模	GB/T 972—1994	1 2 3	4、5(外螺纹) 5、6(外螺纹) 6、7(外螺纹)
滚丝模	GB/T 971—1994	1 2 3	4、5(外螺纹) 5、6(外螺纹) 6、7(外螺纹)
单线或多线砂轮(磨螺纹)			4级或更高

表 1-23 花键制造的经济精度

轴					
花键轴的外径 [mm]	键 数	加 工 方 法			
		用磨制的滚刀铣		成 型 磨	
		精 度 [mm]			
		花 键 宽	底圆直径	花 键 宽	底圆直径
18~30	} 6 和 4	0.025	0.05	0.013	0.027
>30~50		0.040	0.075	0.015	0.032
>50~80		0.050	0.10	0.017	0.042
>80~120	10 和 6	0.075	0.125	0.019	0.045

表 1-23 续

孔					
花键的最大直径 [mm]	键 数	加 工 方 法			
		拉 削		推 削	
		热 处 理 前 的 精 度 [mm]			
		花 键 宽	底 圆 直 径	花 键 宽	底 圆 直 径
18~30	10、6 或 4	0.013	0.018	0.008	0.012
>30~50		0.016	0.026	0.009	0.015
>50~80		0.016	0.030	0.012	0.019
>80~120		0.019	0.035	0.012	0.023

表 1-24 齿轮加工精度

加工方法	精度等级 (按 GB/T 10095—2001)	加工方法	精度等级 (按 GB/T 10095—2001)
多头滚刀铣削 ($m = 1 \sim 20$ mm)	10~8	车齿	8~7
单头滚刀铣削 ($m = 1 \sim 20$ mm)		磨齿:	
精密滚刀 精度等级:AA	7	成形砂轮仿形法	6~5
一般滚刀 精度等级:A	8	盘形砂轮范成法	6~3
B	9	两个盘形砂轮范成法 (马格法)	6~3
C	10	蜗杆砂轮范成法	6~4
圆盘形插齿刀插齿 ($m = 1 \sim 20$ mm)		用铸铁研磨轮研齿	6~5
精度等级:AA	6	直齿锥齿轮刨齿	8
A	7	螺旋齿锥齿轮刀盘铣齿	8
B	8	蜗轮模数滚刀滚蜗轮	8
圆盘形剃齿刀剃齿 ($m = 1 \sim 20$ mm)		径向或轴向进给热轧齿型 ($m = 2 \sim 8$ mm)	9~8
精度等级:A	6	热轧后冷校准齿型 ($m = 2 \sim 8$ mm)	8~7
B	7	冷轧齿型 ($m \leq 1.5$ mm)	7
C	8		

表面粗糙度

基本概念

表面粗糙度参数及其数值(GB/T 1031—1995)等效采用国际标准 ISO 468—1982。表面粗糙度术语、定义及其参数(GB 3505—2000)规定了评定表面粗糙度的参数及其数值和一般规则,适用于对工业制品的表面粗糙度的评定。

表面粗糙度的评定采用中线制。

表面粗糙度参数从下列两项中选取：

轮廓算术平均偏差—— R_a

轮廓最大高度—— R_z

在常用的参数值范围内, R_a 为 $0.025 \sim 6.3 \mu\text{m}$, 推荐优先选用 R_a 。

轮廓的最小二乘中线(简称中线) 具有几何轮廓形状并划分轮廓的基准线, 在取样长度内使轮廓线上各点的轮廓偏距的平方和为最小, 见图 1-6。

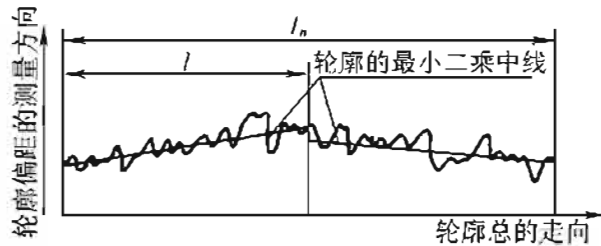
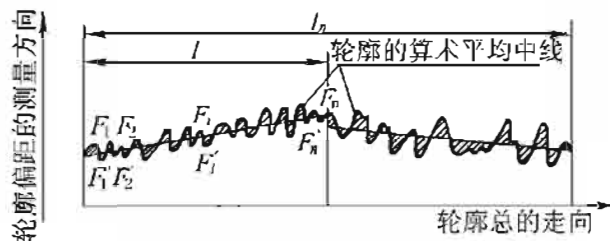


图 1-6 轮廓的最小二乘中线的求取

轮廓的算术平均中线 具有几何轮廓形状在取样长度内与轮廓走向一致的基准线。在取样长度内由该线划分轮廓使上下两边的面积相等, 见图 1-7。



$$\sum_{i=1}^n F_i = \sum_{i=1}^n F'_i$$

图 1-7 轮廓的算术平均中线的求取

规定算术平均中线是为了用图解法近似地确定最小二乘中线。当轮廓具有明显的周期性, 其走向已定时, 则“等面积”中线是唯一的。当轮廓为不规则时, 其走向在某一范围内就不确定, 则可在该范围内绘出一簇“等面积”中线, 而其中只有一条线与“最小二乘法”中线重合。

轮廓算术平均偏差 R_a 在取样长度 l 内轮廓偏距绝对值的算术平均值, 见图 1-8。

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx$$

或近似为:

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z_i|$$

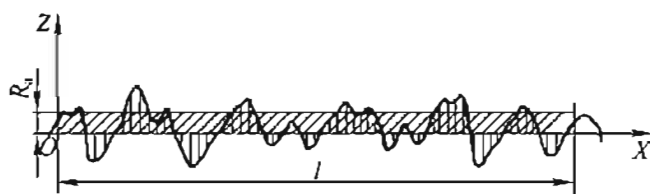


图 1-8 轮廓算术平均偏差的求取

轮廓最大高度 R_z 在取样长度内轮廓峰顶线和轮廓谷底线之间的距离,见图 1-9。
 轮廓最大峰高 R_p 在取样长度内从轮廓峰顶线至中线的距离,见图 1-9。
 轮廓最大谷深 R_v 在取样长度内从轮廓谷底线至中线的距离,见图 1-9。

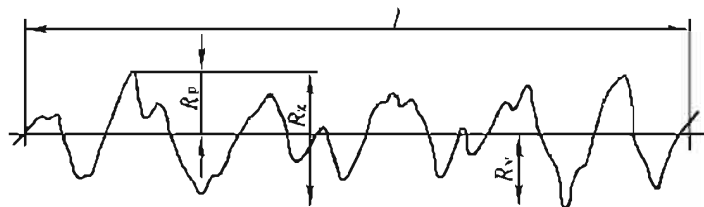


图 1-9 轮廓最大谷深的求取

轮廓微观不平度的间距 含有一个轮廓峰和相邻轮廓谷的一段中线长度,见图 1-10。

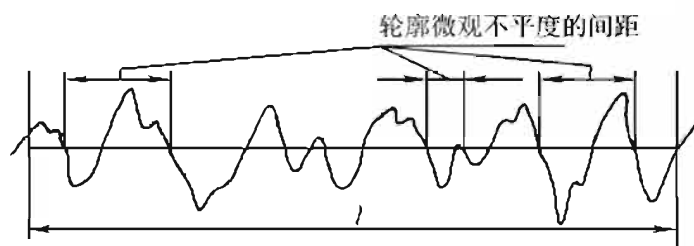


图 1-10 轮廓微观不平度间距的求取

轮廓微观不平度的平均间距 RS_m 在取样长度内轮廓微观不平度的间距的平均值。
 轮廓的单峰间距 两相邻单峰的最高点之间的距离投影在中线上的长度,见图 1-11。

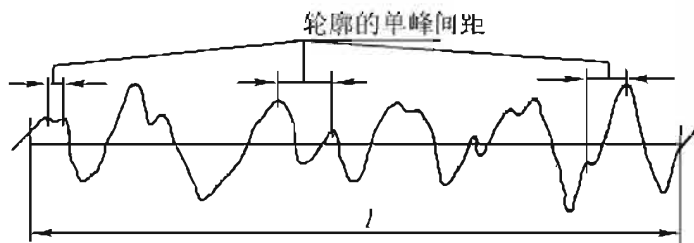


图 1-11 轮廓单峰间距的求取

轮廓的单峰平均间距 S 在取样长度内轮廓的单峰间距的平均值。

轮廓支承长度 $MI(c)$ 在取样长度内,一平行于中线的线与轮廓相截所得到的各段截线长度之和,见图 1-12。

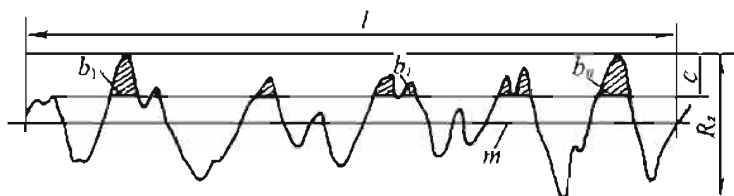


图 1-12 轮廓支承长度的求取

$$MI(c) = b_1 + \dots + b_i + \dots + b_n$$

轮廓支承长度率 Rmr 轮廓支承长度 $MI(c)$ 与取样长度 l 之比。

$$Rmr = \frac{Ml(c)}{l}$$

Rmr 值是对应于不同水平截距 c (见图 1-12) 而给出的。

取样长度 l 用于判别具有表面粗糙度特征的一段基准线长度, 见图 1-13。规定和选择这段长度是为了限制和减弱表面波纹度对表面粗糙度测量结果的影响。

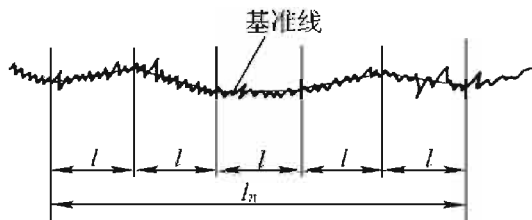


图 1-13 取样长度

评定长度 l_n 评定轮廓所必须的一段长度, 它可包括一个或 n 个取样长度, 见图 1-13。

R_a 、 R_z 的数值见于表 1-25 和表 1-26。表列值不能满足要求时, 可选取补充系列值。

表 1-25 轮廓算术平均偏差 R_a 的数值 [μm]

数值	补充系列	数值	补充系列	数值	补充系列	数值	补充系列	
0.012	0.008	0.2	0.125	3.2	1.25	25	16	
	0.01		0.16		1.6			20
	0.016		0.25		2			32
0.025	0.02	0.4	0.32	6.3	2.5	50	40	
	0.032		0.5		3.2			63
	0.04		0.63		4			80
0.05	0.063	0.8	1.0	12.5	5	100		
	0.08		1.25		8			
			1.6		10			

表 1-26 轮廓最大高度 R_z 的数值 [μm]

数值	补充系列	数值	补充系列	数值	补充系列	数值	补充系列	数值	补充系列	
0.025		0.4	0.25	4	2.5	25	32	400	250	
	0.032		0.32		3.2					320
	0.04		0.5		5					500
0.05		0.8	0.63	8	50	63	80	800	500	
	0.063		10		100					630
	0.08		12.5		125					800
0.1		1.6	1.0	16	100	160	1600	1000	1250	
	0.125		12.5		125					1250
	0.16		20		200					1600
0.2		2		200		200				

取样长度的数值从表 1-27 给出的系列中选取。

表 1-27 取样长度的数值

[mm]

0.08	0.25	0.8	2.5	8	25
------	------	-----	-----	---	----

在规定表面粗糙度要求时,必须给出粗糙度参数值和测定时的取样长度值两项基本要求,必要时也可规定表面加工纹理,加工方法或其顺序和不同区域的粗糙度等附加要求。

为保证制品表面质量,可按功能需要规定表面粗糙度参数值。否则,可不规定其参数值,也不需检查。

表面粗糙度各参数的数值是指在垂直于基准面的各截面上获得。如果给定的表面如截面方向与高度参数(R_a 、 R_z)最大值的方向一致,则可不规定测量截面的方向,否则应在图样上标出。

对表面粗糙度的要求不适用于表面缺陷。在评定过程中不应把表面缺陷(如沟槽、气孔、划痕等)包含进去。必要时,应单独规定表面缺陷的要求。

根据表面功能的需要,除表面粗糙度高度参数(R_a 、 R_z)外可选用下列附加的评定参数:

轮廓微观不平度的平均间距—— RSm ;

轮廓的单峰平均间距—— S ;

轮廓支承长度率—— Rmr 。

附加各参数的数值规定于表 1-28 和表 1-29。对表 1-28 中表列数值不能满足要求时,可选取补充系列值。

选用轮廓支承长度率参数时必须同时给出轮廓水平截距 c 值。它可用 μm 或 R_z 的百分数表示。

百分数系列如下: R_z 的 5%、10%、15%、20%、25%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%。

表 1-28 轮廓微观不平度的平均间距 RSm , 轮廓的单峰平均间距 S 的数值

[mm]

数值	补充系列	数值	补充系列	数值	补充系列	数值	补充系列
	0.002	0.025			0.25		2.5
	0.003		0.032		0.32	3.2	
	0.004		0.04	0.4			4
	0.005	0.05			0.5		5
0.006			0.063		0.63	6.3	
	0.008		0.08	0.8			8
	0.01	0.1			1		10
0.0125			0.125		1.25	12.5	
	0.016		0.16	1.6			
	0.02	0.2			2		

表 1-29 轮廓支承长度率 Rmr 的数值

Rmr [%]	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90
-----------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

轮廓的单峰(谷) S 的最小间距规定为取样长度 l 的 1%。轮廓峰(谷、单峰、单谷)的最小高度规定为轮廓最大高度 R_z 的 10%。对 R_a 、 R_z 参数亦适用。

表 1-30 表面粗糙度(光洁度)

标准 代号	中 国		老标准 等级代 号	英 国		美 国	德 国		瑞 士		意大利 UNT 1396 (1960)						
	GB/T 1031—1995			BS 1134—1961	标记		ASAB 461—1962	DIN 4763(1981)	VSM 1032(1962)	等级代号							
表征 参数	R_a [μm]	R_z [μm]		R_a mil[μm]	示例	R_a mil[μm]	R_a [μm]	R_t [μm]	R_a [μm]		R_a [μm]						
表 面 粗 糙 度 (光 洁 度) 数 值 和 代 号	0.01	0.05	▽14	16 CLA 8-16 CLA 或 8.16 CLA		1(0.025)	0.01	0.04	0.025	N1	▽▽▽▽	0.025					
	0.02	0.10	▽13				0.016	0.063									
	0.04	0.20	▽12				2(0.05)	2(0.05)					0.040	0.10	0.05	N2	0.05
	0.08	0.40	▽11				4(0.10)	3(0.08)					0.063	0.25	0.1	N3	0.08
	0.16	0.80	▽10				8(0.20)	4(0.10)					0.10	0.40	0.1	N3	0.10
	0.32	1.60	▽9				16(0.40)	5(0.125)					0.16	0.63	0.2	N4	0.12
	0.63	3.20	▽8				32(0.80)	6(0.160)					0.25	1.0	0.4	N5	0.16
	1.25	6.30	▽7				63(1.60)	8(0.20)					0.40	1.6	0.5	N6	0.20
	2.50	10	▽6				125(3.20)	10(0.25)					0.63	2.5	1.6	N7	0.25
	5	20	▽5				250(6.30)	13(0.32)					1.0	6.3	0.5	N6	0.3
	10	40	▽4				500(12.5)	16(0.40)					1.6	10	1.6	N7	0.4
	20	80	▽3				1 000(25)	20(0.50)					2.5	16	2.5	N8	0.5
	40	160	▽2					25(0.63)					4.0	25	3.2	N8	0.6
	80	320	▽1					32(0.80)					6.3	40	6.3	N9	0.8
								40(1)					10	63	12.5	N10	1.0
								50(1.25)					16	100	25	N11	1.2
								63(1.60)					25	1 000(25)	1 600		1.6
								80(2)					40		2 500		2.0
								100(2.5)					63				2.5
								125(3.2)					100				3
								160(4)					160				4
								200(5)					250				5
								250(6.3)					500				6
								320(8)					1 000				8
				400(10)	1 600				10								
				500(12.5)	2 500				12								
				600(16)													
				800(20)													
				1 000(25)													

代号与参数数值对照

俄罗斯 ГОСТ 2789—59			波兰 PN-58/M-04251			捷克 CSN 014450—1961		日本 JIS BO 601—1970				标记示例
R_a [μm]	R_z [μm]	等级 代号	R_a [μm]	R_z [μm]	等级 代号	R_a [μm]	R_z [μm]	R_a [μm]	R_z [μm]	R_{\max} [μm]		
0.01	0.05	▽14	0.01	0.05	√14	0.012	0.05	(0.001 25a)	0.1z	0.05s	▽▽▽▽	
0.02	0.10	▽13	0.02	0.10	√13		0.10			0.1s		
0.04	0.20	▽12	0.04	0.20	√12	0.025	0.20	0.05a	0.2z			
0.08	0.40	▽11	0.08	0.40	√11	0.050	0.40		0.4z	0.4s		
0.16	0.80	▽10	0.16	0.80	√10	0.100	0.80	0.10a	0.8z	0.8s		
0.32	1.60	▽9	0.32	1.60	√9	0.20	1.60	0.20a	1.6z	1.6s		
0.63	3.20	▽8	0.63	3.20	√8	0.40	3.20	0.40a	3.2z	3.2s		▽▽▽
1.25	6.30	▽7	1.25	6.30	√7	0.80	6.30	0.80a	6.3z	6.3s		
2.50	10	▽6	2.50	10	√6	1.60	12.50	1.60a	12.5z	12.5s		▽▽
5	20	▽5	5	20	√5	3.20	25	3.2a	(18z)	(18s)		
10	40	▽4	10	40	√4	6.30	50	6.3a	25z	25s		▽
20	80	▽3	20	80	√3	12.50	100	12.5a	35z	(35s)		
40	160	▽2	40	160	√2	25	200	25a	50z	50s		▷
80	320	▽1	80	320	√1	50	400	(50a)	70z	(70s)		
						100		(100a)	100z	100s	S	
									140z	140s		
									200z	200s		
									280z	280s		
									400z	400s		
									560z	560s		

表 1-31 表面粗糙度 R_a 数值与原表面光洁度符号对照

表面粗糙度(GB/T 1031—1995) R_a [μm]		表面光洁度(GB 1031—68)	
第一系列	第二系列	级别代号	基本长度 l [mm]
100			8
50	80 63	$\nabla 1$	
	40 32	$\nabla 2$	
25	20 16	$\nabla 3$	2.5
12.5	10 8	$\nabla 4$	
	6.3	5 4	
3.2		2.5 2.0	
1.6	1.25 1.0	$\nabla 7$	
	0.8	0.63 0.5	$\nabla 8$
0.4		0.32 0.25	$\nabla 9$
0.2	0.16 0.125	$\nabla 10$	
	0.1	0.08 0.063	$\nabla 11$
0.05		0.04 0.032	$\nabla 12$
0.025	0.02 0.016	$\nabla 13$	
	0.012	0.01 0.008	$\nabla 14$

表 1-32 各种机械加工方法所能达到的零件表面粗糙度

加工方法	表面粗糙度 $R_a[\mu\text{m}]$	加工方法	表面粗糙度 $R_a[\mu\text{m}]$
圆片锯割断	80~20	钻和扩钻	20~2.5
车削外圆:		扩孔:	
粗车	20~10	粗(有表皮)	20~10
半精车:		精	10~2.5
金属	10~5	镗倒角(孔的)	5~2.5
非金属	5~2.5	铰孔:	
精车:		半精铰(一次铰孔):	
金属	10~2.5	钢	10~5
非金属	5~1.25	黄铜	10~2.5
细车(或金刚石车):		精铰(第二次铰):	
金属	1.25~0.32	铸铁	5~1.25
非金属	0.63~0.16	钢、轻合金	2.5~1.25
车削端面:		黄铜、青铜	1.25~0.63
粗车	20~10	细铰:	
半精车:		钢	1.25~0.32
金属	10~5	轻合金	1.25~0.63
非金属	10~2.5	黄铜、青铜	0.32~0.16
精车:		圆柱铣刀铣削:	
金属	10~2.5	粗	20~5
非金属	10~2.5	精	5~1.25
细车:		细	1.25~0.63
金属	1.25~0.63	套式面铣刀铣削:	
非金属	1.25~0.32	粗	20~5
割槽和切断:		精	5~0.63
零件的端面或槽的内侧面:		细	1.25~0.32
一次行程	20	高速铣削:	
二次行程	10~5	粗	2.5~1.25
镗孔:		精	0.63~0.32
粗镗	20~10	刨削:	
半精镗:		粗	20~10
金属	10~5	精	10~2.5
非金属	10~2.5	细(光整加工)	1.25~0.32
精镗:		槽的表面	10~5
金属	5~1.25	插削	20~5
非金属	10~2.5	拉削:	
细镗(或金刚石镗):		精	2.5~0.63
金属	1.25~0.32	细	0.32~0.16
非金属	1.25~0.63	推削:	

表 1-32 续

加工方法	表面粗糙度 $R_a[\mu\text{m}]$	加工方法	表面粗糙度 $R_a[\mu\text{m}]$
精	1.25~0.32	精(细)	0.32~0.04
细	0.63~0.04	超级加工:	
螺纹加工:		精	1.25~0.16
切削:		细	0.16~0.08
板牙、丝锥、自开式板牙头	5~1.25	镜面的(两次加工)	0.04~0.02
车刀或梳刀车、铣	10~1.25	涂敷式研磨:	
磨	1.25~0.32	精	1.25~0.32
研磨	1.25~0.08	细	0.32~0.01
滚压:		抛光:	
搓丝模	2.5~1.25	精	1.25~0.16
滚丝模:		细(镜面的)	0.16~0.04
在机床上用手动进给	2.5~0.63	砂带抛光	0.32~0.16
在机床上用机械进给	0.63	电抛光	2.5~0.02
在机床上用液压进给	0.63~0.32	压嵌式研磨:	
齿轮及花键加工:		粗	0.63~0.32
切削:		精	0.32~0.08
粗滚	5~2.5	细(光整加工)	0.08~0.01
精滚	2.5~1.25	精整研磨:	
精插	2.5~1.25	手工	1.25~0.01
精刨	5~1.25	机械	0.32~0.16
拉	5~2.5	砂轮清理	80~10
剃齿	1.25~0.32	砂布抛光(无润滑油):	
磨	1.25~0.16	原始粗糙度 砂布粒度	
研	0.63~0.32	$\leq R_a10$ 24	2.5~1.25
滚压:		$\leq R_a5$ 36	1.25
磨齿前滚压	1.25~0.63	$R_a5 \sim R_a2.5$ 60	0.63
冷滚压	0.32~0.16	$R_a5 \sim R_a2.5$ 80	0.63~0.32
外圆磨、内圆磨:		$R_a2.5$ 100	0.32
半精(一次加工)	10~1.25	$R_a2.5 \sim R_a1.25$ 140	0.32~0.16
精	1.25~0.32	$R_a1.25$ 180~250	0.16
细	0.32~0.16	钳工锉削:	20~1.25
用精密修整的磨轮磨削	0.08~0.04	刮削 25 mm × 25 mm 内点数:	
平面磨:		8~10	1.25
精	5~0.32	>10~13	0.63
细	0.32~0.08	>13~16	0.32
珩磨:		>16~20	0.16
粗(一次加工)	1.25~0.32	>20~25	0.08

表 1-34 孔的表面粗糙度与加工精度和配合之间的关系

公称尺寸 [mm]	精度等级															
	配合															
	6	7	8	9	10	11	12, 13	14	15	16						
	H6, N6, G6, M6, K6, J6, Js6	U7, S7	H7, R7, R8, S7, N7, M7, K7, J7, G7	F8	E8, E9	D8, D9	H8, N8, M8, K8, J8	H8, H9	F9	D9, D10	H10	H11, D11, B11, C11, A11	H12, H13	H14	H15	H16
	表面粗糙度 [μm]															
$\geq 1 \sim 3$	$R_a 0.63$	$R_a 0.63$	$R_a 0.63$	$R_a 0.63$	$R_a 1.25$	$R_a 1.25$	$R_a 0.63$	$R_a 1.25$	$R_a 1.25$	$R_a 1.25$	$R_a 1.25$	$R_a 2.5$	$R_a 5$	$R_a 10$	$R_a 20$	$R_a 20$
$> 3 \sim 6$	$R_a 0.32$	$R_a 1.25$	$R_a 0.63$	$R_a 1.25$	$R_a 1.25$	$R_a 1.25$	$R_a 1.25$	$R_a 1.25$	$R_a 1.25$	$R_a 1.25$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 5$	$R_a 10$	$R_a 20$	$R_a 40$
$> 6 \sim 10$		$R_a 1.25$	$R_a 1.25$	$R_a 1.25$	$R_a 1.25$	$R_a 1.25$	$R_a 1.25$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 5$	$R_a 10$	$R_a 20$	$R_a 40$	$R_a 80$
$> 10 \sim 18$		$R_a 1.25$	$R_a 1.25$	$R_a 1.25$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 1.25$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 5$	$R_a 10$	$R_a 20$	$R_a 40$	$R_a 80$
$> 18 \sim 30$		$R_a 1.25$	$R_a 1.25$	$R_a 1.25$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 1.25$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 5$	$R_a 10$	$R_a 20$	$R_a 40$	$R_a 80$
$> 30 \sim 50$	$R_a 0.63$	$R_a 2.5$	$R_a 1.25$	$R_a 1.25$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 1.25$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 5$	$R_a 10$	$R_a 20$	$R_a 40$	$R_a 80$
$> 50 \sim 80$		$R_a 2.5$	$R_a 1.25$	$R_a 1.25$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 1.25$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 5$	$R_a 10$	$R_a 20$	$R_a 40$	$R_a 80$
$> 80 \sim 120$		$R_a 2.5$	$R_a 1.25$	$R_a 1.25$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 1.25$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 5$	$R_a 10$	$R_a 20$	$R_a 40$	$R_a 80$
$> 120 \sim 180$		$R_a 2.5$	$R_a 1.25$	$R_a 1.25$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 1.25$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 5$	$R_a 10$	$R_a 20$	$R_a 40$	$R_a 80$
$> 180 \sim 260$		$R_a 2.5$	$R_a 1.25$	$R_a 1.25$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 1.25$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 5$	$R_a 10$	$R_a 20$	$R_a 40$	$R_a 80$
$> 260 \sim 360$		$R_a 2.5$	$R_a 1.25$	$R_a 1.25$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 1.25$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 5$	$R_a 10$	$R_a 20$	$R_a 40$	$R_a 80$
$> 360 \sim 500$		$R_a 2.5$	$R_a 1.25$	$R_a 1.25$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 1.25$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 5$	$R_a 10$	$R_a 20$	$R_a 40$	$R_a 80$

各种连接表面的粗糙度

表 1-35 活动连接接合表面的粗糙度

接 合 面 性 质			滑动或滚动速度 [m/s]	
			≤0.5	>0.5
			表面粗糙度 [μm]	
滑动导轨面	平面度 [$\mu\text{m}/100\text{mm}$]	≤6	$R_a0.32$	$R_a0.16$
		≤10	$R_a0.63$	$R_a0.32$
		≤30	$R_a1.25$	$R_a0.63$
		≤50	$R_a2.5$	$R_a1.25$
		>50	R_a5	$R_a2.5$
滚动导轨面	平面度 [$\mu\text{m}/100\text{mm}$]	≤6	$R_a0.16$	$R_a0.08$
		≤10	$R_a0.32$	$R_a0.16$
		≤30	$R_a0.63$	$R_a0.32$
		≤50	$R_a1.25$	$R_a0.63$
		>50	$R_a2.5$	$R_a1.25$
推力轴承端面	端面跳动 [μm]	≤6	$R_a0.32$	$R_a0.16$
		≤10	$R_a0.63$	$R_a0.32$
		≤30	$R_a1.25$	$R_a0.63$
		≤50	$R_a2.5$	$R_a1.25$
		>50	R_a5	$R_a2.5$

表 1-36 固定连接接合表面的粗糙度

接 合 面 性 质			表面粗糙度 [μm]
壳体零件的连接表面	密封的	带衬垫	R_a5 、 $R_a2.5$
		不带衬垫	$R_a1.25$ 、 $R_a0.63$
	不密封的		R_a10 、 R_a5
支 承 端 面	垂直度 [$\mu\text{m}/100\text{mm}$]	≤6	$R_a0.63$
		≤10	$R_a0.63$
		≤30	$R_a1.25$
		≤50	$R_a2.5$
		>50	R_a5

表 1-37 丝杠传动接合表面的粗糙度

精 度 等 级	车 切 螺 纹 的 工 作 表 面	
	传动或荷重丝杠的螺母	传动或荷重的丝杠
	表 面 粗 糙 度 [μm]	
1	$R_a0.63$ 、 $R_a0.32$	$R_a0.32$
2	$R_a1.25$	$R_a0.63$
3	$R_a2.5$	$R_a1.25$

表 1-38 螺纹连接的工作表面粗糙度

精 度 等 级	螺 纹 工 作 表 面	
	紧固螺栓、螺钉和螺母	锥形体轴、拉杆、套筒和其他零件
	表 面 粗 糙 度 [μm]	
4~5	$R_a1.25$	$R_a0.63$
5~6	$R_a2.5$	$R_a1.25$
6~7	R_a5	$R_a2.5$

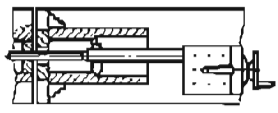
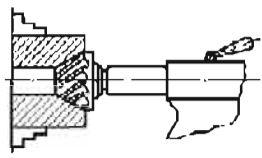
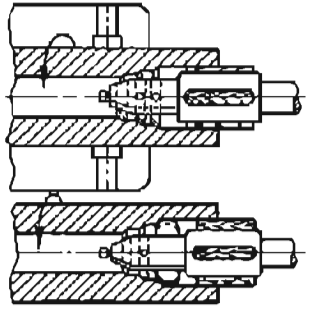
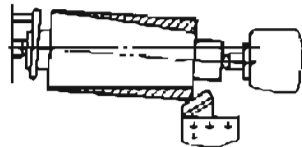
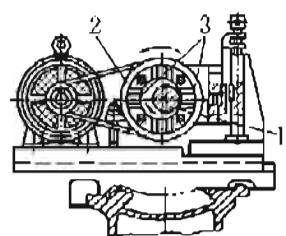
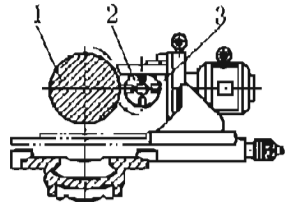
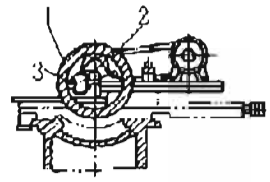
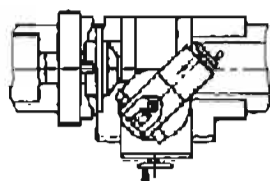
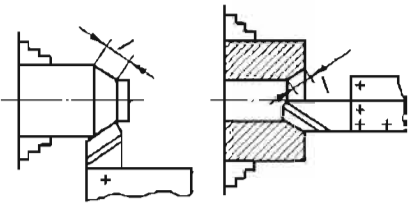
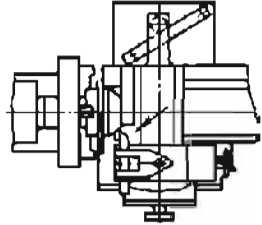
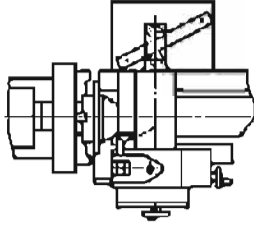
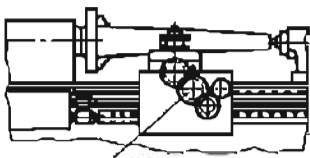
表 1-39 齿轮、蜗轮和蜗杆的工作表面粗糙度

齿 轮 型 式	精 度 等 级								
	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	工 作 表 面 粗 糙 度 [μm]								
正、斜齿圆柱齿轮;蜗轮	$R_a0.32$ $R_a0.16$	$R_a0.63$ $R_a0.32$	$R_a0.63$ $R_a0.32$	$R_a0.63$	$R_a1.25$ $R_a0.63$	$R_a2.5$	R_a5	R_a10	R_a20
直、斜、曲线齿锥齿轮			$R_a0.63$ $R_a0.32$	$R_a0.63$	$R_a0.63$	$R_a1.25$	$R_a2.5$	R_a5	R_a10
蜗 杆	$R_a0.16$	$R_a0.32$	$R_a0.32$	$R_a0.63$	$R_a0.63$	$R_a1.25$	$R_a2.5$		

注：齿轮、蜗轮和蜗杆的齿根圆表面粗糙度推荐为和它的工作表面粗糙度相同；齿顶圆表面粗糙度推荐为 $R_a5 \sim R_a2.5 \mu\text{m}$ 。

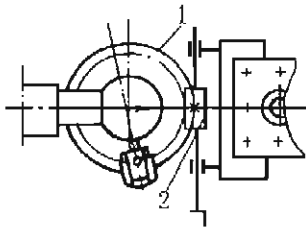
车床加工

表 1-40 车床加工示例

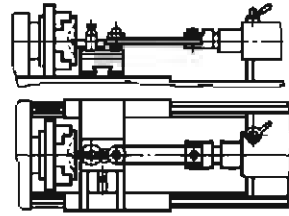
<p>1. 用带有辅助支承的镗杆镗孔</p>  <p>用于孔 $\frac{l}{d} > 5$ 时</p>	<p>5. 用锥形扩孔钻或锥形铰刀加工锥形孔</p>  <p>用于锥度内径 $d < 100$ mm</p>
<p>2. 镗深孔</p>  <p>用于钻深孔 $\frac{l}{d} > 10$, 表面粗糙度可达到 $R_a 2.5 \sim R_a 1.25 \mu\text{m}$</p>	<p>6. 用尾座移位法车锥度</p>  <p>用于精度不高的工件</p>
<p>3. 用旋风切削切螺纹</p> <p>1—工件; 2—刀盘; 3—刀具</p>  <p>用于中批生产中外螺纹 $d < 200$ mm</p>  <p>用于单件、小批中的外螺纹 $d > 200$ mm</p>  <p>用于内螺纹</p>	<p>7. 用小刀架扳角度法车锥度</p>  <p>适用于圆锥的长度小于小刀架的行程长度时</p>
<p>4. 宽刀车削</p>  <p>用于内外表面 $l < 80$ mm, 孔径 $d > 100$ mm 时</p>	<p>8. 用靠模尺车锥度</p>  <p>靠模尺的一面用滚子, 另一面用重块或弹簧</p>  <p>靠模尺的两面用两只滚子或两根靠模尺, 中间用一只滚子</p> <p>9. 用纵向横向同时进刀的方法车锥度</p>  <p>横进给挂轮架</p>

10. 车球面

1—刀夹体; 2—蜗杆副

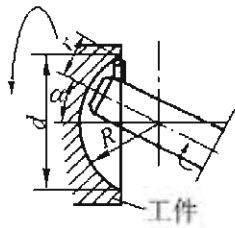


14. 用杠杆夹具车型面



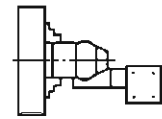
仅适用于球面

11. 飞刀铣削端面弧面



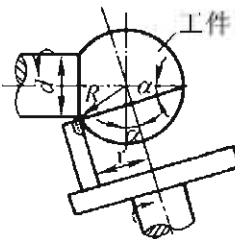
$$r = R \sin \alpha, \alpha = \frac{\arcsin \frac{d}{2R}}{2}$$

15. 用样板刀车型面



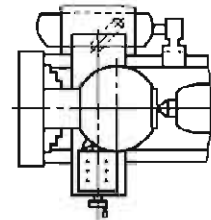
用于工件表面长度 $l < 100 \text{ mm}$; 车削孔时孔的直径不小于 50 mm

12. 飞刀铣削球面



$$r = R \cos \alpha, \alpha = \frac{\arcsin \frac{d}{2R}}{2}$$

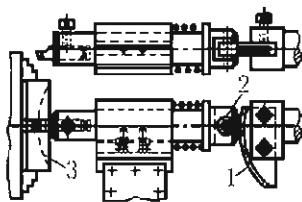
16. 用杠杆夹具车型面



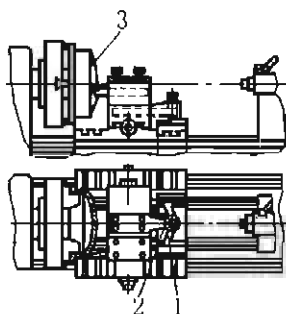
仅适用于球面

13. 用靠模法车端面型面

1—靠模; 2—滚子; 3—工件



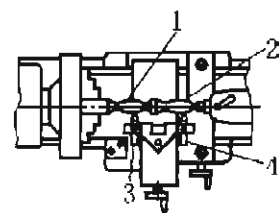
(a)



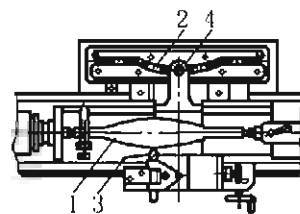
(b)

17. 用靠模法车外圆型面

1—工件; 2—靠模; 3—刀具; 4—靠模销



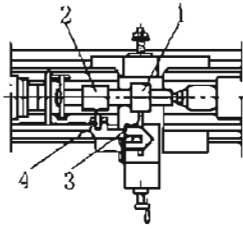
(a)



(b)

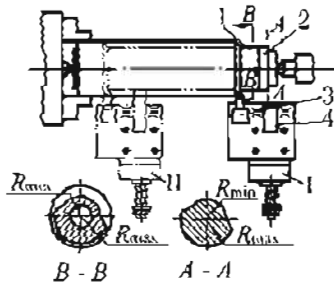
表 1-40 续

18. 用靠模法车凸轮, 靠模的长度不小于工件长度
1—工件; 2—靠模; 3—刀具; 4—靠模滚轮



此法适用于车长度不大的工件

19. 用靠模法车凸轮, 靠模装在工件的端面(用狭靠模车长凸轮)
1—工件; 2—靠模; 3—刀具; 4—滚轮



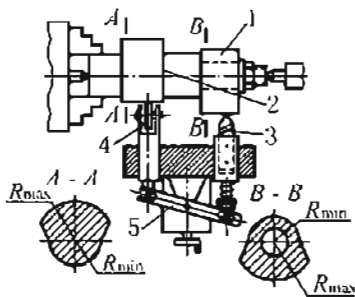
按靠模先加工一部分, 然后利用加工好的部分作靠模, 再加工另一部分, 以此类推。

I. 加工开始位置; II. 加工终止位置

此法适用于长工件及型面落差 $R_{max} - R_{min} \leq 0.2R_{min}$, 同时 $R_{max} - R_{min}$ 不大于 100 mm

20. 用靠模及杠杆夹具车凸轮

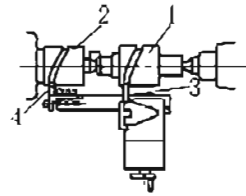
1—工件; 2—靠模; 3—刀具; 4—滚轮; 5—杠杆



适用于型面落差 $R_{max} - R_{min} \leq 0.5R_{min}$, 同时 $R_{max} - R_{min}$ 不大于 150 mm

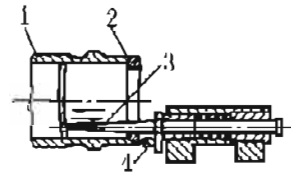
21. 用靠模法车外表面的成形槽

1—工件; 2—靠模; 3—刀具; 4—滚轮



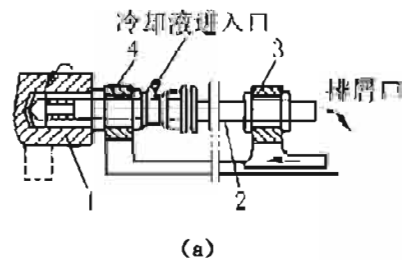
22. 用靠模法车内表面的成形槽

1—工件; 2—平面靠模板; 3—刀具; 4—滚轮

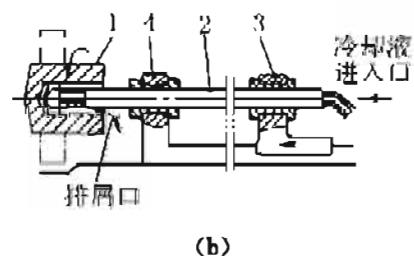


23. 钻深孔

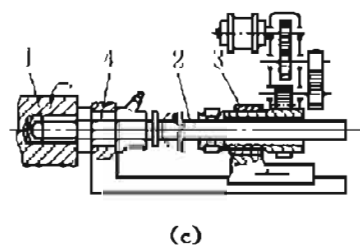
1—工件; 2—刀杆; 3—主动轴承; 4—导向轴承



$\frac{l}{d} > 10, d < 50 \text{ mm}$ (采用内部排屑)



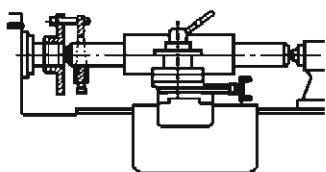
$\frac{l}{d} > 10, d > 50 \text{ mm}$ (采用外部排屑)



附加旋转头钻深孔, 用于 $\frac{l}{d} > 10$, 用于增加切削速度及减小轴线的偏移

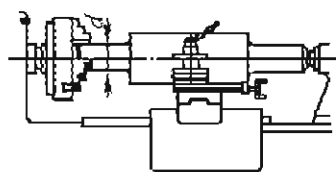
表 1-41 车床装夹方法及装夹精度

1. 装在顶尖间(用拨盘带动工件)



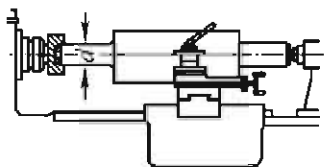
不校准,装夹精度 0.03 mm,用于 $d < 150$ mm

5. 装在三爪卡盘及顶尖间



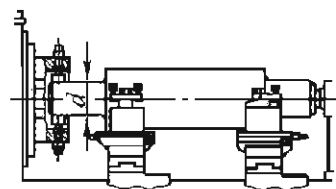
不校准,装夹精度 0.1 mm

2. 装在梅花夹头及顶尖间



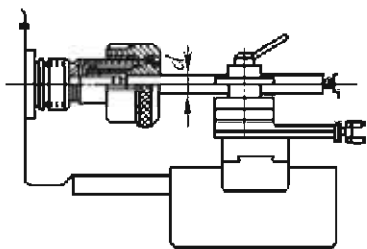
不校准,装夹精度 0.3 mm,用于 $d < 100$ mm

6. 装在螺杆卡盘及顶尖间



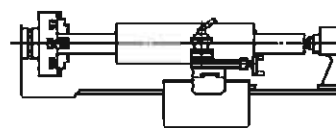
按卡盘旁轴颈校准,装夹精度 0.05 mm,工件大小不限

3. 装在弹簧夹头及顶尖间



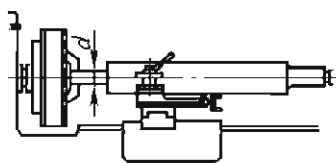
不校准,装夹精度 0.06 mm,用于 $d > 150$ mm

7. 装在四爪卡盘及顶尖间



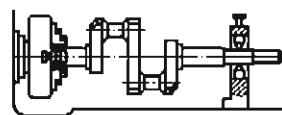
按卡盘旁轴颈校准,装夹精度 0.05 mm,工件大小不限

4. 装在两爪卡盘及顶尖间



不校准,装夹精度 0.06 mm,用于 $d < 200$ mm

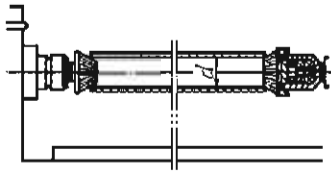
8. 装在四爪卡盘及中心架间



按水平面及垂直面的前后端校准,装夹精度 0.03 mm,工件大小不限

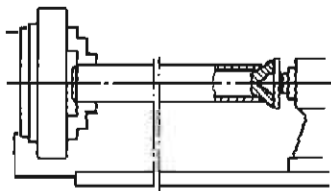
表 1-41 续

9. 装在梅花顶尖间



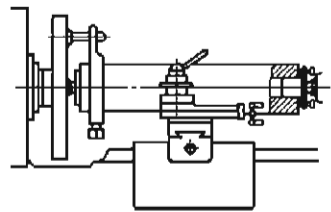
不校准, 装夹精度 0.5 mm, 用于 $d < 200$ mm

10. 装在自动定心卡盘及顶尖间



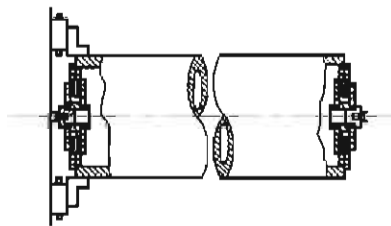
不校准, 装夹精度 0.1 mm

11. 装在顶尖间(两端用塞头)



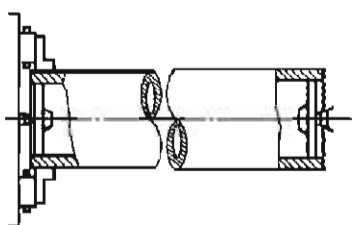
不校准, 装夹精度 0.03 mm (整体式顶尖塞), 用于孔 $d < 500$ mm

12. 装在顶尖间(孔内用可调节的夹具夹紧)



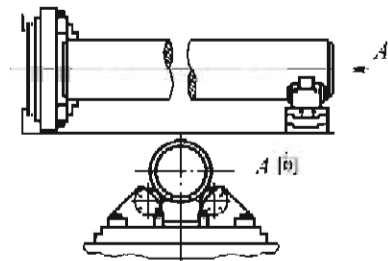
按垂直及水平方向校准, 用于孔 $d = 400 \sim 1500$ mm, 装夹精度 0.5 mm

13. 装在顶尖及卡盘间(用十字头撑紧内孔)



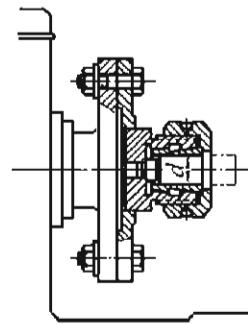
不校准, 当装在四爪卡盘与顶尖间时, 须经校准。用于孔 $d > 1500$ mm, 装夹精度 0.2 mm

14. 装在四爪卡盘及中心架间



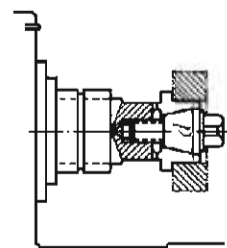
按水平面及垂直面校准, 装夹精度 0.05 mm

15. 装在弹簧卡盘内



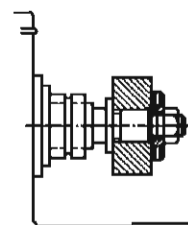
不校准, 用于孔 $d < 200$ mm, 装夹精度 0.06 mm

16. 装在弹簧心轴上



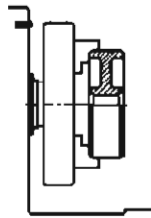
不校准, 用于 $d < 200$ mm, 装夹精度 0.06 mm

17. 装在光心轴上



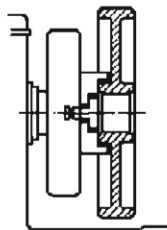
不校准, 装夹精度根据工件在心轴上配合的间隙而定

18. 装在卡盘上(夹牢外圆)



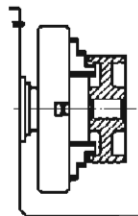
在自动定心卡盘上不经校准,装夹精度为 0.1 mm。在四爪卡盘上按外圆及端面校准,装夹精度 0.05 mm

19. 装在卡盘上(夹牢轮毂)



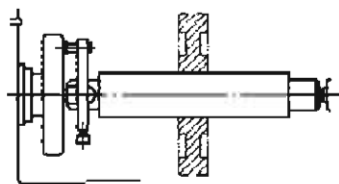
在自动定心卡盘上不经校准,装夹精度为 0.1 mm。在四爪卡盘上按外圆及端面校准,装夹精度 0.05 mm

20. 装在卡盘上(撑紧内圆)



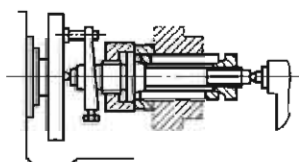
在自动定心卡盘上不经校准,装夹精度为 0.1 mm。在四爪卡盘上按外圆及端面校准,装夹精度 0.05 mm

21. 装在带有锥度的心轴上



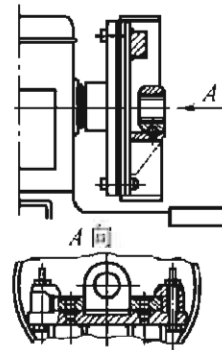
不校准,装夹精度 0.03 mm

22. 装在可内胀的心轴轴套上



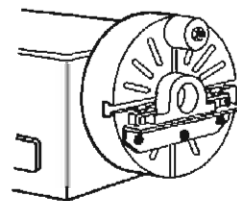
不校准,装夹精度 0.06 mm

23. 装在角铁及定位器上



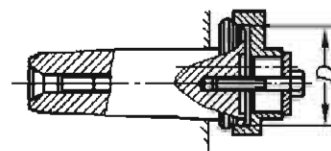
不校准,装夹精度 0.1 mm

24. 装在角铁上(按划线标准)



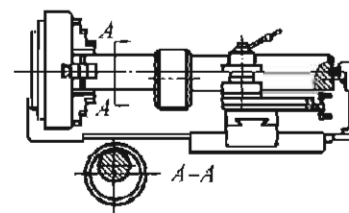
按直径及端面校准,装夹精度 0.5 mm

25. 装在偏心心轴上



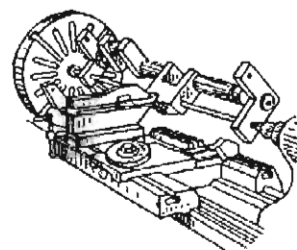
不校准,装夹精度根据心轴与工件的配合间隙而定

26. 装在顶尖间或卡盘上(用中心偏移法车偏心)



校准,装夹精度 0.05 mm

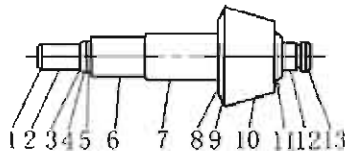
27. 装在顶尖间(中心偏移法车曲柄)



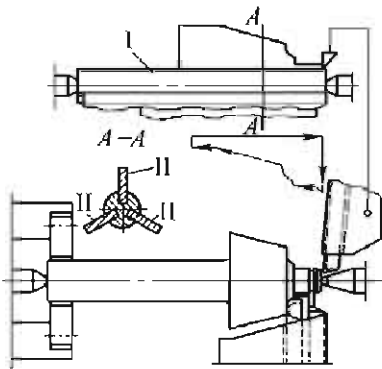
校准振摆及平衡,装夹精度 0.05 mm

表 1-42 仿形车床加工

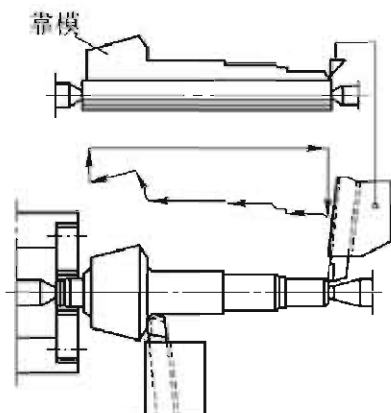
1. 加工锥齿轮轴
工件草图



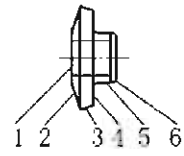
(a) 加工锥形面一端(10~13 各面)



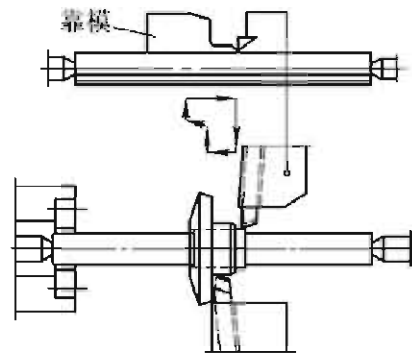
(b) 加工另一端(1~9 各面)



2. 加工锥齿轮
工件草图



(a) 加工一端(3~6 各面)



(b) 加工另一端(1~2 各面)

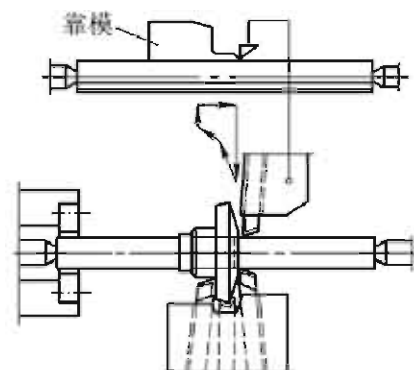
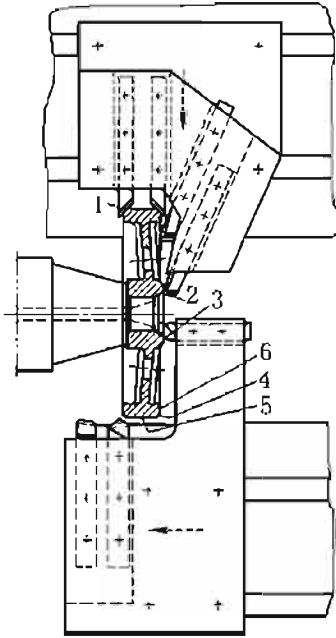


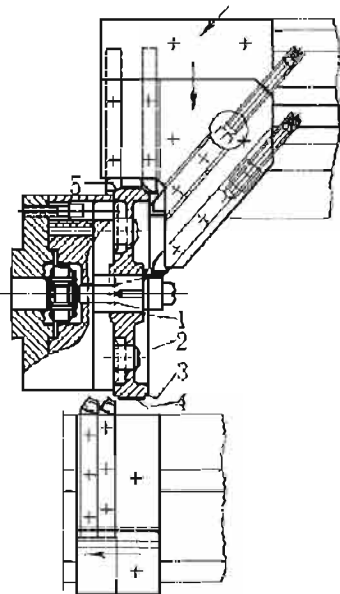
表 1-43 多刀车床加工

1. 加工圆柱齿轮

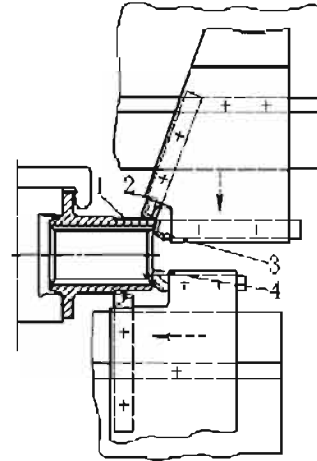
(a) 粗加工(1~6 各面)



(b) 精加工(1~5 各面)



2. 精加工法兰(1~4 各面)



3. 加工带轮(1~5 各面)

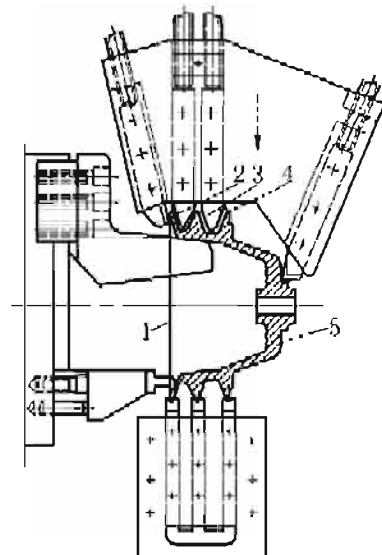
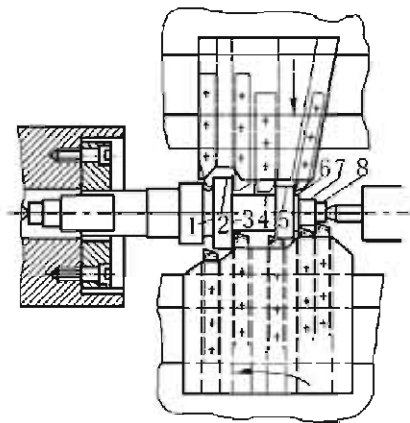


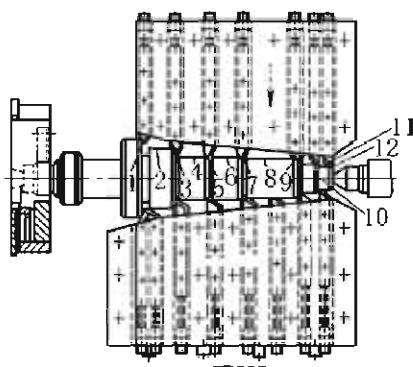
表 1-43 续

4. 加工台阶轴

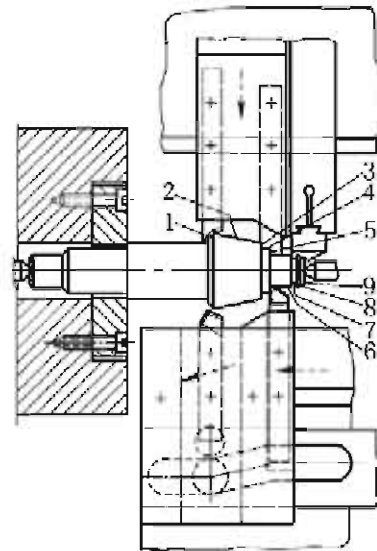
(a) 粗加工一端(1~8 各面)



(b) 精加工另一端(1~12 各面)

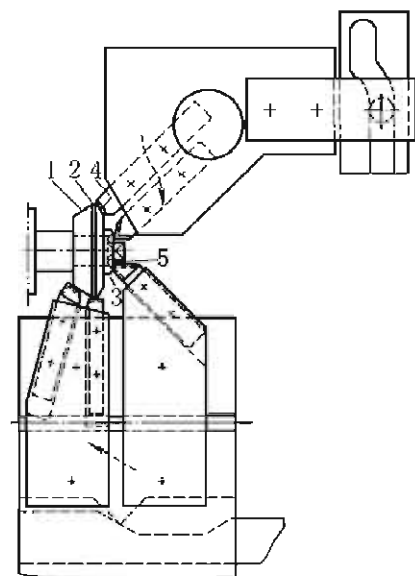


5. 加工锥齿轮轴(1~9 各面)



利用靠模尺加工锥形面

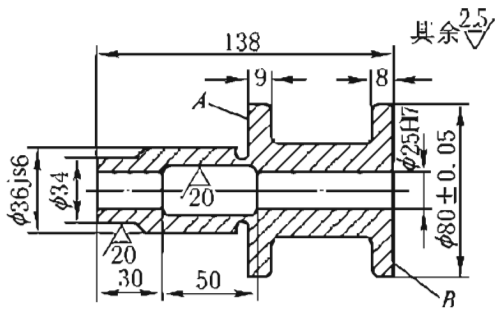
6. 加工锥齿轮(1~5 各面)



利用前刀架靠模加工锥形面,后刀架靠模加工圆弧面

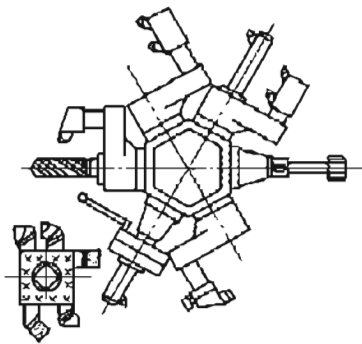
表 1-44 转塔车床加工

1. 用立轴六角头加工丝杠套

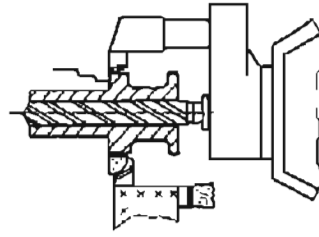


技术要求

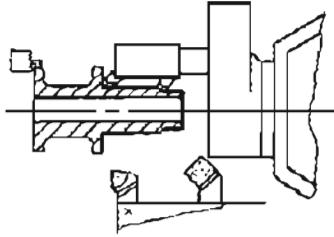
1. $\phi 36 js6$ 对 $\phi 25 H7$ 孔的圆跳动公差 0.02;
2. A 面对 $\phi 25 H7$ 孔的圆跳动公差 0.03;
3. B 面对 $\phi 25 H7$ 孔的圆跳动公差 0.03.



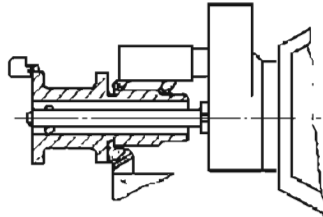
I.



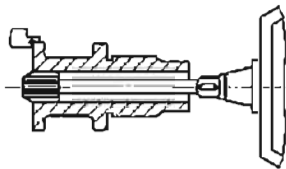
II.



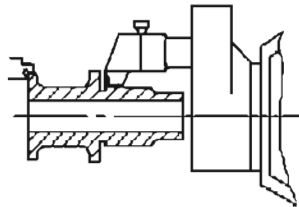
III.



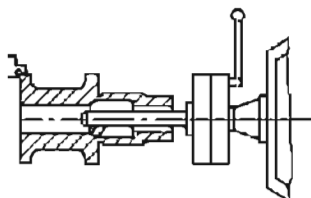
IV.



V.



VI.

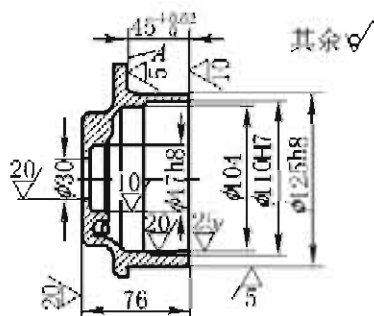


- I. 钻孔
精车端面
精车外圆
精车槽
- II. 精车端面
精车外圆
- III. 镗孔
精车端面
半精车外圆
切空刀槽
- IV. 铰孔
- V. 精车外圆
- VI. 镗空刀槽

材 料: HT150
单件时间: 12 min 25 s

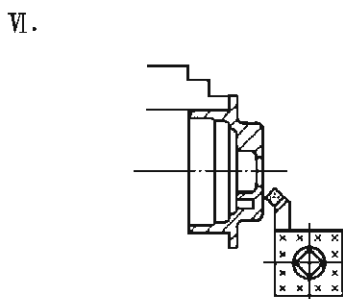
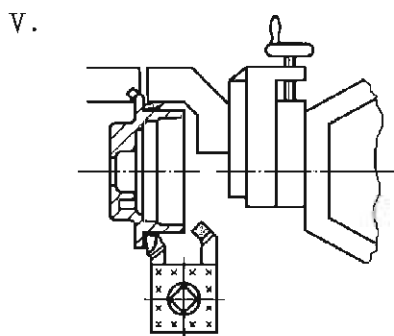
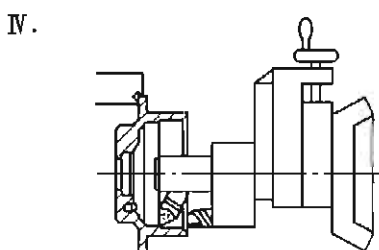
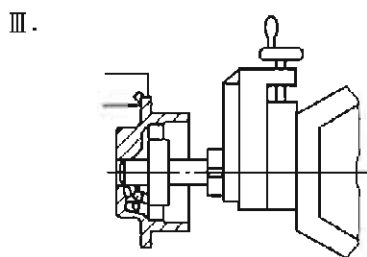
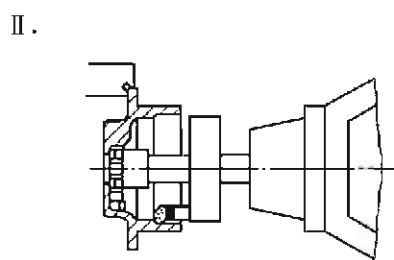
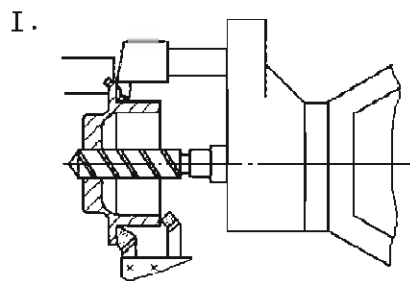
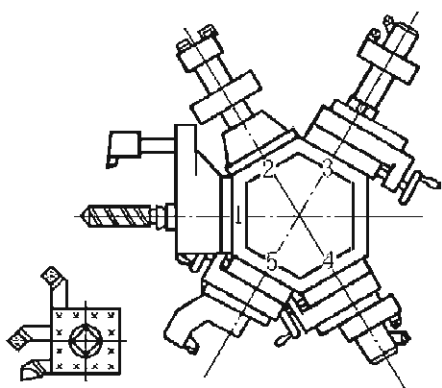
表 1-44 续

2. 用立轴六角头加工轴承座(之一)



技术要求

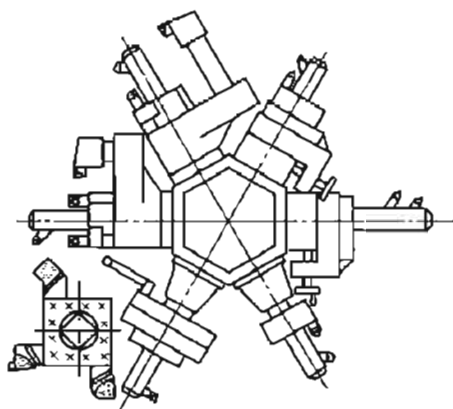
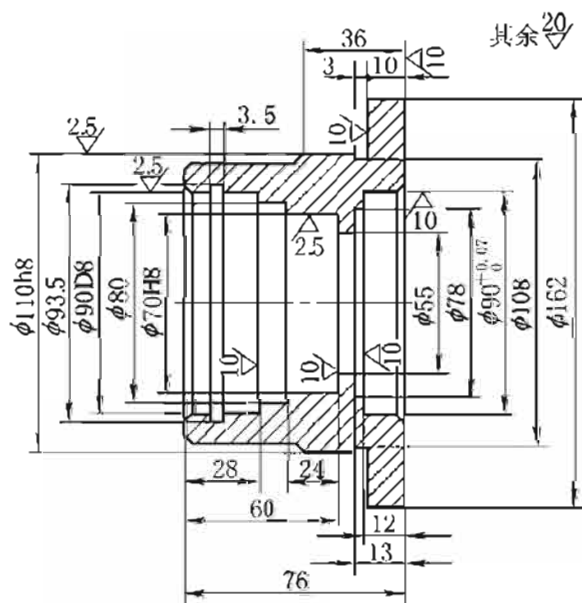
1. A 表面应垂直 $\phi 125$ 表面, 垂直度公差 0.1;
2. $\phi 125$ 及 $\phi 110$ 应同轴线, 同轴度公差 0.08;
3. A 表面的平面度公差 0.1;
4. $\phi 47$ 表面应与 $\phi 110$ 表面同轴线, 同轴度公差 0.1;
5. 将 $\phi 47$ h8 的边缘倒钝。



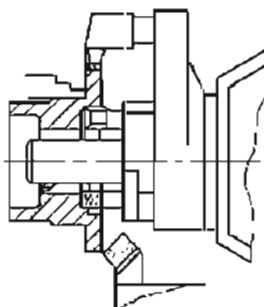
- I. 粗车端面
粗车外圆
钻孔
- II. 粗镗内孔
- III. 精镗内孔
倒角
- IV. 镗孔
倒角
- V. 精车外圆
精车端面
- VI. 车端面

材 料: HT150
单件时间: 14 min 40 s

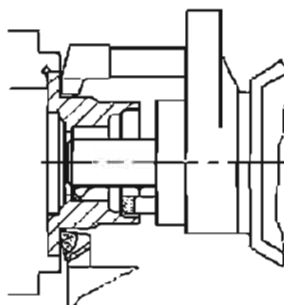
3. 用立轴六角头加工轴承座(之二)



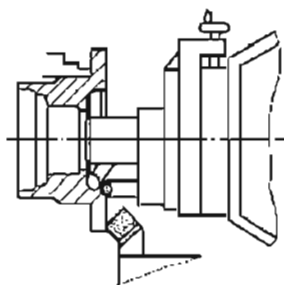
I.



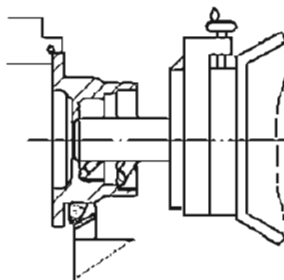
II.



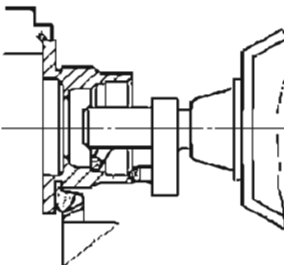
III.



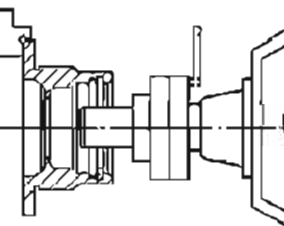
IV.



V.



VI.

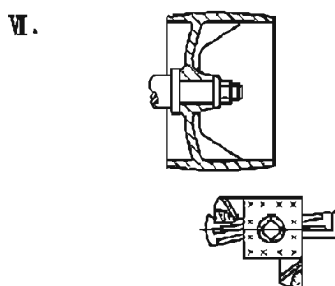
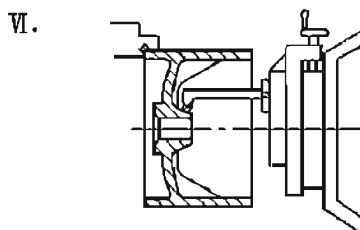
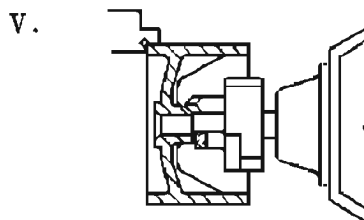
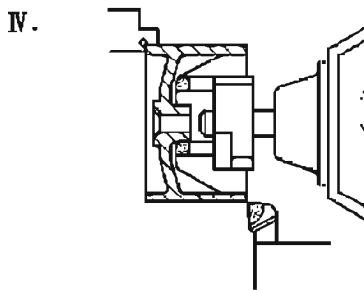
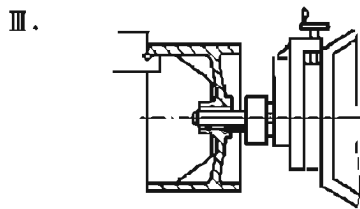
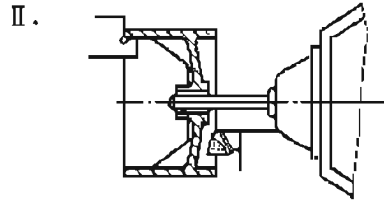
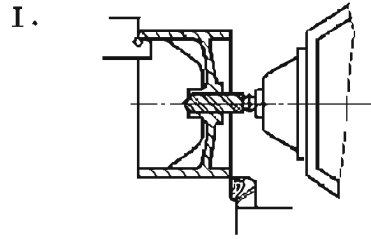
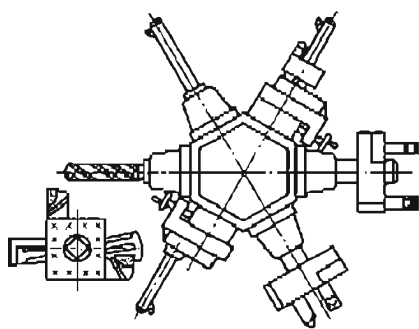
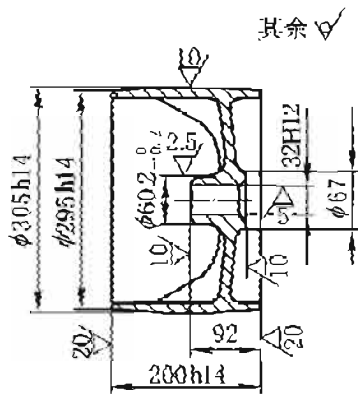


- I. 镗孔
车外圆
镗阶梯孔
车端面
- II. 车外圆
镗孔
镗阶梯孔
车端面
- III. 车端面
镗孔
倒角
- IV. 镗孔
精车外圆
- V. 倒角
精车端面
- VI. 镗空刀槽

材 料: HT150
单件时间: 16 min 55 s

表 1-44 续

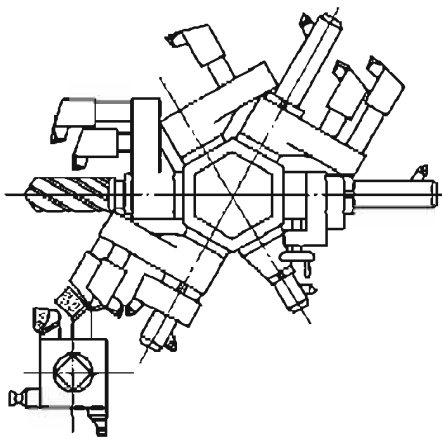
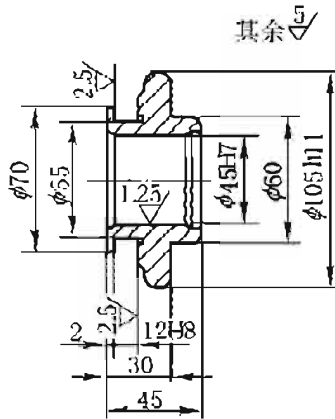
4. 用立轴六角头加工带轮



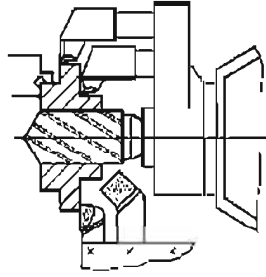
- I. 钻孔
粗车端面
车外圆
- II. 镗孔
车内端面
- III. 精镗孔
倒角
- IV. 车外圆
车内端面
车端面
- V. 车内端面
倒角
- VI. 精车外圆
- VII. 车锥外圆

材 料: HT150
单件时间: 25 min 50 s

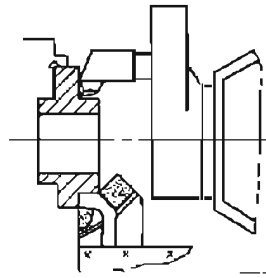
5. 用立轴六角头加工齿轮



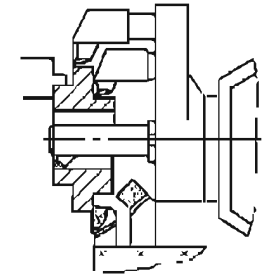
I.



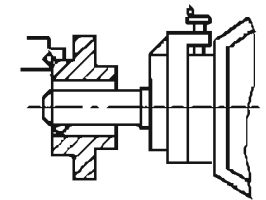
II.



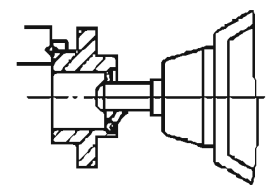
III.



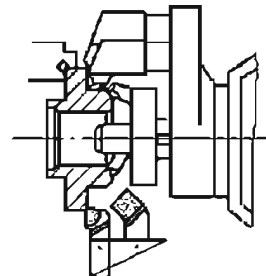
IV.



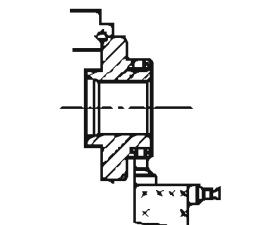
V.



VI.



VII.

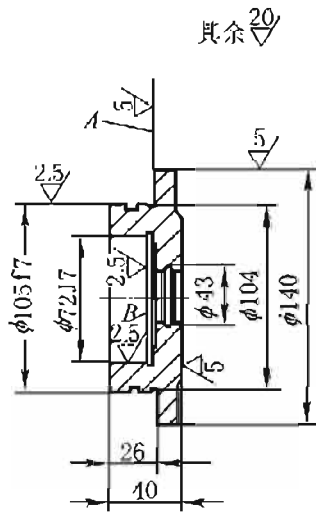


- I. 钻孔
粗车外圆
粗车两端面
- II. 粗车外圆
粗车两端面
- III. 精车外圆
精车两端面
倒角
半精镗孔
- IV. 精镗孔
镗阶梯孔
- V. 精车两端面
精车外圆
倒角
- VI. 车槽

材 料: 20Cr
单件时间: 13 min 55 s

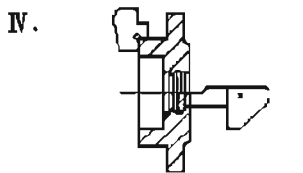
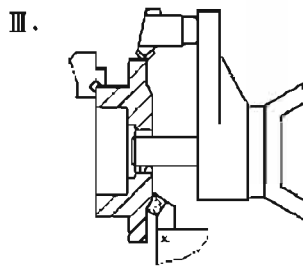
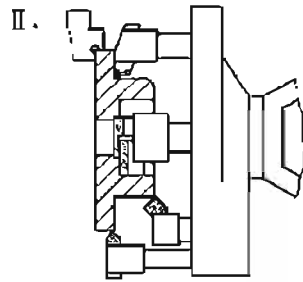
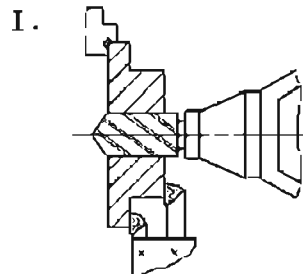
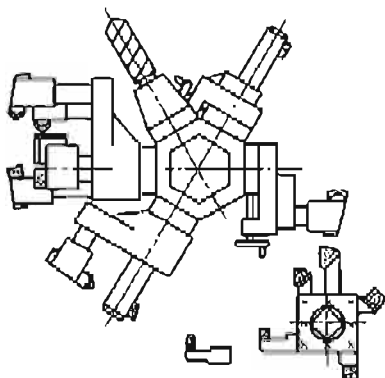
表 1-44 续

6. 用立轴六角头加工法兰盘

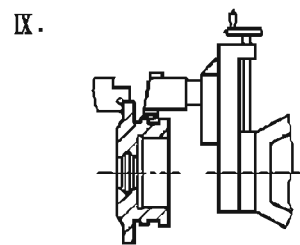
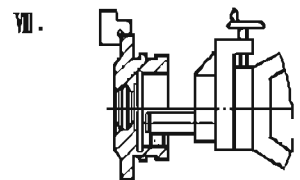
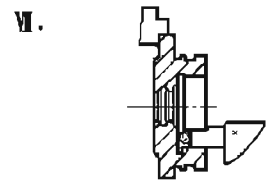
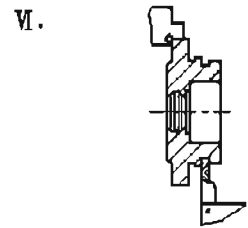
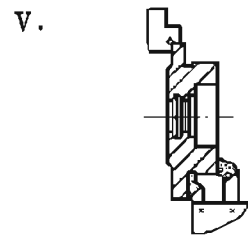


技术要求

1. $\phi 105$ f7 对 $\phi 72$ H7 孔同轴度公差 0.015;
2. 端面 B 与 A 对 $\phi 72$ H7 孔在直径全长上垂直度公差为 0.03。



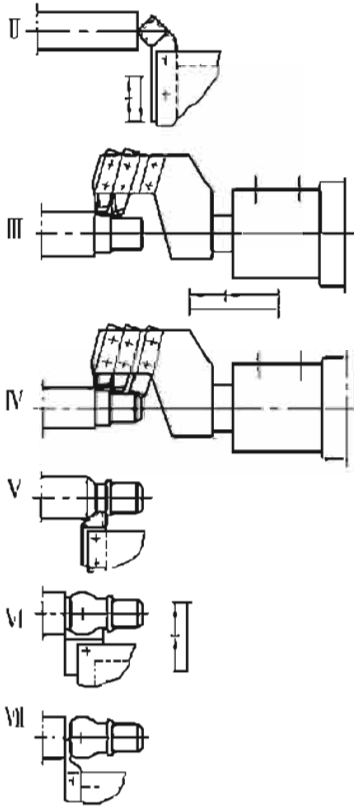
- I. 车端面钻 $\phi 30$ 孔
- II. 粗车外圆与内孔倒角
- III. 精车外圆和内孔平端面
- IV. 车 V 形槽
- V. 精车端面和切槽



- VI. 切槽
- VII. 切空刀槽
- VIII. 精车 $\phi 72$ H7 孔
- IX. 精车 $\phi 105$ f7

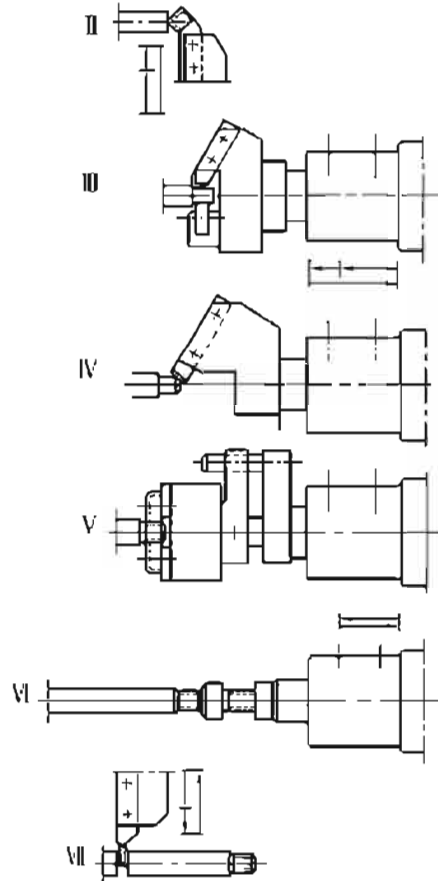
材 料: HT200
单件时间: 12 min 30 s

7. 在立轴六角车床上加工销子



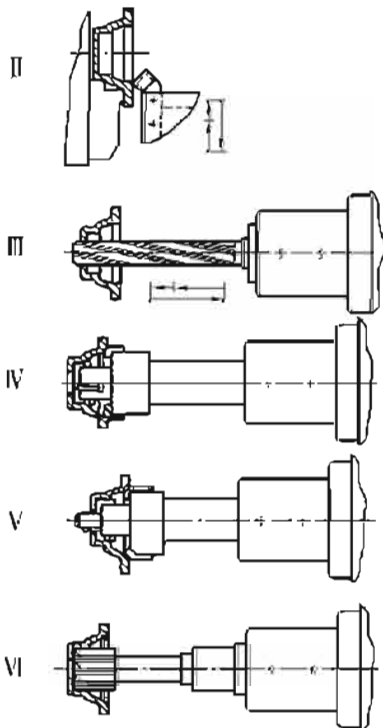
- I. 定工件长度位置及固紧工件
- II. 车端面
- III. 粗车两档外圆
- IV. 精车两档外圆及倒角
- V. 车槽
- VI. 车球面
- VII. 切断

8. 在立轴六角车床上加工螺杆



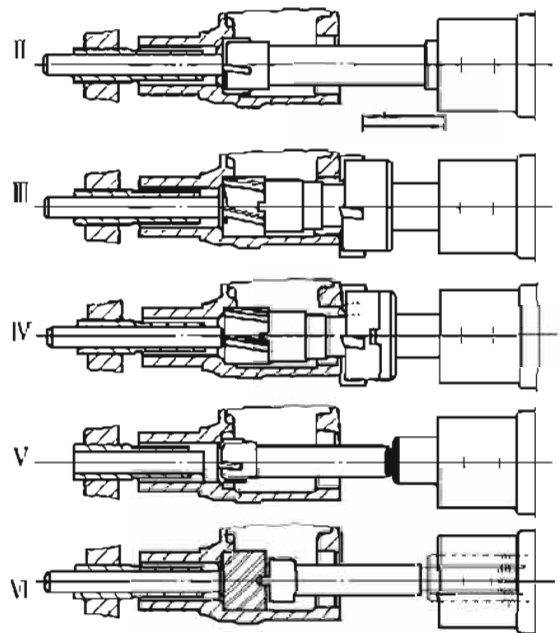
- I. 定工件长度位置及固紧工件
- II. 车端面
- III. 车外圆
- IV. 倒角
- V. 绞螺纹
- VI. 定工件长度位置及固紧工件
- VII. 切断

9. 在立轴六角车床上加工盖



- I. 装卸工件
- II. 车端面
- III. 扩孔至 $\phi 24\text{ mm}$
- IV. 粗镗孔至 $\phi 44.5$ 、 $\phi 71$ 及 $\phi 80\text{ mm}$ 及倒角
- V. 精镗孔 $\phi 25^{+0.28}_0$ 及 $\phi 72^{+0.12}_0\text{ mm}$
- 粗镗孔 $\phi 45.5\text{ mm}$ 及倒棱
- VI. 绞孔至 $\phi 46^{+0.05}_0\text{ mm}$

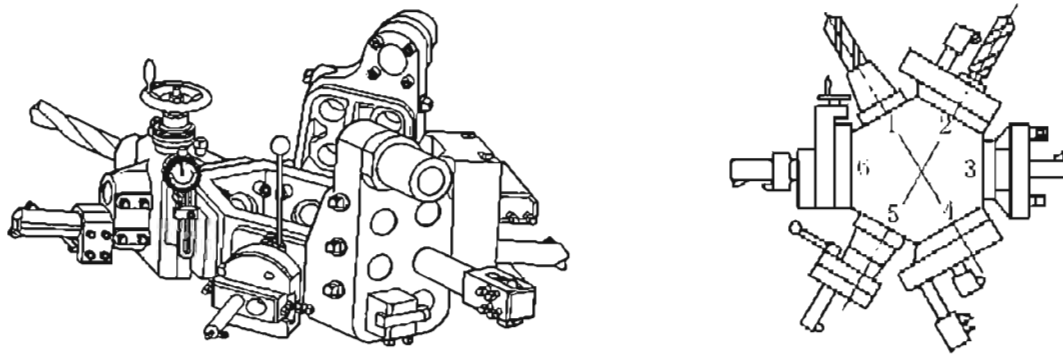
10. 在立轴六角车床上加工大型工件



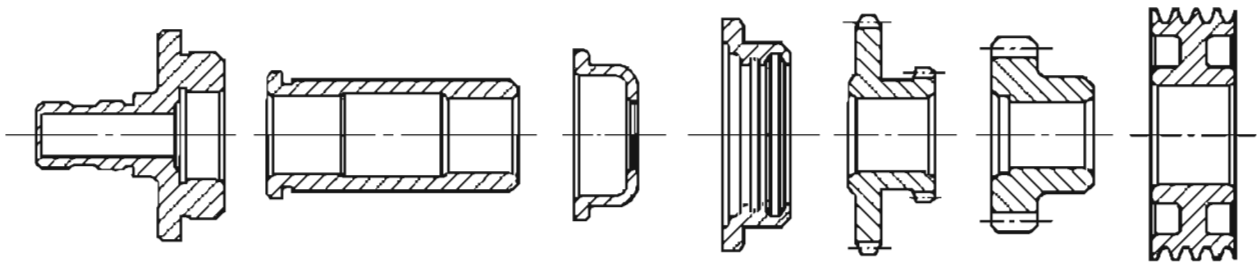
- I. 装卸工件
- II. 扩孔至 $\phi 68\text{ mm}$
- III. 扩孔至 $\phi 70\text{ mm}$ 及粗车外端面
- IV. 扩孔至 $\phi 71.5\text{ mm}$, 倒角及精车外端面
- V. 加工 $\phi 54\text{ mm}$ 孔
- VI. 绞孔至 $\phi 72^{+0.03}_0\text{ mm}$

表 1-44 续

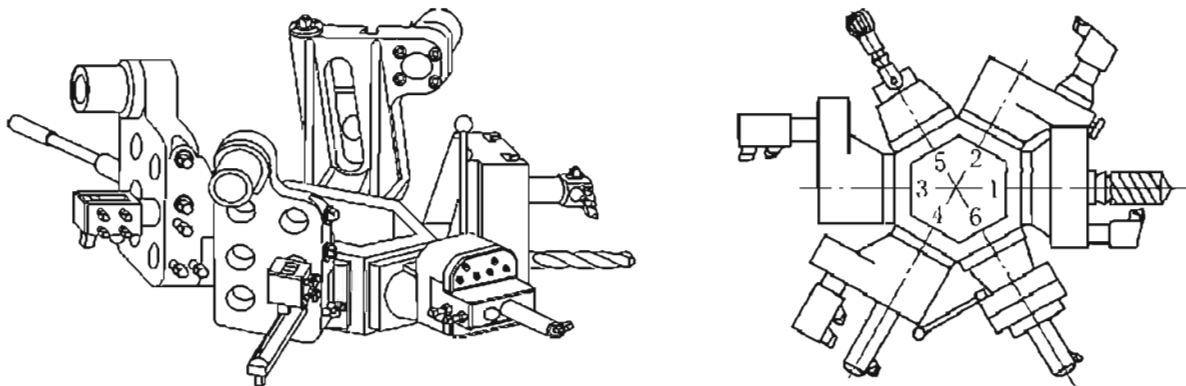
11. 立轴六角头附具的典型布置(之一)



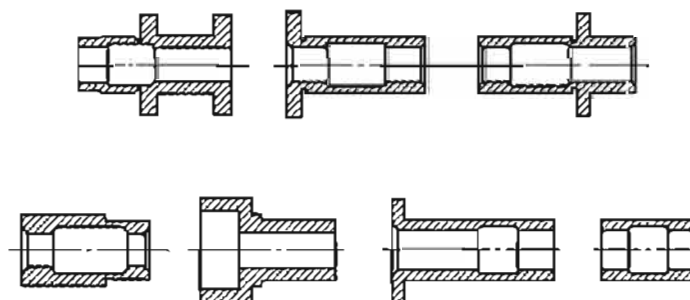
适于加工一般盘类零件,例如加工下列各类零件。



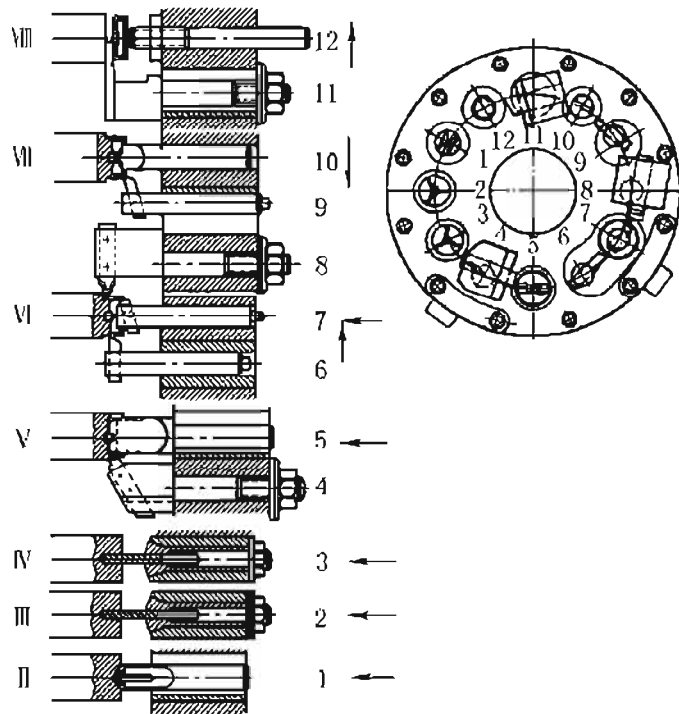
12. 立轴六角头附具的典型布置(之二)



适于加工一般套类零件,例如加工下列各类零件。

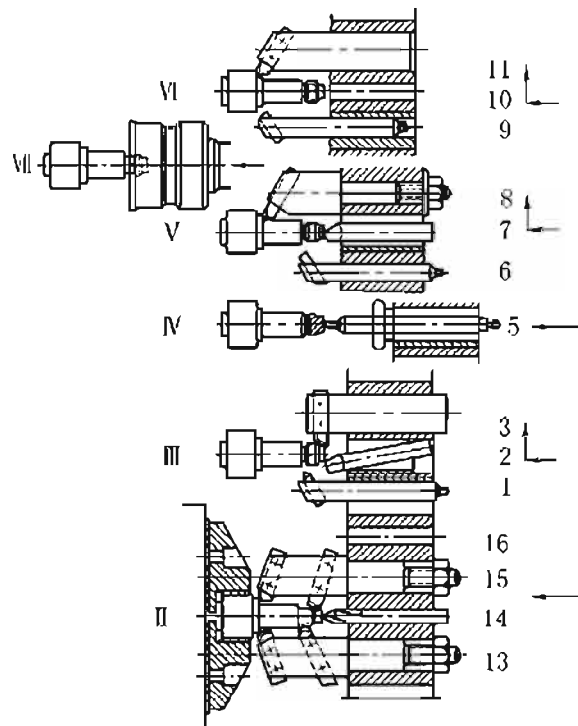


13. 在卧轴六角车床上加工盖



- | | |
|---------------|---------------|
| I. 定工件长度位置及固紧 | II. 定中心孔 |
| III. 钻孔 | IV. 扩钻孔 |
| V. 车外圆及镗孔 | VI. 镗孔车外圆及车平面 |
| VI. 车端面 | VII. 切断 |

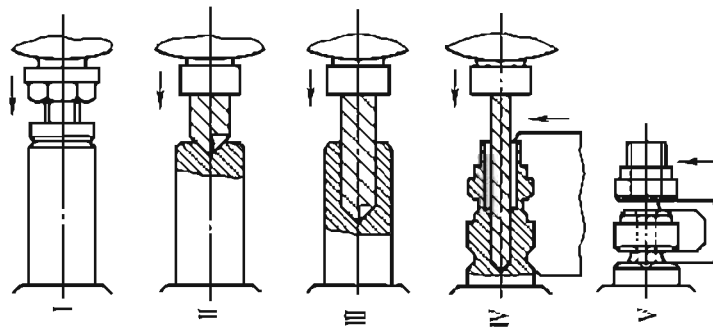
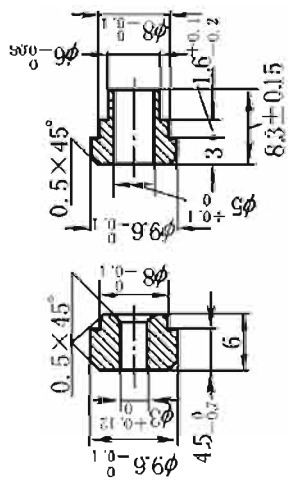
14. 在卧轴六角车床上加工小轴(毛坯用模锻件)



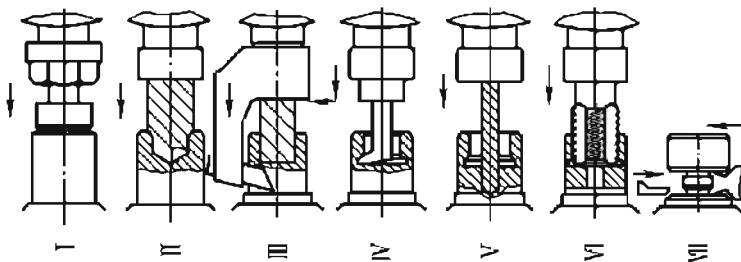
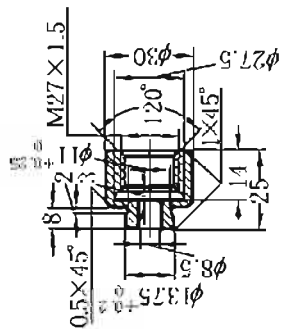
- | | |
|---------------|----------------|
| I. 装卸工件 | II. 车四档外圆及定中心孔 |
| III. 车外圆端面及割槽 | IV. 钻孔 |
| V. 车外圆平面及槽 | V. 车外圆及倒棱 |
| VI. 套螺纹 | |

表 1-45 自动车床加工

1. 在单轴自动车床上一次送料加工 2 只同类型的工件



2. 在单轴自动车床上加工复杂加工面的工件



3. 在单轴自动车床上加工油杯

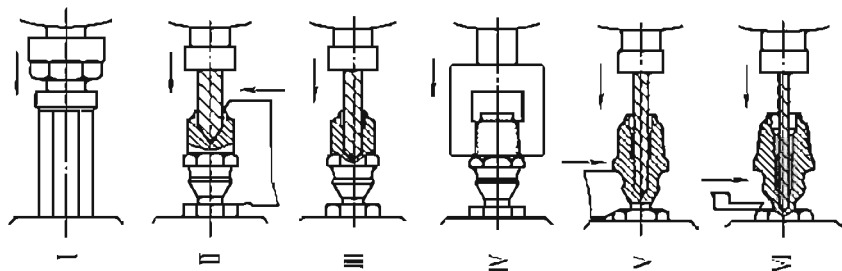
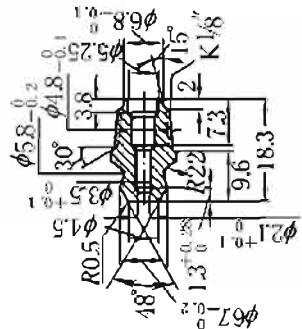
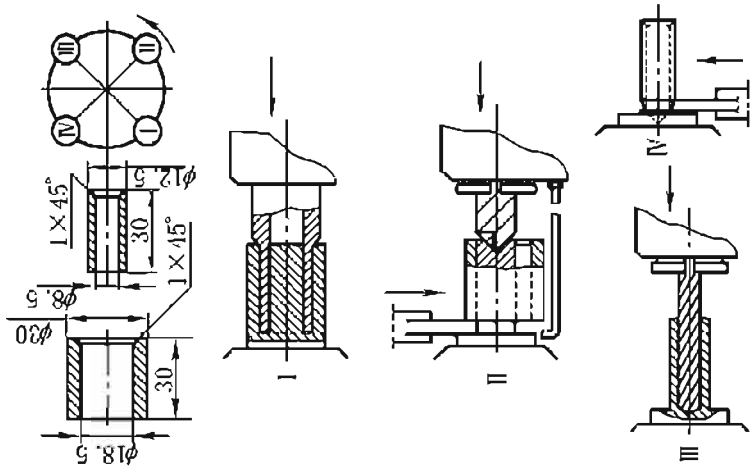
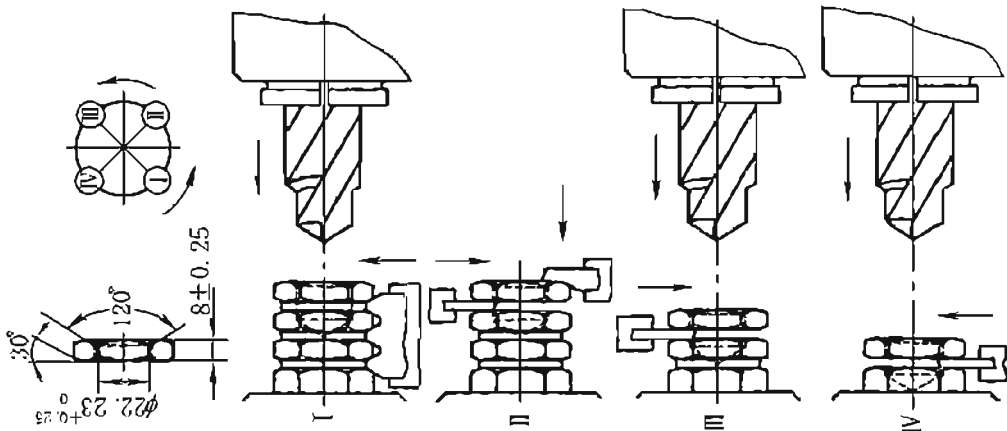


表 1-45 续

4. 在四轴自动车床上同时加工 2 只轴套



5. 在四轴自动车床上加工螺母



6. 在四轴自动车床上利用跟刀架加工长的工件(之一)

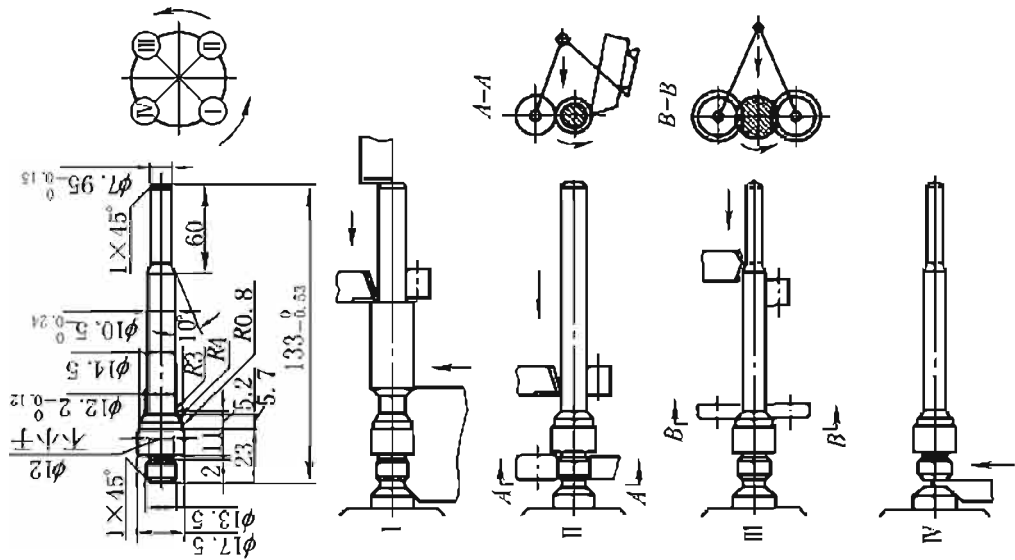
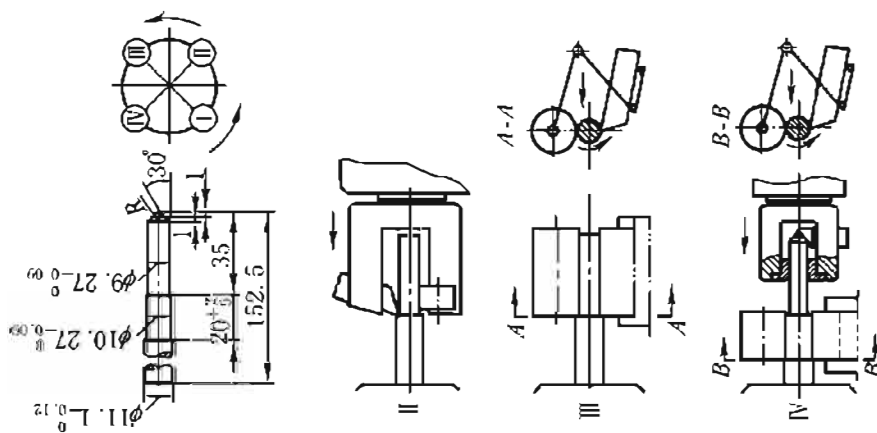
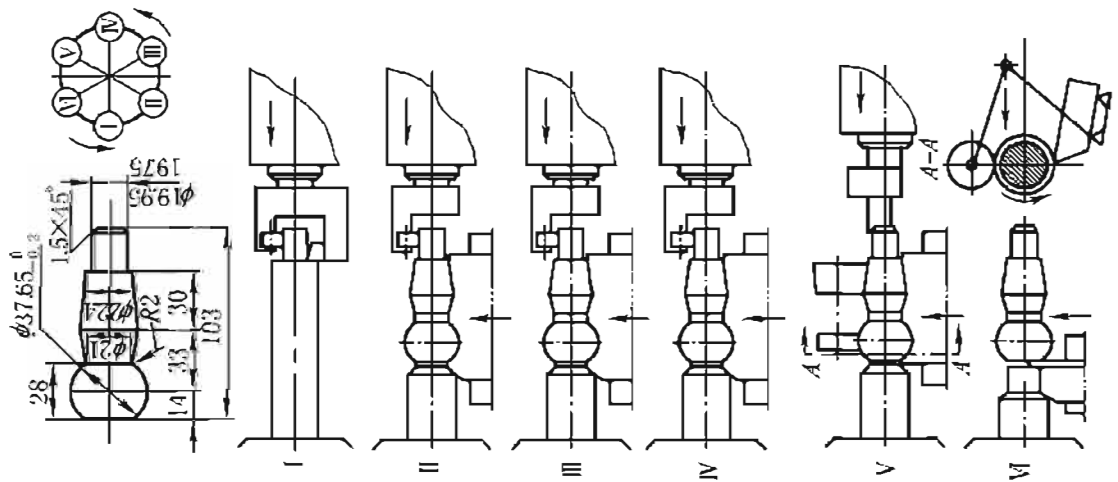


表 1-45 续

7. 在四轴自动车床上利用跟刀架加工长的工件(之二)



8. 在六轴自动车床上利用跟刀架加工手柄



9. 在六轴自动车床上加工螺母盖

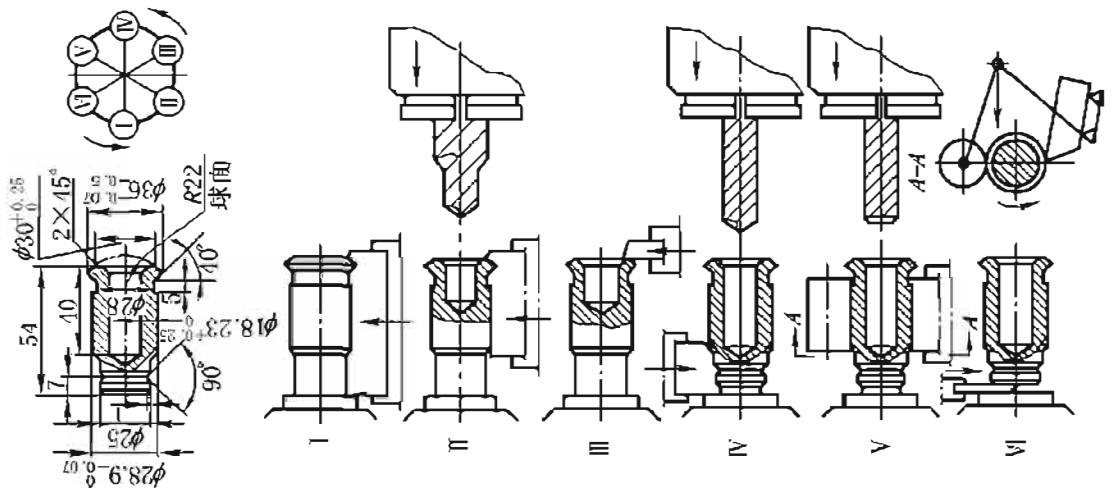
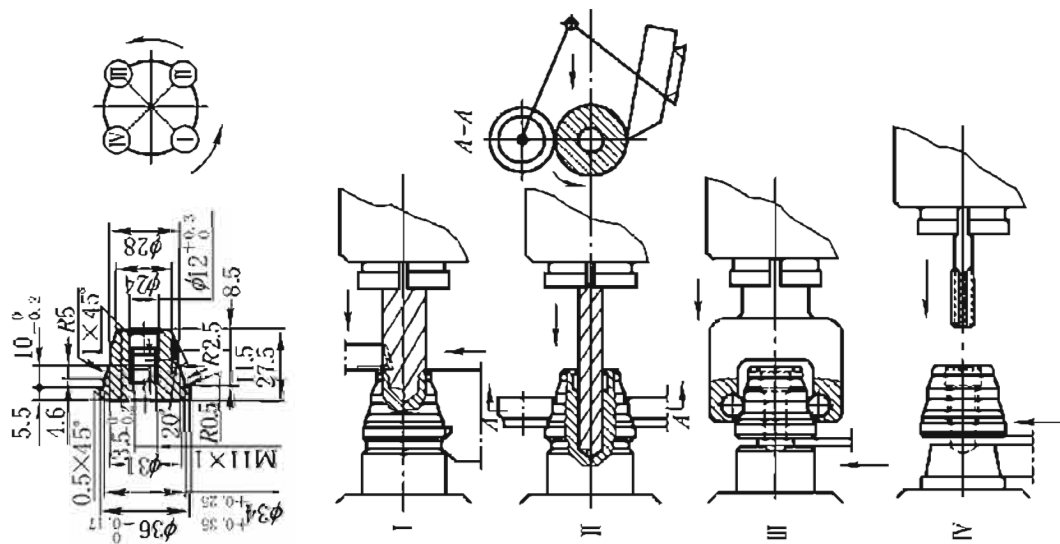
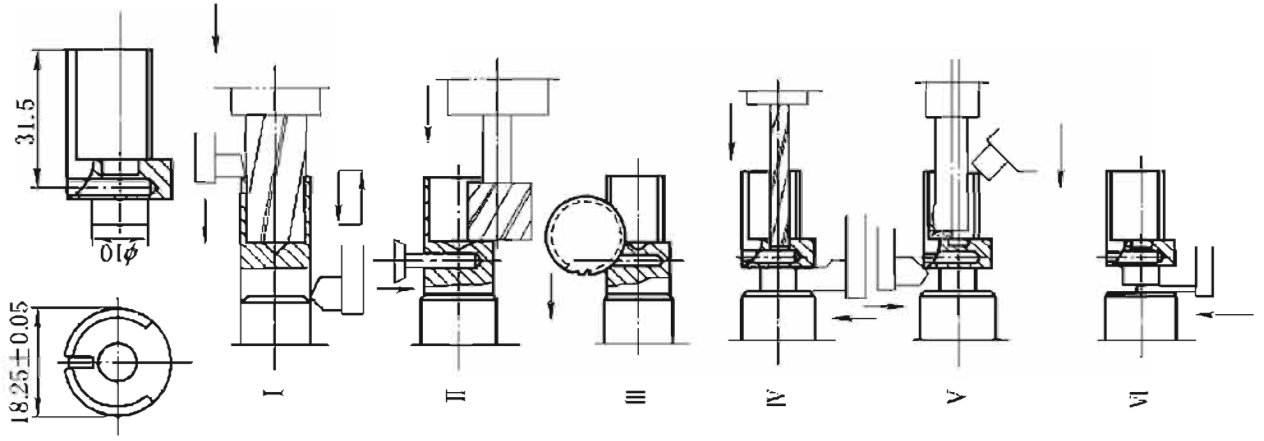


表 1-45 续

10. 在四轴自动车床上加工轴套件



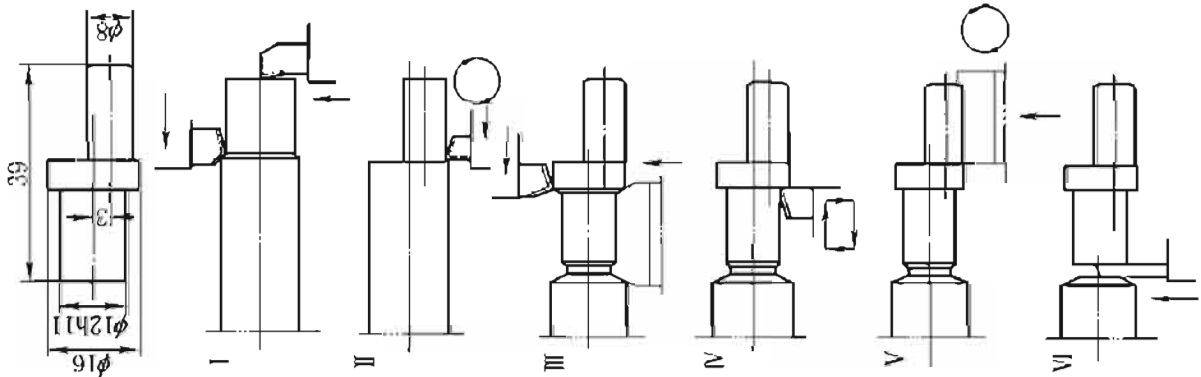
11. 在六轴自动车床上加工圆筒



材 料: 黄铜
加工工时: 6.3 s
切削速度: 100 m/min

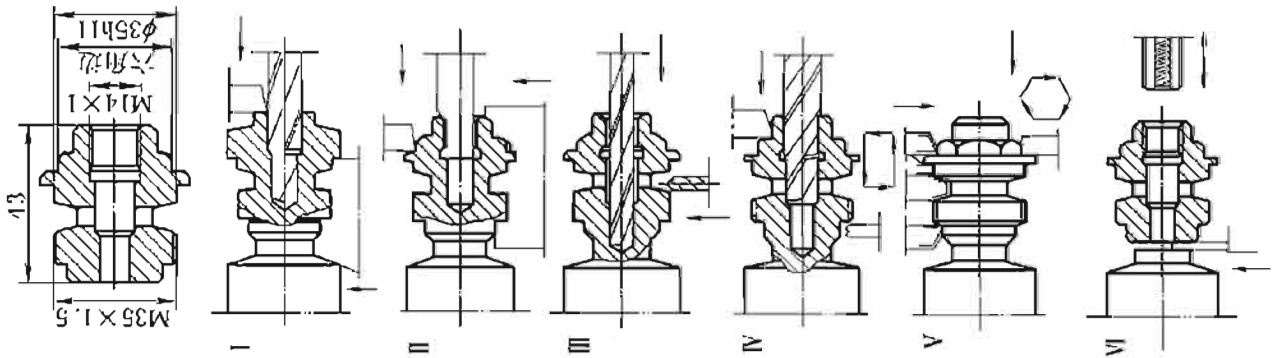
表 1-45 续

12. 在六轴自动车床上加工偏心轴



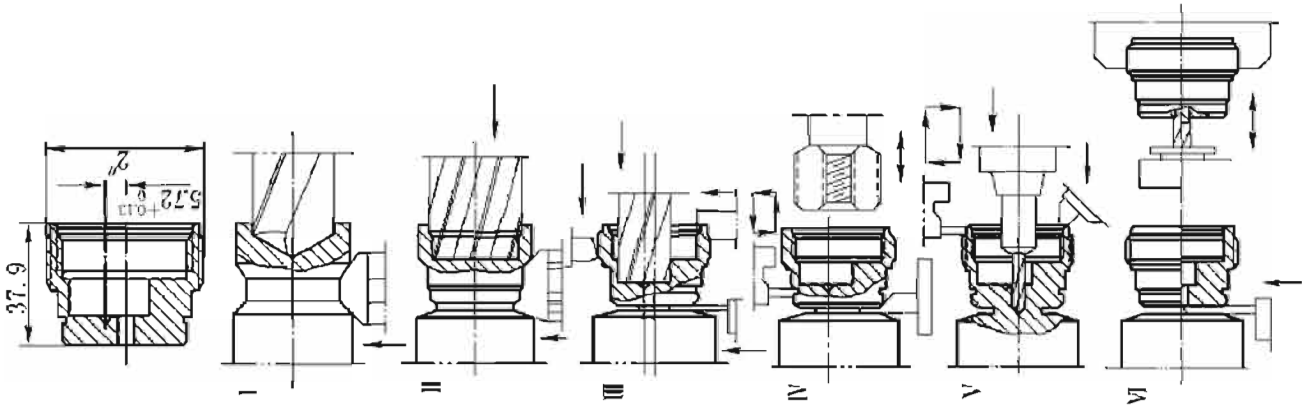
材料: 钢
加工工时: 11.8 s
切削速度: 45 m/min

13. 在六轴自动车床上加工带六角头螺纹接头



材料: 易切削钢
加工工时: 38 s
切削速度: 58 m/min

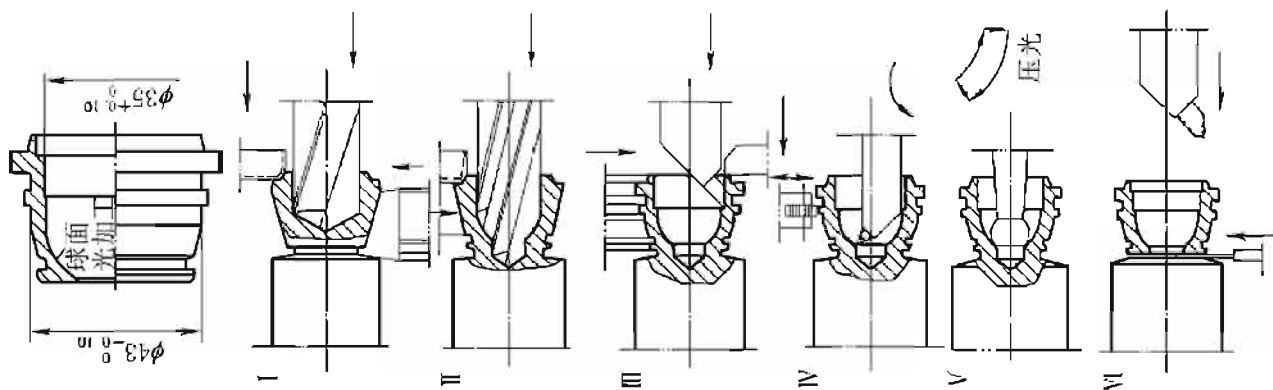
14. 在六轴自动车床上加工壳体



材料: 黄铜
加工工时: 20 s
切削速度: 110 m/min

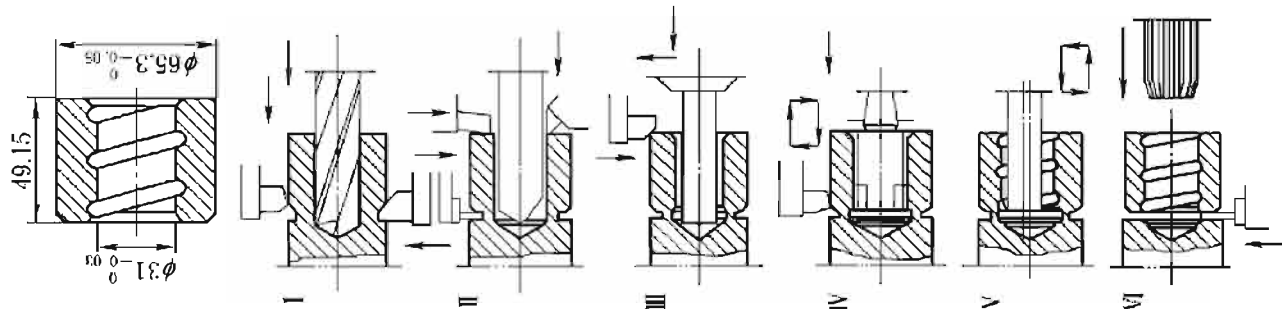
表 1-45 续

15. 在六轴自动车床上加工球形罩



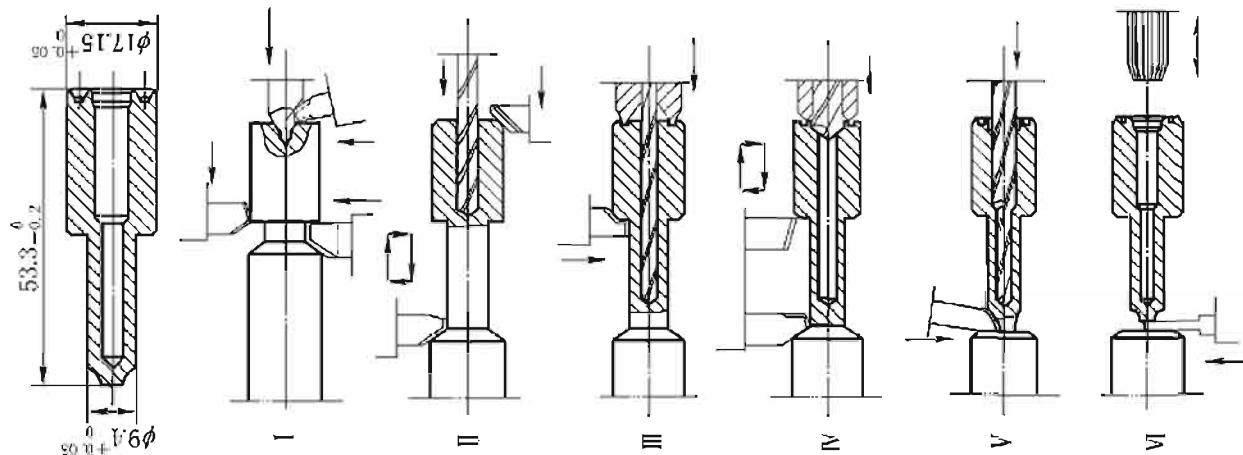
材 料: 钢
加工工时: 57 s
切削速度: 36 m/min

16. 在六轴自动车床上加工转向螺母



材 料: 合金钢
加工工时: 69 s
切削速度: 49 m/min

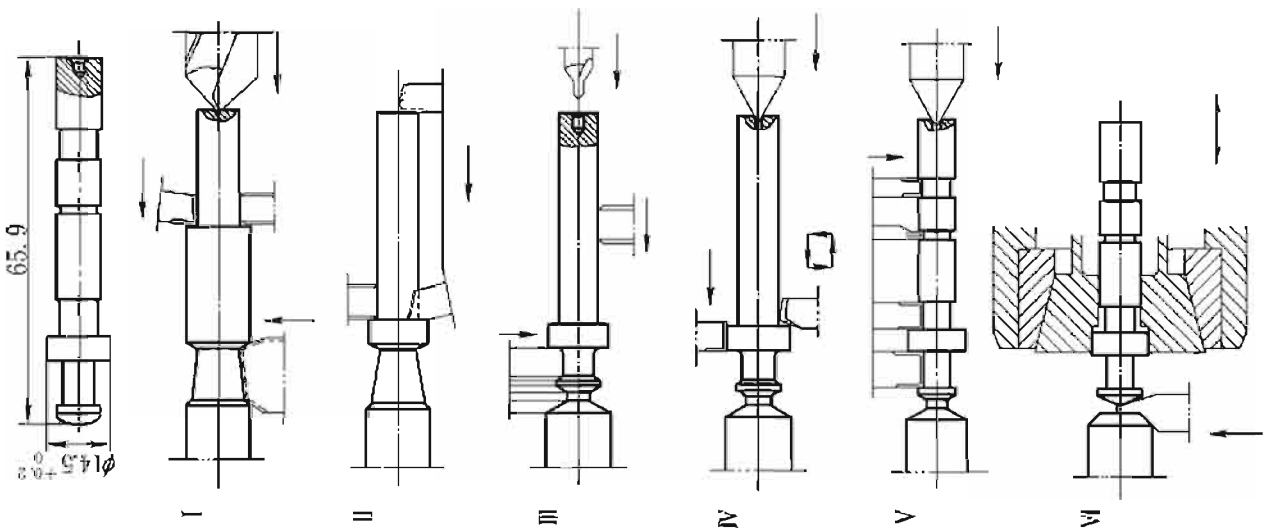
17. 在六轴自动车床上加工喷嘴



材 料: 合金钢
加工工时: 58.2 s
切削速度: 30 m/min

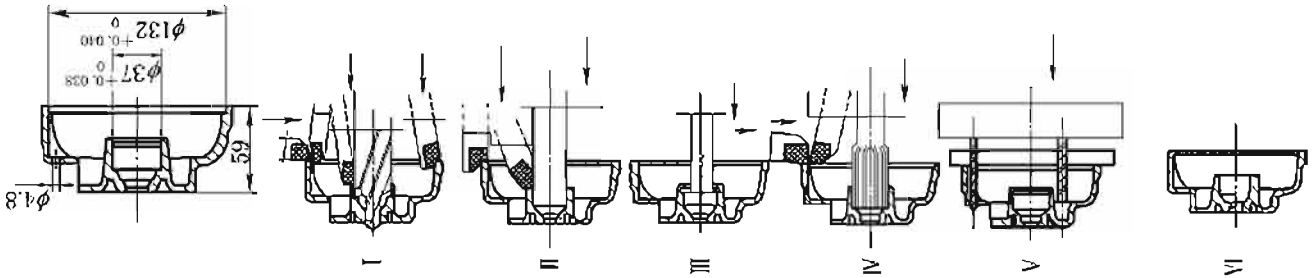
表 1-45 续

18. 在六轴自动车床上加工心轴



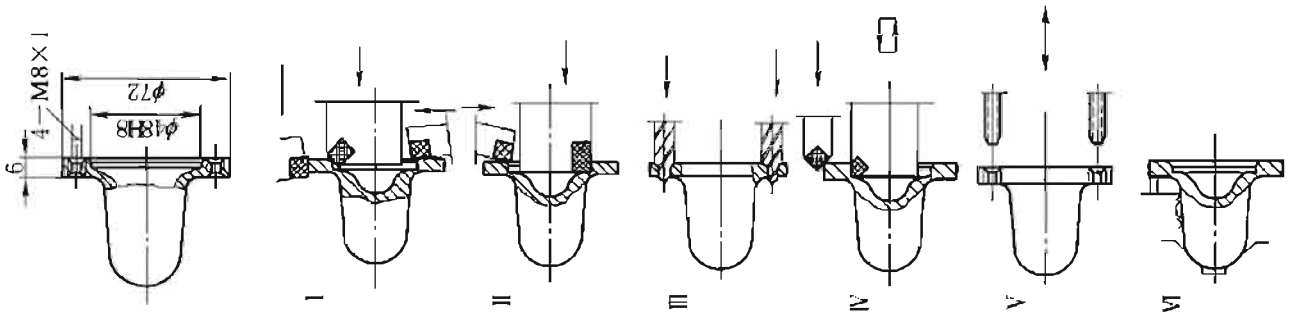
材 料: 合金钢
加工工时: 37 s
切削速度: 37 m/min

19. 在六轴卡盘自动车床上加工轴承盖



材 料: 灰铸铁
加工工时: 29 s
切削速度: 80 m/min

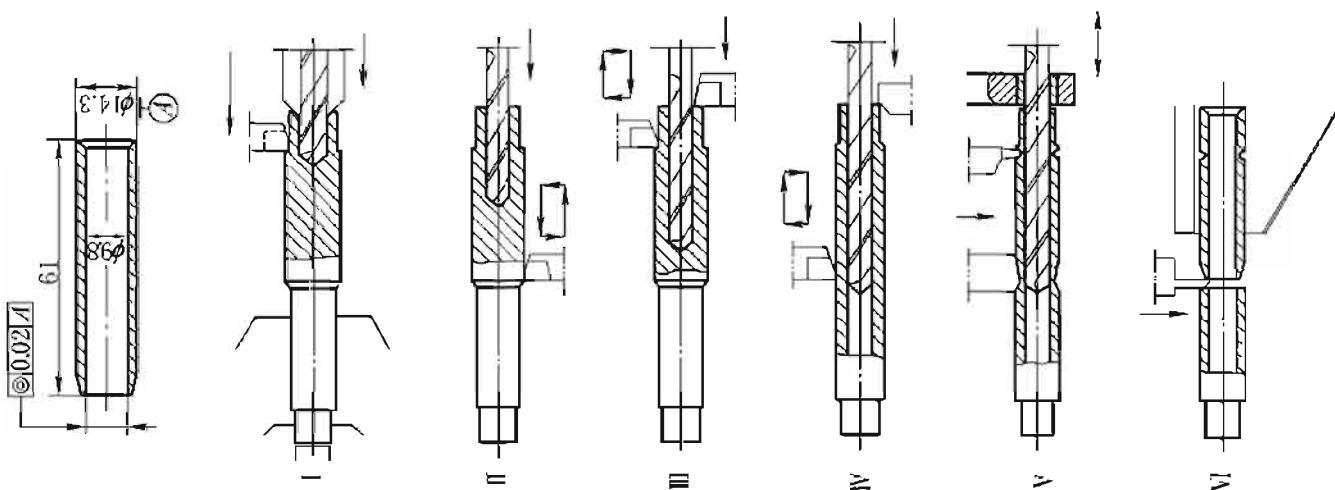
20. 在六轴卡盘自动车床上加工法兰盘



材 料: 可锻铸铁
加工工时: 36 s
切削速度: 72 m/min

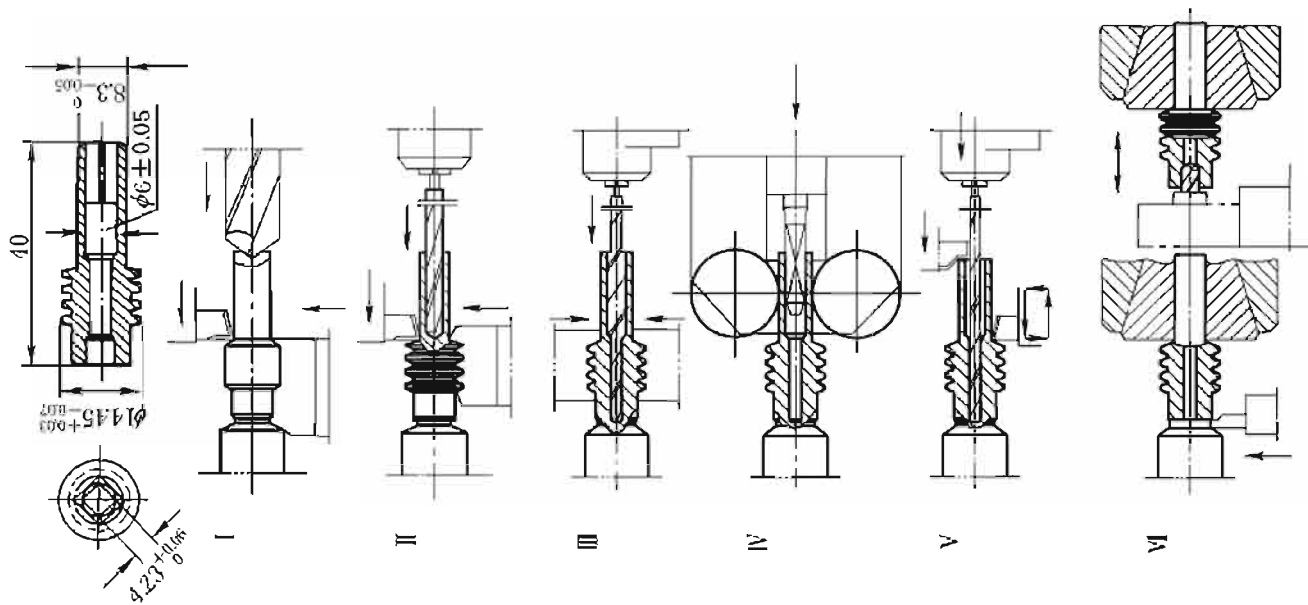
表 1-45 续

21. 在六轴卡盘自动车床上加工阀导管



材 料: 铸铁
加工工时: 9.7 s
切削速度: 51 m/min

22. 在六轴自动车床上加工传动轴

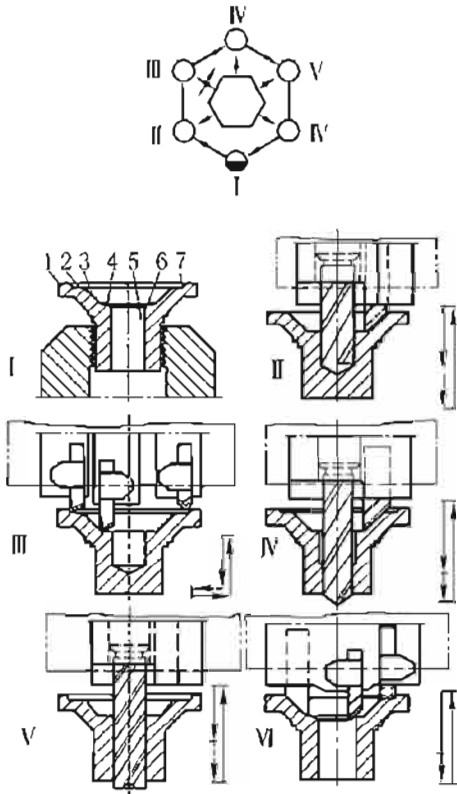


材 料: 易切削钢
加工工时: 14.6 s
切削速度: 66 m/min

表 1-46 多轴立式半自动车床加工

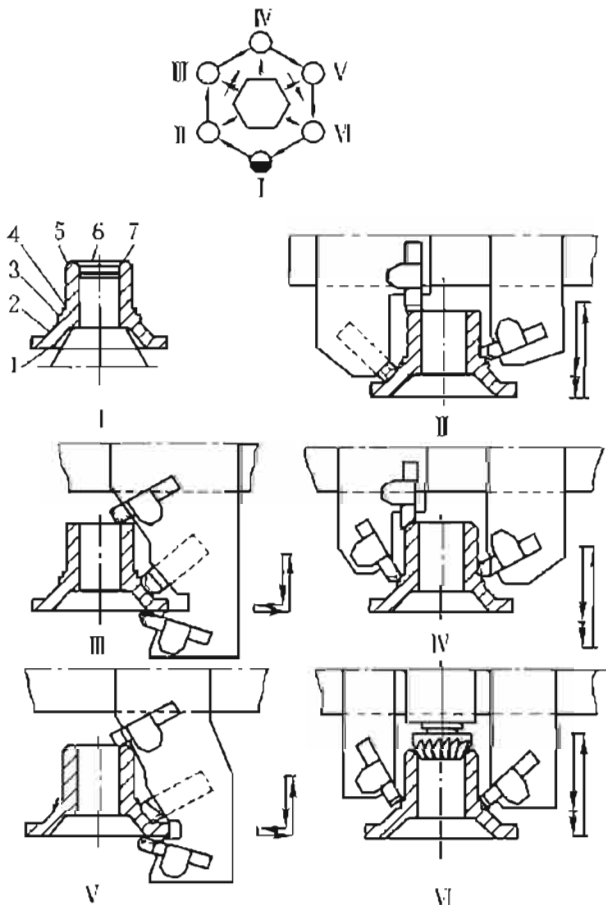
1. 在六轴立式半自动车床上加工法兰

(a) 加工一面(1~7各面)



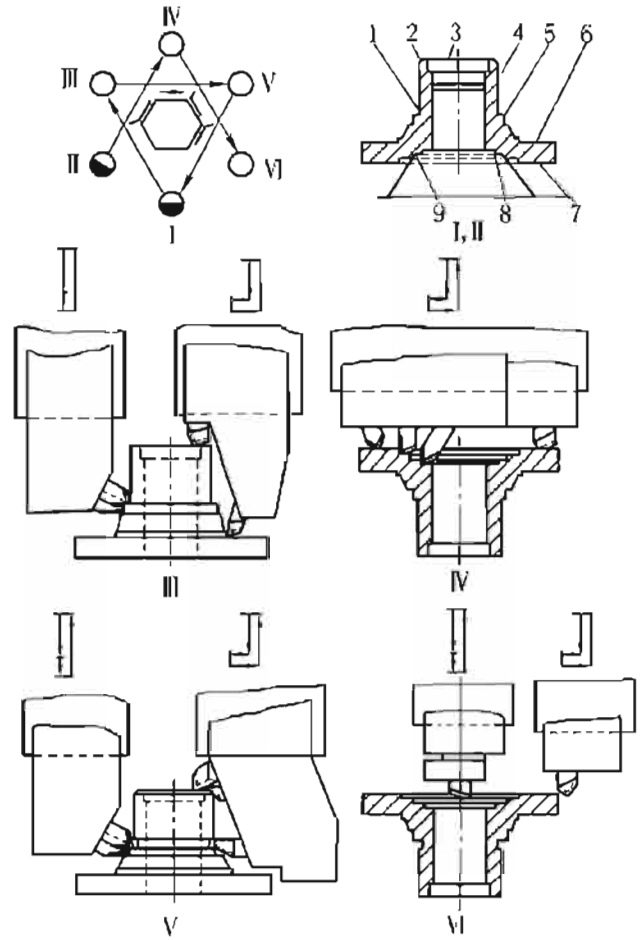
(a)

(b) 加工另一面(1~7各面)

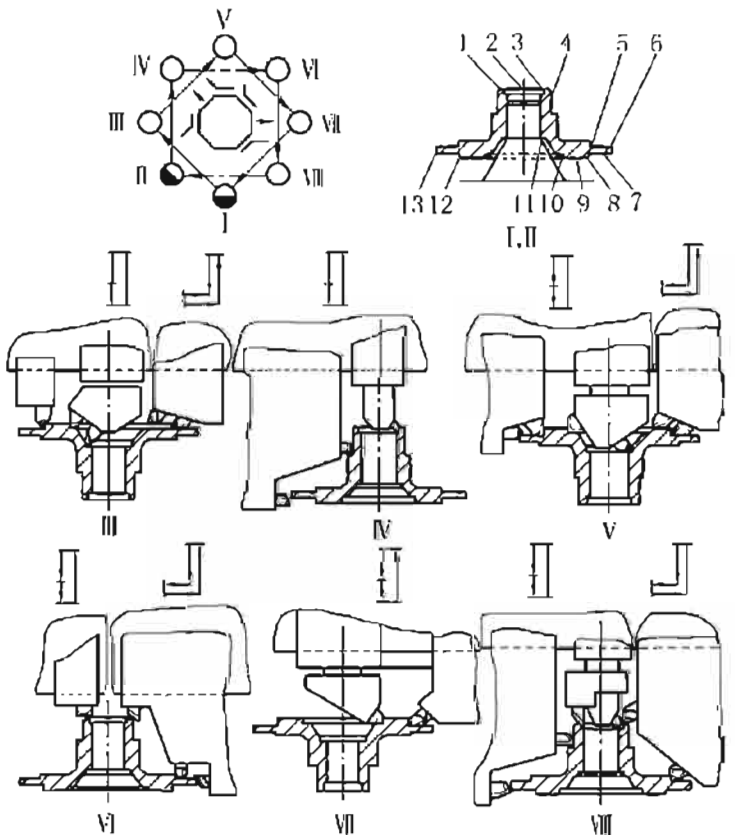


(b)

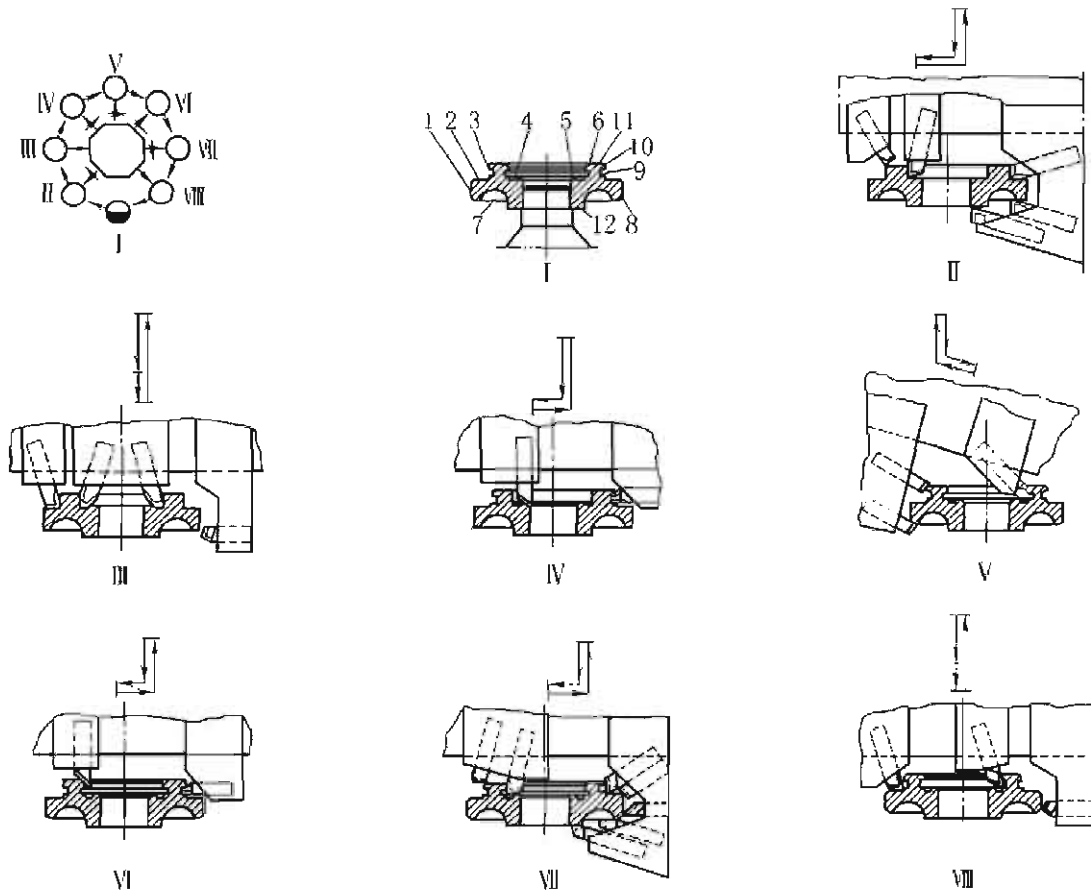
2. 在六轴立式半自动车床上同时加工法兰的两面(1~9各面)



3. 在八轴立式半自动车床上同时加工法兰的两面(1~13各面)



4. 在八轴立式半自动车床上加工圆柱齿轮



5. 在八轴立式半自动车床上同时加工 2 只不同尺寸的圆柱齿轮

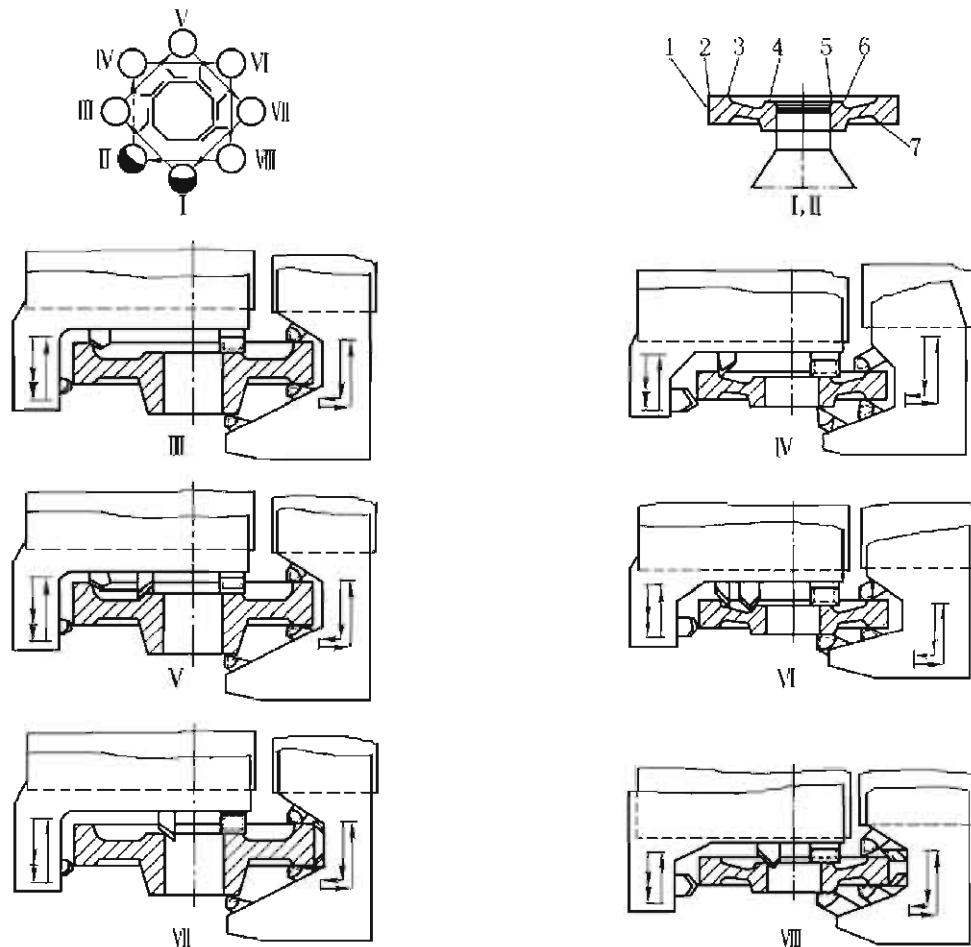
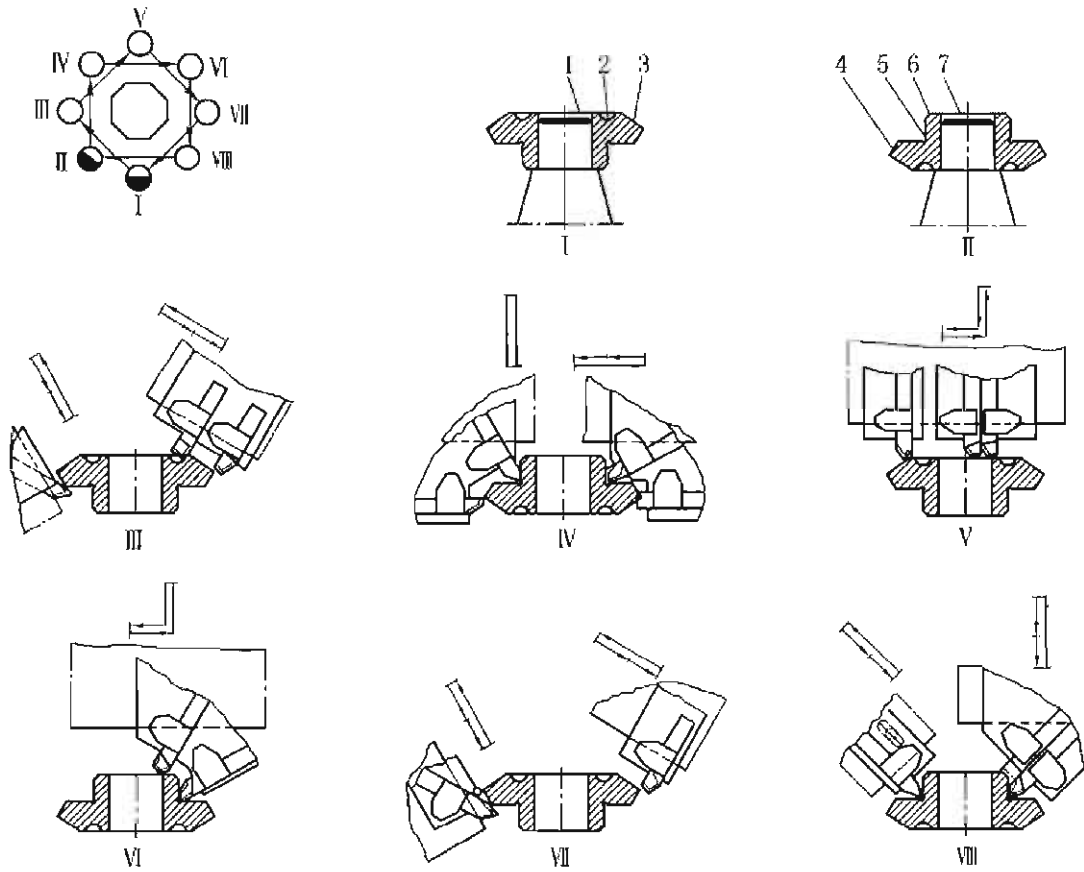
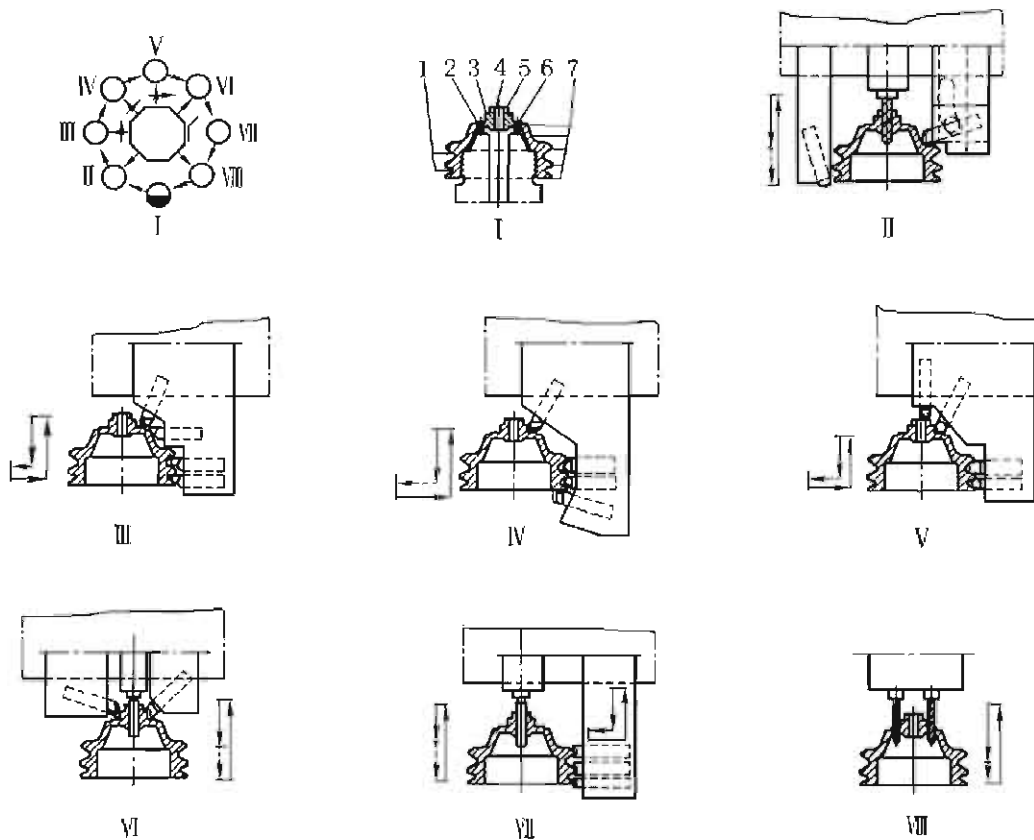


表 1-46 续

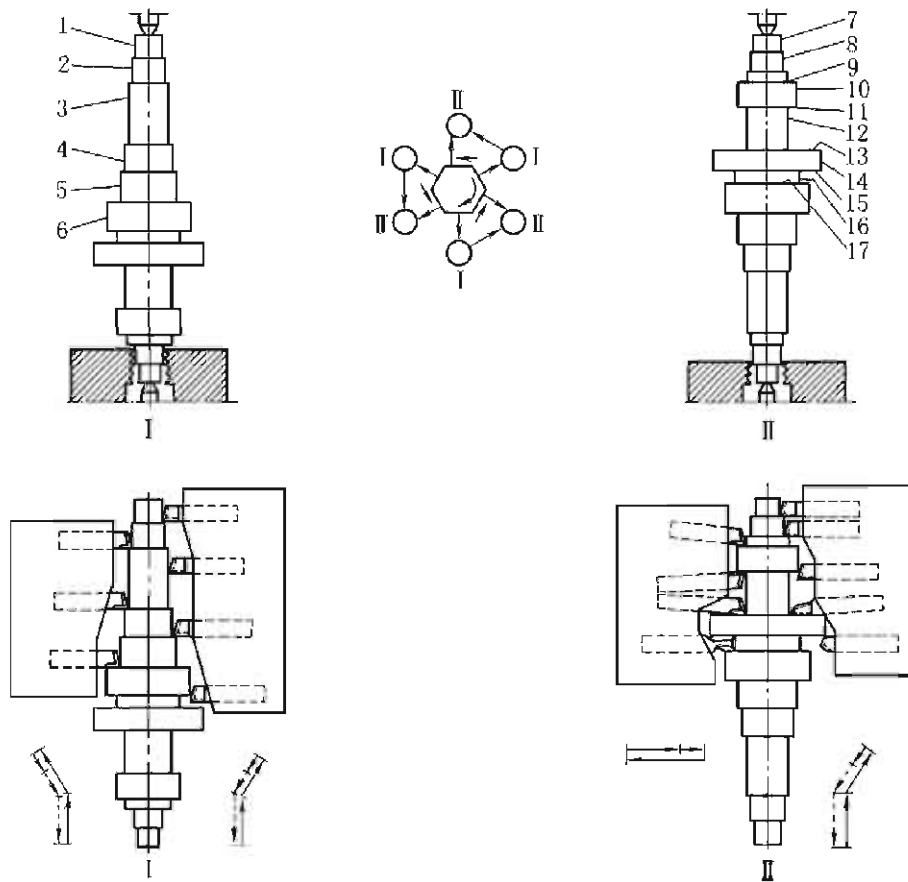
6. 在八轴立式半自动车床上同时加工圆锥齿轮的两面



7. 在八轴立式半自动车床上加工 V 带轮

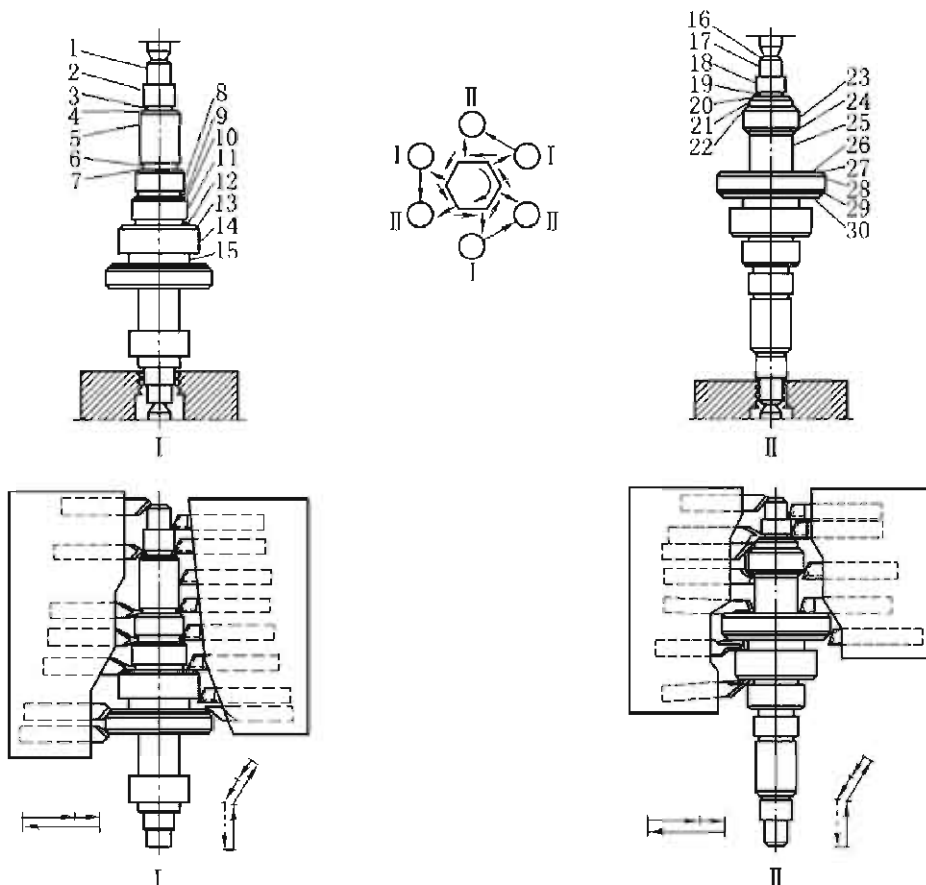


8. 在六轴立式半自动车床上粗加工轴的两端



I—粗车一端；II—粗车另一端

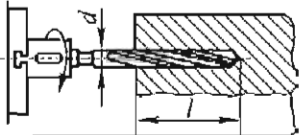
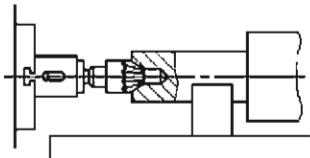
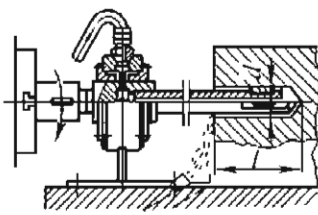
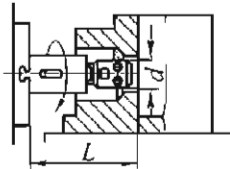
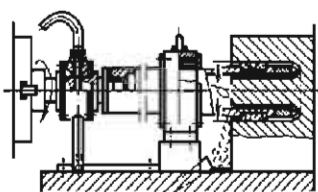
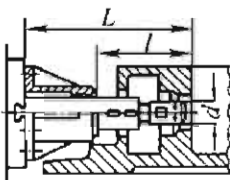
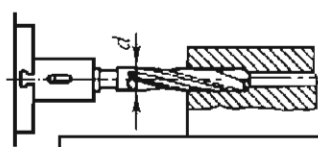
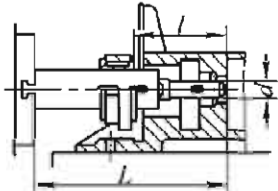
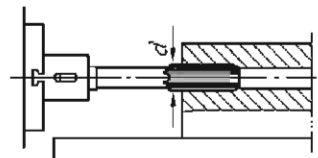
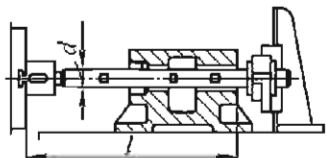
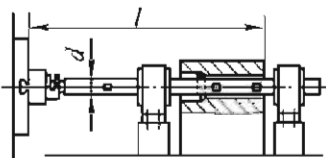
9. 在六轴立式半自动车床上精加工轴的两端



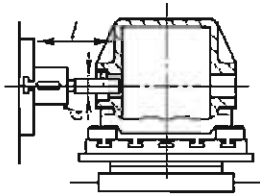
I—精车一端；II—精车另一端

镗床加工

表 1-47 镗床加工示例

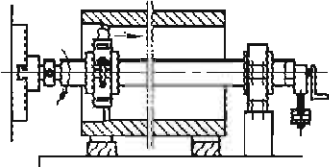
<p>1. 麻花钻钻孔</p>  <p>用于孔径 $d < 80 \text{ mm}$ 及 $\frac{l}{d} < 10$</p>	<p>6. 钻孔后扩中心孔(中心钻或板形中心钻)</p> 
<p>2. 深孔钻钻孔</p>  <p>用于孔径 $d > 35 \text{ mm}$ 及 $\frac{l}{d} > 10$</p>	<p>7. 镗孔(不用支座)</p>  <p>用于 $L < 5d$</p>
<p>3. 环孔钻钻孔</p>  <p>用于孔径 $d > 110 \text{ mm}$</p>	<p>8. 镗孔(支承在刀盘中)</p>  <p>用于 $l < 6d$ 及 $L > 5d$ 的孔, 适用于单件生产</p>
<p>4. 整体或套式扩孔钻扩孔</p>  <p>用于孔径 $d < 80 \text{ mm}$</p>	<p>9. 镗孔(支承在工作台上)</p>  <p>用于 $l < 6d$ 及 $L > 5d$, 适用于中批生产</p>
<p>5. 整体铰刀或套式铰刀铰孔</p>  <p>用于孔径 $d < 80 \text{ mm}$</p>	<p>10. 镗孔(支承在后中心架支座中)</p>  <p>用于 $l > 5d$</p> <p>11. 镗孔(支承在前后中心架支座中)</p>  <p>用于 $l > 5d$, 当加工设备失去精度时</p>

12. 从两面镗孔



用于 $l > 5d$, 需有回转工作台时

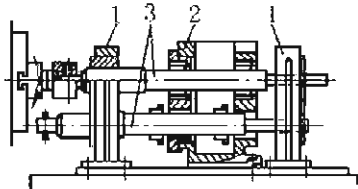
13. 用差动镗杆镗孔



孔径较大及当镗杆或工作台的行程小于镗孔长度时

14. 用镗模镗孔

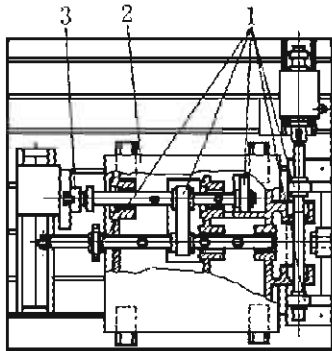
1—镗模; 2—工件; 3—镗杆



用于中批生产中, 长度在 1 m 以下的工件

15. 用镗模镗孔

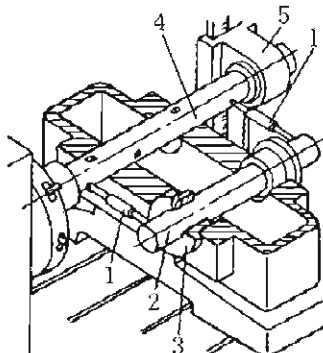
1—镗模架; 2—工件; 3—镗杆



用于成批的大型工件及机床在满负荷时

16. 用坐标法镗孔(孔间距离用内径规测量)

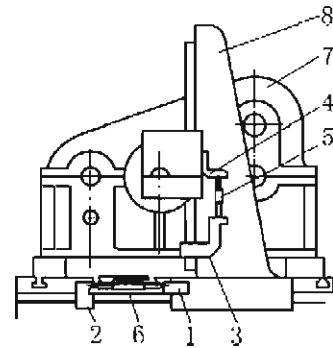
1—内径规; 2—检验轴; 3—过渡轴套; 4—镗杆; 5—中心架支座



用于成批加工工件及能够采用不太重的检验轴时

17. 用坐标法镗孔(孔间距离用内径规测量)

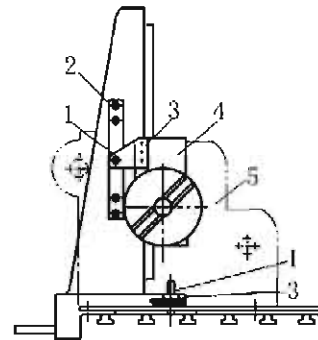
1、4—活动定位块; 2、3—固定定位块; 5、6—内径规; 7—工件; 8—镗床立柱



用于没有游标尺的镗床上进行成批加工工件

18. 用坐标法镗孔(孔距用定位器定位)

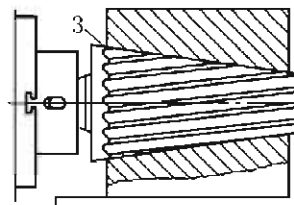
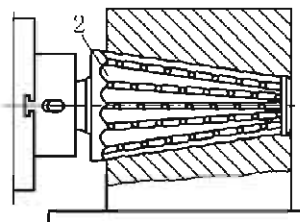
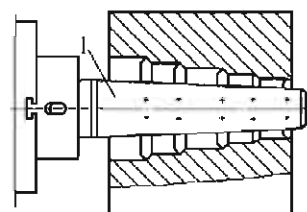
1—定位器; 2—固定尺; 3—臂支座; 4—主轴箱; 5—工件



用于成批生产的零件

19. 用专用锥形刀具镗锥形孔

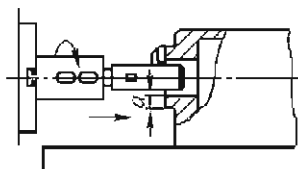
1—镗杆; 2—扩孔钻; 3—铰刀



用于孔径 $D < 300$ mm, 孔深 $l < 500$ mm

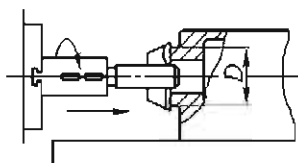
表 1-47 续

20. 镗端面(用轴向进刀)



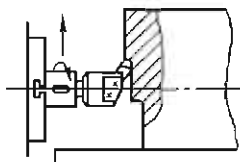
用于加工余量不大及刀片宽度大于尺寸 a 时

21. 镗端面(用轴向进刀)



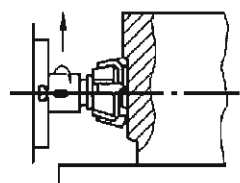
用于加工余量不大及刀片直径大于 D 时

22. 车端面



用于端面余量很大时

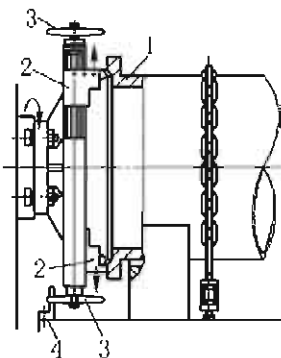
23. 铰端面



用于端面余量极大时

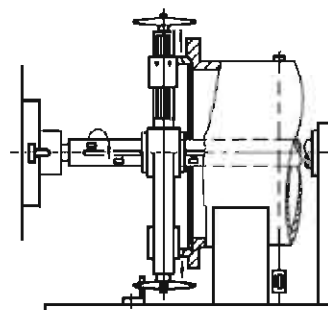
24. 用飞刀架车端面(飞刀架装在花盘上)

1—工件, 2—飞刀架, 3—刀具的行程拨轮, 4—使拨轮旋转的拨杆



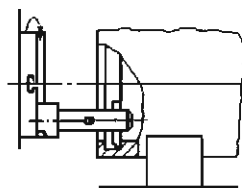
用于工件直径 1 000~3 500 mm 的一个端面, 或余量不大及平行度要求不高的两个端面

25. 用飞刀架车端面(飞刀架装在镗杆上)



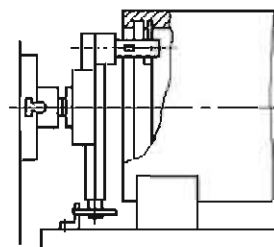
用于两端要求平行的端面

26. 用径向刀架车槽



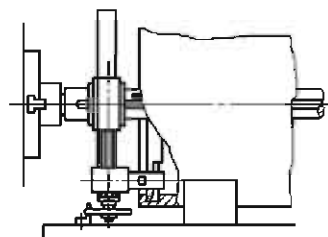
适用于具有径向刀架的镗床

27. 用飞刀架车槽(飞刀架装在镗床主轴上)



用于孔径 $< 1\ 000\ \text{mm}$ 及没有径向刀架的镗床上

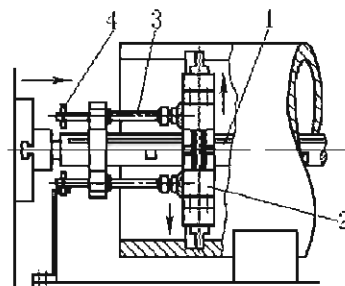
28. 用飞刀架车槽(飞刀架装在镗杆上)



用于孔径 $> 1\ 000\ \text{mm}$

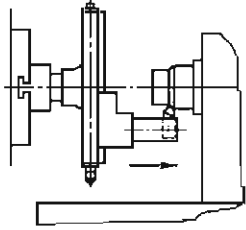
29. 用装在镗杆上的专用镗头车槽

1—镗杆, 2—镗头, 3—轴, 4—行程拨轮

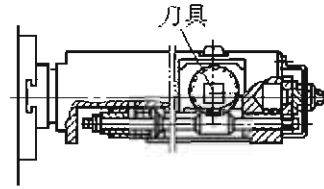


用于槽子离开端面较远的工作

30. 用飞刀架车外圆

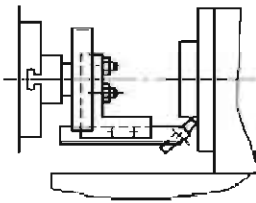


34. 用带有径向进给的镗杆镗孔

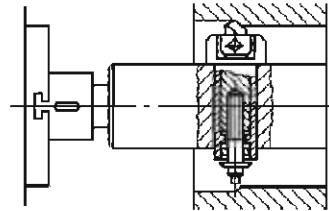


用于孔径 > 300 mm

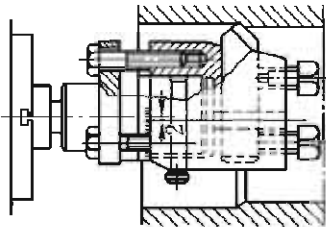
31. 用专用刀架车外圆



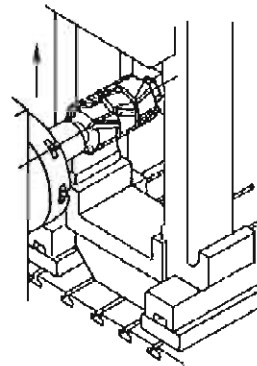
35. 用带有微量调节的镗杆镗孔



32. 用偏心镗杆镗孔

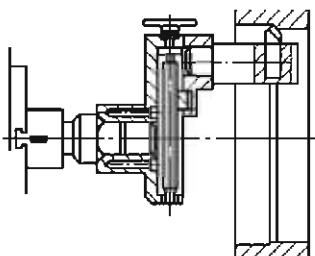


36. 用端铣刀及组合铣刀铣平面



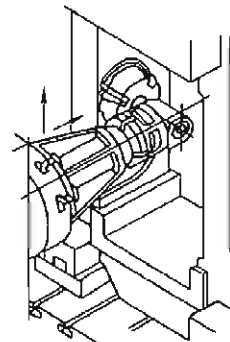
用于与主轴线平行的平面,多数是内平面

33. 用飞刀架车内圆



用于加工面不长的工件

37. 用角铣头铣平面



用于与主轴线平行的平面,多数是内平面

表 1-47 续

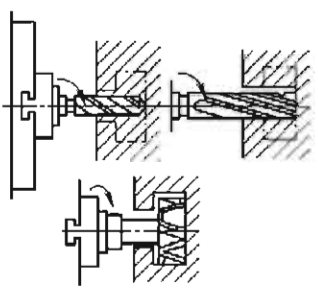
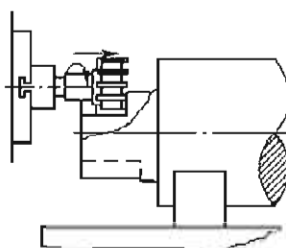
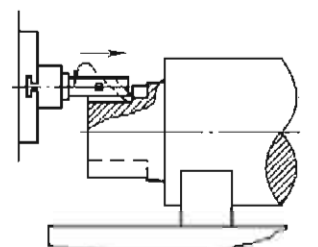
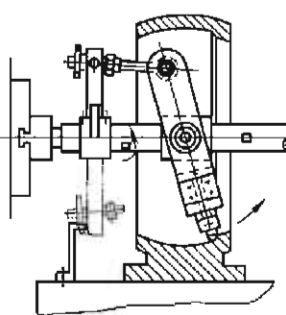
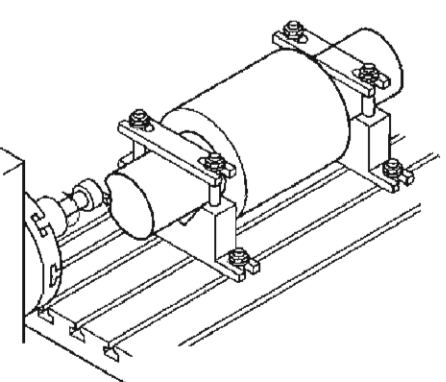
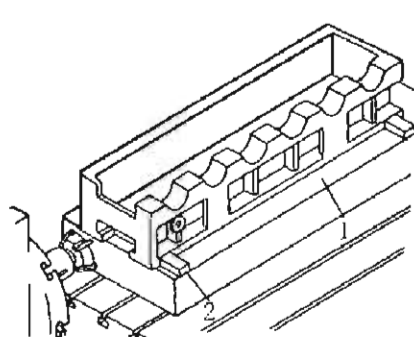
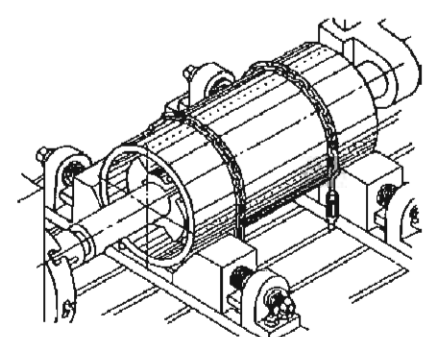
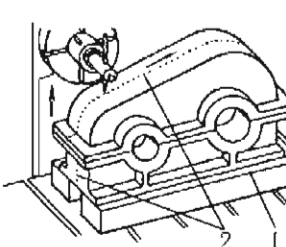
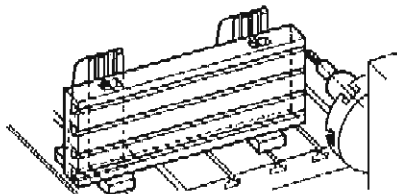
<p>38. 铣 T 形槽</p> 	<p>40. 铣半圆槽</p>  <p>用于成批生产</p>
<p>39. 车半圆槽</p>  <p>用于单件生产</p>	<p>41. 用杠杆夹具镗球面</p> 

表 1-48 镗床加工的基准面及校准方法

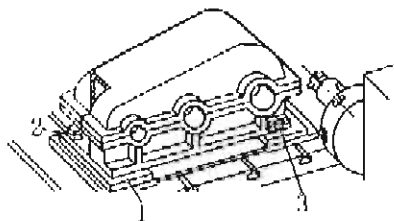
<p>1. 用工件的两个直径相同的轴颈作定位基准镗半圆槽</p>  <p>装在固定的 V 形块上, 不校准</p>	<p>3. 用两个相互垂直的已加工平面作定位基准镗另一个端面</p>  <p>把已加工好的平面装在平板 1 及定位器 2 上, 不校准</p>
<p>2. 用工件的两个直径不同的轴颈作定位基准镗孔</p>  <p>装在可调整的 V 形块上, 按划线校准</p>	<p>4. 在用一个已加工面作为定位基准的镗孔</p>  <p>把已加工面装在平板 1 上, 并按划线 2 校准</p>

5. 在用两个已加工面作为定位基准的工件上镗削



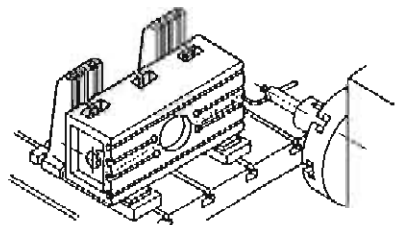
把已加工面装在垫块上,并靠紧角铁,不校准

8. 在一个已加工面及两个定位孔作为定位基准的工件上镗削



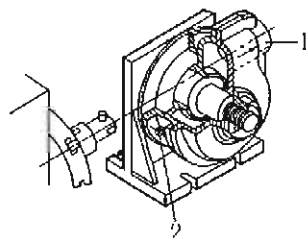
把已加工面装在平板上并按两个定位孔定位,不校准(光滑平面 1、圆柱销 2 及菱形销 3)

6. 在用一个已加工面作为定位基准的工件上镗削



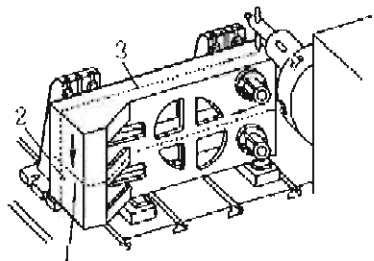
把已加工面靠紧角铁,并按划线在一个方向上校准

9. 在用一个已加工面及一个定位孔作为定位基准的工件上镗削



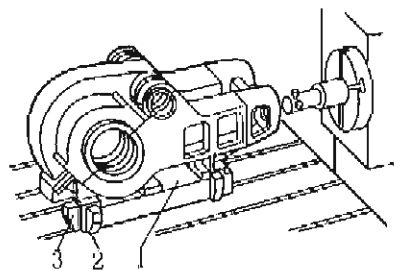
按划线 1 在一个方向上校准。如有定位销 2,则可不必校准

7. 在未经加工的工件上镗削



按三个划线 1~3 方向校准

10. 在用三个相互垂直已加工面作为定位基准的工件上镗削



把三个已加工面装在平板 1 上,并靠紧侧面定位器 2、端面定位器 3,不校准

表 1-49 镗床工作的测量方法及测量精度

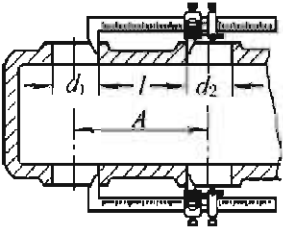
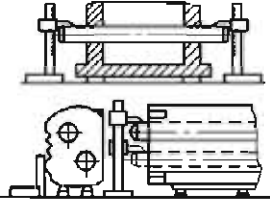
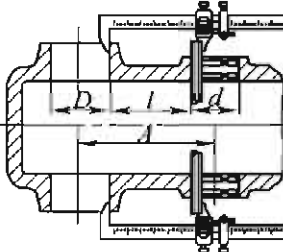
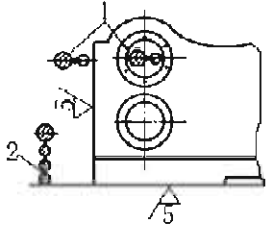
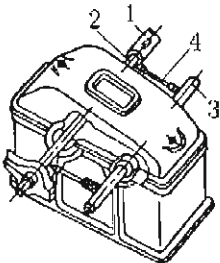
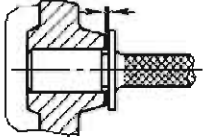
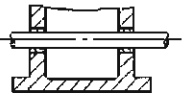
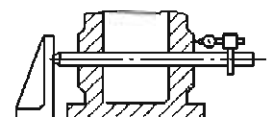
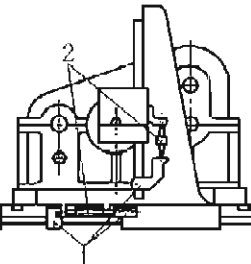
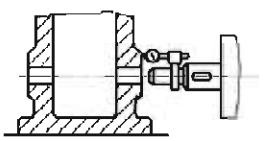
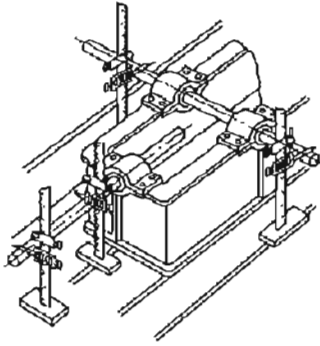
<p>1. 用游标卡尺测量孔间距离及平行度</p>  <p>当两端孔的位置在同一平面上时精度为 0.08 mm</p>	<p>6. 用游标划针盘或千分表测量基准面与孔的平行度</p>  <p>精度 0.06 mm</p>
<p>2. 用游标卡尺或内径规测量孔间距离及平行度</p>  <p>当两端孔的位置不在一个平面上时精度为 0.1 mm</p>	<p>7. 用装在镗杆上的千分表根据平面或检验直尺校准孔的轴线与孔的垂直度及水平方向平行度 1—镗杆；2—检验直尺</p>  <p>精度 0.04 mm</p>
<p>3. 用游标卡尺或内径规测量孔间距离及平行度 1—主轴；2—镗杆；3—检验轴；4—内径规</p>  <p>精度 0.06 mm</p>	<p>8. 用塞规及塞尺或塞规及涂色法测量孔与端面的垂直度</p>  <p>精度 0.04 mm</p>
<p>4. 测量两孔的同轴度</p>  <p>精度根据配合间隙范围</p>	<p>9. 用检验轴上装千分表,根据千分表的轴向位移测量孔与端面的垂直度</p>  <p>精度 0.04 mm</p>
<p>5. 用定位器及内径规测量孔间距离及平行度 1—定位器；2—内径规</p>  <p>精度 0.04 mm</p>	<p>10. 用装在镗杆上的千分表测量孔与端面的垂直度</p>  <p>精度 0.04 mm</p>

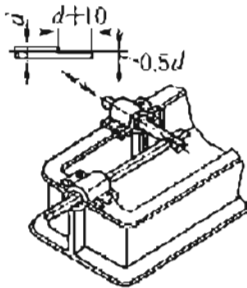
表 1-49 续

11. 用游标划针盘测量三个孔轴线的平面度



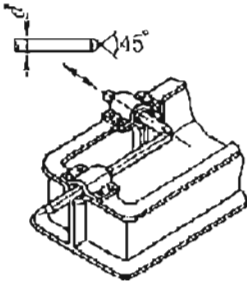
精度 0.06 mm

12. 用检验心轴及塞尺测量孔轴线的同一平面度



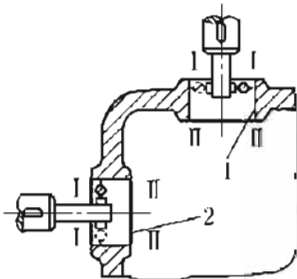
精度 0.04 mm

13. 用带有顶端 45° 的检验心轴测量孔轴线的平面度及垂直度



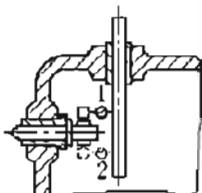
精度 0.1 mm

14. 用装在镗杆上的千分表及工作台旋转测量孔 1 及 2 的平面度



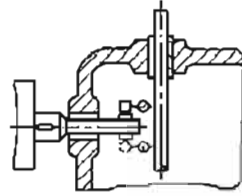
精度 0.06 mm

15. 用检验心轴及千分表测量两孔的垂直度



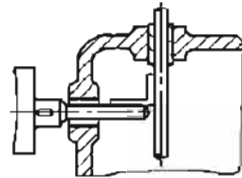
精度 0.04 mm

16. 用装在镗杆上的千分表及检验心轴测量两孔的垂直度



精度 0.06 mm

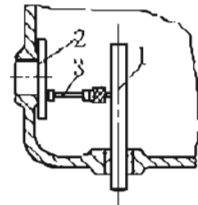
17. 用检验心轴及角尺测量两孔的垂直度



精度 0.08 mm

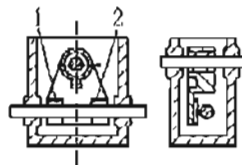
18. 用内径规检验直尺及检验心轴测量一个孔至另一个孔端面的距离

1—镗杆或心轴；2—检验直尺；3—内径规



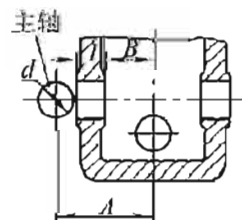
精度 0.06 mm

19. 用专用夹具及检验心轴测量两孔的垂直度(按夹具平面到心轴两点的间隙来求出垂直度误差)



精度 0.06 mm

20. 校准镗杆与孔轴线的平行度,工件旋转 90°校准两个孔与镗杆的平行度,然后根据镗床上的游标尺来量出孔轴线与孔端的距离

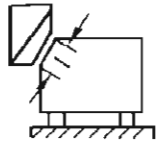


精度 0.1 mm

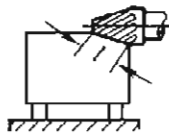
刨、铣床加工

表 1-50 刨、铣床加工示例

1. 用成形刀具加工斜面
当 $l < 100 \text{ mm}$ 时

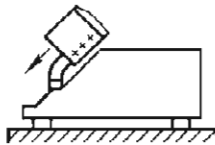


(a) 用装在垂直刀架上的成形刨刀加工



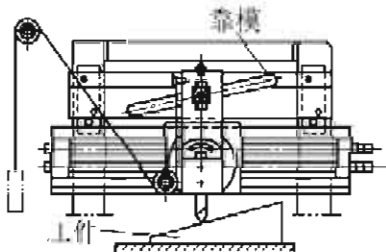
(b) 用装在侧刀架上的成形铣刀加工

2. 用刀架扳角度加工斜面

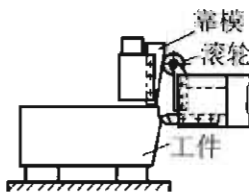


加工宽度(龙门刨床上加工)小于刀架行程,在龙门铣床上不超过 300 mm

3. 在龙门刨床上按靠模刨斜面

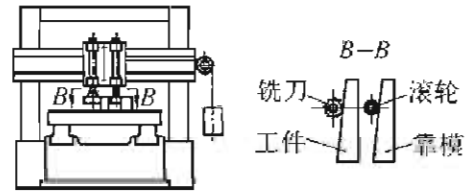


(a) 用垂直刀架

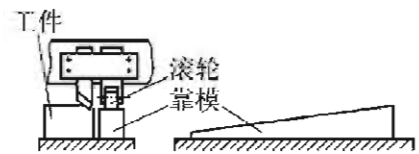


(b) 用侧刀架

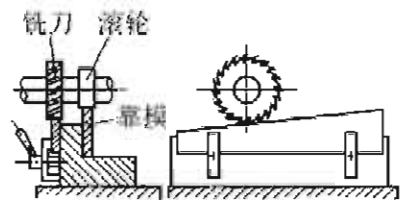
4. 根据靠模加工斜面



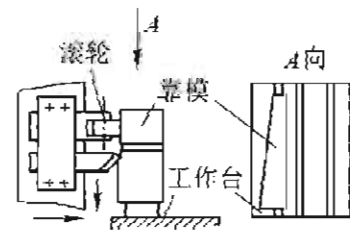
(a) 用龙门铣床上的垂直刀架



(b) 用龙门刨床上的垂直刀架



(c) 用龙门铣床上的侧刀架

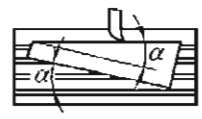


(d) 用龙门刨床上的侧刀架

5. 用工件装成斜度加工斜面

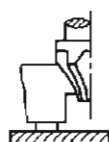


(a) 用垂直刀架

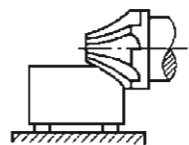


(b) 用侧刀架

6. 用成型刀具加工型面

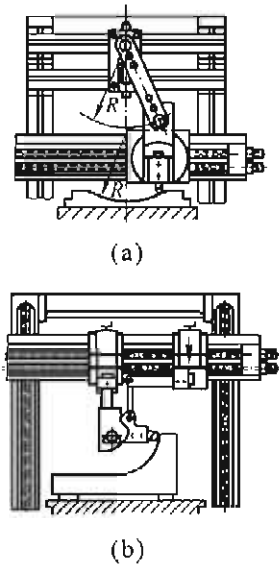


(a) 用垂直刀架



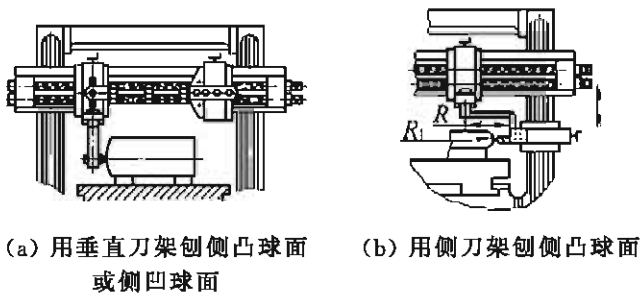
(b) 用侧刀架

7. 用杠杆夹具刨球面



(a)、(b) 均为用垂直刀架加工凹球面

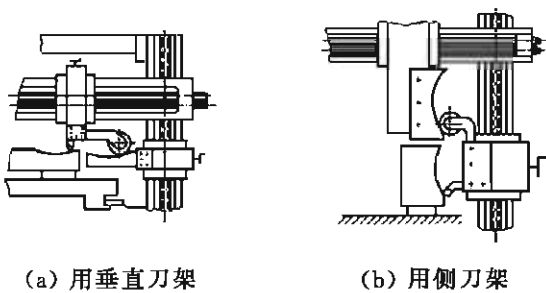
8. 用杠杆夹具刨球面



(a) 用垂直刀架刨侧凸球面或侧凹球面

(b) 用侧刀架刨侧凸球面

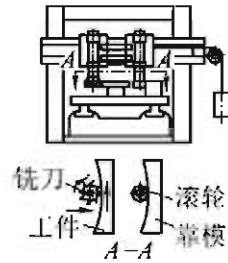
9. 按靠模刨成型面



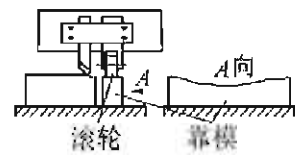
(a) 用垂直刀架

(b) 用侧刀架

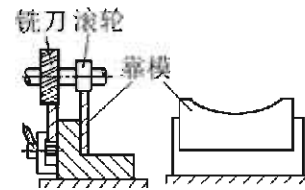
10. 按靠模加工成型面



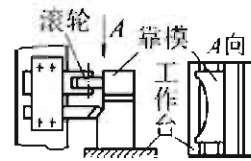
(a) 用龙门铣床上垂直刀架



(b) 用龙门刨床上垂直刀架

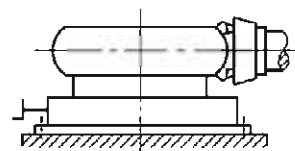


(c) 用龙门铣床上侧刀架



(d) 用龙门刨床上侧刀架

11. 用工件和铣刀旋转加工球面



工件在旋转工作台上旋转, 铣刀在侧刀架上旋转

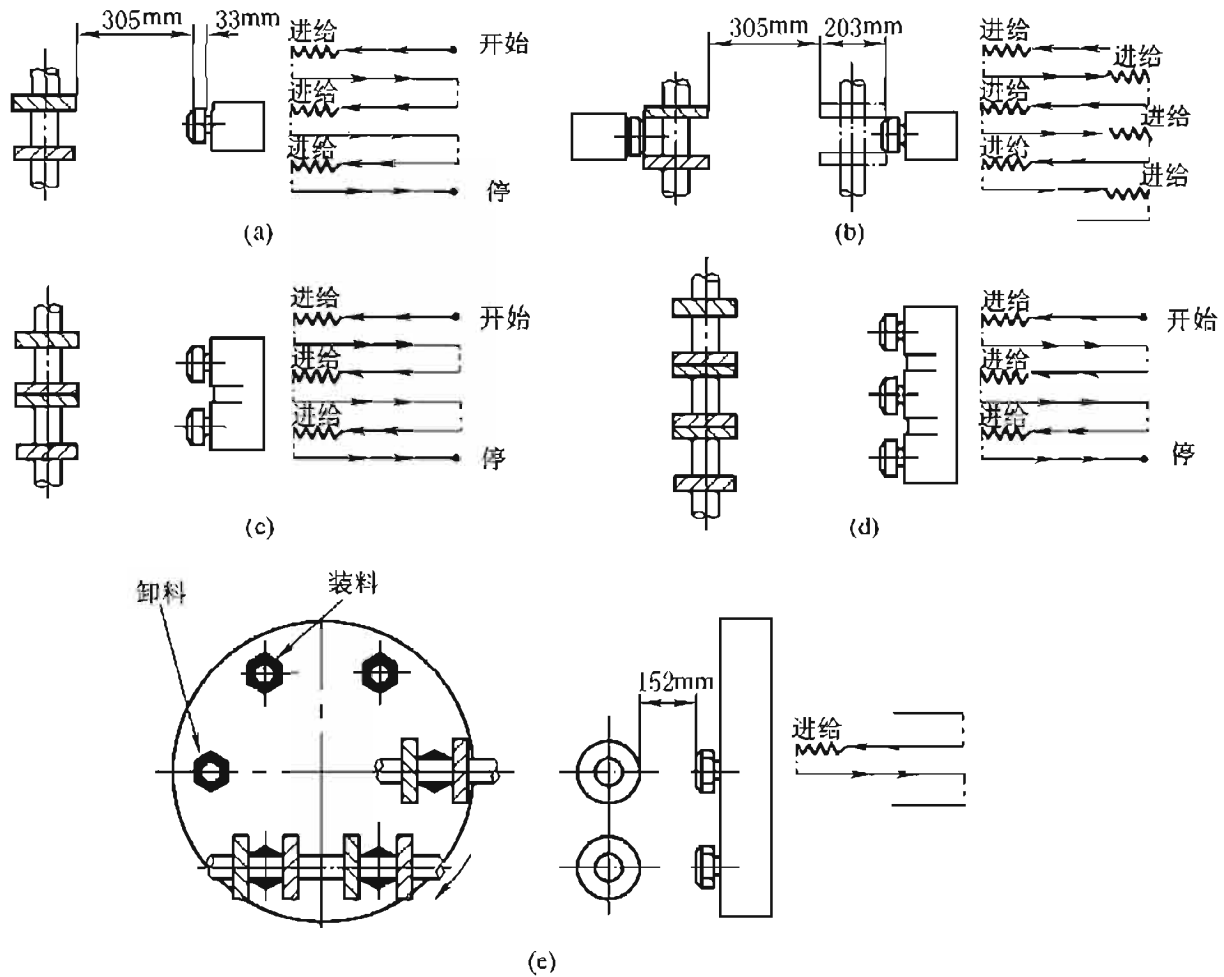


图 1-14 铣螺母六侧边的不同方法和工作循环图

(a) 单件加工, (b) 往复加工, (c) 二件并列加工, (d) 三件并列加工, (e) 转台加工

铣螺母六侧边可以单件加工,也可往复加工、二件并列加工、三件并列加工或六工位转台机床加工。各种不同的加工方法工作循环不同,见图 1-14,生产率也不同。单件加工工时最长,转台式加工工时最少,应根据不同生产要求,采用最适宜的加工方法。

外圆磨床加工

外圆磨如图 1-15 所示有多种方式,有往复式纵向磨(a),各种横进给磨,如(b)、(c)、(d)、(g)、(i),和斜向切入磨,如(e)、(h)。(h)为用成形砂轮同时磨多台阶的轴。(g)、(i)为用双砂轮同时磨削两个外圆。

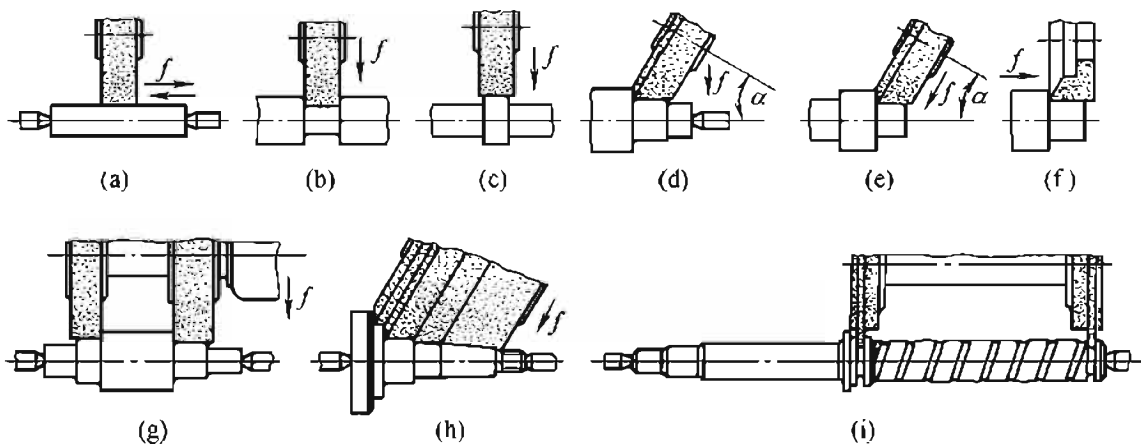


图 1-15 外圆磨床加工示例

螺 纹 加 工

丝锥与板牙组合加工

使用丝锥与板牙组合工具可同时加工内、外螺纹,但丝锥和板牙必须同轴、同一旋向。当内、外螺纹螺距是相同时,内螺纹加工用刚性丝锥(见图 1-16a),但为了消除不正确进给或行程延长引起的误差,须采用浮动板牙头(见图 1-16b),板牙头能向前或向后浮动。

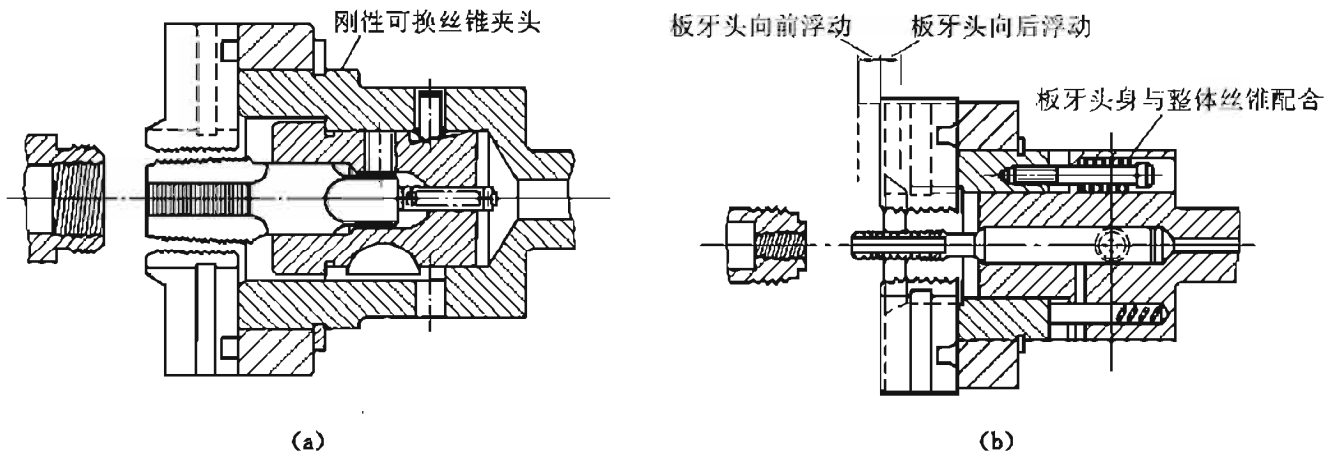


图 1-16 丝锥板牙组合工具

当外螺纹螺距大于内螺纹螺距可使用图 1-17 所示结构,允许丝锥和丝锥夹头浮动到板牙头后面,浮动量等于内、外螺纹的螺距差。

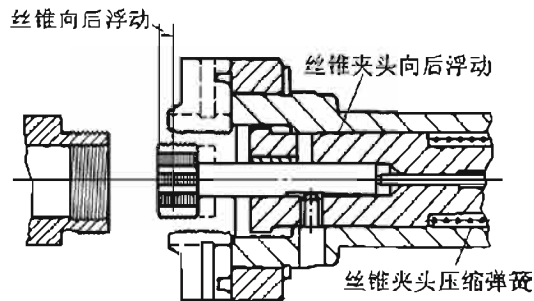


图 1-17 丝锥浮动式组合工具

螺 纹 铣

螺纹铣分四种型式:

1. 用螺纹铣刀铣削外螺纹,见图 1-18;
2. 用螺纹铣刀铣削内螺纹,见图 1-19;

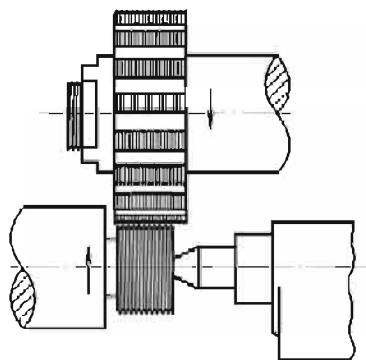


图 1-18 螺纹铣刀铣外螺纹

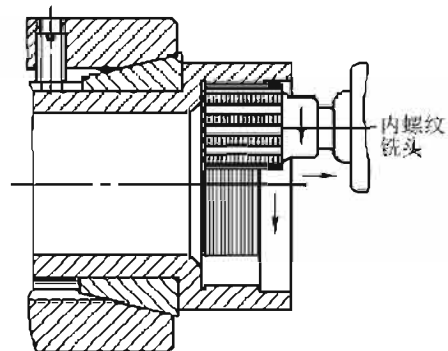


图 1-19 螺纹铣刀铣内螺纹

3. 用片铣刀铣削外螺纹, 见图 1-20;
4. 行星式螺纹铣, 见图 1-21、图 1-22。

图 1-21、图 1-22 中, (a) 为装料工位, (b) 为径向进给至要求深度, (c) 为沿工件作行星进给。工件不转, 铣刀作自转和行星式回转进给运动。适用于工件不宜回转的加工和同时铣削工件两端螺纹的加工。

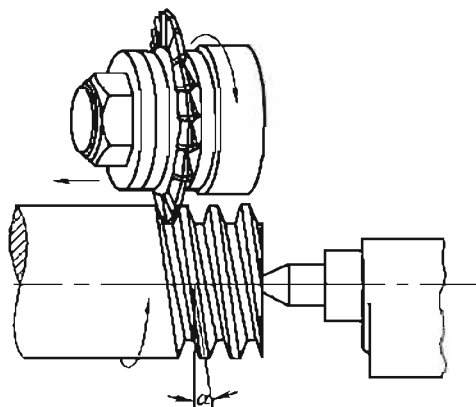


图 1-20 片铣刀铣外螺纹

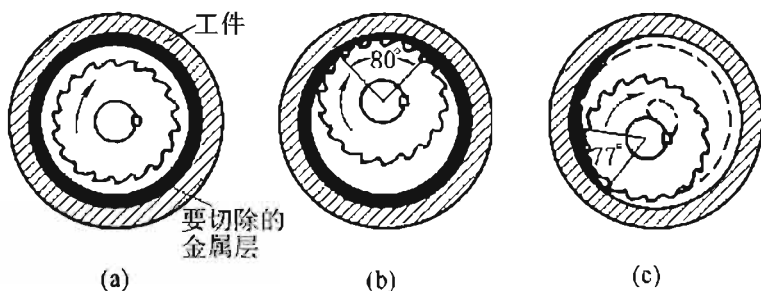


图 1-21 内螺纹工件的行星式螺纹铣

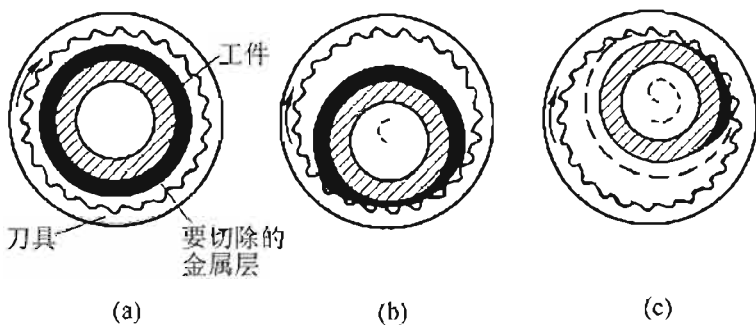


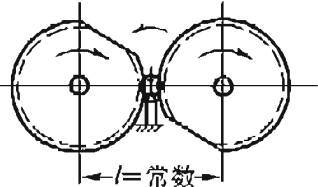
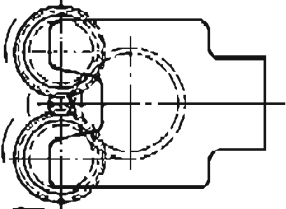
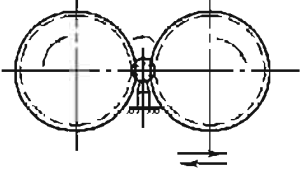
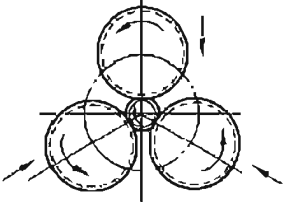
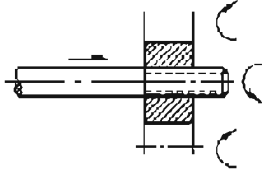
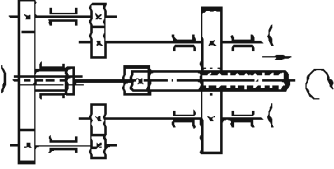
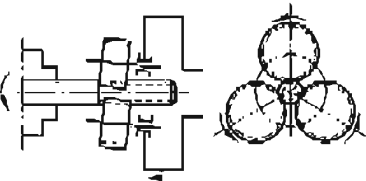
图 1-22 外螺纹工件的行星式螺纹铣

螺 纹 滚 压

表 1-51 螺 纹 滚 压 方 法 及 其 应 用

滚 轧 方 法	简 图	应 用 示 例
1. 用搓丝板滚压		滚压螺钉、螺柱、螺杆、木螺钉, 滚轧轴或杆上的直槽花纹或斜槽花纹。工件直径 2~25 mm。生产率在自动进料时为 60~120 件/min, 在手动进料时为 30~50 零件/min。工件平放或斜放
一、切向进给滚压法 2. 用弓形滚丝板滚压(单工位或多工位)		滚压螺钉、螺柱、螺杆, 直径 2~10 mm。在单工位机床或装置上工件放平, 生产率为 20~30 件/min, 在三或四工位的特殊机床上工件直放, 生产率为 40~100 件/min
3. 用环形滚丝轮及滚丝柱滚压(连续滚压)		滚压螺钉、螺柱、螺杆, 直径 3~10 mm。机床连续工作, 工件直放或平放, 生产率为 100~200 件/min

表 1-51 续

滚 轧 方 法	简 图	应 用 示 例
一、切向进给滚压法	4. 用成型双滚丝轮滚压	 <p>滚压螺钉、螺杆、丝锥及其他圆柱形或圆锥形的三角螺纹,工件平放,生产率 2~6 件/min</p>
	5. 双滚丝轮螺纹滚压头	 <p>在车床、六角车床、自动车床上滚压螺钉、螺杆以及其他带有螺纹的零件,直径 6~30 mm</p>
二、径向进给滚压法	1. 双滚丝轮滚压	 <p>滚压丝锥、螺纹量规、螺杆、螺钉、螺柱、蜗杆等。工件直径 0.3~120 mm,工件平放,生产率为 3~20 件/min</p>
	2. 三滚丝轮滚压	 <p>滚压螺钉、螺杆、空心的螺纹零件。工件平放,生产率为 10~40 件/min</p>
三、轴向进给滚压法	1. 双滚丝轮滚压	 <p>滚压具有三角及浅梯形螺纹的长螺杆,螺距 3~5 mm,工件平放</p>
	2. 具有强制转动机构的双滚丝轮	 <p>滚压深梯形螺纹的长螺杆,工件平放</p>
	3. 三滚丝轮螺纹滚压头	 <p>滚压长的三角螺纹零件,直径 3~25 mm。可装在车床、螺纹切割机、六角车床和自动车床上</p>

注:表内生产率的上限适用于小直径工件;下限适用于大直径工件。

使用液压方法可加工的螺纹直径为 0.3~150 mm,工件钢料的硬度为 120~340HB, $\sigma_b < 1.0 \sim 1.2$ GPa,也可加工有色金属和合金制成的工件。

用液压方法可获得的螺纹精度和表面粗糙度见表 1-52。液压螺纹工件毛坯直径的计算见表 1-53。

表 1-52 用液压方法可获得的螺纹精度与表面粗糙度

用搓丝板	用双滚丝轮液压			用弓形滚丝板和环形滚丝轮	连续滚压
	使用手动进给的机	使用机动进给的机	使用液压进给的机		
精 度					
6 级和 7 级	7 级	6 级	5 级及以上	6 级	7 级
表 面 粗 糙 度 $R_a[\mu\text{m}]$					
2.5~1.25	2.5~0.63	0.63	0.63~0.32	2.5~0.63	2.5~0.63

表 1-53 液压螺纹工件的毛坯直径

滚压螺纹	毛坯直径公式	式 注
一般三角螺纹	$d_{\text{毛坯}} = \sqrt{\frac{d^2 + d_1^2}{2}}$ 或 $d_{\text{毛坯}} = d_{2\text{max}} - e$	d —液压螺纹的外径[mm]; d_1 —液压螺纹的内径[mm]; $d_{2\text{max}}$ —液压螺纹的最大中径[mm]; e —0.01 mm(热处理钢)或 0.05 mm(退火钢);
需镀覆金属的一般三角螺纹	$d_{\text{毛坯}} = \sqrt{\frac{d^2 + d_1^2}{2}} - 2 \frac{b}{\sin \frac{\alpha}{2}}$	$\frac{\alpha}{2}$ —牙形半角[°]; b —镀层厚度,镀铬层取 0.025 mm,镀锌层取 0.013 mm

毛坯直径的公差在 5~7 级精度的螺纹采用相应螺纹中径公差的 0.65~0.85 倍,对精密螺纹(丝锥、微动调节螺杆、量规等)采用相应螺纹中径公差的 0.5~0.75 倍。

螺纹滚压工具

搓丝板 国家标准见 GB/T 972—1994。搓丝板的外形见图 1-23。

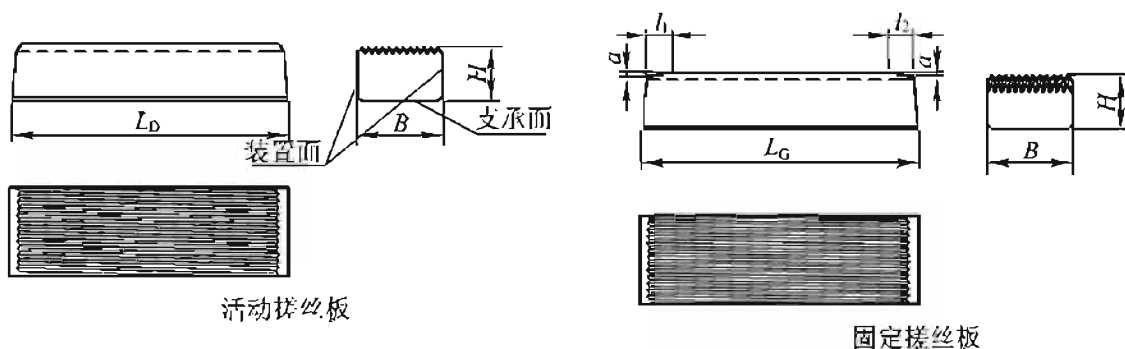


图 1-23 滚轧螺纹的搓丝板

活动搓丝板的总长度 L_D 和固定搓丝板的总长度 L_G 决定于机床上的装置尺寸。其最小长度可根据被加工螺纹的中径 d_2 来计算:

$$L_D = (18 \sim 22)d_2, \quad L_G = (16 \sim 20)d_2$$

固定搓丝板的切削部分长度 l_1 、退出部分长度 l_2 和切削深度 a 由被滚压螺纹的中径 d_2 和被滚压螺纹的螺距 P 来决定,可参考下式:

$$l_1 = 1.1\pi d_2; \quad l_2 = l_1; \quad a = 1.2P$$

搓丝板的宽度 B 按被加工螺纹的长度及机床上的装置尺寸来决定。

搓丝板的厚度 H 可按被加工螺纹的大径 d_1 来决定:

$$H = (4 \sim 7)d_1 \quad (\text{适用于 } M3.5 \sim 6 \text{ 的螺纹})$$

$$H = (2 \sim 3)d_1 \quad (\text{适用于 } M14 \sim 24 \text{ 的螺纹})$$

滚丝轮 国家标准见 GB/T 971—1994。滚丝轮的直径尺寸是根据被滚压的螺纹直径和机床装置的可能性来选用的。

滚丝轮中径 D_2 在切向进给或径向进给滚压短螺纹时,

$$D_2 = d_2 K$$

在轴向进给滚压长螺纹时,

$$D_2 = d_2 K + \Delta D$$

式中 K ——滚丝轮上螺纹的头数,由被滚压螺纹的头数 i 和机床上可能装置的滚丝轮中径 D_2 决定;

ΔD ——滚丝轮中径对计算中径的增大或减少值 ($\Delta D = \Delta P \frac{K d_2}{P}$);

ΔP ——工件每转的轴向移动。

滚丝轮的宽度 B 按被滚压螺纹的长度 l_0 和螺距 P 来决定:

$$B = l_0 + (2 \sim 3)P$$

用轴向进给滚压长螺纹时,滚丝轮宽度可等于直径的 $1/4$ 。用滚丝轮滚压钢零件时,速度约 $40 \sim 80 \text{ m/min}$ 。

滚压工具螺纹形状的要害及公差 如表 1-54、表 1-55 所示。

表 1-54 滚压工具螺纹形状的要害

要素尺寸	公式	图形
工具螺纹牙顶高度	$h_1 = \frac{d_{2\max} - d_1}{2} + \delta_1 + \delta_2$	
工具螺纹牙根高度	$h_2 = \frac{d_{2\max} - d_{2\min}}{2} + c + \delta_3$	
螺纹牙底宽度	$a_1 = \frac{P}{2} - 2h_2 \tan \alpha$	
螺纹牙顶宽度	$a_2 = \frac{P}{2} - 2h_1 \tan \alpha$	

表 1-55 滚压工具的螺纹形状公差

名称	代号	被滚压螺纹的牙距 [mm]										
		0.4	0.5	0.7	0.8	1.0	1.25	1.50	1.75	2.00	2.5	3.0
螺纹牙顶磨损公差 [μm]	δ_1	20	25	25	30	40	50	60	70	70	75	80
螺纹牙顶制造公差 [μm]	δ_2	10	15	20	20	20	20	25	30	35	40	40
保证间隙 [μm]	c	10	10	15	15	20	25	30	40	50	55	60
工件外径磨削余量 [μm]	δ_3	15	20	20	25	25	25	25	30	30	35	40
螺纹牙距每 25 mm 的公差 (\pm) [μm]	ΔP	8	10	15	15	20	20	20	20	20	20	20
牙侧角公差 (\pm) [$'$]	$\Delta \alpha$	45	35	30	25	20	15	15	12	12	12	10

滚轧工具的制造材料 建议采用 Cr12V1、Cr12Mo、Cr12MoV、9SiCr、CrWMn、GCr15。经淬火后的工具应具有 58~62HRC 的硬度。

1. 工具的寿命 在滚压低碳素钢工件时,每副工具可轧 50 000~100 000 件;滚压合金工具钢及高碳素钢工件时,达 15 000~20 000 件。滚压螺纹的基本(工艺)时间见表 1-56。

2. 车床滚压螺纹工具 用滚丝轮滚压螺纹可以在专用机床上进行,也可利用车床装上专用工具——螺纹滚轧头进行。螺纹滚压头见本手册表 1-51。

表 1-56 滚压螺纹的基本(工艺)时间

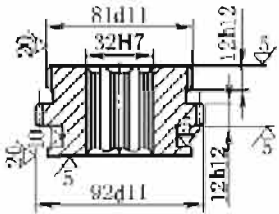
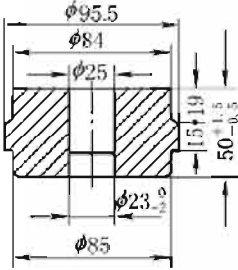
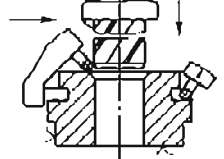
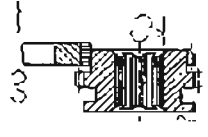
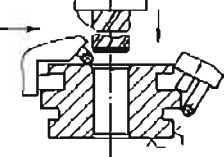
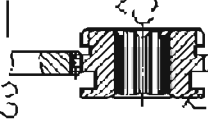
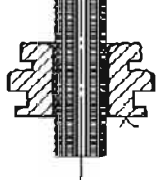
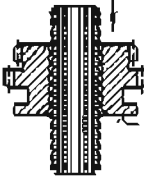
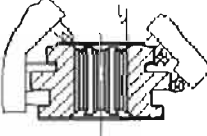
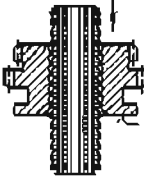
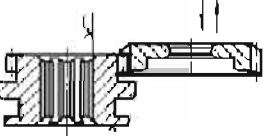
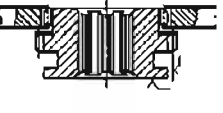
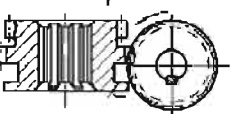
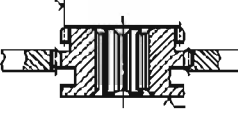
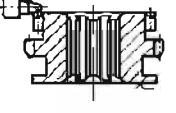

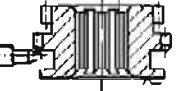

螺纹直径 d [mm]	螺距 P [mm]	工 件 材 料			
		未 淬 火 钢		淬 火 钢 28~36HRC	
		精 度 等 级			
		4、5 级	6、7 级	4、5 级	6、7 级
		基本(工艺)时间 T_0 [min]			
5	0.5	0.015	0.014	0.017	0.016
	0.8	0.017	0.016	0.018	0.017
6	0.75	0.020	0.019	0.021	0.018
	1.0	0.020	0.019	0.022	0.021
8	1.0	0.026	0.025	0.029	0.027
	1.25	0.027	0.026	0.030	0.028
10	1.0	0.032	0.030	0.035	0.033
	1.5	0.034	0.032	0.037	0.035
12	1.25	0.038	0.036	0.042	0.040
	1.75	0.040	0.038	0.044	0.042
14	1.5	0.046	0.043	0.050	0.048
	2.0	0.048	0.046	0.053	0.051
16	1.5	0.051	0.049	0.057	0.054
	2.0	0.054	0.051	0.059	0.056
20	1.5	0.064	0.061	0.071	0.067
	2.5	0.069	0.065	0.075	0.072
24	1.5	0.074	0.071	0.082	0.078
	2.5	0.080	0.076	0.088	0.084

注: 1. 薄壁零件滚丝时基本(工艺)时间 T_0 应乘上系数 $K_T = 1.6 \sim 2$ 。
 2. 黄铜及铝件滚丝时基本(工艺)时间 T_0 应按未淬火钢乘上系数 $K_T = 1.2 \sim 1.3$ 。
 3. 滚锥形螺纹时基本(工艺)时间 T_0 应乘上系数 $K_T = 2$ 。

齿 轮 加 工

圆柱齿轮加工

表 1-57 齿轮加工示例

双联齿轮 40Cr $m = 2.25$ 6 级精度		毛坯图 	
1. 加工孔和外圆		10. 剃齿	
2. 加工孔和另一面外圆		11. 剃齿	
3. 拉花键孔		12. 清洗 13. 检验 14. 热处理	
4. 精车外圆		15. 校正花键	
5. 插齿		16. 滚压齿	
6. 滚齿		17. 滚压齿	
7. 齿端倒角		18. 磨内孔	
8. 齿端倒角		19. 清洗	
9. 去毛刺		20. 最后检验	

齿轮冷滚压

齿轮齿形的冷滚压加工比一般的切削加工具有很多优点:生产率高,为切削加工的14~19倍;节约金属材料,一般可达9%~15%;工具费用低;加工出的齿轮精度可达6~8级;表面粗糙度可达 R_a 0.63~0.32 μm ;齿侧表面硬度高,黄铜齿轮的齿侧表面硬度比原始的增加20%~25%,硬铝齿轮的齿侧则增加15%~20%;耐磨性大大提高。

但目前这种加工方法仅限于加工模数 $m=1$ 以下的小齿轮(用热滚压方法可加工到 $m=10$ 的齿轮),因此仅在精密机器及仪表制造工业中得到应用。

加工方法 一般的齿形冷滚压方法如图1-24所示。图a为切向进给滚压法,这是用两个齿条作为工具进行滚压。这种加工方法由于工具制造比较复杂,因此较少应用。图b为径向进给滚压法,这是用两个齿辊作为滚压工具进行滚压,一般用来加工宽度不大的单个齿轮。图c为轴向进给滚压法,这是用两或三个带有楔进部分的齿辊作为滚压工具进行滚压,一般用来加工很宽的齿轮或将薄齿轮叠成一厚叠的棒形件。

图1-24b是用两个齿辊进行径向滚压的示例。在这种设备上用两对齿辊依次进行滚压,先用齿辊2和9进行初轧,然后用校准齿辊4和10进行精压。工件3装在心轴5与带动器6的定位销上,心轴5与带动器6则固定在定心夹具的支架12上。工件上的齿形的分度是借助于分度齿轮,即主动齿轮1与8及从动齿轮7来强制实现的。主动齿轮固定地装在齿辊的主轴上,而从动齿轮和带动器6装在同一轴上,并用销子连在一起。

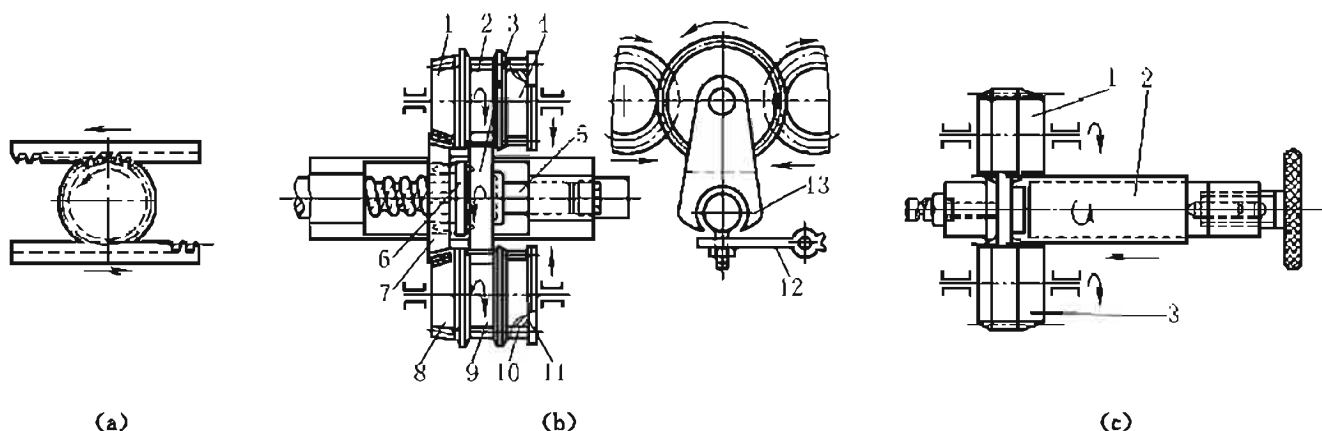


图 1-24 齿轮齿形的冷滚轧方法

- (a) 用两个齿条进行切向进给滚压;
 (b) 用两个齿辊进行径向进给滚压; 1、8—主动齿轮; 2、9—初压齿辊; 3—工件; 4、10—校准齿辊; 5—心轴; 6—带动器; 7—从动齿轮; 11—限制盘; 12—定心夹具的支架; 13—基座;
 (c) 用两个带有楔进部分的齿辊进行轴向进给滚压; 1、3—齿辊; 2—工件

主动齿轮的齿数和齿辊的齿数相等,而从动齿轮的齿数则和被滚压的齿轮齿数相等。

上述方法适宜于滚压直径60~80 mm的齿轮。滚压直径6~80 mm、长度20~30 mm(或在心轴上将薄片工件叠在一起)的齿轮,则宜用如图1-24c上所示的带有楔进部分的齿辊进行轴向进给的滚压。

递增行星滚压法是一种冷压成型法,由一对或几对对置的行星滚轮同时滚压圆柱体毛坯(见图1-25)。毛坯沿着轴线不断向前到槽的长度为止。槽逐步地被滚压到最后深度(见图1-26)。滚轮具有被压齿轮相反的形状,所以每一种轮廓都必须有一套相应的滚轮。

递增行星滚压不同于其他型式滚压有以下几点:

- (1) 成型时毛坯不转动;
- (2) 滚轮轴线与槽垂直;
- (3) 滚轮形状是成型的,不是展成;
- (4) 适于滚压低压力角。

滚压工具 滚压小模数齿轮的工具是齿辊。被滚压齿轮齿形决定于齿辊的齿形。齿辊的齿顶形成被滚压齿轮的齿根,而齿辊的齿根则形成被滚压齿轮的齿顶。因此,齿辊的齿顶高应做成 $1.2m$,齿根高做成 $1m$ 。

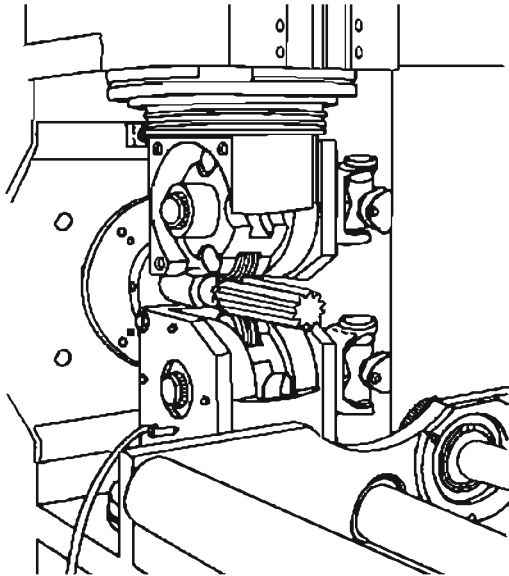


图 1-25 递增行星滚压齿轮的机床

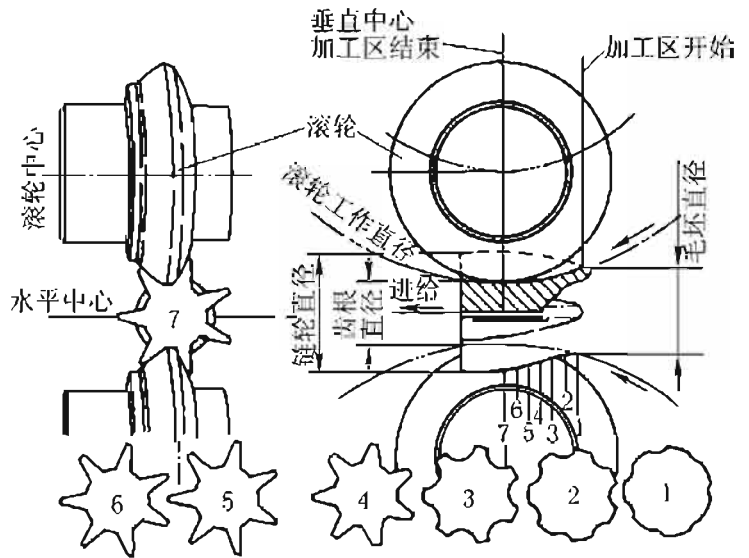


图 1-26 槽逐步地滚压到最后深度

齿辊的外圆直径 D_a 按下列公式计算：

$$D_a = m(z + 2.4) \quad [\text{mm}]$$

式中 m ——模数[mm]；
 z ——齿辊的齿数。

不带楔进部分的初步加工、粗加工和精加工(校准)用的齿辊齿形见图 1-27a。

带有楔进部分齿辊的齿形,沿着齿长有三个主要部分(图 1-27b)：

- (1) 楔进部分长 l_1 ；
- (2) 校准部分长 l_2 ；
- (3) 退出部分长 l_3 。

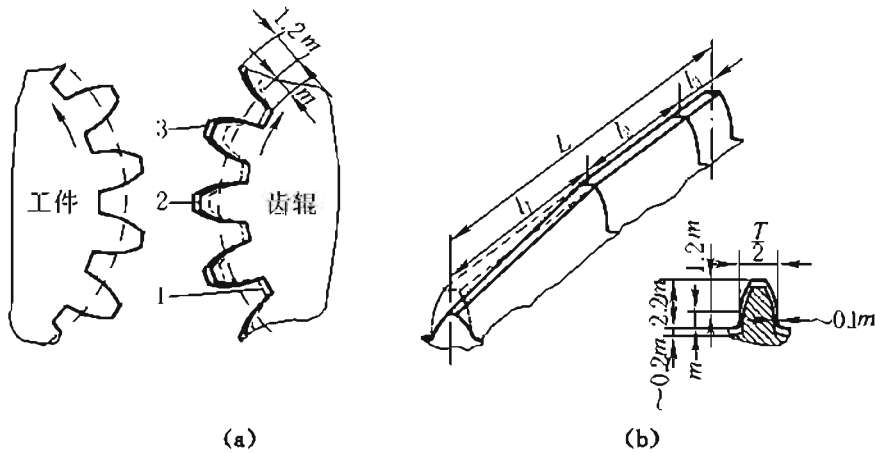


图 1-27 齿辊齿形

(a) 初步加工用和校准用的齿辊齿形，(b) 带有楔进部分的齿辊齿形
1—初步加工齿辊，2—粗加工齿辊，3—精加工齿辊

齿辊楔进部分的最大直径等于齿辊校准部分的外径,也就是齿辊的外圆直径 $D_a = m(z + 2.4)$ ；而楔进部分的最小直径为 $D_{a1} = m(z + 1)$ 。

楔进部分的作用是使齿辊的齿逐渐压入工件,便于齿辊作轴向移动。校准部分的作用是最后形成被加工齿轮的齿形,并保证齿形的精度与表面粗糙度,因此这部分的制造在几何形状及表面粗糙度方面都应特别注意。退出部分的作用是防止在已轧好的齿表面上被齿辊后端面擦伤而形成细痕。

滚压速度(圆周速度)当滚压直径为 6~80 mm 的小模数齿轮时,圆周速度一般在 3~30 m/min 之间。

第 二 章

光 整 加 工

光 整 磨 削

使工件表面获得 $R_a 0.16 \mu\text{m}$ 以上表面粗糙度的磨削工艺,通称为光整磨削。其中获得 $R_a 0.16 \sim R_a 0.08 \mu\text{m}$ 的,叫做精密磨削;获得 $R_a 0.04 \sim R_a 0.02 \mu\text{m}$ (即 $R_a 0.2 \sim R_a 0.1 \mu\text{m}$) 的叫做超精磨削;获得 $R_a 0.01 \mu\text{m}$ 或更小的叫做镜面磨削。

光整磨削与研磨或超精加工相比,优点如下:

- (1) 可以获得超精加工和研磨不易达到的 $R_a 0.02 \sim R_a 0.01 \mu\text{m}$ 的表面粗糙度。
- (2) 可以获得高的尺寸精度和高的几何精度,一般圆度小于 $0.5 \mu\text{m}$,圆柱度小于 $0.001/300 \text{ mm}$;同轴度小于 $1 \mu\text{m}$,平面度小于 $0.003/1000 \text{ mm}$,这也是研磨和超精加工难以达到的。
- (3) 与研磨和超精加工相比,生产效率较高,尤其是在磨床上装有自动控制尺寸的仪器时,就更加显示出这一优点。
- (4) 加工范围较广,如内、外圆柱面(包括不通孔),内、外圆锥面,端面,以及简单的成形面(如鼓形轧辊、轴承圈凹滚道)等都可以采用精密磨削、超精磨削甚至镜面磨削。对于端面和凹滚道的镜面磨削比较困难。

目前,精密磨削和超精磨削可以应用于关键轴套类零件的加工,如精密机床的主轴、各种精密轧辊、轴承套圈、液压滑阀、塞规、环规、量棒以及其他零件。不仅对 GCr15、65Mn、40Cr、45、38CrMoAlA、CrWMn、T8、T10 等材料的工件能采用精密磨削、超精磨削,甚至镜面磨削,而且对不锈钢、高磷铸铁和激冷铸铁等材料的工件也能采用精密磨削或超精磨削。

光整表面的形成:

先用 60 号粒度或更细磨粒的砂轮,经过精细修整后,使砂轮表面磨粒的切削刃获得较好的等高性和微刃性。磨削过程中在工件表面上只切下细微的切屑,同时在适当的磨削压力下,借助半钝态微刃与被加工零件表面间产生适当的摩擦抛光作用,产生 $R_a 0.04 \mu\text{m}$ 的光整表面。再用 W14~W5 微粉磨料加树脂结合剂并加有石墨填料的砂轮经过精细修整后,在适当的磨削压力下,经过一定时间的摩擦抛光作用从而形成更光滑的表面 ($R_a 0.01 \mu\text{m}$)。

光整磨削对机床的要求

工作台低速平稳性 要求工作台速度在 $\leq 10 \text{ mm/min}$ 时无爬行现象,往复速度差应不超过 10%。为此可采取如下措施:

1. 改变工作台油槽结构,如图 2-1 所示。油槽两端各开一条宽为 0.5 mm 的小槽,使槽与大气相通,这样一方面可以排除油槽内的空气,另一方面当油压过高或油量过多时,可以从此槽泄漏。同时增加卸荷装置,在导轨润滑压力油通路中增加一个换向阀,使高压供油通过换向阀卸荷后变成低压供油,以防止工作台漂浮,见图 2-2。同时,在油路上增加一个三角槽节流阀或螺旋节流阀,以提高背压和增大调速范围。

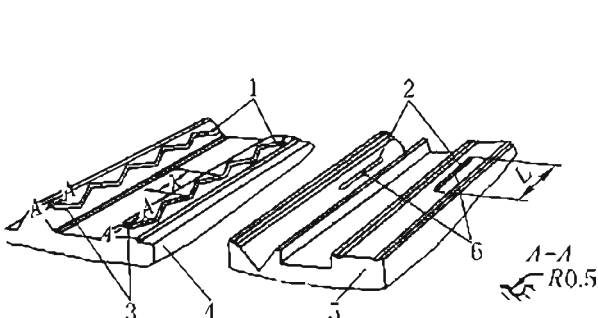


图 2-1 工作台油槽结构

- 1、2—油槽；3—放气槽；
4—工作台；5—床身；6—油孔

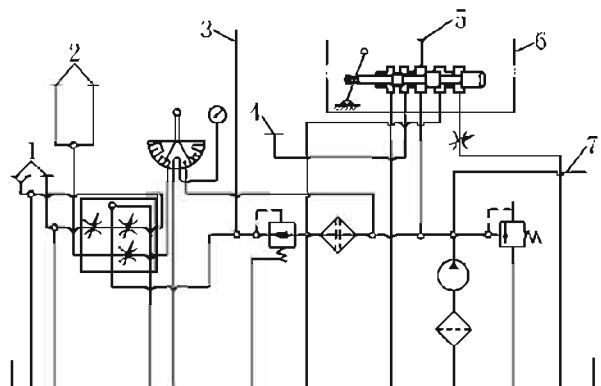


图 2-2 润滑系统图

- 1—导轨；2—润滑点；3—操纵箱进油；
4—手摇机构；5—换向阀；6—操纵箱；7—往进给操纵箱

2. 油压筒上增加放气阀,以迅速排除油压筒内空气,见图 2-3。

3. 检查调整油压筒拉杆与导轨平行度使其小于 0.15 mm,活塞杆弯曲度在全长上应小于 0.15 mm。油压筒与活塞的间隙应在 0.05 mm 范围内。在不漏油的情况下,尽量放松密封圈,以便减小密封圈与活塞杆的摩擦力。

4. 刮研工作台导轨面使其与床身导轨面接触良好,接触斑点 12~16 点/(25 mm×25 mm),精刮应在砂轮架、操纵箱、罩壳等都装在床身上后进行。

砂轮主轴轴承 砂轮主轴旋转精度应小于 $1\ \mu\text{m}$,滑动轴承的间隙应在 0.01~0.015 mm 以内,内圆磨具应选用 C、B 级精度的轴承,预加负荷 100~150 N,或选用静压内圆磨具,要求旋转精度在 150 mm 长度内径向全跳动小于 0.005 mm。三块瓦轴承的修复方法可以先精刮轴瓦,同时对主轴进行超精磨削,然后用主轴本身作研具加 W1 (3000[#]) 纯净氧化铬进行对研,直至轴瓦表面的刮点消失为止。清洗后将轴承间隙调整至 0.01~0.015 mm。

横进给机构 要求灵敏度和重复精度高,误差小于 $2\ \mu\text{m}$ 。

分度值不得大于 $5\ \mu\text{m}$ 。可以通过修刮导轨和选配滚柱来满足要求。

机床减振 要求砂轮架相对工作台振动的振幅小于 $1\ \mu\text{m}$ 。减少振动的措施:

1. 修刮砂轮架导轨,接触斑点达 12~16 点/(25 mm×25 mm)。滚柱的尺寸误差和形状误差在 $2\ \mu\text{m}$ 以内。
2. 动力源移在机床外,最好选用螺杆泵。
3. 电动机经过动平衡,要求绝对振动振幅小于 $1\sim 2\ \mu\text{m}$,并加隔振装置。
4. 三角传动带应长短一致或减少传动带根数,平形带应薄而厚度均匀。
5. 机床安装在离振源(如冲床、刨床、锻压机)较远的地方,最好有隔振地基。

切削液过滤 切削液应有良好的过滤,以防止工件表面划伤,一般可选用纸质过滤器。

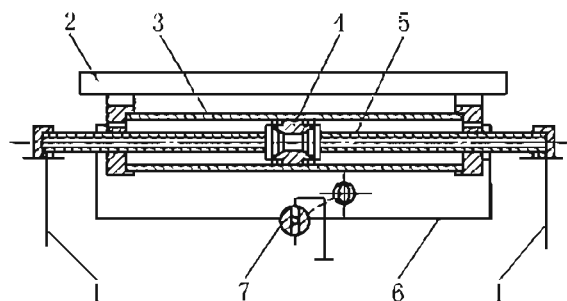


图 2-3 工作台液压装置

1—油管, 2—工作台, 3—油压筒,
4—活塞, 5—活塞杆, 6—放气管, 7—放气阀

光整磨削磨轮

磨料的选择 不同材料有不同的要求。

1. 钢类零件的精密磨削和超精磨削,采用刚玉磨轮比碳化硅磨轮好,能获得较小的工件表面粗糙度。因为碳化硅质脆,易崩碎,且颗粒长短轴之比值较刚玉大得多,呈片针状。故在修整时磨粒难以形成等高性好的微刃,再因为钢料一般具有较高的强度和硬度,在磨削时,也容易破坏碳化硅磨粒的微刃。所以碳化硅磨料不宜用于小的表面粗糙度磨削。

2. 铸铁零件的小的表面粗糙度磨削,与普通磨削的规律不同,应采用刚玉磨料。这是因为铸铁的组织可看成是由钢的基体和石墨夹杂物共同构成。这种组织在磨削时,对于质脆的碳化硅磨粒的微刃更容易产生细微碎裂,因此,工件磨削表面不能获得较小的表面粗糙度。

3. 铜合金和铝合金的零件,在小的表面粗糙度磨削时,可采用刚玉或碳化硅磨料的磨轮。

4. 在几种刚玉中,单晶刚玉磨料效果最好。这是因为单晶刚玉磨料是由单一的接近等轴形晶所组成,其长短轴之比为 1.43/1,且颗粒不含有杂质,有较高的机械强度。因此单晶刚玉磨轮,经修整能形成较好的微刃,而且微刃保持性也较好,所以用单晶刚玉磨轮磨削时工件能获得较小的表面粗糙度。

5. 在几种刚玉中,微晶刚玉是最差的一种。这是因为它是由微小的晶体结合而成。在修整力和磨削的作用下,磨轮的磨粒易沿晶体的晶格面碎裂,因此微晶刚玉的磨削表面粗糙度较其他刚玉差。

粒度的选择 用 F46 粒度或更细的磨粒才能获得 $R_a\ 0.04\ \mu\text{m}$ 左右的工件表面粗糙度。但为了使工件磨削表面获得稳定的质量和磨轮有较高的耐用度,采用 F240~F320 粒度更合适。这是由于:

1. 粗磨粒磨轮的表面磨粒与磨粒之间的黏接强度较低,经过精细修整后,磨轮表面有似脱未脱的半活性磨粒,在磨削力和磨削热的作用下,这些磨粒容易脱落,从而造成工件磨削表面划伤和拉毛。

2. 粗磨粒磨轮的表面磨粒数和微刃数比细磨粒磨轮少,因此同样切除相同金属体积时,磨粒粗的微刃负荷大,耐用度低,容易使工件磨削表面出现烧伤和螺旋纹的缺陷。

镜面磨削的磨轮宜采用 F800 或更细的磨粒。

硬度的选择 精密磨削和超精磨削,如采用陶瓷结合剂的磨轮,则工件磨削表面粗糙度随着磨轮硬度的提高而减小。磨轮以选用硬度 K、L 为宜。硬度太低,磨削时磨粒易脱落,而引起工件表面划伤,而且由于切削性能好,使摩擦抛光作用不易发挥,工件表面粗糙度较大。硬度太硬易引起工件表面烧伤。

镜面磨削的磨轮硬度以超软级为好,以利于发挥摩擦抛光作用。

结合剂的选择 精密磨削和超精磨削的磨轮可以用陶瓷结合剂(V)。但是为了获得稳定的工件表面质量(如不出现烧伤),采用树脂结合剂(B)较好,因为它具有一定的弹性,能保证工件表面的质量。镜面磨削的磨轮结合剂以树脂为好。

组织的选择 光整磨削要求磨轮有均匀而又较紧密的组织。组织松散的磨轮自锐性良好,但容易使工件的表面划伤。此外,组织松散的磨轮与组织紧密的磨轮相比,其表面磨粒数和微刃数少,在切除相同金属的情况下,其表面的磨粒负荷大,因此磨轮容易钝。

外圆磨削磨轮的选择见表 2-1。

表 2-1 外圆磨削磨轮选择

工件材料	表面粗糙度 $R_a[\mu\text{m}]$	磨 轮																
		磨 料					粒 度					硬 度				结合剂		填料
		A	WA	PA	GC	GC/WA	F46, F60	F80	F240	F360	F600~F800	E, F	K, L	M, N	V	B	R	石墨
GCr15 (淬火 60HRC)	0.16~0.08	●	●	●	●		●						●	●	●			
	0.04	●	●	●			●	●					●	●	●			
	0.02	●	●	●		○	●	●	●		○	○	●	●	○	○		○
	0.01					○					○	○			○			○
T8A (淬火 60HRC)	0.16~0.08	●	●	●	●		●						●	●	●			
	0.04	●	●	●	●		●	●					●	●	●			
	0.02	●	●	●	●	○	●	●	●		○	○	●	●	●	○	○	○
	0.01					○					○	○			○			○
65Mn (淬火 60HRC)	0.16~0.08	●	●	●	●		●						●	●	●			
	0.04	●	●	●			●	●					●	●	●			
	0.02	●	●	●		○	●	●	●		○	○	●	●	●	○		○
	0.01			●					○				●		●			
CrWMn (淬火 60HRC)	0.16~0.08	●	●	●	●		●						●	●	●			
	0.04	●	●	●	●		●	●					●	●	●			
	0.02	●	●	●		○	●	●			○	○	●	●	●	○		○
	0.01					○					○	○			○			○
38CrMoAl (淬火 70HRC)	0.16~0.08	●	●	●	●		●						●	●	●			
	0.04	●	●	●			●	●					●	●	●			
	0.02					○					○	○				○		○
	0.01					○					○	○			○			○
40Cr (淬火 50HRC)	0.16~0.08	●	●	●	●		●						●	●	●			
	0.04	●	●	●			●	●					●	●	●			
	0.02	●	●	●		○	●	●	●		○	○	●	●	●	○		○
	0.01																	
ZG45 (淬火 50HRC)	0.16~0.08	●	●	●	●		●						●	●	●			
	0.04	●	●	●			●	●					●	●	●			
	0.02					○					○	○				○		○
	0.01																	
不锈钢	0.16~0.08	●	●	●	●		●	●					●		●			
	0.04					○					○	○				○		○
	0.02					○					○	○			○			○
	0.01																	

注: ●表示粗磨轮;○表示细磨轮。

光整磨削工艺参数

工艺参数的改变直接影响加工精度和加工表面粗糙度,参见表 2-2~2-5。

表 2-2 光整外圆磨削工艺参数

表面粗糙度		精密磨削 $R_z 0.8 \sim R_z 0.4$		超精磨削 $R_z 0.2 \sim R_z 0.1$		镜面磨削 $R_z 0.05$			
		粗磨	精磨	粗磨	超精磨		粗磨	超精磨	镜面磨
工 艺 参 数	工艺顺序								
	磨轮粒度	F46	F60、F80	F46	F60~F360	F500~F800	F46	F60~F240	F600~F800
	修整工具		一般金刚石		锋利金刚石			锋利金刚石	
	磨轮线速度 [m/s]		12~30		12~20	12~20		12~20	12~20
	修整时工作台速度 [mm/min]		15~50		10~15	10~25		10~15	6~10
	修整时横进给量 [mm/r]		0.005		0.0025	0.0025		0.0025	0.0025
	修整时横进给次数(每单行程进一次)		1~2		1~2	2~3		2~3	2~3
	光修次数(单行程)				1	1		1	1
	工件线速度 [m/min]		4~10		4~10	4~10		4~10	4~10
	磨削时工作台速度 [mm/min]		80~200		50~100	50~100		50~100	50
	磨削横进给量 ^① [mm/r]		0.0025~0.005		0.0025	0.0025		0.0025	0.0025
	磨削时横进给次数(每单行程进一次)		1~3		1~3	1~3		1~3	1~3
	光磨次数(每单行程)		1~3		4~6	5~15		4~6	20~30
磨前工件的表面粗糙度		$R_a 0.63$		$R_a 0.32$	$R_a 0.16$			$R_a 0.04$	

注: ① 从磨轮工作与工件表面刚刚接触尚未切入时算起。

表 2-3 光整内圆磨削工艺参数

工艺参数		精密磨削 $R_z 0.8 \sim R_z 0.4$		超精磨削 $R_z 0.2 \sim R_z 0.1$		镜面磨削 $R_z 0.05$	
磨轮转数 [r/min]		10 000~20 000		10 000~15 000		10 000~15 000	
修整工具		锋利金刚石		锋利金刚石		锋利金刚石	
修整时工作台速度 [mm/min]		30~50		10~20		10~20	
修整时横进给量 [mm/r]		不大于 0.005		不大于 0.005		0.002~0.003	
修整时横进给次数(每单行程进一次)		2~3		2~3		2~3	
光修次数(单行程)		1		1		1	
工件线速度 [m/min]		7~9		7~9		7~9	
磨削时工作台速度 [mm/min]		120~200		60~100		60~100	
磨削时横进给量 [mm/r]		0.005~0.01		0.005		0.003~0.005	
磨削时横进给次数(每单行程进一次)		1~4		1~2		1	
光磨次数(单行程)		4~8		10~20		10~20	
磨前工件的表面粗糙度		$R_a 0.63$		$R_a 0.16$		$R_a 0.04$	

注: 表内数据系采用 WA60K 或 PA60K 磨轮磨削的,如采用细粒磨轮,条件可稍放宽。

表 2-4 光整平面磨削工艺参数

工 艺 参 数	精密磨削	超精磨削	镜面磨削
	$R_z 0.8 \sim R_z 0.4$	$R_z 0.2 \sim R_z 0.1$	$R_z 0.05$
磨轮粒度	F60~F80	F60~F360	F800~F1200
修整工具	单颗粒金刚石, 金刚石片状修整器	锋利金刚石	锋利金刚石
磨轮速度 [m/s]	17~35	15~20	15~20
修整时磨头移动速度 [mm/min]	20~50	10~20	6~10
修整时垂直切削深度 [mm]	0.003~0.005	0.002~0.003	0.002~0.003
修整时垂直进给次数	2~3	2~3	2~3
光修次数(单程)	1	1	1
工作台速度 [m/min]	15~20	15~20	12~14
磨削时垂直磨削深度 [mm/单行程]	0.003~0.005	0.002~0.003	0.005~0.007
磨削时垂直进给次数	2~3	2~3	1
光磨次数(单程)	1~2	2	3~4
磨前工件的表面粗糙度	$R_a 0.63$	$R_a 0.32$	$R_a 0.04$
磨头横向周期进给量 [mm/单行程]	0.2~0.25	0.1~0.2	0.05~0.1

表 2-5 无心光整磨削工艺参数

工 艺 参 数	工 件 直 径 [mm]		
	$\phi 6$	$\phi 20$	$\phi 50$
	磨削精度和表面粗糙度		
	圆度 $< 0.6 \mu\text{m}$ $R_a 0.08 \mu\text{m}$		
磨轮速度 [m/s]	17	17	17
磨轮修整时横向切削深度 [mm]	0.002~0.004	0.002~0.004	0.002~0.004
磨轮修整时往复速度 [mm/min]	≤ 10	≤ 10	≤ 10
导轮倾角	2°	1.5°	1.5°
工件中心高 [mm]	12	14	17
导轮速度 [m/min]	45~60	30	25
磨削余量 [mm]	0.02	0.005	0.005
切削液流量	小	大	大
磨前工件圆度 [mm]	≤ 0.002	≤ 0.002	≤ 0.002
磨前工件的表面粗糙度 [μm]	$R_a 0.63$	$R_a 0.63$	$R_a 0.63$

研 磨

研磨能得到准确的几何形状、高的尺寸精度(5级及5级以上)和小的表面粗糙度 $R_a 0.32 \sim R_a 0.01 \mu\text{m}$ 。研磨一般在低速、低压条件下进行,因此切削热量小、工件变质层薄,表面质量好。研磨适用于单件手工生产,也适用于成批机械化生产。但要获得高的加工精度,一般需先用其他加工方法得到较高的预加工精度,否则研磨效率较低。

研磨有下列四种形式:

1. 研磨盘上涂有磨料的研磨 用于研磨硬质合金切削工具、样板、量规和其他零件。
2. 研具工作表面上不断供给磨料的研磨 用于研磨活塞销、盘形零件等。
3. 嵌有磨料的平板和圆盘的研磨 用于研磨平面平行的平板。
4. 采用盘形磨料或磨条的研磨 盘形磨料用于机动研磨活塞销、活塞环、滚动轴承等;而磨条用于修理测量仪器。

第1种和第2种研磨称敷砂研磨,也可称为湿研。在研磨过程中,把研磨剂连续加注或涂敷于研具表面,磨料在工件与研具间不断地滑动与滚动,形成对工件的切削运动。一般采用粗于 F1000 的微粉进行粗研。

第3种和第4种研磨称嵌砂研磨,也可称为干研。把磨料均匀地压嵌在研具表面层中,研磨时只需在研具表面

上涂以少量的润滑附加剂,一般采用细于 F1000 的微粉进行精研。

另有一种采用的研磨剂是浆糊状的研磨膏,称为半干研。粗、精研磨均可采用。

研 磨 精 度

研磨能达到的精度水平举例如表 2-6。

表 2-6 研磨的精度水平

精度项目	工件名称	加工精度	研磨方式
长度尺寸	000 级量块(长度 25 mm)	$\pm 0.025 \mu\text{m}$	机研、干研
螺距	微分螺杆(长度 175 mm)	$0.3 \mu\text{m}$	机研、半干研
圆度	标准球体($\phi 70 \text{ mm}$) 圆柱体($\phi 30 \text{ mm}$)	$0.025 \mu\text{m}$ $0.1 \mu\text{m}$	机研、半干研 手研、液中研磨
角分度	多齿分度台 72 面棱体	$\pm 0.1''$ $\pm 1''$	机研、半干研 手研、干研
表面粗糙度	圆柱体 量规	$R_a 0.01$	机研、半干研 机研、干研

研 磨 剂

研磨剂由磨料、切削液和添加剂所组成。

磨料 用得最广的是微粉。各种微粉的用途见表 2-7。粒度号可按表 2-8、表 2-9 选用,磨料粒度的选择决定于金属切除量和加工表面粗糙度,并考虑到加工零件的位置要求。

表 2-7 粒度与研磨材料

微粉种类	用途
刚玉	研磨软钢、有色金属
碳化硅	研磨淬火钢、铸铁
金刚石、碳化硼	研磨硬质合金等高硬度材料
氧化铁、氧化铬、氧化铈	精研、抛光

表 2-8 粒度与加工方法

加工方法	粒度	应用
粗研磨 精研磨	F100~F220 F220~F600	一般产品零件的研磨
粗研磨 半精研 精研磨	F600~F800 F1000~F1200 $\geq F1200$	精密零件、量具、刀具的精密研磨

表 2-9 粒度与工件表面粗糙度

微粉粒度号	F400	F500	F600	F800	F1000	F1200	M2/4	M1.5/3	M1/2	M0.5/1.5	M0.5/1
可达到的表面粗糙度	$R_a 0.63$	$R_a 0.32$	$R_a 0.16$	$R_a 0.08$	$R_a 0.04$	$R_a 0.02$	$R_a 0.02$	$R_a 0.01$			

切削液 主要起冷却和润滑作用,切削液的黏度在粗研时应较低,精研时应较高。常用切削液的选择见表 2-10。

表 2-10 切削液

工件材料	研磨工序	研磨液种类及配制
钢	精研	N15 机油
	粗研	N15 机油 1 份,煤油 3 份,透平油或锭子油(少量),轻质矿物油或变压器油(适量)
铸铁	粗研	煤油,主要用于稀释,润滑性较差
铜	粗、精研	动物油(熟猪油加磨料,拌成糊状,加 30 倍煤油),锭子油(少量),植物油(适量)
不锈钢	粗、精研	植物油、透平油或乳化液
硬质合金	粗、精研	汽油(稀释)

添加剂 添加剂的作用是使磨料均匀分布,并在研磨过程中起吸附作用及提高加工效率的化学作用。常用的添加剂有硬脂酸、油酸、脂肪酸和工业甘油等。硬脂酸混合脂的推荐配方见表 2-11。

表 2-11 硬脂酸混合脂配方

种类	配比(质量分数) [%]				使用温度 [°C]
	硬脂酸颗粒	石蜡	工业用猪油	蜂蜡	
I	44	28	20	8	18~25
II	57		26	17	<18
III	47	45		8	>25

研磨剂 研磨剂常配制成以下三种形式:

1. 液态研磨剂 干研压砂用的研磨剂配比为:研磨微粉(M1~M3.5)15 g,混合脂 8 g,航空汽油 200 mL,煤油(1.2 E/20 °C)35 g,浸泡一星期后使用,其中航空汽油是微粉颗粒的分散剂,压研时自行挥发。

湿研用煤油、混合脂加研磨微粉,配比不严格,研磨剂(微粉)的质量分数取 30%~40%,一般微粉粒度愈细,则煤油比率愈小,而混合脂比率愈大。如由机床自动供给研磨剂,研磨剂(微粉)的质量分数可取 10%~15%。

2. 研磨膏 在研磨粉中加入黏结剂和润滑剂调制而成。添加剂有硬脂、石蜡、动物脂肪、凡士林、煤油、油酸等。添加剂因含有活性化学附加物如油酸、油脂等,可提高研磨效率和减小表面粗糙度,应用较广。研磨膏的成分及其应用见表 2-12。

表 2-12 研磨膏的成分及其应用

加工种类	研 磨 粉			油 酸	混合脂	凡士林	煤 油
	规 格	名 称	质量分数[%]	质量分数[%]			
粗 研	F600~F800	Al ₂ O ₃	52	7	26	15	
半精研	F1000	Al ₂ O ₃	45	22.4	31.5		1.1
精 研	F1200	Al ₂ O ₃	40.8	20.5	36.7		2
			19.4	29	45.1		6.5
抛 光	2~5 μm	Cr ₂ O ₃	19.4	29	45.1		6.5
	1~3 μm		11.6	31	54		3.4
	1~3 μm		19.4	32.2	45.1		3.3
	1~3 μm		56	8	12	24	
	2~5 μm		23.3	26.7	46.7		3.3

注:煤油的加入视气候而定,天暖煤油少放些,天冷可多加些;油酸与混合脂的比例总值不变,例如油酸少放 5%,则混合脂应多增加 5%。

3. 固体研磨剂 一般为降低工件表面粗糙度作光泽研磨用,常用配比(质量分数):氧化铬 57%,石蜡 21.5%,蜂蜡 3.5%,硬脂酸混合脂 11%,煤油 7%。

研 具

研具的材料应比工件硬度低,组织致密,无夹杂物,硬度均匀,有良好的耐磨性和精度保持性,寿命长,变形小,研具结构应有足够的刚性,有一定的形状精度,表面光滑,无裂纹、斑点等缺陷,一般应考虑磨损的补偿。干研研具必须有良好的嵌砂性能。

常用的研具材料有下列几种:

灰铸铁——由于含有片状石墨,所以耐磨性和润滑性较好,适用于精细研磨,采用硬度 120~220HB 的珠光体组织的铸铁,效果好;在精密平面研磨时,采用高磷铸铁可获得很小的表面粗糙度。

软钢——用于螺纹或小孔(一般 8 mm 以下)的研磨,可以保持工件不变形。

铜——磨研效率高,但得到的表面粗糙度差。用于研磨余量较大的工件的粗研,精研仍用铸铁。

铅——用于研磨软钢或其他软金属。

木、皮革——用于研磨铜和其他软金属。

在选择这些材料时,对于粗研工具应考虑用较软的材料,因为它可以嵌入较粗颗粒的磨料;精研磨工具采用较硬的材料,因它仅能嵌入较细颗粒的磨料。

用磨料不嵌入研具的研磨法,加工钢制零件和有色金属及其合金的零件,为了得到小的表面粗糙度和镜面光泽,应采用软的磨料,和硬度比零件高的研具。

研 磨 用 量

研磨压力 研磨压力在一定范围内增加,可提高生产率;压力再继续增加,生产率提高不明显。当压力超过 0.3 MPa 时,生产率反而有下降趋势。所以研磨时,先选用较大压力和较粗磨料,然后用较小的压力 0.03 MPa 和细的磨料。为了提高加工效率并保证工件表面的耐磨性,通常研磨压力见表 2-13。

表 2-13 研 磨 压 力

研磨类型	各种加工面的研磨压力 [MPa]			
	平面	外圆	内孔	其他
湿研	0.1~0.25	0.15~0.25	0.12~0.28	0.08~0.12
干研	0.01~0.1	0.05~0.15	0.04~0.16	0.03~0.1

研磨速度 研磨效率一般与研磨速度成正比,但过分提高研磨速度,反而导致发热和切削量的相对降低,研磨速度的大致范围见表 2-14。

表 2-14 研 磨 速 度

研磨类型	各种加工面的研磨速度 [m/min]				
	单面	双面	外圆	内孔	其他
湿研	20~120	20~60	50~75	50~100	10~70
干研	10~30	10~15	10~25	10~20	2~8

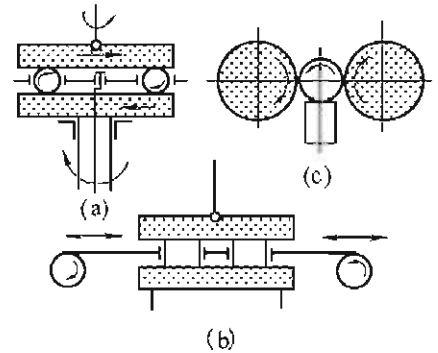


图 2-4 研磨机床的运动图

用圆盘端面工作的研磨机,如图 2-4a,研磨盘的圆周速度为 110~180 m/min,隔离器偏心距为 5~15 mm,零件在隔离器上的位置对中心偏移角 $\alpha=5^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 。

用平板作往复运动的研磨,如图 2-4b 所示,隔离器的往复运动速度为 8~15 m/min。

在无心中研磨机上工作时,如图 2-4c,研磨轮圆周速度为 130~300 m/min,导轮速度为 80~130 m/min;当最后行程时,研磨轮的速度应减小,而导轮的速度应增加。在无心中磨床上,当研磨轮转过 $3^{\circ}\sim 3.5^{\circ}$,导轮转过 $1^{\circ}\sim 2^{\circ}$ 。

在机床上研磨硬质合金刀具时,盘的圆周速度采用 50~120 m/min。

研磨的单位压力不超过 0.15~0.2 MPa。

平 板 研 磨

一般采用三块互研法,平板对研时所处上下位置,应依次保证机会均等,及时调换上下平板位置,以防止上板变凹,下板变凸,两平板对研时相互运动应尽可能保持平面平行运动,一般采用无规则的“8”字形,并适当进行 90° 转位,调换方向,而平板相互错开的距离,不超过板面的 $1/5$,为防止变形,每次对研后应有充分的散热时间,使温度均匀,第一次对研用 F500 较粗磨料粗磨,第二次用 F1200 或 M1.5/3 较细磨料细研,最后不加磨料只用研磨液和硬脂酸混合脂进行对研,将嵌入平板的砂粒去净。

珩 磨

珩磨是用细磨粒磨条组成的珩磨头,以往复和旋转运动配合起来加工零件内孔的一种光整加工工艺。珩磨

头的每一次往复行程切去金属层的厚度为 $0.3 \sim 0.5 \mu\text{m}$ ，一般经过珩磨加工可提高形状和尺寸精度一级，表面粗糙度可达到 $R_a 0.63 \sim 0.04 \mu\text{m}$ ，尺寸精度可达 6 级。一般珩磨后圆度误差可在 $5 \mu\text{m}$ 以下，孔长在 $300 \sim 400 \text{mm}$ 时圆柱度误差可在 $10 \mu\text{m}$ 以下，尺寸误差在 $2 \sim 3 \mu\text{m}$ 范围内，同轴度误差不超过可达 $1 \mu\text{m}$ 。但一般对前道工序有一定的精度要求，否则不易保证得到较高的形状精度。

珩磨时速度低，油石与孔是面接触。因此每一磨粒的平均磨削压力很小，工件发热少，工件可能产生的变形亦小，加工表面质量好。并且由于珩磨头作往复和旋转运动，使工件的被加工表面具有交叉网纹，有利于润滑油的贮存和油膜的保持，能承受较大的载荷，耐磨损，从而延长了使用寿命。

珩磨主要用于加工各种圆柱形孔，包括通孔、盲孔、多台阶孔、间断表面孔等，也用于加工锥孔、椭圆孔，虽能用于加工外圆、平面、球面等，但因珩磨头结构复杂，又因精磨、精研等也能收到良好效果，一般不用。通常能加工的孔径为 $1 \sim 1200 \text{mm}$ ，孔长可达 12m 。

珩磨工艺对所使用机床的精度要求较低，在满足同样加工精度的条件下，珩磨机床可比其他的机床精度低一级或更多。珩磨设备除用珩磨机外，还可以利用车床、镗床、钻床、深孔钻床等进行改装。

珩磨机可分为立式、卧式两种。一般珩磨机大多为立式，卧式珩磨机大多用于深孔加工和加工外形复杂、不易装夹的小型零件。对于断续表面、盲孔、圆锥孔的加工亦用立式珩磨机。有色金属珩磨由于磨条容易阻塞，所以很少采用。

珩 磨 头

珩磨头由磨头体、磨条、磨条座、导向条、弹簧、锥体胀芯等组成(图 2-5)。当胀芯锥体移动时，磨条便可胀开或收缩。

珩磨头的结构形式取决于被加工孔的尺寸、形状和精度要求，以及所用机床的进给方式、磨条的种类和夹具的结构等。对珩磨头的一般要求是：结构刚性好、制造容易、磨条胀缩均匀，切削液便于注入，切屑易于排除等。磨条的张开方式分为机械(一般用弹簧)和液压(用液压缸的活塞杆)两种。

图 2-6~2-10 所示是几种珩磨头的结构形式。

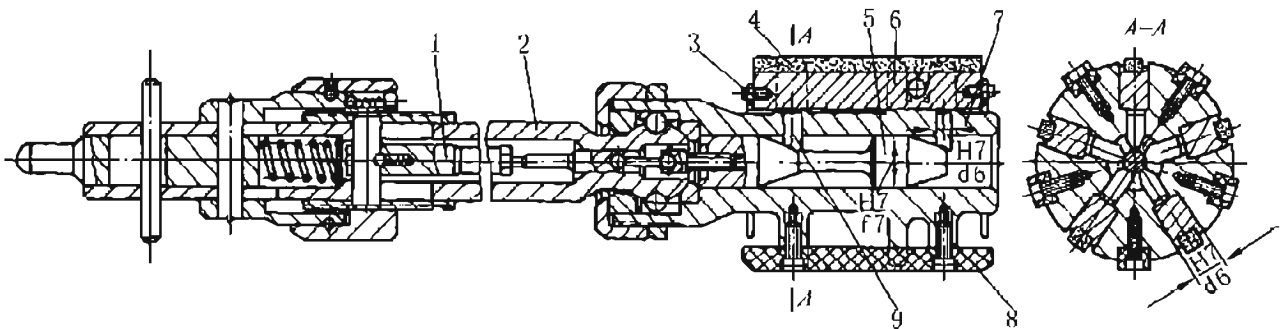


图 2-5 磨一般中等规格孔的珩磨头

1—胀芯；2—接杆；3—弹簧；4—珩磨磨条；5—锥体；6—磨条座；7—磨头体；8—保护板；9—顶销

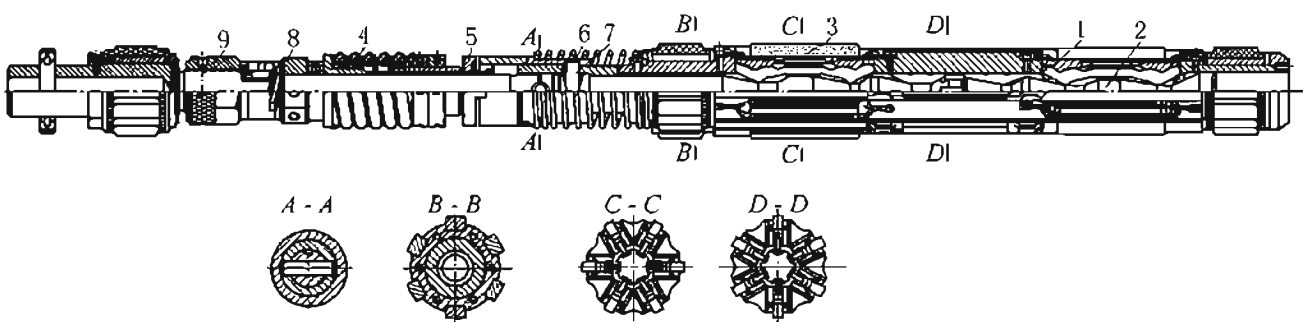


图 2-6 卧式机械张开磨条的三列式珩磨头

1—模块；2—顶杆；3—磨条；4—弹簧；5、6—套筒；7—柱销；8—凸轮的套筒；9—螺母

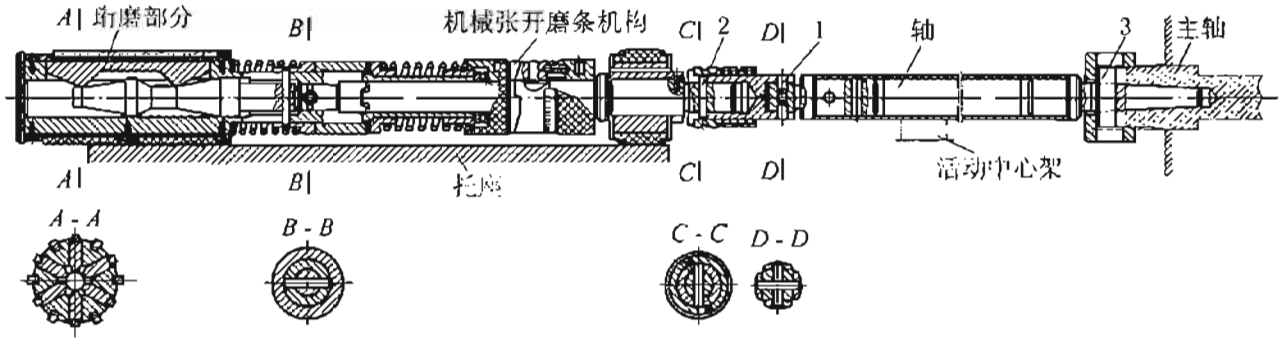


图 2-7 卧式机械张开磨条的单列式珩磨头

1—万向接头, 2—销, 3—楔

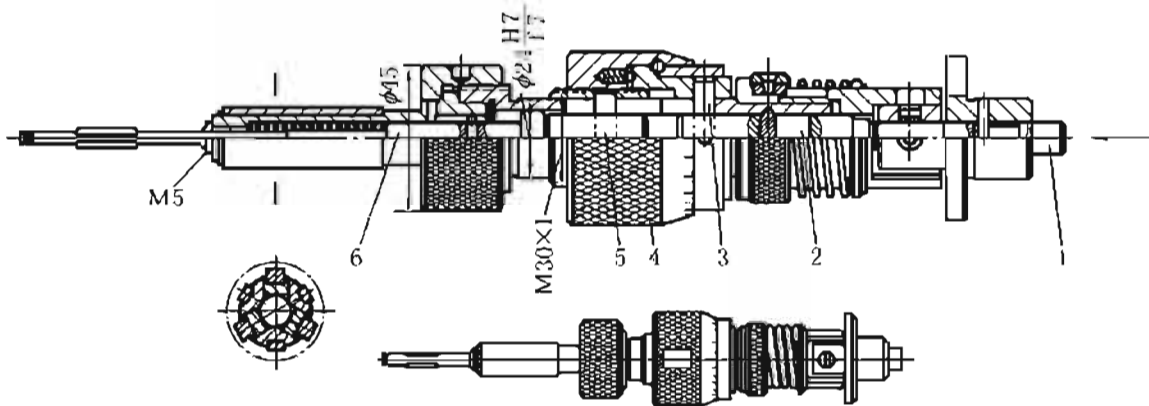


图 2-8 立式液压张开磨条的珩磨头

1、2—顶杆, 3—销, 4—进给螺母, 5—销, 6—带销顶杆

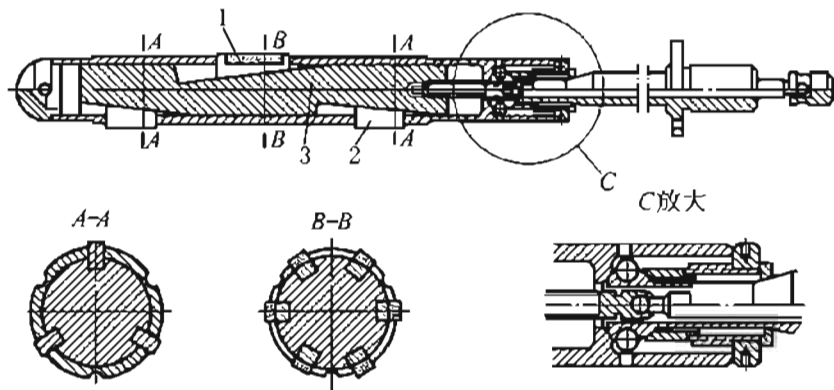


图 2-9 断续孔珩磨头

1—磨条; 2—胶布塑料磨头; 3—顶杆

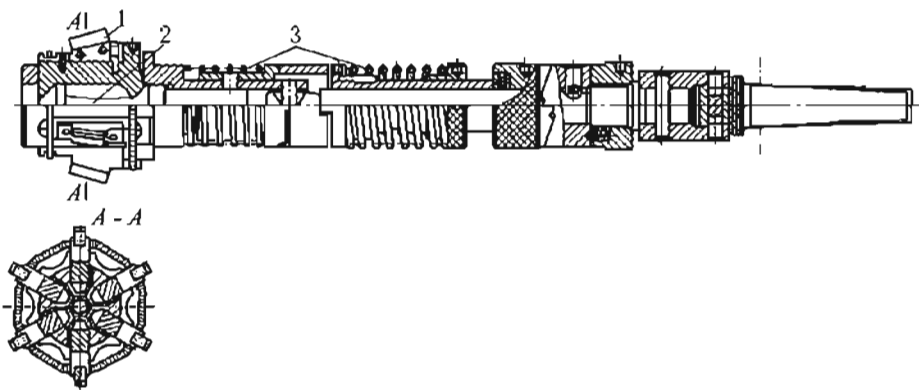


图 2-10 锥孔珩磨头

1—磨条; 2—松开圆锥; 3—弹簧

图 2-11 所示为组合粗精珩于一体的组合式珩磨头,相间安装粗颗粒和细颗粒两组磨条,每组磨条可有三块、五块或六块,每组磨条均能独立张开与收缩,当磨头进入工件孔之前,两组磨条均处于收缩状态。加工开始时,胀芯向下移动,由于斜面的作用,粗颗粒磨条组胀开进行粗珩,并可扩张进给。当加工到预定尺寸时,锥度胀芯向上移动,粗颗粒磨条组收缩,继续向上移动时,细颗粒磨条组胀开。当珩磨到最终尺寸时,胀芯向下移动,两组磨条均处于收缩状态。然后珩磨头退出工件,加工循环结束。

图 2-12 所示为盲孔珩磨头。盲孔珩磨也可使用珩磨通孔同样的磨条,在一定的间隔时间内,对孔的底部进行几次短行程往复珩磨。珩磨盲孔要严格控制珩磨头出现的锥度和磨条座轴向窜动。

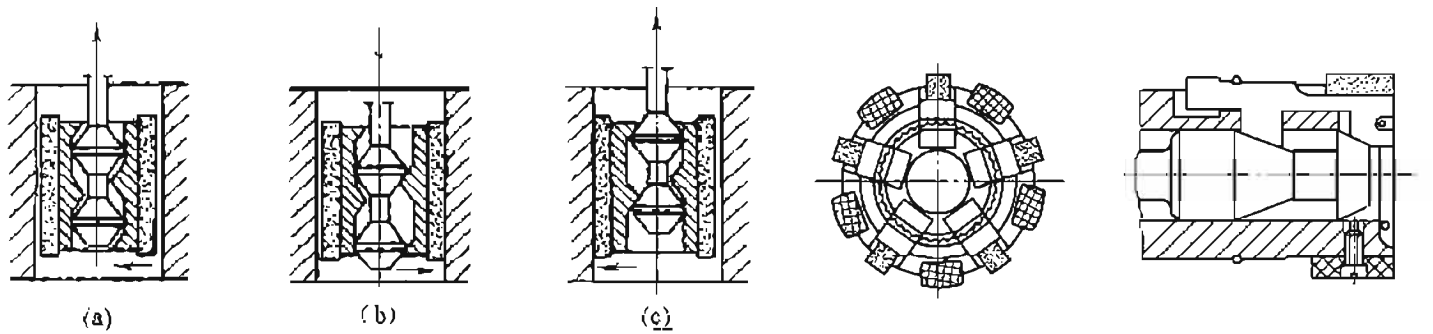


图 2-11 组合式珩磨头

图 2-12 盲孔珩磨头

(a) 磨条收缩; (b) 粗磨粒磨条张开; (c) 细磨粒磨条张开

珩磨尺寸的控制

珩磨尺寸的控制 方式主要取决于工件的产量。产量不大时,可用手动控制尺寸。产量大时,最理想的尺寸控制方法是通过自动测量进行,自动控制。尺寸自动测量控制分为气动量仪式和机械量规式两种,气动测量适用于孔径为 16~400 mm 的孔,测量精度可达 2~5 μm,由于是非接触测量,易受切屑和切削液附着于孔壁的影响,故控制的加工尺寸精度,一般为 5~8 μm。图 2-13a 所示系统能自动测量、显示工件三个位置的尺寸。机械量仪又分塞规式和环规式两种,图 2-13b 为塞规测量。按塞规测量位置又分为上置式和下置式两种,不论是上置式或下置式,每当珩磨头往复一次,塞规便试图进入工件孔一次,当达到规定尺寸时,塞规进入工件孔中,并使机床自动停止。控制的加工尺寸精度,一般为 3~5 μm。此测量方法的缺点是工件的另一端的尺寸不能测量。当工件有喇叭口、鼓形或锥度时不能反映出来,且塞规的圆柱头易磨损。图 2-13c 为环规式测量。图中有 4 块磨条。工件上端有一环规,环规的内径为要求的工件孔尺寸,珩磨头每一往复行程,珩磨头上的塑料块都试图从环规底部插入。当加工至规定尺寸时,塑料块伸入环规内径并带动环规旋转,使触头闭合,机床自动循环停止。控制的加工尺寸精度,一般为 5~15 μm。

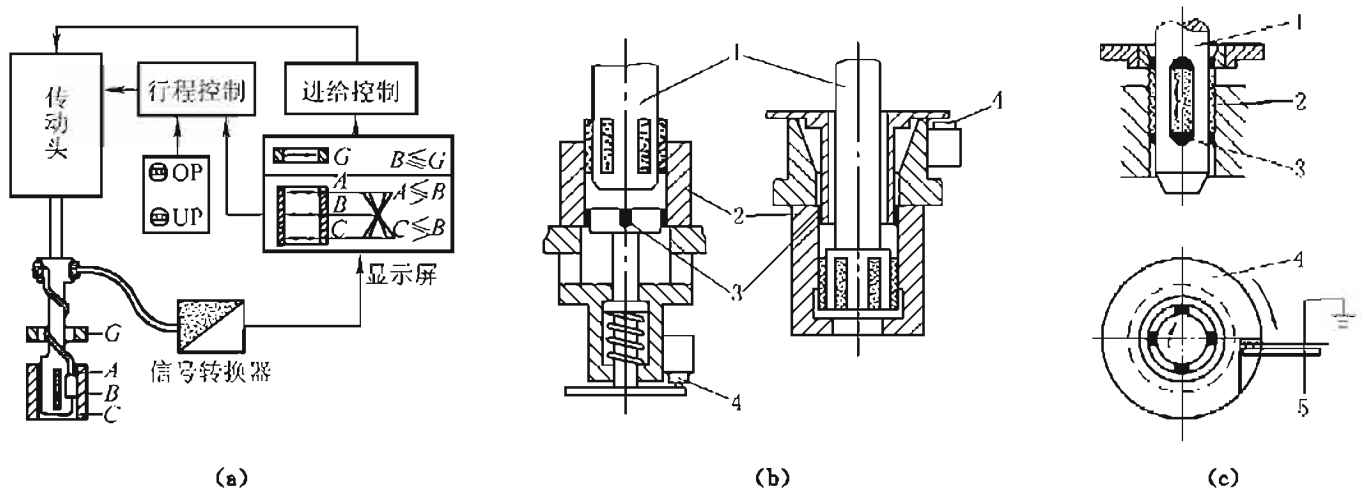


图 2-13 自动测量装置

(a) 气动量仪: G—环规; A、B、C—三个测量位置; (b) 塞规式机械量仪: 1—珩磨头; 2—工件; 3—塞规; 4—电器开关; (c) 环规式机械量仪: 1—珩磨杆; 2—磨条; 3—塑料块; 4—环规; 5—电路控制器

此外尚有定程控制和时间控制等方法。

定程控制是通过控制珩磨杆胀芯的轴向位移来对加工尺寸进行控制的。由于磨条的磨损是产生误差的主要因素,所以机床最好有加工和测量两个工位,如测量超差,机床能自动进行补偿。

时间控制是根据工件的材质、热处理情况、珩磨前表面粗糙度、珩磨压力和加工余量等条件,对磨条的磨耗量和加工余量与珩磨时间的关系进行试验,得出加工量和珩磨时间的关系,从而通过珩磨时间的控制来控制加工量。但由于加工余量、热处理和磨条的性能不可能完全相同,常常在同一珩磨时间内珩磨出的工件尺寸不相同,容易超差,就需停机测量,所以生产效率较低。

珩磨磨条的选用

磨条的数量和宽度一般可参考表 2-15;磨条的长度可参考表 2-16、表 2-17;珩磨深孔时,为了增加磨条长度,就需如图 2-6,在珩磨头上并列地装上 2~4 条标准磨条以增加磨条长度。

表 2-15 磨条数量和宽度

珩磨头直径[mm]	磨 条 数 量	油石宽度[mm]
<10	2	3~5
10~20	2~3	3~8
20~50	2~4	5~10
50~150	3~6	7~15
150~250	4~10	11~20
>250	>8	>15

表 2-16 珩磨头参数(JB/T 9896—1999) [mm]

珩孔直径	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~11	11~12	12~13	13~14
珩磨油石长度	25	25	25	25	25	32	32	32	32
珩孔直径	14~15	15~16	16~18	18~21	21~25	25~30	30~35	35~41	41~50
珩磨油石长度	32	32	40	40	40	63	63	80	80
珩孔直径	50~63	63~80	80~100	100~125	125~160	160~200	200~250	250~300	300~350
珩磨油石长度	100	100	125	125	150	150	200	200	200
珩孔直径	350~400	400~450	450~510	510~570	570~630	630~700	700~800	800~900	900~1 000
珩磨油石长度	300	300	300	400	400	500	500	600	600

注:修理使用的珩磨头,其直径范围可以扩大。

表 2-17 磨条长度的选择

被加工孔的类型		不校准原孔的直线度	校准原孔的直线度
一般长孔	大孔	$l \geq (1 \sim 1.5)d_w$	$l \geq \left(\frac{4}{5} \sim 1\right)l_w$
	小孔	$l = \left(\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}\right)l_w$	
一般短孔 $d_w \geq l_w$		$l = \left(\frac{2}{3} \sim \frac{3}{4}\right)l_w$	
带窗口或空刀槽的长孔		$l > 2l_k$ 且 $l \geq (1 \sim 1.5)d_w$ 或 $l = \left(\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}\right)l_w$	$l > 2l_k$, 且 $l \geq \left(\frac{4}{5} \sim 1\right)l_w$
多台阶孔		l 应大于三个台阶的跨距长度,保证在加工一个台阶时,至少有二个台阶作支承导向	同左并适当增长

注: l —磨条长度; l_w —被加工孔长; d_w —被加工孔的直径; l_k —窗口或空刀槽长度。

磨块的选用

珩磨各种材料的磨料可按表 2-18 选用。

珩磨头的回转和往复运动速度见表 2-19,加工特种钢零件的深孔,珩磨头的圆周速度采用 25~27 m/min,往复运动速度采用 7~11 m/min。

表 2-18 珩磨料的选择

加工材料	加工表面粗糙度 $R_a[\mu\text{m}]$	磨条性质		
		磨料	粒度	硬度
淬火钢 $\geq 60\text{HRC}$	0.63	棕刚玉、白刚玉	F180~F240	J~K
	0.32		F320~F360	H~J
	0.16		F360~F400	G~H
	0.08		F400~F500	G
调质钢 321~363HB	0.63	棕刚玉	F180~F240	K~L
	0.32		F320~F360	J~K
	0.16		F360~F400	H~J
氮化钢 80HRB	0.63	绿色碳化硅	F180~F240	H~K
	0.32		F320~F360	H~J
	0.16		F360~F400	G~H
非淬火钢	0.63	棕刚玉	F180~F240	L~M
	0.32		F320~F360	K~L
	0.16		F360~F400	J~K
铬钢	0.32	棕刚玉、白刚玉	F320~F360	K~L
	0.16		F360~F400	K~L
	0.08		F400~F500	J~K
铸铁	0.63	绿色碳化硅	F180~F240	R~S
	0.32		F320~F360	O~R
	0.16		F360~F400	N~P

表 2-19 珩磨头的回转和往复运动速度

加工材料	珩磨头的 圆周速度 $v_M[\text{m}/\text{min}]$	珩磨头的纵向移动速度 $f_{BM}[\text{m}/\text{min}]$				
		$R_a 1.25$	$R_a 0.63$	$R_a 0.32$	$R_a 0.16$	$R_a 0.08$
淬火钢 $> 60\text{HRC}$ 及 氮化钢 $> 80\text{HRB}$	12~20			5~10	4~8	3~6
调质钢 321~363HB	20~30		10~18	8~15	6~12	
非淬火钢	30~35	20~28	10~18	10~18	9~14	
铸铁	40~50	13~20	10~18	8~12	6~10	

磨条切削力计算:

$$F_c = \rho_c S p \quad [\text{N}]$$

$$F_a = \rho_a S p \quad [\text{N}]$$

式中 S ——磨条工作面积 $[\text{mm}^2]$;

p ——磨条对零件表面的工作压力 $[\text{MPa}]$,见表 2-20;

ρ_c, ρ_a ——珩磨力计算系数。

表 2-20 磨条工作压力及珩磨力计算系数

加工工序	磨条工作压力 p [MPa]		加工材料	珩磨力计算系数	
	铸 铁	钢		ρ_c	ρ_a
粗加工	0.5~1.0	0.8~2.0	非淬火钢	0.2~0.3	0.03~0.06
精加工	0.2~0.5	0.4~0.8	淬火钢	0.2~0.3	0.05~0.07
超精加工	0.05~0.1	0.05~0.1	铸 铁	0.2~0.25	0.04~0.06

磨条越程量一般取磨条长度的 1/5~1/3,越程量过大,被加工孔易呈喇叭形,过小易呈腰鼓形,两端越程量相差悬殊,则被加工孔会出现锥度,所以应按孔的形状调整越程量。珩磨圆柱孔,磨条越程量 Δ_1 、 Δ_2 宜取 $l/3$,见图 2-14a。如遇锥孔应将孔的小端的磨条越程量 Δ_1 增至 $l/2$,将大端的越程量 Δ_2 相应减小至 $l/4$ (图 2-14c);如是喇叭孔应减小越程量至 $(1/4\sim 1/6)l$ (图 2-14b);如呈腰鼓形应增加两端的越程量至 $(1/2\sim 2/3)l$ (图 2-14d)。

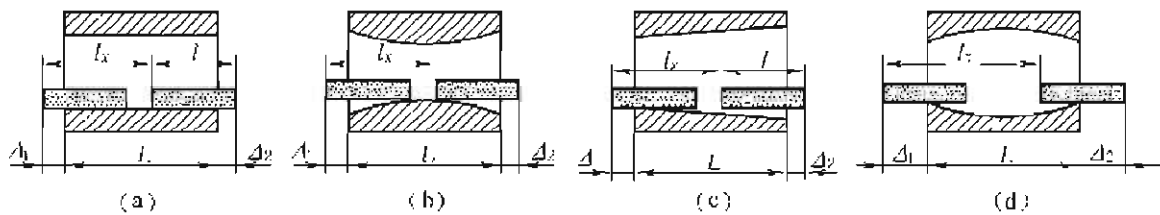


图 2-14 磨条的越程量

表 2-21 与原始表面形状误差和表面粗糙度有关的珩磨余量和工序数

形状误差[μm]		表面粗糙度[μm]		工序数	工序余量[μm]	珩 磨 后	
原始	要求	原 始	要 求			形状误差[μm]	表面粗糙度 R_a [μm]
100~150	4~5	$R_z=40\sim 10$	$R_a=0.32\sim 0.08$	1	150~200	15~20	2.5~0.63
				2	20~30	6~10	0.63~0.16
				3	12~15	4~5	0.32~0.08
50~90	3~4			1	80~120	10~18	2.5~0.63
				2	15~25	5~9	0.63~0.16
				3	8~12	3~4	0.32~0.08
25~40	2~3	1	50~70	8~12	1.25~0.32		
		2	12~15	4~6	0.63~0.16		
		3	6~12	2~3	0.32~0.08		
12~15		$R_a=2.5\sim 0.63$	1	20~35	5~9	1.25~0.16	
			2	10~12	2~3	0.32~0.08	
6~12	1~2		1	15~20	2~4	0.63~0.16	
			2	4~6	1~2	0.32~0.08	

表 2-22 按表面粗糙度选择孔的珩磨余量

表 面 粗 糙 度[μm]		余 量[μm]
原 始	要 求	
$R_z=40\sim 10$	$R_a=2.5\sim 0.63$	30~40
$R_z=20\sim 10$	$R_a=1.25\sim 0.32$	25~30
$R_a=2.5\sim 1.25$	$R_a=1.25\sim 0.32$	25~30
$R_a=1.25\sim 0.32$	$R_a=0.63\sim 0.16$	15~20
$R_a=0.63\sim 0.16$	$R_a=0.32\sim 0.08$	10~15
$R_a=0.32\sim 0.08$	$R_a=0.16\sim 0.04$	5~10

表 2-23 按原始形状误差选择的珩磨磨块粒度

形状误差[μm]		工序数	珩磨后表面粗糙度 R_a [μm]	磨 块 磨 粒	
原始	要求			淬 火 钢	铸 铁
100~50	4~5	1	2.5~0.63	NDF10/F12	NDF12/F14~F14/F16
		2	0.63~0.16	SDF24/F30~F30/F36	SDF30/F36~F36/F60
		3	0.32~0.08	GC(F400~F360)	GC(F600~F400)
50~90	3~4	1	2.5~0.63	NDF10/F12~F12/F14	NDF12/F14~F14/F16
		2	0.63~0.16	SDF24/F30~F30/F36	SDF30/F36~F36/F60
		3	0.32~0.08	GC(F400~F360)	GC(F600~F400)
25~40	2~3	1	1.25~0.32	SDF16/F20~F24/F30	SDF20/F24~F24/F30
		2	0.63~0.16	SDF24/F30~F36/F60	SDF30/F36~F36/F60
		3	0.32~0.08	GC(F360~F400)V	GC(F400~F600)V GC(F320~F360)
12~15	2~3	1	1.25~0.16	SDF20/F24~F30/F36	SDF24/F30~F36/F60 GCW28V; GCW50R
		2	0.32~0.08	GC(F360~F400)V	GC(F400~F600)V GC(F320~F360)R
6~12	1~2	1	0.63~0.16	SDF24/F30~F36/F60	SDF30/F36~F36/F60 GC(F320~F400)R
		2	0.32~0.08	GC(F400~F500)V	GC(F400~F600)V GC(F360~F400)R

表 2-24 按余量和加工材料的磨块的选择

余量[μm]	表面粗糙度 R_a [μm]	磨粒材料	粒 度	磨块硬度	结合剂	磨粒材料	粒 度	磨块硬度	结合剂
淬火钢 50HRC						非淬火钢 40HRC			
50~100	2.5~0.63	GC	F360~F320 F500~F360 F1200~F500	K~M H~K H~J	V B B	A SA	F60~F40	S~T	R
30~80	1.25~0.32						F90~F60		
20~50	0.63~0.16						F120~F90		
10~25	0.32~0.08						F180~F120		
5~10	0.16~0.04								
2~5	0.08~0.02								
青铜、铝、黄铜						铸铁			
50~100	2.5~0.63	GC	F150~F100 F230~F150 F360~F320 F500~F360	M~P L~N K~L J~K	V	GC	F150~F100	P~R	V
30~80	1.25~0.32						F230~F150	N~O	V
20~50	0.63~0.16						F360~F320	M~P	V
10~25	0.32~0.08						F500~F360	L~N	V
5~10	0.16~0.04							J~L	B
2~5	0.08~0.02							H~K	B

切削液

珩磨铸铁和钢——煤油；90%煤油+10%机油；60%煤油+40%脂酸；70%煤油+30%硫化油。

珩磨镀铬钢及氮化钢——5%乳化液。

珩磨青铜——水或干磨。

铰 珩

铰珩是在珩磨基础上发展出来的一种新工艺。具有加工工时短,生产效率高,机床设计和操作简化,工具耐用,加工后尺寸、形状和表面粗糙度一致和受前道工序变化影响小等优点。铰珩的磨具使用金刚石磨料。

铰珩与珩磨工艺主要的不同点:珩磨加工是在加工过程中珩磨头的工作尺寸持续扩张,在多次行程中逐步切除孔的加工余量。而铰珩则因铰珩工具表面粘结金刚石磨料,且带有锥度,在加工过程中铰珩磨头的工作尺寸不需扩张,一次行程即可完成加工。铰珩时铰珩磨头作回转,并作轴向移动。如图 2-15 所示。铰珩磨头切削行程的进给速度为 125~1 250 mm/min。回程速度为 1 250~3 750 mm/min。

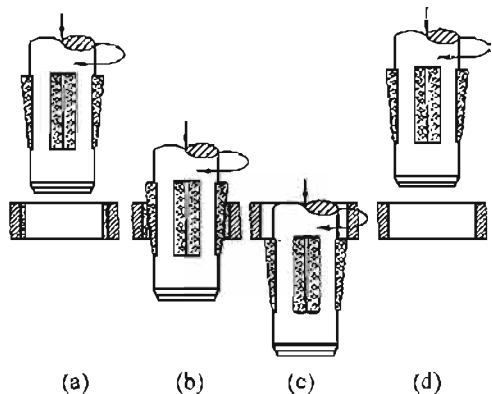


图 2-15 铰珩加工过程

(a) 开始; (b) 进入; (c) 完成; (d) 退回

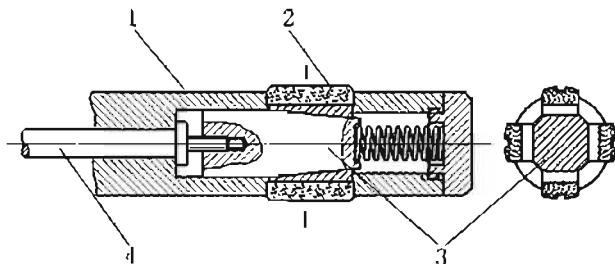


图 2-16 嵌入式铰珩磨头

1—工具体; 2—嵌入式磨块; 3—锥体; 4—工具自动调整轴

常用的铰珩磨头结构如图 2-16 所示,嵌入式磨块由四或六块组成,磨块上粘结有多层金刚石磨料,嵌装在工具体内,磨头的工作直径是用气缸自动旋转调整螺栓使带四个斜侧面的锥体在工具体内的轴向位移来调整的。

这种型式的磨头具有不少优点,如工具刚性好、稳固、在磨块表面上任何一点都有一定的工作直径,磨块可持有大量磨料,并可根据需要采用各种结合剂和浓度,尺寸调节容易、精度高,尺寸可以使用自动补偿,加工精度容易保证。

不论在厚壁还是薄壁零件中,铰珩均有极佳的几何形状生成能力,加工效果甚好,工件所需的加工余量也相对地较小。例如图 2-17,厚壁工件在加工前的圆度为 0.05 mm,加工后的圆度为 0.005 mm。这种孔的几何形状的矫正,铰珩加工所需的加工余量比珩磨要小得多。

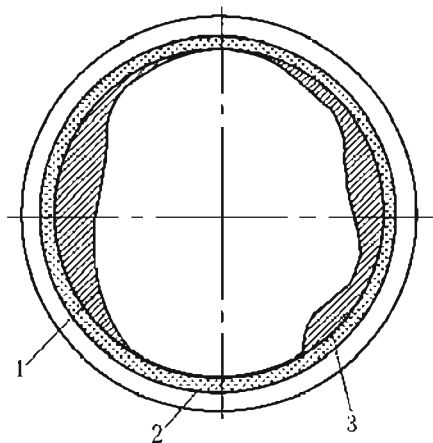


图 2-17 毛坯孔、珩磨孔及铰珩孔的圆度

1—毛坯孔(圆度 0.05 mm); 2—珩磨孔(圆度 0.05 mm);
3—铰珩孔(圆度 0.005 mm)

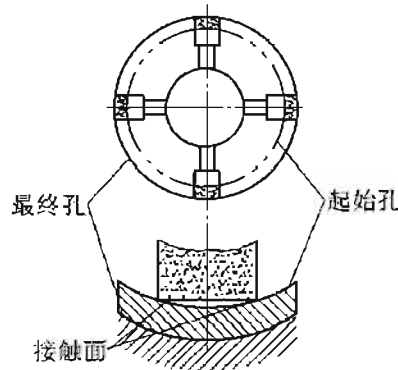


图 2-18 珩磨孔和磨块圆弧的接触情况

在珩磨加工过程(图 2-18)中,珩磨头和零件加工直径尺寸,在加工过程中不断变化,而磨块的圆弧不变,所以

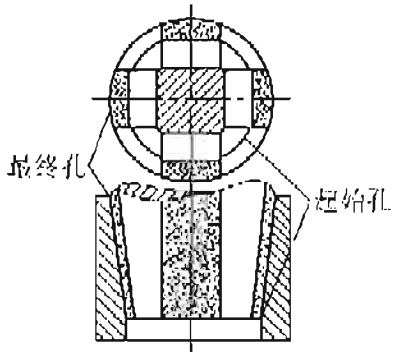


图 2-19 铰珩孔和磨块圆弧一致性

磨块和零件孔的圆弧永远不能完全一致。

而在铰珩加工过程(图 2-19)中,铰珩磨具直径不变,可保证铰珩磨头与零件孔获得圆弧的一致性,也保证获得成批工件加工尺寸的一致性。图中所示磨具前端的直径与零件孔的起始直径相等,磨具后端的大直径和圆弧与加工工件最终孔的直径和圆弧相等。

图 2-20 所示为典型的气缸孔铰珩工具,在每次行程中都对被加工孔进行测量,并自动补偿工具磨损而引起的尺寸变化,其磨块短而带有锥度。

图 2-21 所示为用于加工气缸体曲轴孔的铰珩工具,三排磨块锥度相同。

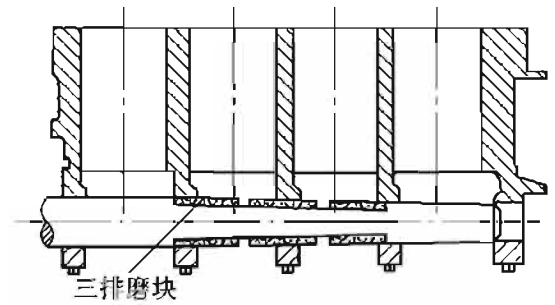
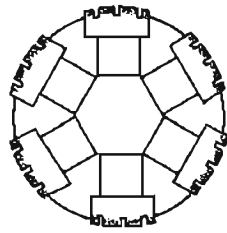
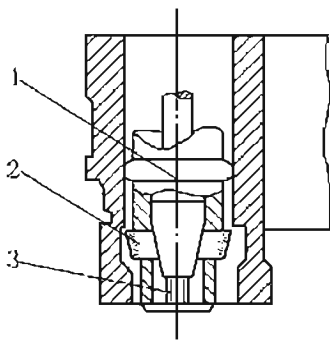


图 2-20 气缸孔铰珩工具

图 2-21 曲轴孔铰珩工具

1—测量环, 2—磨块, 3—螺纹

图 2-22 为铰珩工具分解图。

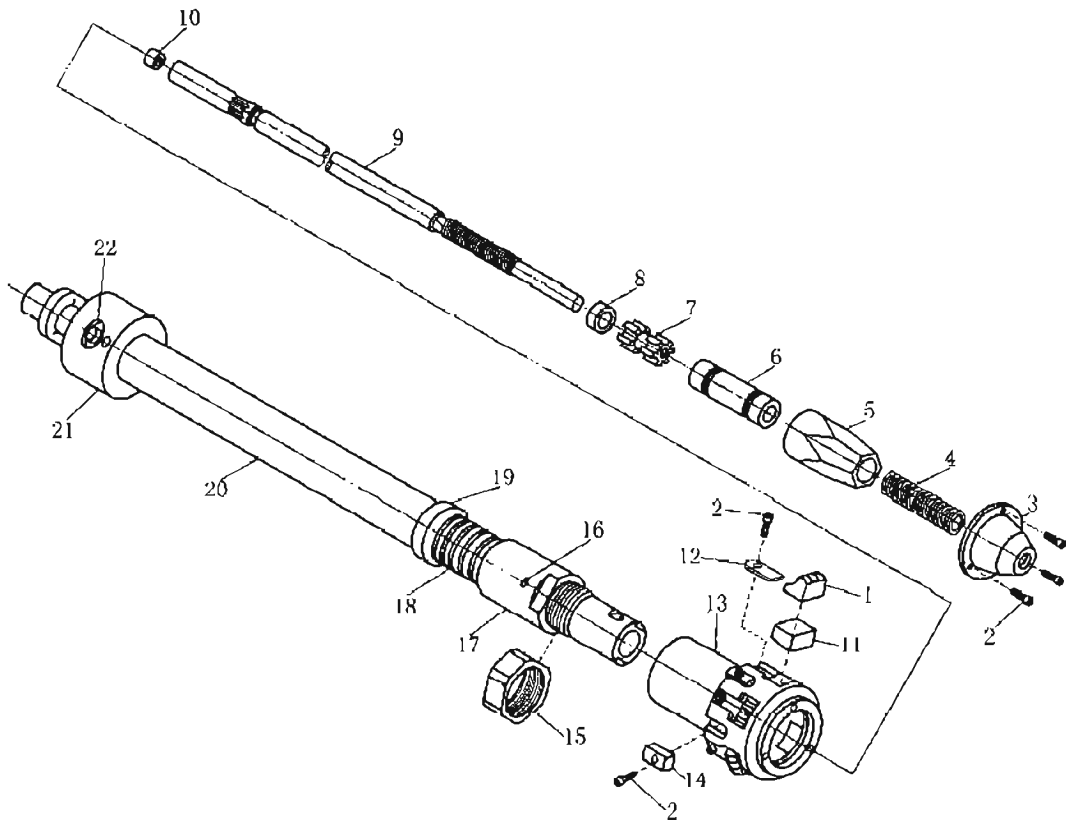


图 2-22 铰珩工具结构

1—金刚石磨块, 2—螺钉, 3—端塞, 4—弹簧, 5—锥体(6°), 6—衬套, 7—内螺纹滑套, 8—环, 9—不锈钢进给杆, 10—衬套, 11—扩张块, 12—弹簧压板, 13—工具体, 14—青铜导块, 15—六角螺母, 16—定位销, 17—套筒, 18—弹簧, 19—环, 20—传动轴, 21—不锈钢环, 22—不锈钢柱塞

超精加工

概 述

超精加工是用细磨粒的油石,作高频率短行程的往复运动,并以很小的压力对作回转运动的工件表面进行的加工。用这种加工方法能得到很高的表面粗糙度(R_a 0.16~ R_a 0.01 μm),但不能改正其宏观几何形状。超精加工前的加工,对于钢和铸铁通常是磨削,在加工面上不得有波浪纹,多角形或损伤等,因为超精加工不能把这类缺陷除去。

各种超精加工的示例见表 2-25。

表 2-25 超精加工示例

<p>用磨条 超精加工</p>	<p>(a) 加工辊轴</p> <p>(b) 加工活塞</p> <p>(c) 加工制动块</p> <p>(d) 加工轴承套圈</p> <p>(e) 加工水平平面</p> <p>(f) 加工飞轮端面</p>
<p>用杯形砂轮 超精加工</p>	<p>(a) 加工轴</p> <p>(b) 加工挺杆</p> <p>(c) 加工平面</p>
<p>用平形圆砂轮 超精加工</p>	<p>(a) 加工轴承套圈</p> <p>(b) 加工凸轮轴</p>

超精加工用磨块

磨料 棕刚玉用于粗超精加工,碳化硅用于精超精加工,立方碳化硅用于加工要求很高的零件。

粒度 磨料的粒度与表面粗糙度及金属切除量的关系见表 2-26。磨料粒度的使用示例如下:

F180~F360——用来加工制动鼓、离合器的摩擦片和其他零件;

F400~F600——用来加工曲轴、活塞、活塞销等;

F800~F1200——用来加工要求表面粗糙度很小的零件。

表 2-26 磨料的粒度与表面粗糙度及金属切除量

磨料的粒度	F400~F500	F500~F600	F600~F800	F800~F1200
超精后的工件表面粗糙度 $[\mu\text{m}]$	$R_a 0.32 \sim R_a 0.16$	$R_a 0.16 \sim R_a 0.08$	$R_a 0.08 \sim R_a 0.04$	$R_a 0.04 \sim R_a 0.02$
金属切除量(直径) $[\mu\text{m}]$	16~10	12~7	11~6	7~2

结合剂 常用的有陶瓷、树脂等。要求结合剂与磨料混合时单位体积内的磨粒数尽可能多。所以结合剂的颗粒要求比磨料颗粒小(粒度号差 2~3 级),并要求混合均匀,这样才能使磨块材质均匀。

硬度 磨条硬度可根据工件硬度及接触情况合理选用。工件硬度高,要选用较软的磨条;工件硬度低,要选用较硬的磨条。磨条与工件接触面积大时,油石硬度应选得低些。一般超精加工用油石硬度值为 40~50HRB。用白刚玉粗超精加工时,磨条硬度值可在 10~20 之间选用。用绿色碳化硅超精加工时,硬度值可在 30~50 之间选用。树脂或石墨树脂结合剂磨条的硬度值可在 60~100 之间选用。根据零件硬度选用磨条硬度见表 2-27 和图 2-23。

表 2-27 磨条硬度的选择

零件硬度[HRC]	20 以下	20~38	38~50	50~58	58~62	62~65	65~70
磨条硬度	M	L	K	J	H	G	D、E、F

气孔率和组织 超精加工用的磨条气孔率为 43%~49%。气孔能改善磨条切削性能。磨条的组织是指磨条中所含磨料的质量百分比,一般磨条选用组织号 9~12,见表 2-28。

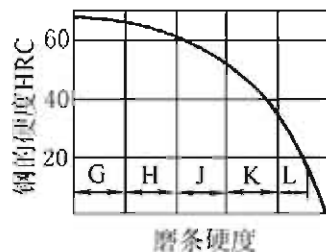


图 2-23 磨条硬度的选择

表 2-28 超精加工磨条组织

组织号	9	10	11	12
磨料质量百分比	44	42	40	38

形状和数量 超精加工用磨条一般选用方油石,长度一般为 50 mm、80 mm、100 mm 三种,一般不超过 150 mm,加工直径 $< \phi 75$ mm 的零件,通常采用一块油石,加工大直径零件时用 2 块或 2 块以上的油石,直径很大时可多达 5~6 块油石。

超精加工余量和磨块的选择及加工工艺

超精加工余量应与工件加工前的表面粗糙度相当,或大一些。

磨料颗粒大小应与工件加工后的表面粗糙度相适应。表 2-29 即为磨块选择的参考表。

磨条振动频率 f f 增大使单位时间内的材料切除量增加,表面粗糙度减小,加工时间缩短。一般采用振动频率数见表 2-30,重型轴用 400~600 往复/min,轻型轴用 1 000~1 500 往复/min。

表 2-29 超精加工余量和磨块的选择

工件材料	工件表面粗糙度 R_a [μm]		余量 [μm]	磨 块			金刚石工具的粒度
	加工前	加工后		磨料	粒度	磨块硬度	
铸 铁	$R_z=20\sim 10$ $R_a=2.5\sim 1.25$	1.25~0.63	10~20	GC	F150~F180	M~P	F30/F36
	$R_z=20\sim 10$ $R_a=2.5\sim 1.25$	0.63~0.32	15~25 6~10		F360	L~N L~M	F36/F60
	2.5~0.63	0.32~0.16	8~12 5~8		F400 F500	K~M	F70/F90~F90/F120
	1.25~0.32		6~10		F600	J~L	F90/F120~F120/F180
	0.32~0.16 0.32~0.08 0.16~0.08	0.16~0.04 0.08~0.04 0.08~0.02	4~6 4~6 3~4		F800 F800 F1000	H~K G~J	
淬 火 钢	$R_z=20\sim 10$ $R_a=2.5\sim 1.25$	1.25~0.63	10~20	WA	F150~F180	M~P	F30/F36
	$R_z=20\sim 10$ $R_a=2.5\sim 1.25$	0.63~0.32	15~25 6~10		F280~F320 F320~F360	L~N K~M	F36/F60~F60/F70
	2.5~0.63	0.32~0.16	8~12 5~10		F360; F400 F400; F500	J~L	F70/F90~F90/F120
	1.25~0.32		6~10 4~6		F600 F600; F800	H~K	F90/F120~F120/F180
	0.32~0.16	0.16~0.04	4~6		F1000 F1000; F1200	G~J	
	0.16~0.08	0.08~0.04 0.08~0.02	4~6 3~4		F1200	G~H	
		0.04~0.02	4~5				
非 淬 火 钢	$R_z=20\sim 10$ $R_a=2.5\sim 1.25$	1.25~0.63	10~20	GC	F150~F180	N~O	F36/F60~F60/F70
	$R_z=20\sim 10$ $R_a=2.5\sim 1.25$	0.63~0.32	15~25 6~10		F360 F360; F400	M~P L~N	F70/F90~F90/F120
	2.5~0.63	0.32~0.16	8~12 6~8		F500 F600; F800	K~M	
	1.25~0.32		8~12		F1000	J~L	

表 2-30 超精加工的工艺参数

工序	f [往复/min]	A [mm]	v [m/min]	p [MPa]	v_f [mm/r]
粗超精加工	1 600~2 000	3~5	6~30	0.15~0.4	1
精超精加工	1 000~1 400	1~3		0.05~0.15	0.2

表 2-31 超精加工的工艺参数举例

工件名称及材料	加工精度及表面粗糙度 [μm]	磨条		圆周速度 v [m/min]		轴向进给速度 v_f [mm/r]	磨条频率 f [$\frac{\text{次}}{\text{min}}$]	磨条振幅 A [mm]	切削角 θ	磨条压力 p [MPa]		加工时间 t [s]	切削液
		粗加工	精加工	粗加工	精加工					粗加工	精加工		
曲轴主轴颈 和连杆颈 $\phi 6$ 45 钢 48~58HRC	超精前 R_a 0.63~ R_a 0.32 超精后 R_a 0.16~ R_a 0.04	WAW40 60HRH 浸锭子油 时间 2 h	WAW40 60HRH 浸锭子油 时间 2 h	40.5	40.5		1 000	3	8.5°	0.06~0.07	0.05	45	煤油 90% 锭子油 10%
曲轴主轴颈 铸钢 S15C 高频淬火 55HRC	超精前 R_a 2 超精后 R_a 0.5	WAW40 60HRH	WAW40 60HRH	12.5	12.5		1 250	2		0.06	0.06	1	轻油 80% 机械油 20%
曲轴主轴颈 钢或球铁	R_a 0.32~ R_a 0.16	WA 或 GCF280~ F320 砂带	WA 或 GCF280~ F320 砂带	63~70 r/min	125~140 r/min		低频 0~30 高频 450~ 675	低频 0~12 高频 3~6		0.2~0.3	0.2~0.3	30	煤油 80% 机油 20%
凸轮的凸轮 及轴颈	R_a 0.32~ R_a 0.16	WA 或 GCF280~ F320 砂带	WA 或 GCF280~ F320 砂带	110 或 150 r/min	110 或 150 r/min		低频 60 或 90 高频 380	低频 1~4 高频 2		0.2~0.3	0.2~0.3	30	煤油 80% 机油 20%
汽门顶杆平面 $\phi 50$	超精前 R_a 0.63 超精后 R_a 0.04	WAW40 30HRH	WAW40 0HRH	94	94	粗 0.09 精 0	1 000	1 000	4°	0.08~0.1	0.08~0.1	90	煤油 90% 锭子油 10%
机床主轴轴颈 $\phi 50 \times 250$ 40Cr 56HRC	超精后 R_a 0.04	WAW40 35~45HRH 20×20×80 2 块	WAW40 0HRH 20×20×80 2 块	117	157	粗 0.28 精 0.13	930~1 100	6	粗 5°20' 精 4°	0.1	0.075	120	煤油 90% 锭子油 10%

表 2-31 续

工件名称及材料	加工精度及表面粗糙度 [μm]	磨条		圆周速度 v [m/min]		轴向进给速度 v_f [mm/r]	磨条频率 f [次/min]	磨条振幅 A [mm]	切削角 θ	磨条压力 p [MPa]		加工时间 t [s]	切削液
		粗加工	精加工	粗加工	精加工					粗加工	精加工		
发电机轴 $\phi 96 \times 5.640$ SM合金钢	超精前 $R_a 5$ 超精后 $R_a 0.08 \sim R_a 0.04$	WAW40 65HRH 25×25×6 2块	WAW40 0HRH 25×25×6 1块	14.5	58	粗 1.2 精 0.6	930	3	粗 $21^\circ \sim 36^\circ$ 精 $5^\circ 36'$	0.24	0.07~0.16	试件 $\phi 200 \times 240$ 1500	煤油 90% 锭子油 10%
轧辊外圆 高碳、高铬钢 MS88~90	超精前 $R_z 2$ 超精后 $R_z 0.1$	WAW40 30HRH 树脂	WAW40 30HRH 树脂	31.9	41.3	粗 1 精 0.3	750	2		0.2	0.08	20	轻油 80% 机械油 20%
塞规外圆 碳素工具钢 53HRC	超精前 $R_z 3$ 超精后 $R_z 0.2$	WAW40 60HRH 树脂	WAW40 60HRH 树脂	17.8	22.3	0.1	1200	2.2		0.14	0.05	4	轻油 80% 机械油 20%
推力轴承平面 $\phi 1066$ 35钢 207HB	超精前 $R_a 1.25$ 超精后 $R_a 0.32$	WA280# 50HRH 25×25×160 3块	WA280# 50HRH 25×25×160 3块	11	11	2.1	960	960		0.16	0.12	7200	煤油 90% 锭子油 10%
球轴承内圈沟道 轴承钢	$R_a 0.04 \sim R_a 0.02$ 圆度 $\leq 1 \mu\text{m}$	WAW40	GCW14	400	500		粗 400~500 精 700~1200		摆角 粗 $\pm 15^\circ$ 精 $\pm 6^\circ \sim 8^\circ$	0.1~0.2	0.1~0.2	8	珩磨油
轴承内外圈滚道 $\phi 5 \sim \phi 20$ 轴承钢 65HRC	超精后 $R_a 0.08 \sim R_a 0.04$	WAW7 50~70HRH	GCW3.5 50~70HRH	120~180	120~180		400~800	摆角 $20^\circ \sim 30^\circ$	$90^\circ \sim 120^\circ$	0.2~0.4	0.2~0.4	30	煤油 100%

振幅 A A增大时,单位时间内的材料去除量增加,但表面粗糙度降低。振幅过大会影响振动机构振动频率的提高,一般取小振幅和高的振动频率。振幅一般取值见表 2-30。

工件表面圆周速度 v v 增大,切削角 θ 变小,单位时间内金属去除量增加,表面粗糙度变大。 v 的大小应根据油石的性能、切削角 θ 和压力 p 等具体情况综合考虑。一般可按表 2-30 选用。

钢制零件:循环开始阶段——6~15 m/min;

循环结束阶段——20~40 m/min;

工作过程中不变速的——15~30 m/min;

钢制淬火的机床主轴颈——30~45 m/min;

轴承圈——90~100 m/min;

铝活塞——20~140 m/min。

磨条压力 p 磨条压力增大,金属的去除量增加,磨条磨耗加快,表面粗糙度变大;当磨条压力变小时,则情况相反。一般粗加工时取较大的压力,精加工时取较小的压力。磨条硬度低时压力取小值,磨条硬度高时取大值。切削角 θ 大时,切削作用增强,压力可取小值。每种磨条在一定范围内当压力增大时,单位磨条磨耗量的金属去除量增加,效率提高。一般采用值见表 2-30。

进给速度 v_f 工件直径大时, v_f 取小值;工件直径小时, v_f 取大值。 v_f 一般取 0.04~7 m/min,无级调速。一般可按表 2-30 选用。

工件硬度 工件硬度高时,表面粗糙度容易提高, θ 可选大些,磨条硬度及压力 p 也可选高些。硬度低时,则相反。

加工余量 一般为 0.005~0.01 mm。

加工时间 一般为 0.5~1 min。

切削液 一般钢采用 85%~90%煤油+15%~10% 2 号或 3 号锭子油。也可用 745 极压添加剂 10%+工业油酸 5%+30# 机油 15%+10# 气缸油 10%+煤油 60%。也可用切削液含癸二酸、三乙醇胺(1:1)0.4%+102 匀染剂 0.5%+6503 清洗剂 0.5%+甘油 2%+乙醇 1%~2%+碳酸钠 1%+亚硝酸钠 1%+蒸馏水。

超精加工各种零件的工艺参数举例见表 2-31。

滚 轮 珩 磨

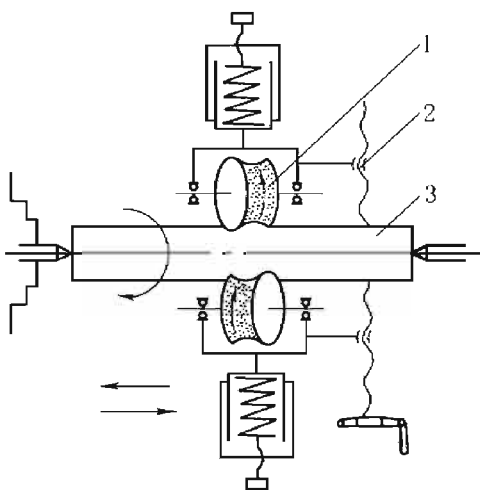


图 2-24 滚轮珩磨

1—珩磨轮; 2—进给丝杠; 3—工件

滚轮珩磨是一种内、外圆光整加工工艺,方法比较简单,适用于加工光轴或通孔,如遇阶梯轴或不通孔,则工件表面将有一段滚珩不到。它主要用于光整加工尺寸较大的精密零件的内、外圆表面,例如:细长轴、主轴、镗杆、轧辊、缸体的内孔等。滚轮珩磨有单轮、双轮和多轮等型式,工作时,磨轮与零件成一角度接触,如图 2-24 所示。磨轮在弹簧力作用下与零件紧密接触,当工件转动时,由摩擦力带动磨轮各绕本身轴线旋转,同时,磨轮还沿工件轴向作纵向往复进给运动,由此产生细微珩磨作用。零件经滚珩后表面粗糙度可提高,一般外圆和内孔可以达到 $R_a 0.16 \sim R_a 0.04 \mu\text{m}$ 滚珩轮选用单轮还是多轮,可按照零件批量及其他有关情况而定。如滚珩细长轴时,双轮比单轮好,可以减少零件弯曲度。但当零件批量小时,单轮滚珩外圆比双轮滚珩操作方便,机床不用改装,在滚珩内孔时深孔零件宜用多轮滚珩,它能平衡滚珩压力,在滚珩一般的孔时单轮比较简便。在使用单轮滚珩时若采用较小的进给量则可以避免螺旋纹。

滚轮珩磨的特点

1. 加工表面粗糙度能稳定地达到 $R_a 0.04 \sim R_a 0.02 \mu\text{m}$ 。由于磨轮的双曲线轮廓母线的形状与工件直径有关,故能部分修正锥度,但工件的圆度误差基本上不能修正。

2. 能改善工件表面的物理机械性能,提高工件的耐磨和抗腐蚀能力,延长使用寿命。

3. 对工件的原始表面粗糙度要求不高, $R_a = 5 \mu\text{m}$ 的表面粗糙度也能加工出小的表面粗糙度。
4. 工艺装备简单, 普通车床上附加滚珩装置, 即可进行加工。
5. 对不同硬度、不同材料的工件外圆及内孔都可进行滚珩。

滚轮珩磨的机床一般采用 C6140、C6163 普通车床, 拆下小刀架, 换上滚轮珩磨的专用装置即可加工。

滚轮珩磨工具结构

图 2-25 所示为外圆滚珩工具, 一般常用于单轮滚珩, 如在对面同时装上同样工具时, 可用作双轮滚珩, 如将工具装夹于专用的刀杆上亦可作单轮内孔滚珩工具, 加工尺寸较大的孔。图 2-26 所示为单轮的内孔滚珩工具, 尾部可接标准钻杆用于在车床上滚珩大于 $\phi 50 \text{ mm}$ 的孔。图 2-27 所示为双轮内孔滚珩工具, 如接上锥柄刀杆可用在镗床上, 接车床刀杆可用在车床上。图 2-28 所示为八轮滚珩工具, 接上钻杆后, 可用在深孔钻床上滚珩深孔, 使用时前后两端应装上导向木条。

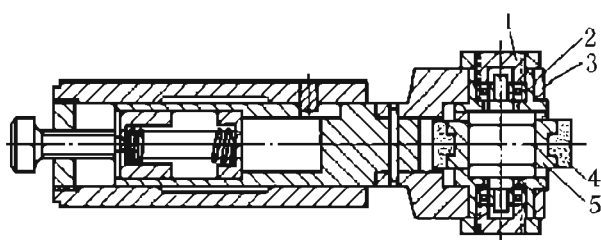


图 2-25 外圆珩磨头

- 1—螺塞; 2—轴承套; 3—压盖; 4—砂轮;
5—内圈; 6—限位螺钉

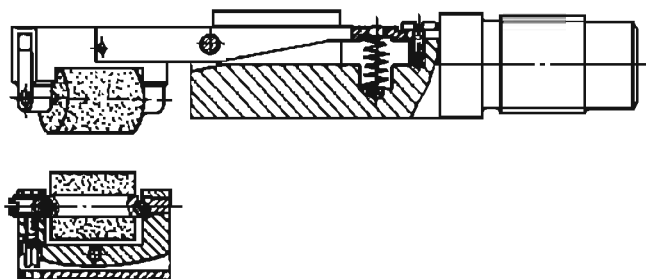


图 2-26 单轮内孔滚珩工具

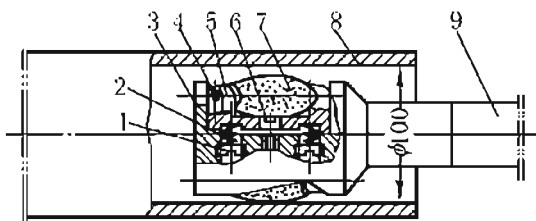


图 2-27 双轮内孔滚珩工具

- 1—螺塞; 2—弹簧; 3—珩磨头体; 4—小轴; 5—支架;
6—圆头螺钉; 7—珩磨轮; 8—加工零件; 9—刀杆

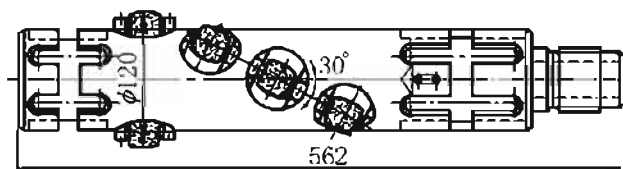


图 2-28 八轮深孔滚珩工具

滚轮珩磨磨轮的选择

磨轮的尺寸选择 磨轮直径大小对工件加工质量影响不大。磨轮直径大, 磨轮耐用度长, 修整次数相对减少, 但机构的尺寸随之增大。一般情况下, 工件的圆周速度为 $60 \sim 65 \text{ m/min}$ 时, 磨轮直径为 $90 \sim 110 \text{ mm}$ 。磨轮宽度对磨削质量的影响也不大。同样的进给速度, 磨轮宽些, 表面粗糙度则小些, 同样的表面粗糙度要求, 磨轮宽些, 进给速度也可大些, 可提高效率。但宽度过大, 磨削力增加, 工件易发热变形, 而宽度过窄又要影响效率和表面粗糙度。磨轮宽度一般取 $25 \sim 35 \text{ mm}$ 。

磨轮的粒度选择 树脂结合剂的磨轮, 其粒度是根据工件的表面粗糙度要求选取的, 见表 2-32。

磨轮硬度的选择 磨轮硬度是指整体硬度。硬度高, 加工表面粗糙度小, 但切削性能差。硬度低, 则效果相反。硬度值一般取 $40 \sim 45 \text{ HB}$ 。

磨轮主要成分 按质量比, 比值: 金刚石砂为 200, 环氧树脂 6101# 为 100, 磷苯二甲酸二丁酯为 16, 乙二胺为 9, 氧化铬为 10。

表 2-32 磨轮粒度

工件表面粗糙度 [μm]	磨轮粒度
$R_a 0.04 \sim R_a 0.02$	F800
$R_a 0.08$	F500
$R_a 1.25 \sim R_a 0.32$	F100~F320

脱模剂采用 5% 有机硅油和 95% 甲苯调和后使用。

滚轮珩磨工艺参数的选择

滚珩时零件表面质量好坏是由工艺参数决定的,其主要参数见表 2-33。

表 2-33 滚珩主要工艺参数

工序	交角 α	速度 [m/min]	余量 [mm]	进给量 [mm/r]	压力 [N]	珩轮宽度 [mm]	珩轮粒度	切削液
粗滚珩	25°~35°	50~80	0.01~0.05	0.5~1	100~300	30~100	F80~F240	F800 氧化铝加 10% 工业油酸 80%~90% 煤油加 20%~10% 10# 机油
精滚珩				0.1~0.3			F600~F1000	

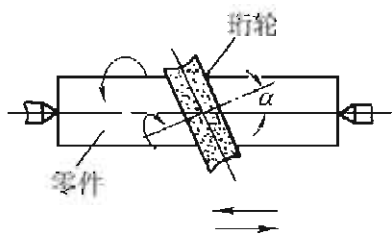


图 2-29 外圆滚珩

磨轮与工件轴线间的交角 滚轮珩磨的磨削速度与磨轮和工件轴线间的交角 α (见图 2-29) 有关, α 越大, 磨削速度 v 也越大, 表面粗糙度也可相应减小。但 α 不能过大, 因 α 增大时磨轮圆周速度减小, 至某一值时, 工件表面会出现平行的振痕, 甚至磨轮停止转动。 α 越小, v 也越小, 工件表面粗糙度即增大。一般 α 取 27°~35° 为宜。工件直径小时, 磨削速度小, 表面粗糙度也可能增大, 此时 α 可取其小值。

工件速度 工件的圆周速度越大, 磨削速度越高, 表面粗糙度则越小, 磨削时间可缩短。但圆周速度过大, 机床易产生振动。工件的圆周速度, 外圆滚珩可用 60~65 m/min, 内孔滚珩可用 50~60 m/min。

磨轮与工件的接触压力 磨轮对工件的接触压力大, 磨削质量和效率高。一般接触压力可取 100~300 N, 外圆滚珩取大值, 内圆滚珩取小值。

磨轮纵向往复进给速度 进给速度对磨削质量影响不大。为提高磨削效率, 进给速度应尽量大些。工件每一转磨轮的移动量一般可取 0.6B (B 为磨轮的宽度), 外圆粗滚珩取 0.16~0.33 m/min; 外圆精滚珩取 0.06~0.08 m/min; 内孔滚珩取 0.06~0.12 m/min。

滚珩余量 滚珩余量视原始表面粗糙度而定, 原始表面粗糙度小, 磨削余量可以小些。表 2-34 列出了表面粗糙度和磨削余量的关系。工件硬度高, 磨削余量可以小些。

空刀槽尺寸 磨削有台肩的内、外圆时, 空刀槽的宽度一般是根据磨轮与工件轴线间的交角 α 的大小、磨轮与台肩端面之间应留的最小空隙 1~2 mm、磨轮在工件表面应留的最小超越量 3~6 mm 等来决定。

切削液 粗滚珩时先将预滚珩过的工件表面和滚轮表面擦净 (将零件表面上前道工序留下的波峰磨去), 在工件表面涂以少量氧化铝研磨膏及油酸, 不加磨削液, 进行粗滚珩至工件表面的痕迹磨去为止。粗滚珩后, 再用切削液 (煤油 80%~90%+10 号机油 20%~10%) 连续不断地冲在加工区域, 进行精滚珩, 冲去切屑并减少发热。

表 2-34 珩磨磨削余量

原始表面粗糙度 [μm]	磨削余量 [mm]
R_a 0.63~ R_a 0.32	0.01~0.015
R_a 0.63~ R_a 0.32	0.005~0.01
R_a 2.5	0.05
R_a 5	0.1~0.2

零件表面冷压加工

概 述

零件表面冷压加工是利用金属的塑性, 使零件的表面层金属在外力的作用下产生残余变形, 从而达到改变其表面性能、形状和尺寸的目的。由于塑性变形的结果, 不但零件表面层的形状改变, 而且表面层的金属结构和性能也发生变化, 晶粒变细, 并沿着变形最大的方向延伸, 有时呈纤维状, 并在零件表面层内形成有利的残余

应力分布。

金属零件在表面冷压加工后表层得到强化,强度极限和屈服点增大,表面硬度提高,表面粗糙度减小,因而零件的使用性能——抗疲劳强度、耐磨性和耐腐蚀性都有显著的改善。

表面冷压加工特别适用于加工钢制的和有色金属制的、承受反复载荷的机械零件。

零件表面冷压加工的方法很多,根据加工的主要目的大致可区分为两类:

1. 用以强化零件 零件经加工后表面有较厚的强化层(1.5~15 mm),可以承受较高的反复载荷。这种加工主要用在重型及中型机械制造业中。

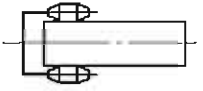
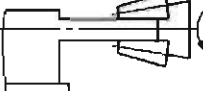
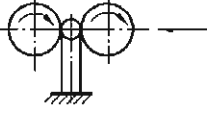
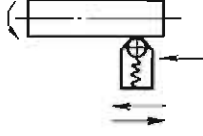
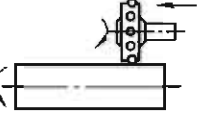
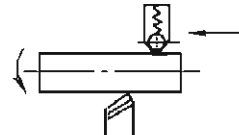
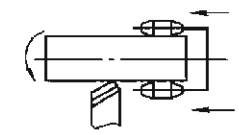
2. 用以减小零件的表面粗糙度和提高硬度 加工后表面强化层较薄(0.01~1.5 mm)。这种加工多用在小型零件和仪表制造业中。

常用的零件表面冷压加工方法,可达到的表面质量和应用范围见表 2-35。

表 2-35 常用的表面冷压加工举例

序号	加工方法及示意图	功用	预计加工效果				加工零件示例
			强化层厚度 [mm]	硬度提高 [%]	达到精度 等级	表面粗糙度 R_a [μm]	
外 圆 柱 面 加 工							
1	硬质合金 压平器 	光整及 硬化	6	50~60		0.63~0.32	小轴和阶梯小轴 $d < 20 \text{ mm}$, l 不限
2	金刚石压 平器 	光整及 硬化	1	20~25	5~6	0.08~0.04	$5 < d < 50 \text{ mm}$ l 不限
3	单滚轮 滚压 	光整及 硬化	0.2~15 (重型机械)	10~40	6~7	0.63~0.16	轴、轴颈 $d > 50 \text{ mm}$ $l < 500 \text{ mm}$
4	单滚珠 滚压 	光整及 硬化	< 5	20~50	5~6	0.63~0.08	轴、轴颈 $d > 10 \text{ mm}$ $l < 50 \text{ mm}$
5	多滚珠 滚压 	光整及 硬化	< 5	20~50		0.63~0.08	轴 $d > 8 \text{ mm}$ l 不限
6	三滚轮 滚压 	光整及 硬化	< 15	20~50		0.63~0.08	光滑或阶梯轴或轴套 $d > 20 \text{ mm}$, l 不限

表 2-35 续

序号	加工方法及示意图	功用	预计加工效果				加工零件示例
			强化层厚度 [mm]	硬度提高 [%]	达到精度 等级	表面粗糙度 R_a [μm]	
7	刚性多滚柱滚压 	校正及光整	<15	20~50	6~7	0.63~0.04	光轴或阶梯轴 $d > 20 \text{ mm}$, l 不限
8	多滚柱差动滚压 	校正及光整	<15	20~50	6~7	0.63~0.04	光轴和阶梯轴 $d > 20 \text{ mm}$, l 不限
9	滚轮滚压 	校正、光整及硬化	<0.1	20~50		0.32~0.04	光轴、阶梯锥轴 $d = 1 \sim 5 \text{ mm}$ $l < 50 \text{ mm}$
10	单滚珠振动滚压 	光整及硬化	<5	20~50		0.63~0.08	轴 $d > 10 \text{ mm}$ $l < 50 \text{ mm}$
11	单滚珠冲击滚压 	光整及硬化	<0.5	15~30		0.63~0.16	轴 $d > 10 \text{ mm}$, l 不限
12	车、单滚珠滚压 	校正、光整及硬化	<1	30~40	6~7	0.63~0.32	轴 $d < 500 \text{ mm}$, l 不限
13	车、滚柱滚压 	校正、光整及硬化	<15	20~50	6~7	0.63~0.16	轴 $d < 200 \text{ mm}$ l 不限

内圆柱面加工

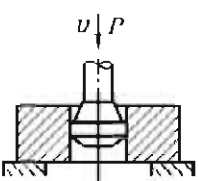
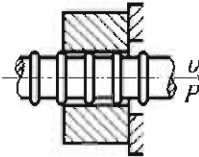
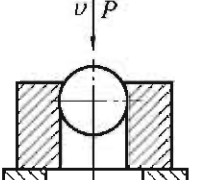
14	单环挤压 	校正、光整及硬化	<0.5	<40	6~7	0.32~0.16	零件上不同形状截面的孔, $d < 100 \text{ mm}$, $l < 50 \text{ mm}$
15	多环挤压 	校正、光整及硬化	<0.5	20~40	6~7	0.16~0.08	零件上圆形通孔, $d < 100 \text{ mm}$, l 不限
16	滚珠挤压 	校正、光整及硬化	<0.5	<40	6~7	0.32~0.16	零件上直径大于 1 mm 的通孔

表 2-35 续

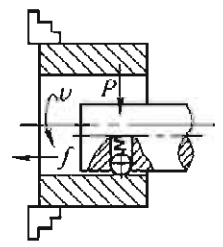
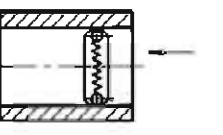
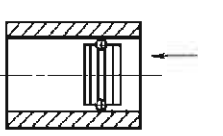
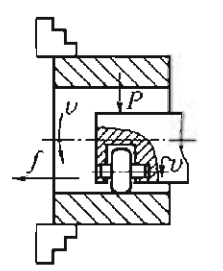
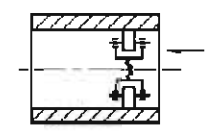
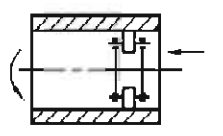
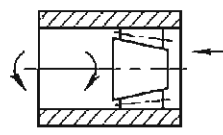
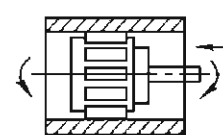
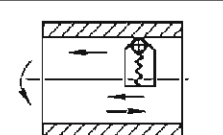
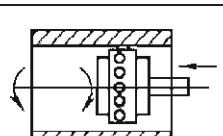
序号	加工方法及示意图	功用	预计加工效果				加工零件示例
			强化层厚度 [mm]	硬度提高 [%]	达到精度 等级	表面粗糙度 R_a [μm]	
17	滚珠滚压 	光整及 硬化	<1	20~50	7	0.63~0.16	零件上直径大于 30 mm 的通孔, $l = 100 \text{ mm}$
18	多滚珠 可调节 滚压 	光整及 硬化	<2	20~40		0.32~0.18	轴 $d > 40 \text{ mm}$, l 不限
19	多滚珠 刚性可 调滚压 	校正及 光整	<5	20~50	7~8	0.32~0.08	轴 $d > 20 \text{ mm}$, l 不限
20	滚轮滚压 	光整及 硬化	0.2	<40	7~8	0.63~0.16	零件上直径大于 30 mm 的孔
21	多滚轮 滚压 	光整及 硬化	<5	20~40		0.32~0.08	孔径 $d > 60 \text{ mm}$, l 不限
22	多滚轮刚 性滚压 	校正及 光整	<5	20~40	6~7	0.16~0.08	零件孔径 $d > 8 \text{ mm}$, $l < 30 \text{ mm}$
23	圆锥体滚 柱滚压 	校正及 光整	<15	20~50	7~8	0.16~0.08	$d > 20 \text{ mm}$, l 不限
24	圆柱体滚 柱滚压 	校正及 光整	<5	20~50	7~8	0.32~0.08	套类零件 $d > 20 \text{ mm}$, l 不限
25	滚珠振动 滚压 	光整及 硬化	<2	20~40		0.32~0.08	$d > 20 \text{ mm}$, l 不限
26	滚珠冲击 加工 	光整及 硬化	<0.5	15~30		0.63~0.16	$d > 70 \text{ mm}$, l 不限

表 2-35 续

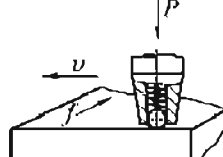
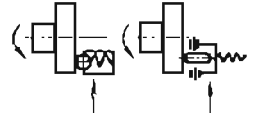
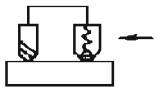
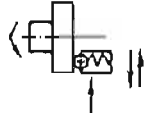

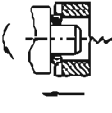
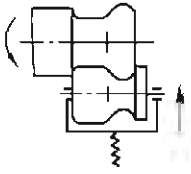
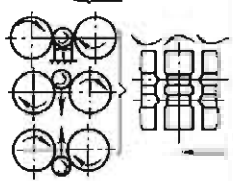
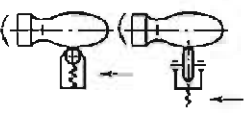
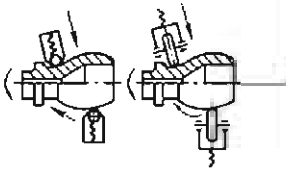
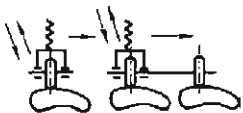
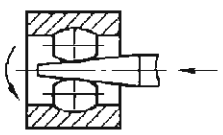
序号	加工方法及示意图	功用	预计加工效果				加工零件示例
			强化层厚度 [mm]	硬度提高 [%]	达到精度 等级	表面粗糙度 R_a [μm]	
平面加工							
27	液轮滚压 	光整及硬化	<3	20~50	7~8	0.63	平板、薄板、导轨、各种型面
28	液珠滚压 	光整及硬化	<1	20~50	7	0.63~0.32	零件的平面、型面或端面
29	液轮、液珠滚压端面 	光整及硬化	<5	20~40		0.32~0.04	回转零件的端面, d 不限
30	多滚珠头滚压 	校正、光整及硬化	<5	20~40		0.32~0.08	薄板或平板, 尺寸不限
31	多滚柱刚性成型滚光 	校正、光整及硬化	<8	20~40		0.16~0.04	环形端面槽, $d < 300$ mm
32	同时铣及液珠滚压 	校正、光整及硬化	<1	20~40		1.25~0.32	平面, 尺寸不限
33	振动滚压 	光整及硬化	<2	20~50		0.63~0.16	圆盘、止推轴承, d 、 l 尺寸不限
成型面加工							
34	单滚轮滚压圆弧 	校正、光整及硬化	<5	20~50		0.63~0.16	圆弧和球形槽 $r < 50$ mm
35	单滚珠滚压圆弧 	光整及硬化	<5	20~50		0.32~0.08	圆弧和球形槽 $r < 50$ mm
36	多滚珠滚压圆弧 	光整及硬化	<5	20~50		0.32~0.08	圆弧和球形槽 $r < 50$ mm

表 2-35 续

序号	加工方法及示意图	功用	预计加工效果				加工零件示例
			强化层厚度 [mm]	硬度提高 [%]	达到精度 等级	表面粗糙度 R_a [μm]	
37	成型滚轮 滚压 	光整	<0.2	15~20		0.63~0.32	回转零件 $d < 50 \text{ mm}$ $l < 30 \text{ mm}$
38	成对轧辊 滚压 	校正及 光整	<1.5	30~40	6~7	0.32~0.16	不规则曲线圆柱面 $d < 50 \text{ mm}$ $l < 80 \text{ mm}$
39	仿形 滚压 	光整及 硬化	滚珠式 <0.5 滚轮式 <0.2	滚珠式 20~40 滚轮式 15~20		0.63~0.16	回转零件 $d < 50 \text{ mm}$, l 不限
40	仿形 滚压 	光整及 硬化	滚珠式 <0.5 滚轮式 <0.2	15~20		0.63~0.16	球形面
41	单滚轮仿 形滚压 	光整及 硬化	<0.3	10~20		1.25~0.63	板和叶片状零件 l 不限
42	多滚柱刚 性成型 滚压 	校正及 光整	<0.2	15~20	7~9	1.25~0.63	轴套零件 $d < 200 \text{ mm}$, $l < 100 \text{ mm}$

滚轮滚压加工

加工概述 零件的滚轮滚压加工是利用带滚轮的滚压工具,在车床、钻床、刨床或类似的机床上,对零件表面施加一定压力进行滚压,从而提高零件的表面粗糙度、硬度、耐磨性及疲劳强度。并可代替粗精磨等工艺。根据加工的性质,可分为光整加工和强化加工两种。光整加工主要用来提高零件的表面粗糙度,加工时使用的压力较小,强化层较薄,这种加工主要用在精密机械零件和仪表零件的制造。强化加工主要用来提高零件的表面硬度和强度,加工时压力较大,强化层较厚,这种加工主要用在大中型零件的制造。

滚轮滚压可加工圆柱形或锥形的外表面和内表面、曲线旋转体的外表面、平面、端面、凹槽、台阶轴的过渡圆角,以及其他各种形状的外表面的零件,见图 2-30 中的示例。

加工方法 滚轮滚压加工是用带滚轮的滚压工具在零件表面上作相对滚动,进行滚压。压力传递到滚轮上的方式有机械的(刚性的)、弹簧的和液压的。用机械的方式,工具结构简单,但加工后的零件表面质量不均匀。液压的方式多用于滚压大型零件上,需要较大压力处,压力均匀,但工具结构比较复杂。弹簧的方式工具比液压的简单,压力也比较均匀,压力调节也比较方便,故滚压中大型零件时用得较多。

同时滚压的滚轮数有 1 个、2 个或 3 个。用单一滚轮滚压圆柱形外表面的方法见表 2-35。这种方法只能用于具有足够刚度的零件。如零件刚度较小,则须用 2 个或 3 个滚轮在相对的方向上同时进行滚压,以免零件弯曲变形,见图 2-31。

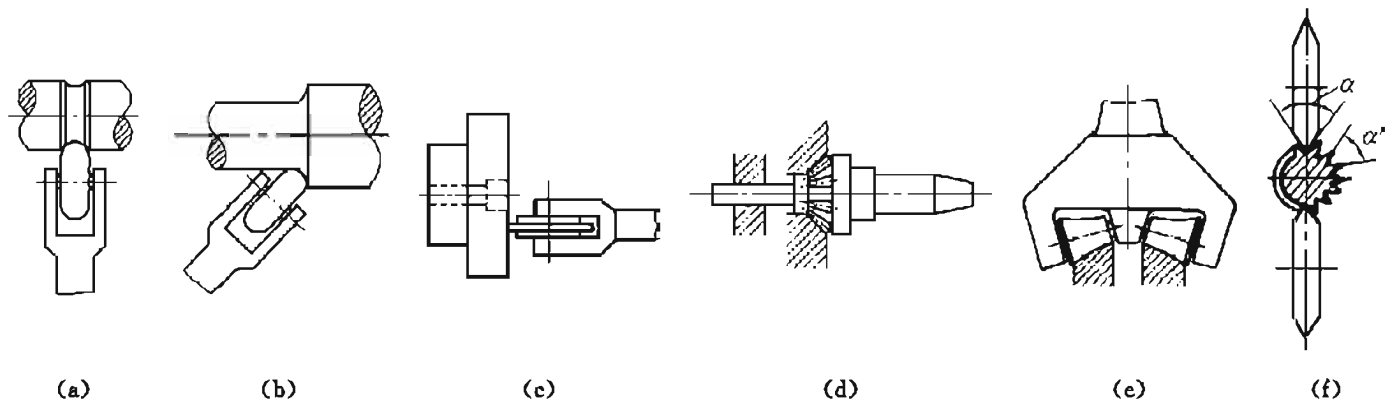


图 2-30 滚轮滚压外表面的示例

(a) 滚压圆柱凹槽; (b) 滚压过渡圆角; (c) 滚压端面;
(d) 滚压锥形孔; (e) 滚压型面; (f) 滚压直槽

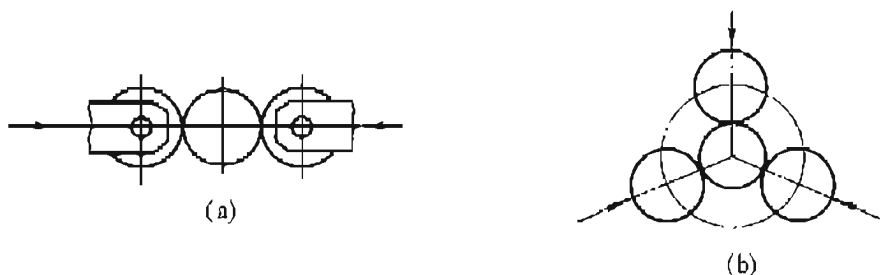


图 2-31 多滚轮滚压圆柱形外表面原理图

(a) 双滚轮; (b) 三滚轮

滚压前零件表面的预加工,建议采用精车、精镗或精铣,较少采用磨料加工。精车中等强度钢料的切削用量建议采用: $v = 140 \text{ m/min}$, $f = 0.2 \sim 0.3 \text{ mm/r}$, $a_p = 0.3 \sim 0.5 \text{ mm}$, 用刀尖圆弧半径为 $1 \sim 3 \text{ mm}$ 的硬质合金刀车削。预加工后零件表面应具有 $R_a 10 \sim R_a 2.5 \mu\text{m}$ 的表面粗糙度。

加工大型零件,有时对表面粗糙度要求虽不很高,但要求有较厚的强化层,这就要求用较大的滚压压力(达 $50 \sim 70 \text{ kN}$),或作多次滚压。这时表面会出现波纹或过强化层。应再进行一次细车,车去过强化层。切削用量建议采用: $v \geq 140 \text{ m/min}$, $f = 0.2 \sim 0.3 \text{ mm/r}$, $a_p = 0.1 \sim 0.5 \text{ mm}$ 。

滚轮滚压的效果决定于下列各项因素:

1. 加工材料的性质(结构组织、硬度、塑性);
2. 零件加工前的表面状况(表面粗糙度、波纹度、显微硬度);
3. 滚压方式;
4. 滚压工具的结构、滚轮的几何形状以及与被加工零件的相对位置;
5. 加工用量(滚压压力、进给量、滚压速度、滚压次数)。

滚压工具 滚压工具是由滚轮和夹装座组成。不同的用途,要使用不同形状的滚轮。图 2-32 是几种常用的滚轮形状。图中 a 型和 b 型滚轮系用于滚压长度不受严格限制的圆柱形表面或平面;a 型滚轮的圆柱形部分宽度 b ,在滚压小零件时为 $2 \sim 5 \text{ mm}$,滚压大零件时为 $12 \sim 15 \text{ mm}$, $\alpha \approx 5^\circ$; b 型滚轮用在滚压刚度较差的零件, $R = 4 \sim 50 \text{ mm}$; c 型滚轮用在滚压零件上凹槽及凹圆角; d 型滚轮可用来滚压端面及凹形面等; e 型滚轮用在滚压特殊的形状。

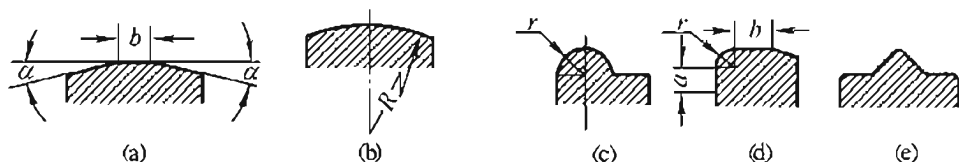


图 2-32 滚轮滚压部分的形状

(a) 带圆柱形部分宽度 b 和斜角 α 的滚轮; (b) 具有半径 R 的球形面滚轮; (c) 具有半径 r 的球形面滚轮;
(d) 具有综合形状的滚轮,其中 r 部分滚压凹形, a 部分滚压端面, b 部分滚压圆柱形表面; (e) 滚压特殊形状表面的滚轮

滚轮材料可用 T10A 或 T12A 钢, 热处理硬度为 58~65HRC。近年来由于使用硬质合金工具, 滚轮硬度高, 使用寿命长, 应用范围也相应扩大。不仅可加工碳钢、铸铁、有色金属的零件, 还能滚压较硬而塑性变形差的合金钢及一般调质钢零件。

滚轮一般支承在滚动轴承上。图 2-33a 为简单的单滚轮滚压工具的示例。图 2-33b 所示的单面支承的硬质合金 (YT5 或 YT15) 滚轮工具, 经实践证明能获得较好的滚压效果, 使用面亦很广。这种工具对滚轮的同轴度要求较高, 误差应小于 0.01 mm。图 2-33c 为圆弧滚压工具, 用以滚压过渡圆角。

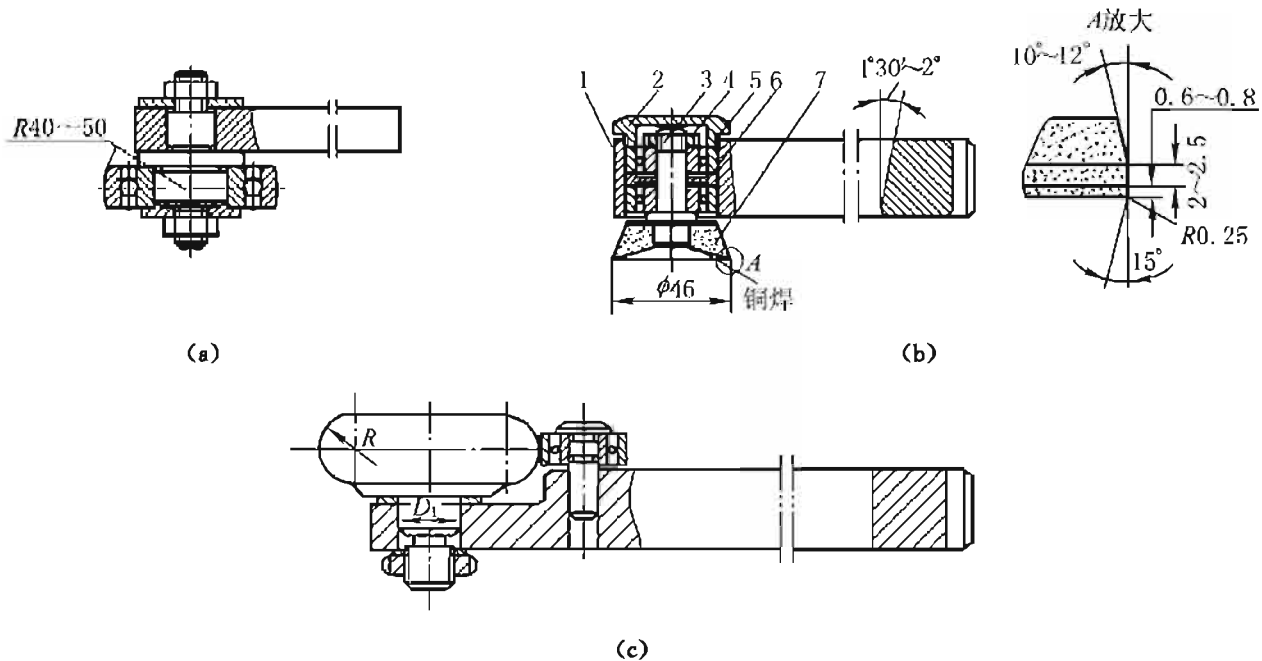


图 2-33 简单的单滚轮滚压工具

(a) 球轴承与滚轮合成一体; (b) 单面支承的硬质合金滚轮; (c) 圆弧滚压工具
1—刀体; 2—后盖; 3—心轴; 4—螺母; 5—轴承 (202 或 36202); 6—垫圈; 7—硬质合金滚轮

图 2-34a、b 为用左、右旋螺杆装两滚轮和三滚轮的滚压装置示意图。为了使压力均匀, 并便于调节, 可用弹簧或液压的滚压工具。图 2-34c 为双轮硬质合金滚压工具的示例, 从零件两侧施加相等压力, 适用于加工直径为 5~80 mm 的细长轴零件, 滚轮直径为 15 mm。

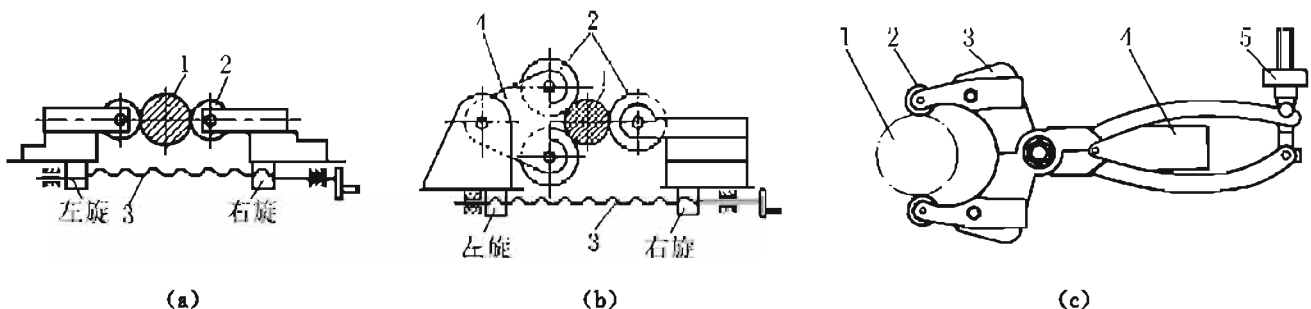


图 2-34 用左、右旋螺杆装两滚轮及三滚轮的滚压装置示意图

(a) 两滚轮装置: 1—工件; 2—滚轮; 3—螺杆;
(b) 三滚轮装置: 1—工件; 2—滚轮; 3—螺杆; 4—支承;
(c) 双轮硬质合金滚压工具: 1—工件; 2—硬质合金滚轮; 3—钳子; 4—刀体; 5—调整压力滚花螺母

图 2-35 为装有调节弹簧的三滚轮滚压工具和滚压平面用的工具示意图。图 2-36 为压力较大的单滚轮滚压工具结构图, 滚轮直径约为 80~100 mm; 图 2-37 为车床上装用的三滚轮滚压工具的结构图和装用时的外形图。

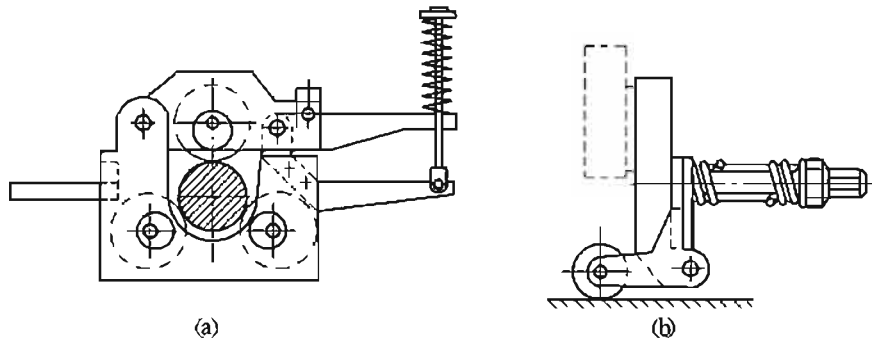


图 2-35 具有调节弹簧的滚压工具

(a) 三滚轮滚压工具,可装在车床上;(b) 加工平面的滚压工具,可装在刨床上

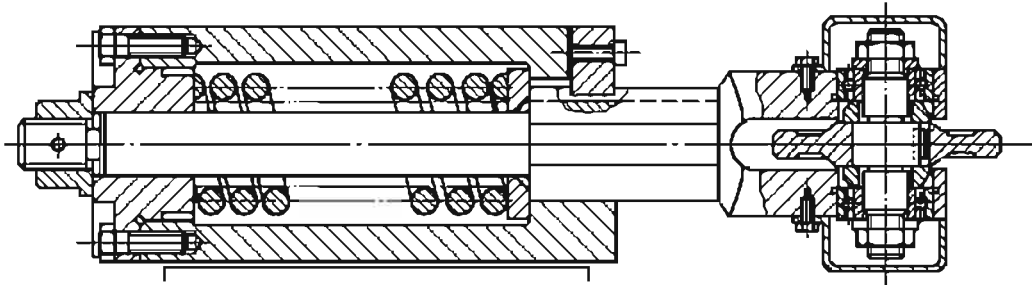


图 2-36 用压力较大的单滚轮滚压工具

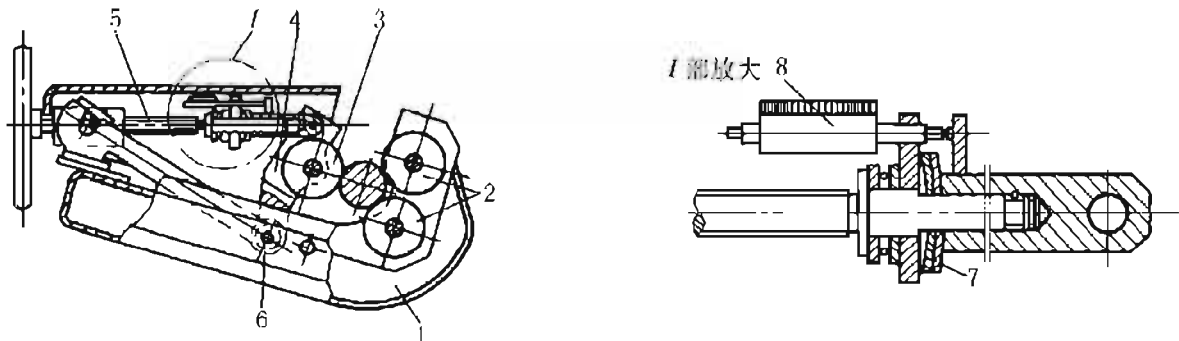


图 2-37 三滚轮滚压工具

1—支座;2—滚轮;3—滚轮;4—杠杆;5—螺杆;
6—连接杠杆与支座的圆销;7—圆片式弹簧;8—压力计

滚压圆柱形内孔的滚压工具式样很多。图 2-38a 所示为简单的硬质合金单滚轮滚压工具,除工具的结构有所不同外,其滚轮的几何形状、材料和工艺要求与图 2-33b 相同,可装在车床上滚压零件的内表面。

图 2-38b 所示为加工中等孔(直径为 50~60 mm)的扩铰式滚压工具,它的周围装有许多滚子 2,作为滚压之用。图中 1 为插销,它起着工具柄 3 与带滚子 2 的整个滚压系统之间力的传递作用,使整个滚子系统随着工具柄一同旋转。这种工具可装在钻床的主轴上,由主轴带动旋转和进给。为了减小摩擦力,在滚子的上下托盘间各装有止推球轴承 4。图 2-38c 为上述工具的外形图。

图 2-38d 所示为圆锥形滚子深孔滚压工具。滚子用 Cr15 钢制造,经热处理硬度为 62~64HRC。当锥度衬套作轴向移动时,能使两个对称的滚子间距离产生微量变化,以调节挤压时过盈量的大小。圆锥形滚子的数量,一般根据孔径尺寸的大小选择 4 粒或 6 粒。滚子外径误差应在 0.005 mm 以内。滚子多,滚压接触面就大,因此可以提高进给量,提高滚压效率。滚压时,滚子 2 受轴向力作用顶在销子 3 上,销子 3 将轴向力传给套圈 5 及 7,向右顶在止推轴承上。滚压完毕后,滚压头从已滚过的内孔中退出。当滚子反向通过零件内孔时,受到一个向左的轴向力传给保持器 1,经套圈压缩弹簧 6,滚子 2 就沿锥度衬套 4 向左移动,滚压头外径就会缩小,这样滚压头退出时不会损伤已滚好的表面。当滚压头全部退出后,滚子在弹簧力的作用下复位。又可进行下一次的滚压。

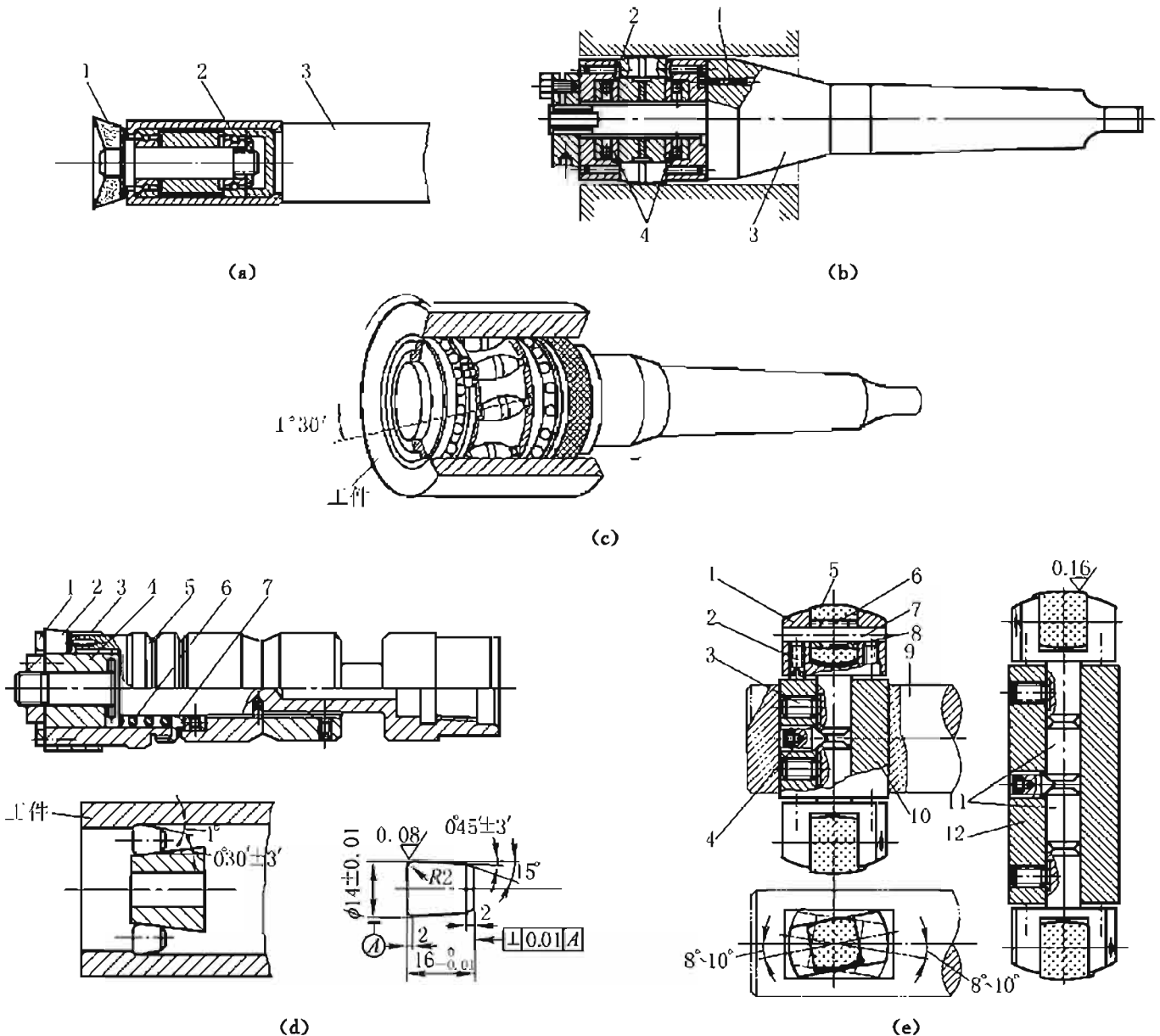


图 2-38 圆柱形内表面的滚压工具

- (a) 硬质合金单滚轮滚压工具：1—硬质合金滚轮；2—球轴承；3—刀杆；
 (b)、(c) 扩铰式滚压工具：1—插销；2—滚子；3—工具柄；4—止推球轴承；
 (d) 圆锥形滚子深孔滚压工具：1—保持器；2—滚子；3—销子；4—锥度衬套；5、7—套圈；6—压缩弹簧；
 (e) 硬质合金双轮内孔滚压工具：1—滚轮架；2—紧固螺钉；3—内六角紧固螺钉；4—锥尾内六角螺钉；5—滚轮；6—滚针；
 7—心轴；8—垫圈；9—刀杆；10—轮架体；11—垫棒；12—接长的轮架体

滚压头径向尺寸利用锥度衬套的移动作微量调节，以适应不同挤压量的需要。

图 2-38e 所示为硬质合金双轮内孔滚压工具。滚轮材料一般选用 YG6、YW1 硬质合金，滚轮的表面粗糙度要求在小于 $R_a 1.6 \mu\text{m}$ ，圆度误差应小于 0.005 mm ，滚轮外圆与内孔的同轴度误差应小于 0.01 mm 。轮架体必须和刀杆上的方孔精确滑配。滚压时要求两滚轮的轴线与工件轴线成两个方向相反的 $8^\circ \sim 10^\circ$ 交角，是以滚轮架上的键槽位置转过 $8^\circ \sim 10^\circ$ 来得到保证的。当所要求的加工尺寸超过锥尾内六角螺钉的微调范围时，可另做如图接长后的轮架体结构。

图 2-39 所示为加工大孔内表面的滚压工具。图 a 所示为可滚压直径 500 mm 孔内表面的三滚轮滚压工具；图 b 所示为可滚压直径 600 mm 孔内表面的滚压工具，滚轮直径为 120 mm 。

工件材料性质和滚压次数对表面粗糙度的影响 被加工材料的硬度虽可达 400 HB ，但从 $280 \sim 300 \text{ HB}$ 开始，滚压效果显著下降。工件材料的硬度愈低和塑性愈高，则滚压后的零件表面粗糙度愈小。一般可以从 $R_a 10 \sim R_a 2.5 \mu\text{m}$ 降至 $R_a 1.25 \sim R_a 0.32 \mu\text{m}$ 。

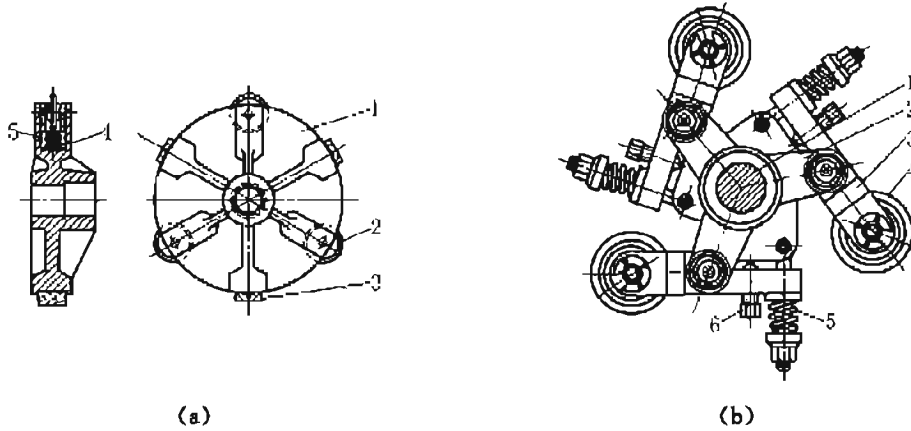


图 2-39 三滚轮内表面滚压工具

(a) 可滚压孔径为 500 mm, 长度为 14 000 mm 的工具:
 1—工具座; 2—滚轮; 3—支块; 4—滚轮座; 5—弹簧 ($P = 2\,500\text{ N}$);
 (b) 可滚压孔径为 600 mm 的工具:
 1—工具杆; 2—三叉架; 3—杠杆; 4—滚轮; 5—弹簧; 6—调节螺钉

表 2-36 列出两种强度不同的材料和各种滚压次数对表面粗糙度提高的影响。

表 2-36 材料性质和滚压次数对加工表面粗糙度的影响

材 料	滚压力 [N]	滚压次数	表面粗糙度 R_a [μm]		材 料	滚压力 [N]	滚压次数	表面粗糙度 R_a [μm]	
			滚压前	滚压后				滚压前	滚压后
55 钢 $\sigma_b = 0.75\text{ GPa}$	500	2	3.2	0.276	Y12 易切削钢 $\sigma_b = 0.45\text{ GPa}$	500	2	3.8	0.197
		4		0.223			0.156		
		6		0.214			0.144		
		8		0.203			0.134		
		10		0.200			0.132		
		12		0.198					

滚压用量 选择适当的滚压用量——滚压压力、进给量、滚压速度与滚压次数——对零件的生产率、表面粗糙度、强化程度与深度、残余应力以及零件的使用性能有很大影响。滚压用量中起主要作用的是滚压压力。

1. 滚压力 滚压力为滚轮对工件表面的作用力 P 。滚压力为滚轮上每 1 mm 有效滚压宽度 b 所受的滚压力, 即 $p = P/b$ 。

当使用多滚轮工具时, 滚压压力 $p = \frac{P}{b'z}$, 其中 b' 为滚轮的实际滚压部分宽度, z 为滚轮数。

在不同滚压次数下, 滚压压力和表面粗糙度的关系见图 2-40, 滚压力 P 和表面粗糙度的关系见图 2-41。

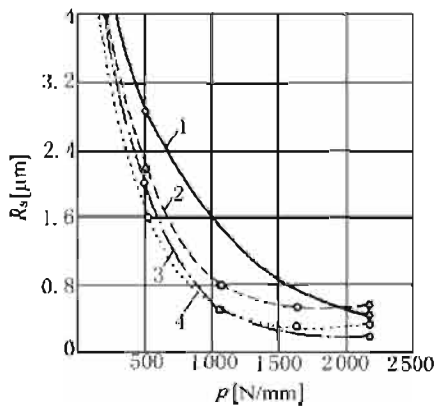


图 2-40 滚压压力与表面粗糙度的关系

1—一次滚压; 2—二次滚压;
 3—三次滚压; 4—四次滚压

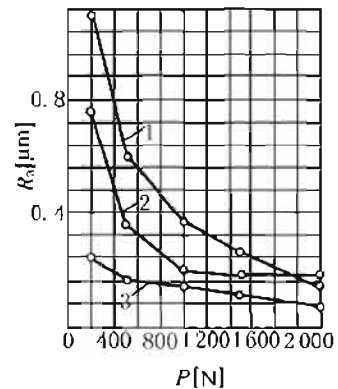


图 2-41 滚压力与表面粗糙度的关系

(滚轮有效滚压宽度 $b = 3\text{ mm}$, 滚压次数 $n = 4$)
 1—零件钢料强度 $\sigma_b = 0.85\text{ GPa}$;
 2—零件钢料强度 $\sigma_b = 0.75\text{ GPa}$;
 3—零件钢料强度 $\sigma_b = 0.45\text{ GPa}$

如以 U 代表滚压的表面粗糙度减小程度的比值, 即 $U = \frac{R_{a\text{滚压后}}}{R_{a\text{滚压前}}}$, 则各种钢料在不同滚压力下的 U 值可参看表 2-37。

表 2-37 各种滚压力下表面粗糙度减小程度 U 值

钢料强度 σ_b [GPa]	滚 压 力 [N]			
	200	500	1 000	1 500~2 200
0.85	0.40	0.30	0.12	0.12
0.75	0.40	0.20	0.08	0.06
0.45	0.12	0.10	0.08	0.06

滚压孔的内表面时, 难以达到高的滚压压力, 因此 U 值约仅为 0.5。

实际使用中用刚性滚压工具时要准确计算滚压力比较困难, 一般靠经验和试验, 试滚能满足要求就认为所采用的滚压力合适。滚压力大致可按下列方法计算:

(1) 滚轮型面为圆弧时的滚压力 滚压加工情况如图 2-42 所示。

滚压力可用图 2-43 所示图表求得。例如: 设工件加工表面直径 $D = 250$ mm, 滚轮直径 $D_0 = 100$ mm; 滚轮球形面半径 $R = 50$ mm, 依图中箭头所指方向, 即可求得适宜的滚压力 10 000 N, 该图表适用于工件材料为低硬度钢料(20 钢), 如材料硬度高, 压力亦增大。

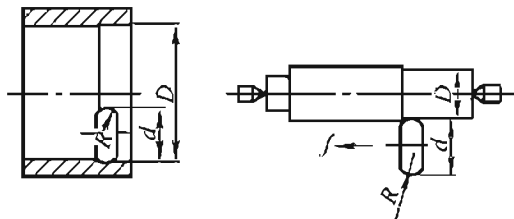


图 2-42 采用圆弧型滚轮的滚压加工

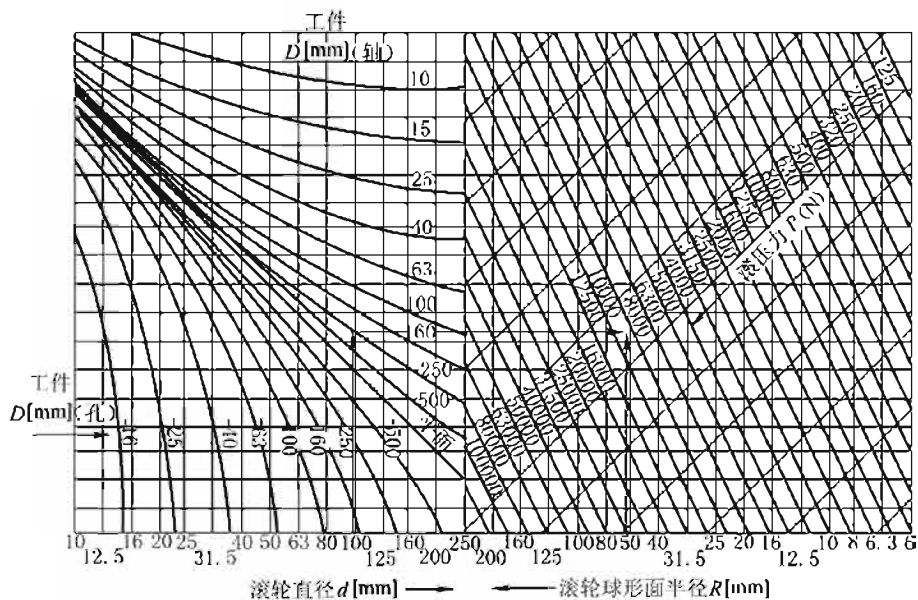


图 2-43 根据工件及滚压工具尺寸求滚压压力的图表

D —加工表面直径

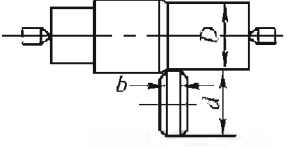
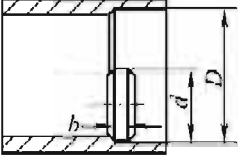
对不同材料硬度应乘以材料硬度修正系数 K_p ,

$$K_p = 0.01HB - 0.4$$

此式适用于材料的布氏硬度在 120~340 之间时。

(2) 滚轮型面为圆柱带时的滚压力 如表 2-38 所示。

表 2-38 滚轮型面为圆柱带时的滚压力

滚压加工情况	滚压力 [N]	式 注
	$P = \frac{10Dbq^2}{0.126E\left(\frac{D}{d} + 1\right)}$	D——被滚压表面直径 [mm]; d——滚轮直径 [mm]; b——滚轮与被滚压表面的接触长度 [mm]; E——被滚压零件材料的弹性模数 [MPa]; q——最大单位接触压力 [MPa], $q \approx (1.8 \sim 2.1)\sigma_s$ 。 σ_s 为被加工材料屈服极限
	$P = \frac{10Dbq^2}{0.18E\left(\frac{D}{d} - 1\right)}$	

中小型车床的滚压力推荐值不超过 C6140 为 1 500 N; C6163 为 2 500 N; C61100 为 4 000 N。

2. 滚压次数 滚压次数直接影响生产率的高低。因此在能达到要求的情况下,应采用最少的滚压次数。一般光整加工滚压次数为 1~2 次,以 1 次为佳;强化加工最好不超过 3~5 次。图 2-44 中曲线示出表面粗糙度与滚压次数 n 的关系。

零件滚压后的精度主要决定于零件滚压前预加工的精度、表面粗糙度和材料性质,此外还决定于滚压力、滚压次数及进给量 f 。零件材料的硬度直接影响零件表面在一定滚压力下的塑性变形程度。图 2-45 中曲线示出在不同滚压力下几种材料的塑性变形程度。

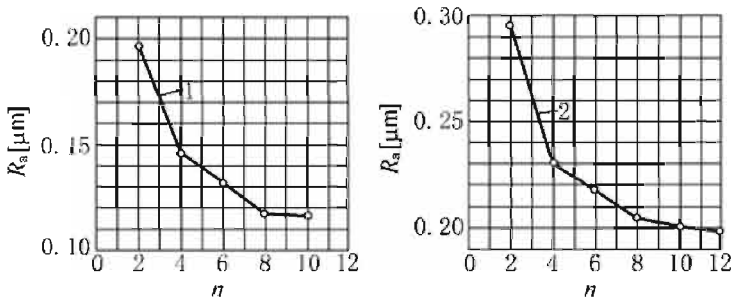


图 2-44 表面粗糙度与滚压次数的关系

1—工件钢料强度 $\sigma_b = 0.45 \text{ GPa}$, 滚压前的工件表面粗糙度 $R_a = 3.8 \mu\text{m}$;
 2—工件钢料强度 $\sigma_b = 0.75 \text{ GPa}$, 滚压前的工件表面粗糙度 $R_a = 3.24 \mu\text{m}$

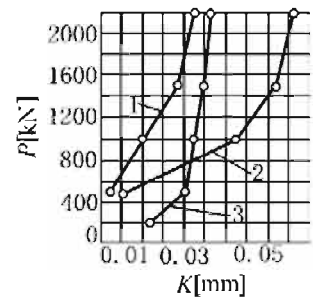


图 2-45 滚压力与零件滚压后塑性变形程度的关系 ($b = 3 \text{ mm}$, $n = 4$)

1—钢料强度 $\sigma_b = 0.85 \text{ GPa}$;
 2—钢料强度 $\sigma_b = 0.75 \text{ GPa}$;
 3—钢料强度 $\sigma_b = 0.45 \text{ GPa}$

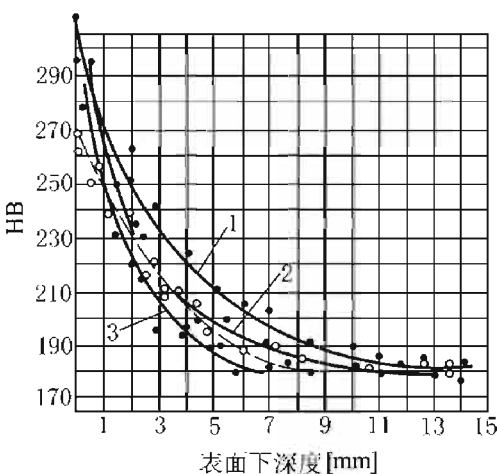


图 2-46 0.48% C 碳素钢工件经滚压后的表面层硬度

1— $P = 59\,000 \text{ N}$, $R = 7 \text{ mm}$;
 2— $P = 45\,000 \text{ N}$, $R = 5 \text{ mm}$;
 3— $P = 28\,000 \text{ N}$, $R = 3 \text{ mm}$;
 虚线— $P = 40\,000 \text{ N}$, $R = 7 \text{ mm}$

滚压后的尺寸公差范围较滚压前的公差范围按直径计算约可缩小 10%~15%。零件的形状误差通过滚压则不能有显著的改善。

3. 滚压进给量 进给量的大小,首先影响到零件的表面粗糙度。用一般单滚轮进行滚压,如采用较小的进给量 0.2~0.3 mm/r,能获得较高的表面粗糙度(从 $R_a 10 \sim R_a 1.25 \mu\text{m}$ 提高到 $R_a 1.25 \sim R_a 0.32 \mu\text{m}$)。如采用较大半径的球形面滚轮或较大圆柱形部分 b 的滚轮时,则进给量亦可相应加大到 0.6 mm/r 以上。根据滚压前、滚压后的表面粗糙度及滚压工具来选择进给量,见表 2-39;根据机床-工件-滚压工具的系统刚度来选择进给量见表 2-40。

当强化加工时,要施加很大的滚压力,这时强化层的厚度也较大。图 2-46 中曲线示出用三种不同压力 and 不同半径 R 的球形面滚轮来滚压 0.48% C、180HB 的碳素钢零件,在不同深度下所获得的硬度值。试件在滚压前经车削,直径 $\phi 290 \text{ mm}$ 、表面粗糙度 $R_a 5 \mu\text{m}$,滚压速度为 30 m/min。但上述试验数据均为极限值,在实际应用中应略予降低。图中虚线所示为适当降低滚压压力后所得的曲线。试验时采用的滚

压力 $P = 40\,000\text{ N}$, 滚轮直径 $D = 105\text{ mm}$, 球形面半径 $R = 7\text{ mm}$, 进给量 $f = 0.5\text{ mm}$, 滚压 1 次, 滚压速度为 30 m/min , 工件尺寸为 $\phi 290 \times 1\,000\text{ mm}$ 。

4. 滚压速度 滚压速度在强化加工时采用得较低, 约 30 m/min ; 在光整加工时则采用得较高, 约 $60 \sim 120\text{ m/min}$; 硬质合金滚轮可提高到 200 m/min 或更高一些。

5. 加工圆柱形内表面的滚压用量 可参考表 2-41 所列数值。

表 2-39 进给量与滚压前、滚压后的表面粗糙度、滚轮球形面半径、滚轮数、滚压次数的关系

滚轮的球形面半径 (R, r) [mm]	进给量 [mm/r]																																			
	滚压后达到的表面粗糙度 [μm]																																			
	$R_a 1.25$						$R_a 0.63$						$R_a 0.32$																							
	滚压前的表面粗糙度 [μm]																																			
	$R_a 10$	$R_a 10$	$R_a 5$	$R_a 2.5$	$R_a 5$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 2.5$	$R_a 1.25$																											
	工具上的滚轮数																																			
1			2			3			1			2			3			1			2			3												
5	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.15	0.3	0.4	0.3	0.4	0.07	0.15	0.21	0.15	0.21	0.07	0.15	0.15	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.15	0.3	0.4	0.3	0.4	0.07	0.15	0.21	0.15	0.21	0.07	0.15	0.15
6.8	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.18	0.36	0.45	0.36	0.45	0.09	0.18	0.24	0.18	0.24	0.09	0.17	0.17	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.18	0.36	0.45	0.36	0.45	0.09	0.18	0.24	0.18	0.24	0.09	0.17	0.17
8	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.23	0.46	0.51	0.46	0.51	0.12	0.23	0.27	0.23	0.27	0.12	0.19	0.19	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.23	0.46	0.51	0.46	0.51	0.12	0.23	0.27	0.23	0.27	0.12	0.19	0.19
10	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.29	0.56	0.56	0.56	0.56	0.15	0.29	0.30	0.29	0.30	0.15	0.21	0.21	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.29	0.56	0.56	0.56	0.56	0.15	0.29	0.30	0.29	0.30	0.15	0.21	0.21
12.5	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.37	0.64	0.64	0.64	0.64	0.18	0.34	0.34	0.34	0.34	0.18	0.24	0.24	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.37	0.64	0.64	0.64	0.64	0.18	0.34	0.34	0.34	0.34	0.18	0.24	0.24
16	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.47	0.72	0.72	0.72	0.72	0.23	0.39	0.39	0.39	0.39	0.23	0.27	0.27	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.47	0.72	0.72	0.72	0.72	0.23	0.39	0.39	0.39	0.39	0.23	0.27	0.27
20	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.58	0.80	0.80	0.80	0.80	0.29	0.42	0.42	0.42	0.42	0.29	0.30	0.30	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.58	0.80	0.80	0.80	0.80	0.29	0.42	0.42	0.42	0.42	0.29	0.30	0.30
25	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.83	0.88	0.88	0.88	0.88	0.37	0.48	0.48	0.48	0.48	0.35	0.35	0.35	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.83	0.88	0.88	0.88	0.88	0.37	0.48	0.48	0.48	0.48	0.35	0.35	0.35
32	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.94	1.00	1.00	1.00	1.00	0.47	0.54	0.54	0.54	0.54	0.39	0.39	0.39	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.94	1.00	1.00	1.00	1.00	0.47	0.54	0.54	0.54	0.54	0.39	0.39	0.39
40	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	0.58	0.60	0.60	0.60	0.60	0.43	0.43	0.43	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	0.58	0.60	0.60	0.60	0.60	0.43	0.43	0.43
50	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.48	0.48	0.48	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.48	0.48	0.48
63	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.54	0.54	0.54	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.54	0.54	0.54
80	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.60	0.60	0.60	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.60	0.60	0.60
100	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.66	0.66	0.66	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.66	0.66	0.66
125	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	0.75	0.75	0.75	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	0.75	0.75	0.75
160	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	0.85	0.85	0.85	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	0.85	0.85	0.85
200	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0.95	0.95	0.95	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0.95	0.95	0.95
滚压次数	3	2	1	2	1																															

表 2-40 滚压加工进给量

机床中心高度 [mm]		液压力 [N]	工具的型式及尺寸			工件表面粗糙度 [μm]		
标准的系统刚度	较低的系统刚度		滚轮或滚珠	半径 R [mm]	圆柱形宽度 b [mm]	$R_a 1.25$	$R_a 0.63$	$R_a 0.32$
						进给量 f [mm/r]		
	200	1 250	滚珠	7.5				
200	300	2 500	滚轮	30		0.6	0.2	0.07
300	500	5 000	滚轮	50	2	1.5	0.5	0.35
500	800	10 000	滚轮		4	3.0	1.0	0.7
800	1 200	20 000	滚轮		6	6.0	2.0	1.4
1 200		30 000	滚轮		12	9.0	3.0	

进给量修正系数 K_s

修正系数	滚压前表面粗糙度 [μm]							工件材料硬度 HB			滚压次数		
	$R_a 10$	$R_a 5$		$R_a 2.5$		$R_a 1.25$	<160	160~250	250~315	1	2	3	
	$R_a 1.25$	$R_a 1.25$	$R_a 0.63$	$R_a 0.32$	$R_a 0.63$	$R_a 0.32$							$R_a 0.32$
K_s	0.25	1.0	1.0	0.6	2.5	1.0	1.7	1.2	1.0	0.8	0.5	1.0	1.4

表 2-41 圆柱形内表面滚压用量
(用扩铰式滚压工具)

加工的孔径[mm]	直径的余量[mm]	转速[r/min]	进给量[mm/r]
5.5~12.7	0.02	500~700	0.13
13.5~24.6	0.025	400~500	0.23~0.38
25.4~44.4	0.037	325~400	0.38~0.71
45.2~63.5	0.05	200~325	0.71~0.91
64.3 以上	0.076~0.15	100~200	0.91~3.3

滚压时须用机油、锭子油、煤油或 50% 硫化油、50% 柴油作为冷却润滑液。

为了便于参考,列举几种加工用量选择的实例:

(1) 大型电动机转轴的滚轮滚压加工:零件材料为 35 及 50 钢;采用滚压力为 2 000~3 000 N,滚压速度 120 m/min,第一次滚压进给量为 1~1.2 mm/r,第二次为 0.3~0.4 mm/r,共滚压两次。滚压后零件表面粗糙度从原来的 $R_a 5 \sim R_a 2.5 \mu\text{m}$ 减小到 $R_a 1.25 \sim R_a 0.63 \mu\text{m}$,表面硬度从原来的 142~200HB 提高到 207~250HB,即提高了 30%,强化深度约为 3 mm,直径经滚压后约缩小 0.02~0.03 mm。

(2) 60、100MN 模锻锤锤杆强化滚压加工:零件材料为 45CrNi,经热处理后硬度为 241~285HB;使用的设备为在车床上安装的液压三滚轮滚压工具。采用滚压力为 33 000~44 000 N,进给量 0.4 mm/r,零件转速 45 r/min,滚压次数为 1 次,球形面滚轮的圆弧半径 R 为 15 mm,滚轮直径为 110 mm。滚压后零件表面硬度提高到 285~330HB,强化深度 6~7 mm,零件寿命约可提高 2.5~22 倍,零件直径缩小了 0.05~0.1 mm。

(3) $\phi 500$ 液压缸内表面的滚压加工:零件材料为 35 钢,预加工后表面粗糙度为 $R_a 5 \mu\text{m}$ 。采用如图 2-39a 的三滚轮内表面滚压工具进行滚压。滚压转速 $n = 21 \text{ r/min}$,进给量 $f = 6 \text{ mm/r}$,滚压次数 2 次。滚压后表面粗糙度减小为 $R_a 0.63 \mu\text{m}$,直径增大了 0.03 mm。

(4) $\phi 56$ 长管子内表面的滚压加工:滚压是在长车床上进行。滚压时管子安装在车床的刀架上,车床主轴上先安装预加工用的镗杆进行预镗孔,然后在主轴上换装如图 2-38c 的扩铰式多滚柱滚压工具进行滚压。采用的进给量 $f = 1 \sim 1.2 \text{ mm/r}$,工具转速 $n = 30 \text{ r/min}$,滚压 3 次。滚压后孔径增大 0.05~0.07 mm。

(5) 用图 2-38d 圆锥形滚子深孔滚压工具来加工 $\phi 70 \text{ mm}$ 孔径液压缸:零件材料为一般碳钢,滚压过盈 0.12 mm 左右,滚压后孔径增大 0.02~0.03 mm。滚压速度为 60~80 m/min,进给量为 0.15~0.25 mm/r,零件内孔粗糙度可达到 $R_a 0.16 \mu\text{m}$ 左右。

(6) 图 2-34c 双轮硬质合金滚压工具,适宜于加工 $\phi 5 \sim \phi 80$ 细长轴的零件。滚压速度一般选用 30~60 m/min,进给量为 0.08~0.25 mm/r,滚压 1~2 次即可,须用油作充分润滑。

(7) 图 2-33b 与图 2-38a 是两种硬质合金单滚轮滚压工具,前者用以滚压零件外圆;后者滚压零件内孔。两种滚压工具安装时,滚轮要与工件的轴线倾斜 $1^\circ \sim 1^\circ 30'$ (通常将工具体底面预制成斜度来实现);对刀时,滚压带的接触面最好为全刃带面的 $3/5$ 。滚压前,零件原表面粗糙度应在 $R_a 10 \sim R_a 2.5 \mu\text{m}$ 。滚压次数为 1~2 次。压入量要按具体情况确定,一般是等滚轮和零件接触后,再纵向进入 0.20~0.30 mm,滚压后实际压入量为 0.005~0.015 mm,滚压效果较好。滚压速度为 100~200 m/min,进给量 0.05~0.10 mm/r,零件表面粗糙度可获得 $R_a 0.32 \sim R_a 0.16 \mu\text{m}$,或更高一些。

(8) 图 2-38e 为硬质合金双轮内孔滚压工具。如用以滚压 45 钢材料,孔径为 $\phi 75^{+0.03}_0 \text{ mm}$ 的零件,其选用参数为:滚压前零件原表面粗糙度不应低于 $R_a 5 \sim R_a 2.5 \mu\text{m}$,滚压次数为 1~2 次,滚压速度为 50~80 m/min,进给量为 0.2~0.4 mm/r,压入量 0.005~0.015 mm,零件表面粗糙度可稳定在 $R_a 0.32 \sim R_a 0.16 \mu\text{m}$ 。

铸铁导轨平面的滚轮滚压加工 滚轮滚压的铸铁平面最多的是导轨面。滚压工具结构可参考图 2-35b 示意图。滚轮周面是球形面,具有硬度 62~65HRC。滚压用量可参考表 2-42 中的数据。采用这些数据进行滚压的结果,导轨表面粗糙度可从 $R_a 5 \mu\text{m}$ 减小到 $R_a 1.25 \mu\text{m}$;如将进给量再减小,还可提高到 $R_a 0.63 \mu\text{m}$,表面硬度可提高 15%~18%,用 3 000 mm 长的检验平尺来检验,接触面达 60%~65%。

滚压铸铁零件,毋须加润滑油。

表 2-42 铸铁导轨平面的滚压用量

滚轮尺寸[mm]		滚压力[N]	进给量[mm/双行程]	滚压速度[m/min]
直径	球面半径			
50	50	5 000	0.8~1.5	15~30
70	70	10 000	1.3~2.0	
70	100	14 000	1.8~2.5	
105	150	30 000	2.0~2.8	
240	200	50 000 及以上	2.5~3.0	

滚珠滚压加工

加工方法的特点 滚珠滚压加工与滚轮滚压加工的区别,在于前者的滚压工具以滚珠来代替后者的滚轮。滚轮滚压加工存在着一些缺点,当滚轮在零件表面上滚压作轴向进给时,有滑动摩擦,使滚轮的轴向负荷增大,从而增加滚压力。滚珠滚压工具有着制造方便等优越性,因此应用较广。

滚珠滚压时滚压力较低,在滚压薄壁零件或刚度较差的零件时,零件变形较少,因而单滚珠滚压工具的使用范围较广,工具制造费用可以降低,在普通金属切削机床上都可装用。

滚珠滚压加工和滚轮滚压加工一样,可以加工零件上圆柱体外表面、圆柱形内表面、平面、端面和带曲线形状表面(见表 2-35 中示意图)。但由于市上供应滚珠的直径大小有一定标准的局限,因此不能滚压圆弧半径较标准滚珠半径为小的曲线表面或带有凹入尖角槽的表面。滚珠滚压可用于光整加工,也可用于强化加工。

对轴件及管件外表面同时进行车削及滚珠滚压的联合加工,可获得良好效果,生产率大大提高。加工方法见图 2-47。此外,车刀及滚压工具装在车床的液压仿形装置上还可对曲线回转体表面进行联合加工。

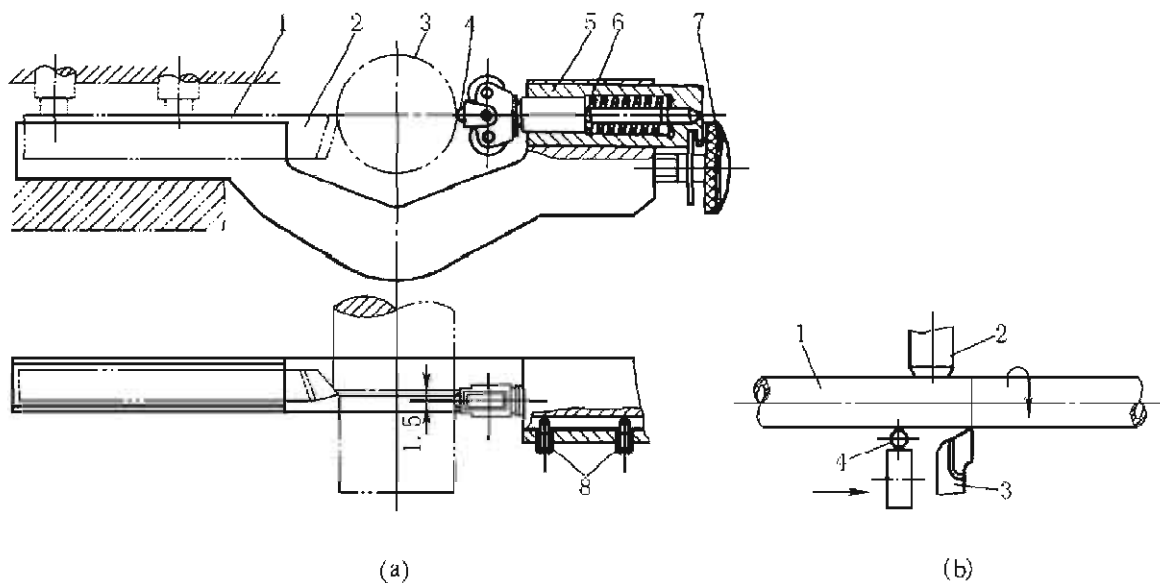


图 2-47 车削与滚珠滚压联合加工

- (a) 加工轴件: 1—架座, 2—车刀, 3—工件, 4—滚压工具, 5—套筒, 6—压紧弹簧, 7—调节螺钉; 8—防止套筒 5 旋转的导向螺钉;
 (b) 加工长管件: 1—工件; 2—顶杆; 3—车刀; 4—滚压工具

滚珠滚压工具 滚压工具上所用的滚珠即为滚动轴承的钢球,具有很高的精度和很小的表面粗糙度($R_a 0.04 \mu\text{m}$)以及较高的硬度(62~64HRC),并具有价廉的特点。

滚压工具结构的基本要点是滚珠和工件之间的摩擦力要大于滚珠和支承之间的摩擦力。因此很多滚压工具把滚珠支承在 1 个或 2 个球轴承的外圈上(图 2-48 中 a 及 b)。

图 2-48 所示为几种滚压外表面的滚珠滚压工具。其中单滚珠滚压工具可装在车床上滚压各种回转体外表面及端面,也可装在刨床上滚压平面。三滚珠的滚压工具可装在车床上滚压轴类的外表面,滚压力可通过螺母及弹簧来进行调节。图 2-49 所示为安装在立铣床上的多滚珠滚压工具。滚压时,工件装夹在机床的台面上,滚压

工具则装在机床主轴上。

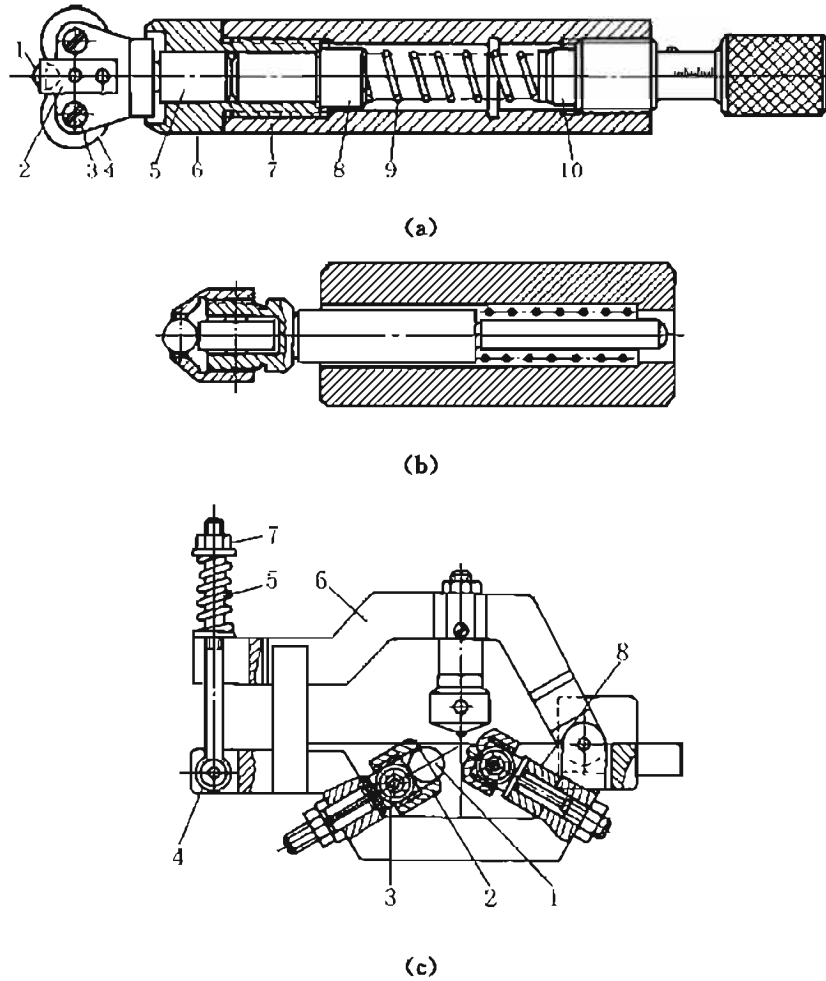


图 2-48 滚珠滚压工具

- (a) 支承在两个滚动轴承上的单滚珠滚压工具：1—滚珠，2—防止滚珠移动及脱出的青铜罩，3—螺纹心轴，4—滚动轴承，5—支持柄，6—工具体，7—接套，8—弹簧垫，9—调节弹簧，10—调节螺杆，
- (b) 支承在一个滚动轴承上的单滚珠滚压工具，
- (c) 三滚珠滚压工具，1—滚珠；2—青铜罩，3—滚动轴承，4—工具底座，5—弹簧，6—摇臂，7—调节螺母，8—支座

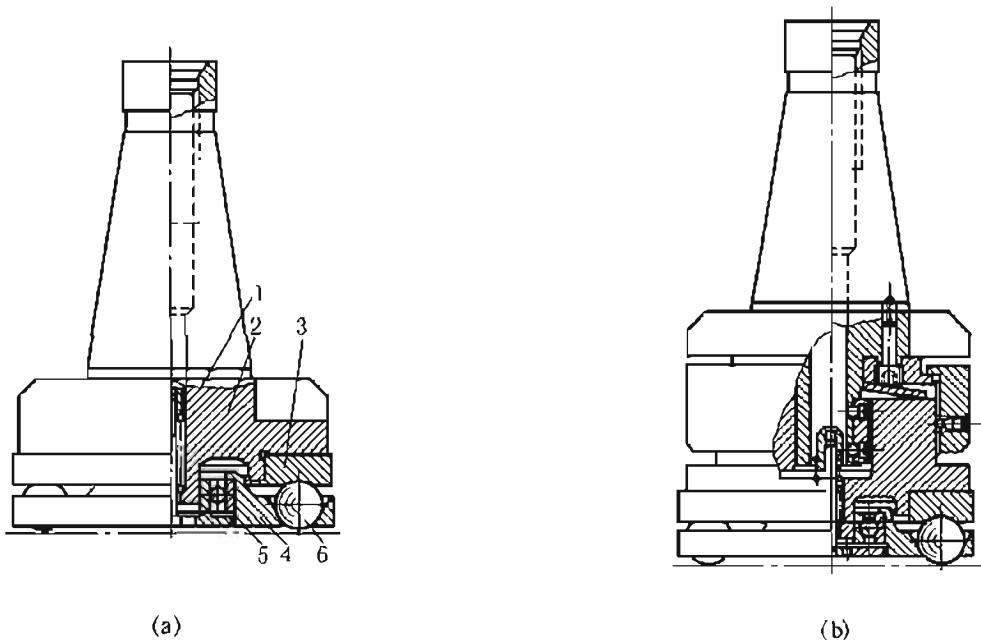


图 2-49 平面滚珠滚压工具

- (a) 刚性的滚压工具：1—螺旋弹簧，2—工具体，3—滚珠支承圈，4—保持架，5—球轴承，6—滚珠，
- (b) 弹性的滚压工具(工具体中有碟形弹簧，使滚压时具有弹性)

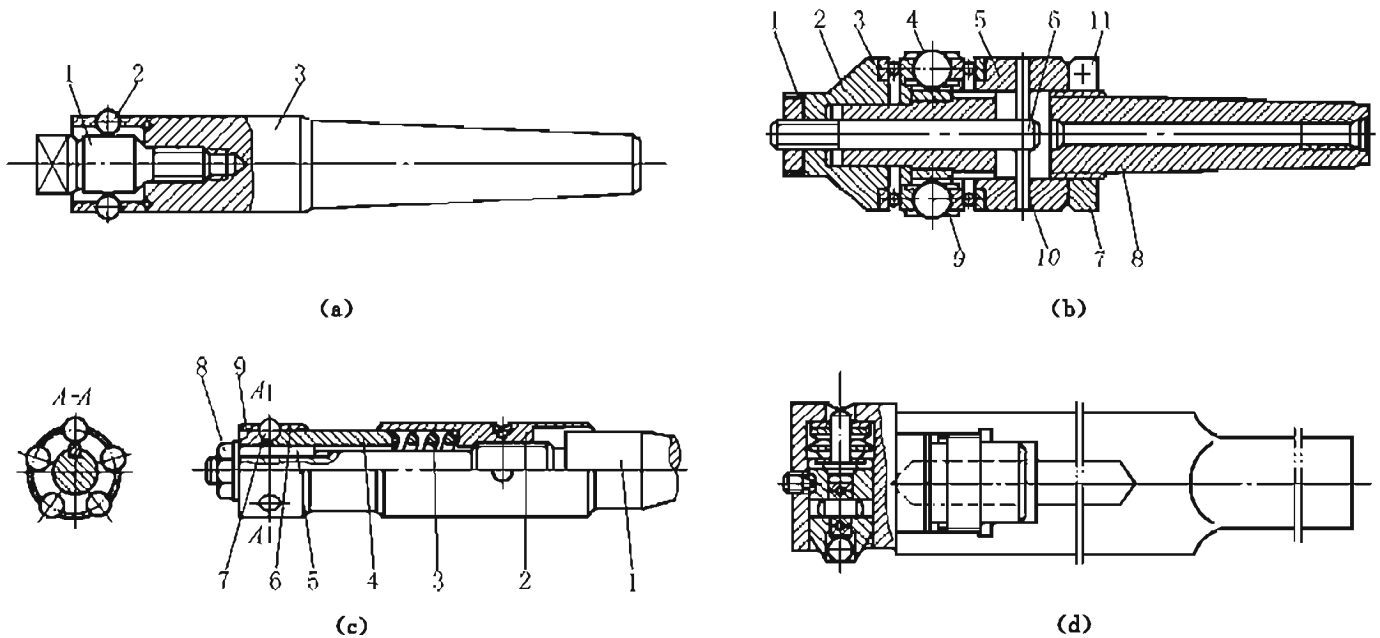


图 2-50 可调节的内表面滚珠滚压工具

- (a) 较简单型: 1—带锥体的调节螺钉; 2—滚珠; 3—工具体;
 (b) 较复杂型: 1—螺母; 2—支座; 3—推力球轴承 2 个; 4—滚珠; 5—联接套圈; 6—拉紧螺杆;
 7—螺母; 8—工具柄; 9—分隔器; 10—销子; 11—紧固螺钉;
 (c) 弹性轴向支承型: 1—工具柄; 2—调节螺母; 3—弹簧; 4—右支承环; 5—键; 6—卡套; 7—滚珠; 8—螺母; 9—左支承环;
 (d) 弹性横向支承型

滚压圆柱形内表面的滚珠滚压工具往往如图 2-50, 做成滚压直径可调节的形式。其中图 2-50a 所示为结构较简单的滚压工具, 装有 5 个滚珠, 可滚压的直径较小。图 2-50b 所示为结构较复杂, 但使用性能较好的滚压工具, 可滚压直径 100 mm 的孔壁, 共装有 7 个滚珠。这些工具都可直接装在钻床的主轴上来加工零件。图 2-50c 和图 2-50d 所示为弹性的滚压工具, 这种工具不同于刚性滚压, 它使金属产生塑性变形的力来自弹簧, 在滚压精度不太高的零件圆柱形内表面时, 对前一道工序的加工要求不像刚性滚压工具那么严格。这种工具适用于滚压 $\phi 20 \sim \phi 150$ mm 的液压缸、气缸等零件, 经滚压后, 表面粗糙度可稳定在 $R_a 0.63 \sim R_a 0.32 \mu\text{m}$ 。其滚压速度为 $80 \sim 160$ m/min, 滚压压力为 $600 \sim 1200$ N (根据滚压材料、滚珠直径和滚压量选用), 纵向进给量取 $0.14 \sim 0.30$ mm (滚珠直径为 $9.3 \sim 12.7$ mm), 或取 $0.04 \sim 0.12$ mm (滚珠直径 $4.0 \sim 9.3$ mm), 实际压入量为 $0.015 \sim 0.03$ mm。

滚压用量 和滚轮滚压一样, 滚珠滚压的零件表面性质也取决于: 零件滚压前的表面粗糙度、零件的材料、滚压的滚珠直径和滚压用量。零件材料的硬度愈低, 则滚压的效果愈高。表 2-43 列出三种不同碳素钢零件的滚压效果。

表 2-43 滚珠滚压加工对碳素钢零件表面性质的改善程度

钢号	滚压前性质		滚压用量				滚压结果		
	表面粗糙度 [μm]	硬度 HB	P [N]	f [mm/r]	d [mm]	v [m/min]	硬度增长 [%]	表面粗糙度 [μm]	强化深度 [mm]
20	$R_a 10$	140	1 500	0.15	30	120	80	$R_a 0.16$	2
45	$R_a 2.5$	190	1 800	0.06	10	60	65	$R_a 0.32$	2.5
T7	$R_a 2.5$	180	2 500	0.12	10	60	50	$R_a 0.25$	2

各种黑色金属及有色金属零件的滚珠滚压用量, 可参考表 2-44。

滚压力

$$\text{当 } \frac{D}{d} < 10 \text{ 时} \quad P = \left(\frac{dp}{0.045E} \right)^2 p \times 10 \quad [\text{N}]$$

$$\text{当 } \frac{D}{d} \geq 10 \text{ 时} \quad P = \left[\frac{Dp}{0.054E\left(\frac{D}{d} - 1\right)} \right]^2 p \times 10 \quad [\text{N}]$$

式中 d ——滚珠直径[mm];

D ——被滚压表面直径[mm];

E ——被滚压零件材料的弹性模数[N/mm²];

p ——最大接触压力[N/mm²], $p \approx (1.8 \sim 2.1)\sigma_s$ (σ_s 为被加工材料屈服极限)。

振动滚压 采用振动滚压的可能性和效果见表 2-45, 振动滚压用量与加工零件的材料、直径、要求的微观轮廓形状和它的特性(面积 F_k 、单位容积 V_k 、槽的深度 h_k 、微观不平度十点平均高度 R_s 和栅角 α 、测定方向)有关。微观轮廓形状有 4 种:(I)不相切;(II)相切;(III)相交槽;(IV)完全新的微观轮廓形状(表 2-45)。确定微观轮廓形状和它的特性的振动滚压用量参数是滚压力 P , 工件转速 n , 滚珠进给量 f , 振动频率 n' , 振幅 l , 加工平面的进给量 f_M 。

表 2-44 各种黑色金属及有色金属零件的滚珠滚压用量

要求的表面粗糙度 [μm]	滚压 用量	加工零件的材料									
		20 钢	45 钢		T10A	1Cr18Ni9Ti	铸铁 HT150	紫铜	黄铜 HPb59-1	LY1	
$R_a 1.25$ $R_z = 6.3 \sim 3.2$	H_0	10			5		5				
	P	1 500			300		200				
	d	30			8		11				
	v	60			50		90				
	f	0.15			0.12		0.35				
$R_a 0.63$ $R_z = 3.2 \sim 1.6$	H_0	5	2.5	2.5	2.5	5	2.5		2.5	5	2.5
	P	1 500	1 000	2 000	500	200	200		300	150	60
	d	30	10	20	8	8	11		8	8	5
	v	60	60	60	50	50	90		30	30	50
	f	0.15	0.12	0.24	0.12	0.12	0.35		0.12	0.12	0.06
$R_a 0.32$ $R_z = 1.6 \sim 0.8$	H_0	2.5	2.5	2.5	1.25	5	1.25	5	1.25	2.5	1.25
	P	2 000	1 000	2 000	800	300	200	150	300	200	60
	d	30	20	20	10	8	11	8	8	8	5
	v	60	60	60	50	50	90	50	50	50	50
	f	0.09	0.06	0.12	0.12	0.12	0.28	0.12	0.12	0.12	0.06
$R_a 0.16$ $R_z = 0.8 \sim 0.4$	H_0	1.25	1.25		1.25	2.5		2.5			
	P	2 500	3 000		1 000	300		200			
	d	30	30		12	8		8			
	v	60	60		50	50		50			
	f	0.06	0.06		0.06	0.06		0.12			

注: 1. H_0 —滚压前的零件表面粗糙度[μm]; P —滚压力[N]; d —滚珠直径[mm]; v —滚压速度[m/min]; f —进给量[mm/r]。

2. 表中用量适用于滚压圆柱体外表面, 使用单滚珠滚压工具及滚压次数为一次。

3. 表中加工铸铁件的用量同样适用于滚压铸铁件的孔壁, 使用双滚珠滚压工具。

孔的挤压加工

孔的挤压加工是成批生产中加工较小尺寸精密孔的一种简单和可靠的方法。这种加工是用比待加工孔稍大的钢珠或挤压杆对经预加工的孔进行推压或拉压, 作为最后精加工。经过加工的孔, 尺寸增大, 表面粗糙度减小, 表面硬度和精度都有显著提高。孔的截面应为圆形, 但也可为其他简单的形状。加工短孔用推压, 加工较长的孔 ($l/d > 8$) 用拉压。各种挤压方法见图 2-51。

表 2-45 圆柱体和平面的振动滚压用量

孔或轴直径 [mm]	微观轮廓 形状	微观轮廓 谷的面积 F_k [μm^2]	零件 名称	材料硬度	使用特性 和振动滚 压的效果	预加工的 方法(表 面粗糙度 R_a [μm])	栅角 α	微观轮廓 谷的容积 V_k [μm^3]	微 观 轮 廓 谷 深 h_k [μm]	凸 瘤 高 度 h [μm]	球直径 或金 刚 石 顶 端 的 半 径 [mm]	振动滚压用量				
												n [r/min]	f [mm/r]	l [mm]	P [N]	f_M [mm/min]
6.8	I	25~30	塞规	钢 T10A 58-62HRC	耐磨性提高 2.5~3 倍	金刚石滚平 (0.16~0.08)	35°~40°	6.7~8.6	3	1	1~1.5	80	0.17	0.42	250	13
												125	2.08	1	250	260
												80	2.08	0.85	100	166
12	II	25~30	塞规	钢 T10A 58~62HRC	耐磨性提高 2.5~3 倍	金刚石滚平 (0.16~0.08)	35°~41°	6.7~8.6	3	1.5	1~1.5	63	0.61	0.42	250	38.4
												80	0.7	0.42	400~500	56
												125	0.61	0.85	300	76
19	I	15~20	塞规	硬质合金 YG6M 80~90HRC	耐磨性提高 1.3~1.5 倍	铰(2.5)	30°~35°	3.3~5.1	1.5	0.5	1	31.5	2.08	1	250	65.6
												50	1.56	1	300	78
												50	1.74	0.93	400	43.5
30	III	50~65	精密圆柱 导杆	铸铁 HT21-40 198~208HB	摩擦,位移强度 提高 2~2.5 倍	研磨(0.04)	35°~40°	4.6~5.1	9	0.7	φ6	25	1.74	0.93	400	43.5
												50	0.78	0.42	450	39
												50	1.21	1.2	250	30
58 62	III III	40~65 40~45	捻绳机 导杆	钢 45 58~62HRC	钢丝断裂减少	滚珠滚压 (0.16)	45°~60°	3.2~4.2	10	4	φ4	50	0.78	0.42	450	39
												50	1.21	1.2	250	30
												50	1.21	1.2	250	30
80	I	25~30	轴套(阀)	钢 38CrNiMoA 52~55HRC	提高可靠性	车(2.5)	40°~55°	4.5	4.5	0.5	1.5	25	1.21	1.2	250	30
												25	1.21	1.2	250	30
												25	1.21	1.2	250	30

表 2-45 续

孔或轴直径 [mm]	微观轮廓形状	微观轮廓面积 F_k [μm^2]	零件名称	材料硬度	使用特性和振动滚压的效果	预加工的方法(表面粗糙度 R_a [μm])	栅角 α	微观轮廓谷的容积 V_k [μm^3]	微观轮廓谷深 h_k [μm]	凸瘤高度 h [μm]	球直径或金刚石顶端的半径 [mm]	振动滚压用量				
												n [r/min]	f [mm/r]	l [mm]	P [N]	f_M [mm/min]
82	I	44~46	轴套	特殊铸铁 25~27HRC	提高耐磨性 1.5~1.7倍	珩磨(0.32)		1.63	5.5	1	$\phi 7.94$	25	3	1.38	400	75
	IV	R_z 12.3	风动传动装置壳体		提高密封性	车(2.5)						12.5	0.23	1.5	550	2.8
85	IV	R_z 7.6 R_z 4.6									$\phi 6$	16 12.5	0.195 0.14	1.5	550	3.1 1.75
	I	30~45	录音机导向装置, 滚筒	钢 45 210HB	改善滑动性能 30%	磨(0.63)	$32^\circ \sim 54^\circ$	3~6		3.5		20	0.95	0.42	300	19.5
100	II	34~36		CrSi 合金	耐磨	珩磨(0.32)		1.858	8	1.5	$\phi 4$	12.5	1.74	0.85	350	21.8
	I	35~37	发动机套筒	合金铸铁	提高耐磨性 1.4~1.6倍			4.753	20	1		20	2.08	0.85	350	41.5
130	II	37~40	发动机套筒	CrSi 合金				3.062	12.9	1.5		12.5	1.56	0.85	350	19.5
	II	35~40	阀体	特种铸铁 25~27HRC	耐磨, 消除裂缝	车(2.5)						6	1.58	1	550	9.5
190	IV	R_z 18	柱塞								$\phi 6$	16	0.15	1.5	550	24
	III	40~50	机床导轨	铸铁 HT200 198~210HB	耐磨, 起动扭矩减少 10%~30%	精刨(1.25)		3~4	10	4	$\phi 4$	263	1.5	1 $\text{\textcircled{D}}$	450	
平面	I	30~35	旋压压缩机叶片	9CrMnSi 60~62HRC	耐磨性提高 1.4 倍, 平滑性提高 2 倍	磨(0.32)			4		1.5		100 mm/min	5 $\text{\textcircled{D}}$		
		40~45	磨床导轨	钢 60~62HRC					5	1	1		286 mm/min	12 $\text{\textcircled{D}}$	250	

注: ①②③的双行程数相应为 2 000, 300 和 26。

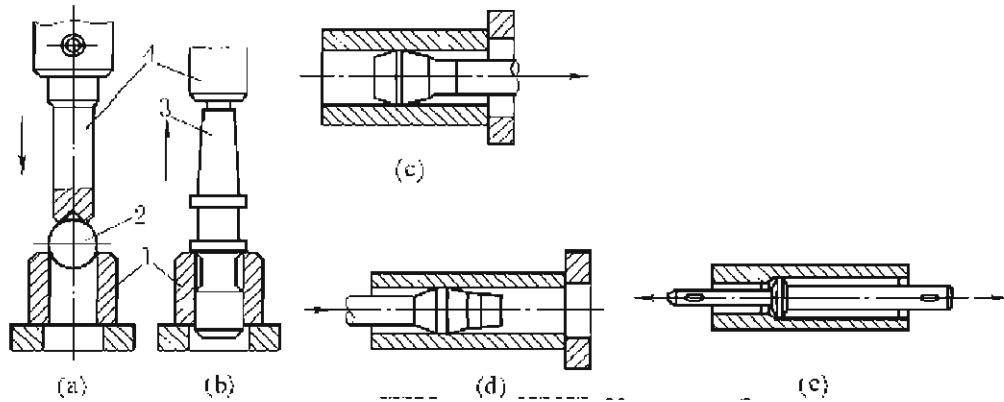


图 2-51 孔的挤压加工

(a) 用钢球挤压; (b) 用挤压杆光整挤压; 1—零件, 2—钢球; 3—挤压杆; 4—推杆;
(c) 用挤压杆拉压; (d) 用挤压杆推压; (e) 用挤压杆往复挤压

挤压加工的精度和表面粗糙度 挤压时,零件内表面发生弹性变形(即暂时变形)和塑性变形(即永久变形)。图 2-52 所示为挤压时孔的两种变形,弹性变形量 $K_1 (= d_3 - d_2)$,塑性变形量 $K_2 (= d_2 - d_1)$ 。其中 d_1 为挤压前的孔径、 d_2 为挤压后的孔径、 d_3 为钢球或挤压杆工作部分的直径。

K_2 的数值随着挤压过盈量 i 、零件材料和零件结构情况(如孔壁厚)等因素而变化,通过试验的方法才能确定。经验公式为

$$K_2 = mi - b \quad [\text{mm}]$$

式中 m , b 和 i 的数值如表 2-46 所示。

经挤压加工的孔可达到的精度、表面粗糙度及表面硬度,可参考表 2-35。一般情况下,经过精镗或铰等预加工,精度为 8 或 10 级的孔,经挤压后可达到 6 级、7 级或 8 级精度;经预加工表面粗糙度 $R_a 10 \sim R_a 2.5 \mu\text{m}$ 的孔,经挤压后铸铁零件可达 $R_a 2.5 \sim R_a 0.63 \mu\text{m}$,钢制零件可达 $R_a 1.25 \sim R_a 0.32 \mu\text{m}$,青铜零件可达 $R_a 0.63 \sim R_a 0.16 \mu\text{m}$ 表面粗糙度。

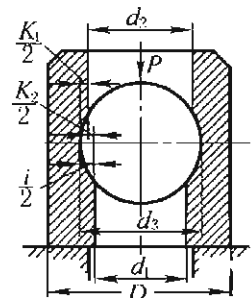


图 2-52 挤压时孔的变形情况

表 2-46 挤压塑性变形 K_2 公式参数经验数值

材 料	m	b [mm]	i [mm]		
			孔径 10~18 mm	孔径 >18~30 mm	孔径 >30~50 mm
钢	0.85~0.90	0.001~0.0015	0.07~0.10	0.08~0.12	0.12~0.15
铸铁	0.55~0.60	0.0005~0.001	0.05~0.08	0.06~0.10	0.10~0.12
青铜	0.85	0.0008	0.06~0.08	0.07~0.09	0.09~0.12

挤压力 挤压时使用挤压力的大小,与工具和零件的接触面积 M 、工具对零件孔壁的单位压力 p 以及摩擦系数 μ 有关。面积 M 可根据图 2-53 计算出来。为简化计算起见,可先计算出 M 和 ϵ ($\epsilon = i/d_3$),然后利用图 2-54 中曲线得出挤压力 P [N]。

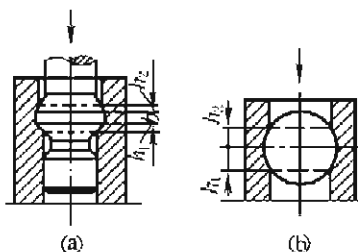
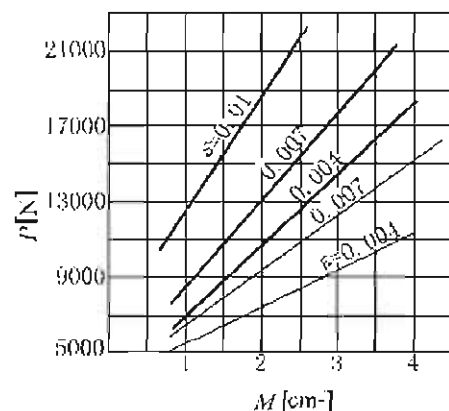


图 2-53 计算工具与零件接触面方法

(a) 用挤压杆; (b) 用钢球

图 2-54 挤压力 P 与接触面积 M 、过盈系数 $\epsilon = i/d_3$ 的关系

粗线—适用于钢制零件; 细线—适用于铸铁零件

挤压工具 淬硬的钢球是最简便的挤压工具,但它的应用范围有一定的限制。因为:(1)钢球的直径大小有一定标准,不可能适应各种大小的孔;(2)它的导向作用较差,只能用于挤压较短的通孔。

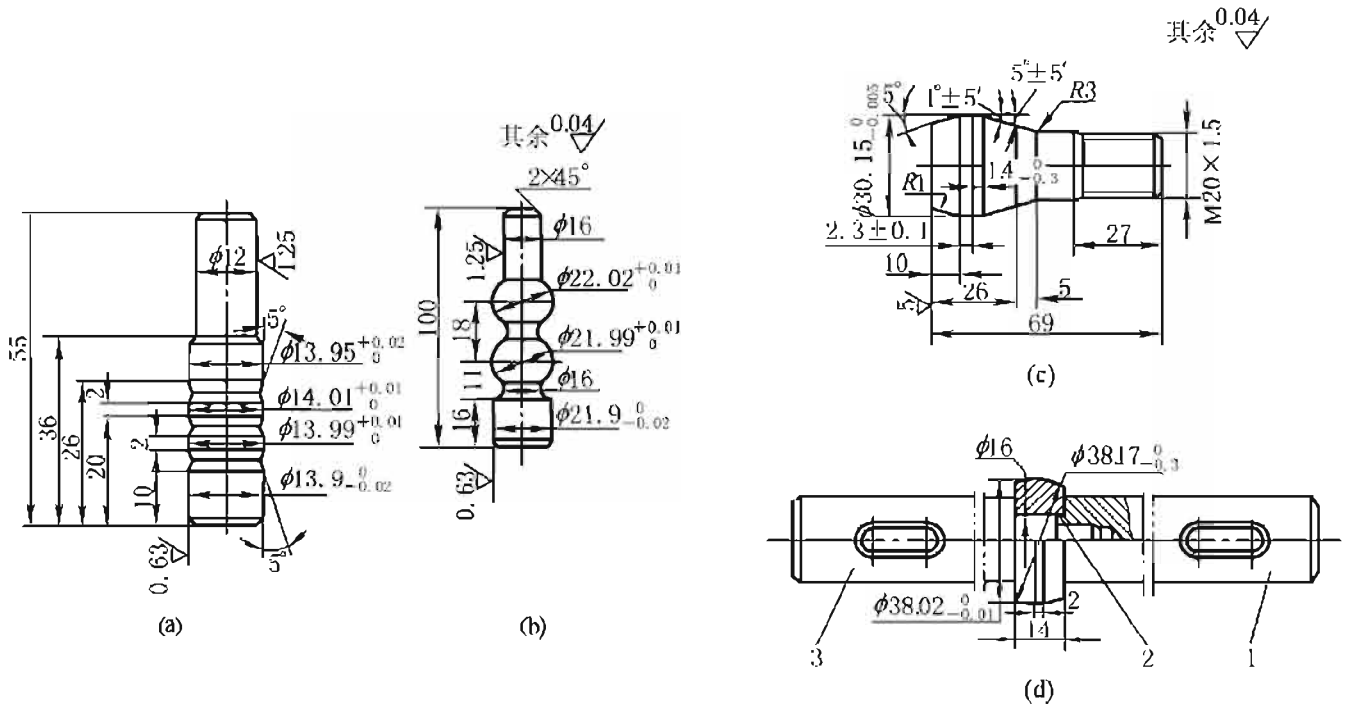


图 2-55 各种挤压杆的结构示例

- (a) 带有导向部分和圆柱形工作部分的双环推压杆(φ14 mm);
- (b) 带有导向部分和圆球形工作部分的双环推压杆(φ22 mm);
- (c) 单环拉压杆的头部,带有双角度的引导部分(φ30 mm);
- (d) 装配式的拉压杆(φ38 mm):1—杆柄;2—工作部分;3—杆柄

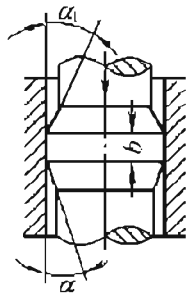


图 2-56 挤压杆圆柱形工作部分的形状

挤压杆的制造费用较大,但使用范围较广。图 2-55 所示为各种挤压杆的结构示例。

带圆球形工作部分的推压杆制造复杂,使用时亦无显著的优点,因此用途不广。

用得较多的为带圆柱形工作部分的挤压工具(图 2-55a 及 c)。在这种工具中影响挤压效果的要素是:前角 α 、后角 α_1 和圆柱形工作部分宽度 b (见图 2-56)。前角 α 在加工中碳钢及高碳钢时建议采用 $4^\circ \sim 5^\circ$,加工低碳钢时 $3^\circ \sim 3^\circ 30'$,加工铸铁时 $2^\circ \sim 5^\circ$,后角 α_1 在加工各种材料时均采用 $4^\circ \sim 5^\circ$ 。为了减小加工表面粗糙度和降低挤压压力,可采用双角度的前角,即前角 $\alpha = 4^\circ \sim 5^\circ$,在过渡到圆柱形工作部分处增加一个补充角 $\alpha' = 1^\circ$ 。

圆柱形工作部分宽度 b 如过大,则挤压力增大,过小则容易磨损。当加工 15~50 mm 直径的孔时,采用 $b = 1.5 \sim 3$ mm。一般可用下列公式计算:

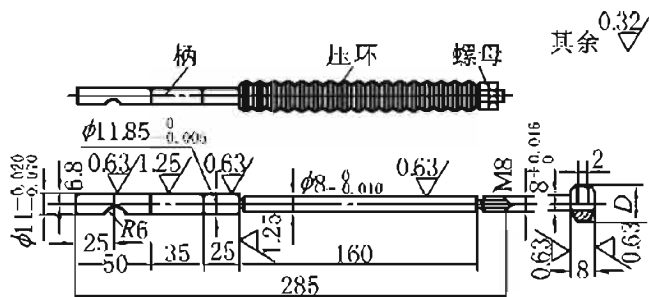
$$b = \frac{1}{13}d + 0.3 \quad [\text{mm}]$$

目前在成批生产中多采用多环装配式拉压杆,它的结构和尺寸示例见表 2-47。

挤压速度 建议为 5~8 m/min。

润滑剂 当加工铸铁时可用煤油;加工钢料和青铜时用润滑脂。

表 2-47 多环装配式拉压杆示例



压环序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
压环外径[mm]	11.86	11.87	11.88	11.89	11.90	11.91	11.92	11.93	11.94	11.95
压环序号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
压环外径[mm]	11.96	11.97	11.98	11.99	12.00	12.01	12.02	12.02	12.02	12.02

抛 光

抛光是用敷有细磨粉的抛光轴在高速的工作运动下进行的光整加工,主要目的是减小加工零件的表面粗糙度,一般可达到 $R_a 1.25 \sim R_a 0.20 \mu\text{m}$ 。

通常精抛时磨料是用软膏。加工钢铁时,软膏成分如下:蜡 25%,黄油 4%,石蜡 25%,煤油 4%,氧化铁 42%。加工有色金属不用氧化铁而用氧化铬。

用弹性抛光轮抛光

弹性抛光轮的主体由木材、皮革、毡、毛毡、棉织品、毛织品、纸或其他材料所制成,轮缘敷以 15%~30%结合剂和 85%~70%磨料的混合物。磨料的选择见表 2-48 及表 2-49。抛光轮抛光一般均为手工操作,但也有机械进给的抛光机床。抛光轮速度见表 2-50。

表 2-48 磨料的选择

工件材料	磨料
钢	棕刚玉、氧化铁
铝、铝镁合金、铜	碳化硅、氧化铬
铸铁	碳化硅、氧化铁

表 2-49 抛光时选用的磨料粒度

工件加工表面要求的表面粗糙度 $R_a [\mu\text{m}]$	磨料粒度
5	F46
2.5	F46~F60
1.25	F60~F100
0.63	F100~F180
0.32	F180~F240
0.16	F240~F400
0.08	F400~F500
0.04	F500~F1200

表 2-50 抛光轮的速度

工件材料	圆周速度[m/s]
钢、铸铁、镍、铬	30~35
铜、黄铜、青铜、含锌黄铜、银	22~30
锌、锡、铅、铝、铝合金	18~25

各种材料的抛光轮应用如下:

黏合的木轮 用于粗抛,强度较小,在离心作用及潮湿的影响下容易扭曲。

未压制粗帆布轮 用于粗抛较大零件。

布轮 最软,用于精抛。

压合轮 是最完善、耐久的抛光轮,主要用于精抛,能保证工作部分所需的弹性及硬度,工作部分就是不被紧固法兰压着的部分,其宽度为 50~100 mm。

压制的帆布轮 用途最广,如抛光仪器零件等。

压制的毡轮 用于精抛自行车和汽车零件。

压制的皮轮 用于抛光刀峰。

用砂纸抛光

工件的圆周速度采用 $32\sim 35\text{ m/min}$,纵向运动速度采用 0.39 m/min ,加工的表面粗糙度可达 $R_a\ 1.25\sim 0.16\ \mu\text{m}$ 。抛光可选用磨料粒度号为 F150~F250 的砂纸。

用钢丝轮抛光

用钢丝轮抛光是一种较简单的光整加工方法,适用于零件表面粗糙度要求为 $R_a\ 0.32$ 、尺寸及形位精度要求不高的外圆及内孔表面抛光工作,不适用于阶梯轴颈。抛光前被抛光表面的原始表面粗糙度一般应为 $R_a\ 1.25\sim R_a\ 0.63\ \mu\text{m}$ 。

钢丝轮的结构如图 2-57 所示。轮体用钢丝网叠压组成,或用钢丝呈放射状径向布置制成。钢丝直径以 $\phi 0.12\text{ mm}$ 为宜,过粗易划伤工件。

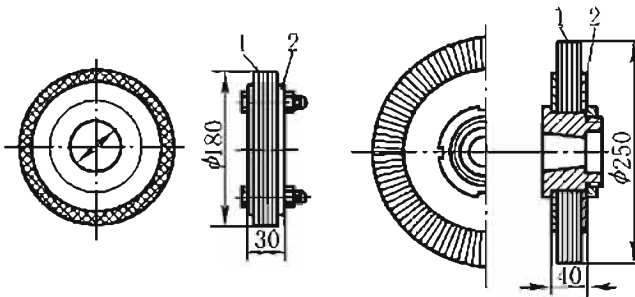


图 2-57 钢丝轮

1—轮体, 2—压板

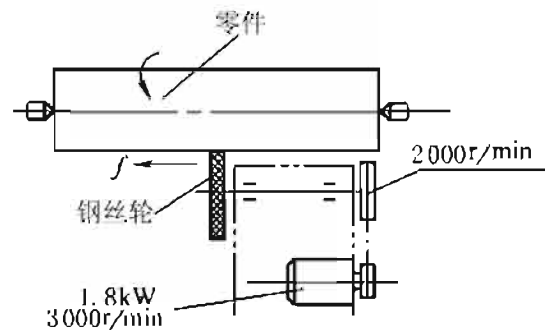


图 2-58 外圆抛光

钢丝轮实质上是一个具有打击及刷光作用的弹性修磨轮,钢丝轮可以装在各种类型的机床上,对各种钢制零件的各种表面包括成型表面进行抛光。它较磨削有以下优点:

1. 工具结构简单、制造容易、成本低。
2. 钢丝轮与零件的接触压力较磨削为小,摩擦热不显著,零件表面不易烧伤、退火和热变形。
3. 钢丝间的缝隙可贮存磨料,透风冷却性能好,钢丝轮不需修磨,使用寿命长。

图 2-58 所示为在车床上抛光工件外圆的示意图,用钢丝抛光轮代替砂轮安装于车床拖板上进行抛光。工件表面首先应均匀涂以金刚砂磨膏(由 M12/22 金刚石砂拌 50 号机油而制成),以后每抛光两个行程(抛光二次)加一次研磨膏。最后使用煤油加氧化铬研磨膏抛光二次即可。

表 2-51 为抛光辘子时的主要工艺参数。辘子是用 45 锻钢制成,抛光表面直径为 $\phi 300\text{ mm}$ 、长 $3\ 000\text{ mm}$ 、50~55 HRC,原始表面粗糙度 $R_a\ 1.25\ \mu\text{m}$,抛光以后的表面粗糙度可达 $R_a\ 0.32\ \mu\text{m}$ 。

表 2-51 抛光工艺参数示例

工 序	零件转数 [r/min]	进给量 f [mm/r]	压入量 [mm]	抛光总 修磨量 [mm]	低碳钢 丝直径 [mm]	抛光 总次数	抛光时间 [h]
粗抛光	24~36	1.2	2~3	0.01~0.03	0.12	6~8	4~6
精抛光	96	2~3	1~2				

注: 1. 压入量以钢丝轮接触零件后,继续移向零件的距离来计算。

2. 钢丝轮工作旋转方向应保持不变,否则将使钢丝排列不均,妨碍使用。

3. 利用车床加工时,机床导轨应作防护,以免溅落在导轨面上的研磨剂研伤导轨。

液 体 抛 光

液体抛光的实质是用压缩空气通过特制喷嘴将挟带磨料和液体的混悬液,以高速喷向工件而进行的一种光整加工。一般能在原有基础上减小表面粗糙度,每加工一次可减小一级。最小能达到 R_a 0.16~ R_a 0.08 μm 表面粗糙度。特别适宜于加工形状复杂的零件及有深的凹穴、凸台等用其他光整加工方法难于加工的零件。液体抛光设备的一般工作原理见图 2-59。喷嘴的形式很多,图 2-60 所示为常用的一种。

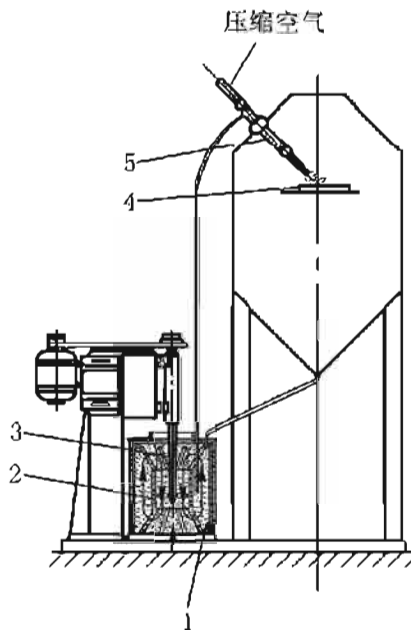


图 2-59 液体抛光设备

1—搅拌器; 2—螺旋桨; 3—搅拌器轴;
4—工件; 5—喷嘴

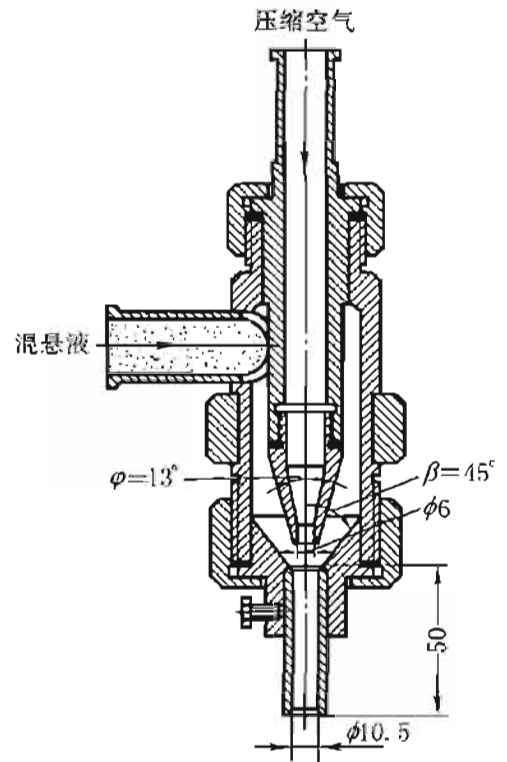


图 2-60 喷嘴结构

砂液的成分 按质量分数,64%水,34%磨料,1.5%苏打,0.5%亚硝酸钠。

磨料 常用的有氧化铝、碳化硅。

磨料粒度 决定于原始表面粗糙度和加工后要求的表面粗糙度。磨料粒度的选择见表 2-52~表 2-54。

表 2-52 磨料粒度和表面粗糙度

原始表面粗糙度 R_a [μm]	磨料粒度	加工后表面粗糙度 R_a [μm]
40~20	F36	2.5~5
20~10	F60	2~2.5
10~7	F100	1~1.25
7~4	F150	0.63~1.25
4~2.5	F240	0.5~0.63
2.5~1.25	F360	0.4~0.63
1.25~1	F400	0.32~0.4

喷射角 是液体喷流中心与被加工表面的夹角,一般采用 $30^\circ\sim 60^\circ$;角度愈小,表面粗糙度愈小。

喷流长度 是喷嘴口与被加工表面间的距离。一般为 20~120 mm;加工钢料时常采用 80 mm。

压缩空气压力 一般采用 0.4~0.6 MPa。压力愈高,生产率愈高;压力低,则加工表面粗糙度小。

液体抛光中的进给运动 可以是零件移动,也可以是喷嘴移动,一般移动速度为 0.2~6 m/min。

表 2-53 各种原始表面状态和加工后表面粗糙度

原始表面状态		磨料		加工后表面粗糙度 $R_a[\mu\text{m}]$
加工方法	表面粗糙度 $R_a[\mu\text{m}]$	粒度	磨料尺寸 $[\mu\text{m}]$	
车	10~20	F36	600~500	1.25~2.5
刨	2.5~5	F60	300~250	0.63~1.25
液体抛光	1.25~2.5	F220	75~63	0.63~1.25
磨	1.25~2.5	F240	63~53	0.63~1.25
液体抛光	1.25~2.5	F320	53~42	0.32~0.63
液体抛光	1.25~2.5	F600	14~10	0.16~0.32

表 2-54 磨料粒度、加工次数和加工表面粗糙度

原始表面粗糙度 R_a $[\mu\text{m}]$	加工一次		加工二次		加工三次	
	磨料粒度	表面粗糙度 $R_a[\mu\text{m}]$	磨料粒度	表面粗糙度 $R_a[\mu\text{m}]$	磨料粒度	表面粗糙度 $R_a[\mu\text{m}]$
8~9	F120	8	F180	4	F360	1.2
6~7	F180	5	F360	2.2		
4~5	F360	1.2	F500	1		
2~4	F500	1	F800	0.3		
1.8~2	F600	0.8	F800	0.2		
0.7~1	F800	0.3				
0.3~0.4	F800	0.2				

第三章

毛坯的机械加工余量

毛坯的选择

选择毛坯或拟订毛坯图是制订工艺规程的最初阶段工作之一。毛坯按成型状况可以采用下列两类：

1. 轧制材料(截面为圆形、六角形或正方形的棒料、带料及板料等)；
2. 成件毛坯(铸件、锻件、模锻件及冷冲件等)。

毛坯种类的选择决定于零件的材料、形状、生产性质及在生产中获得的可能性。

轧制材料 分热轧和冷拉两种,有截面为圆形、六角形、正方形的棒料、带料及板料等。冷拉棒料的精度比热轧棒料的高得多,因此,使用冷拉棒料,就有可能使零件的个别表面毋须进行加工(如六角螺钉的六角部分),从而大大节省了单件加工时间。但是必须指出,只有当不加工部分所规定的精确度不超过棒料的精确度时,才可以这样做。

在自动车床和六角车床上加工棒料,是用弹簧夹头夹紧的,因此必须使用冷拉棒料。其目的是使弹簧夹头孔只要有很小的收缩量,即能夹紧棒料。

用于自动机床上的棒料,是易切削钢。它与一般钢所不同的是含碳量不高,而含磷硫量高。后者使钢的硬度稍有增加,金属流动性降低,特别是抗冲击强度降低,使钢变脆(在冷态中),切削加工时不再产生长的卷屑,有利自动车床工作的正常进行。

成件毛坯 一般是铸件、锻件和冷冲件。铸件可用普通砂型、金属型铸造、离心铸造或压力铸造等法获得;砂型又分为机器制型或手工制型。用各种铸造方法所获得的铸件的力学性能及尺寸精度均有所不同。采用何种铸造方法应根据生产性质、零件的材料、铸造车间的条件以及其他因素来决定。

砂型铸造 用于铸造各种金属及其合金的铸件。手工造型应用于单件及小批生产以及用于大型零件铸造;而机器造型则应用于大批或大量生产中。机器造型与手工造型比较,不但生产率高,而且所得的铸件尺寸也较准确。

金属型铸造 用于铸造有较好的力学性能及较准确的尺寸(偏差为 $0.3\sim 0.6\text{ mm}$)的铸件,一般适用于重量在 12 kg 以下、批量大而没有复杂外形及薄壁的铸件。

压力铸造 可以得到形状很复杂的,如具有内孔、螺纹、外部或内部有肋条的零件。压力铸造零件的尺寸精度($0.1\sim 0.01\text{ mm}$)较其他铸造方法为高。压力铸造适用于尺寸不大而产量较大的零件,其材料主要为有色金属及其合金。在往复式铸造机上铸造的零件重量为 $2\sim 2.5\text{ kg}$,而在压铸机上铸造的零件重量则可达 $7\sim 8\text{ kg}$ 。

离心铸造 是将熔化了金属浇注到旋转着的铸型中。由于离心作用,金属液贴紧在铸型的内壁上,凝结后所得铸件外形即与铸型内壁的形状相同。使用这种方法可免除浇注口金属消耗,又可免除每制一铸件均需制模和制型,并可减少铸工车间的面积,因此生产成本明显降低,所得铸件具有紧密与微细的颗粒结构及较好的力学性能。

自由锻件 是由金属经加热后锻压(用手工锻或用机锤)成形,使毛坯外形与零件的轮廓相近似。

模锻件 是由毛坯经加热后在锻模中锻制而成,因而能使其轮廓尺寸接近于零件的尺寸,加工余量及材料消耗均大大减少。由于模锻件的尺寸比较精确,模锻件有可能免去或减少以后的机械加工。又由于模锻件的成本较自由锻件为低,模锻件制造过程远较自由锻造的过程为短,所要求的工人技术熟练程度也较低。但设备价格较贵,因而适用于同类零件产量较大的生产中。

毛坯的加工余量

机械加工中毛坯尺寸与完工零件尺寸之差,称为毛坯的加工余量(零件的表面如毋须机械加工,则该表面上即无加工余量)。加工余量的大小,取决于加工过程中各个工步应切除的金属层厚度的总和,即如各个工步中所切除的金属层厚度用符号 $z_i (i=1, 2, \dots, m)$ 来表示,则总加工余量的大小将为 $\sum z_i$ 。

制订工艺过程时,各工序加工余量需先确定,然后求出各工序尺寸,但因工序尺寸有公差,所以实际切去的余量有变化,从而加工余量有公称加工余量 z (即常说的加工余量)、最大加工余量 z_{\max} 和最小加工余量 z_{\min} 。

设本工序尺寸及其公差、加工余量及其公差,以及最小加工余量、最大加工余量分别为 L_1 、 δ_1 、 z_1 、 δ_{z1} 、 $z_{1\min}$ 、 $z_{1\max}$,

上工序尺寸及其公差、加工余量及其公差,以及最小加工余量,最大加工余量分别为 L_2 、 δ_2 、 Z_2 、 δ_{Z2} 、 $Z_{2\max}$ 、 $Z_{2\min}$ 。

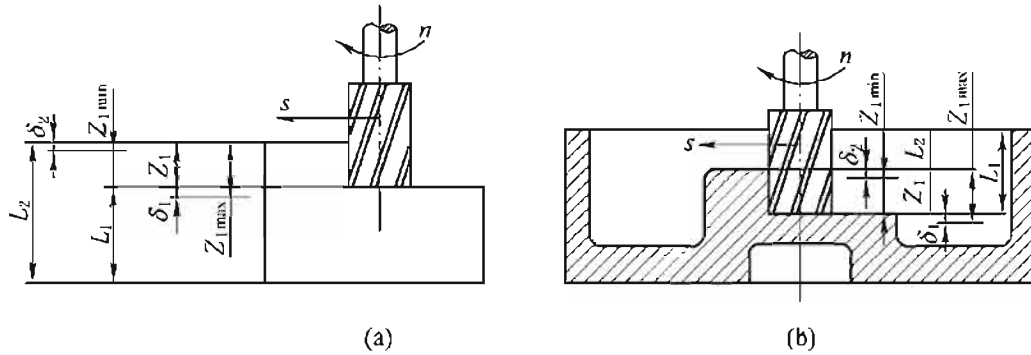


图 3-1 公称加工余量、最大加工余量和最小加工余量

(a) 外表面加工; (b) 内表面加工

由图 3-1 可知,无论是外表面加工还是内表面加工,

$$Z_1 = Z_{1\min} + \delta_2, \quad Z_1 = Z_{1\max} - \delta_1$$

即本工序加工余量总是等于本工序最小加工余量与上工序尺寸公差之和,也等于本工序最大加工余量与本工序尺寸公差之差。

且
$$\delta_{Z1} = \delta_1 + \delta_2, \quad \delta_{Z2} = \delta_1 + \delta_2$$

即本工序加工余量的公差总是等于本工序尺寸公差与上工序尺寸公差之和。

数值 Z_1 、 Z_2 、...、 Z_i 取决于完成各个工步的条件,如安装零件的精确度和工具的特性等。但是,其中 Z_1 的值,亦即第一个粗切削工步的加工余量,还取决于毛坯需要加工处的表面层状况。因为表面层平面度差别较大,有时甚至会有相当大的表面凹陷。

此外,表面的金属层往往不同于表层内部的金属。在铸铁件上,有较内部为硬的外壳(白口铁);锻件的表层(外皮)有氧化层和脱碳层。由此可知,表层是有缺陷的,它的特点是有较高的硬度。如果刀具的刀刃切在表面层,刀具就会加速磨损。因此切削深度应大于表层的厚度。

表 3-1 各种毛坯的表层厚度 [mm]

自由锻件		模锻件		铸件	
磁钢	≤ 1.5	磁钢	≤ 1	灰铸铁	1~4
合金钢	2~4	合金钢	≤ 0.5	铸钢	2~5

“加工余量的公差”即是最大加工余量与最小加工余量之差。当确定加工余量的尺寸时,必须考虑到毛坯公差的大小。

铸件的机械加工余量与公差

GB/T 6414—1999 铸件尺寸公差与机械加工余量标准规定了铸件的尺寸公差等级和要求的机械加工余量等级。标准适用于由各种铸造方法生产的各类金属及其合金铸件的尺寸。即既适用于在图样上给出的一般公差和(或)一般要求的机械加工余量,也适用于标注在具体尺寸后面的个别公差和(或)个别要求的机械加工余量。

标准的公差体系适用于铸造厂家提供模样或金属型装备,或承担模样或金属型装备检验责任的场合。

铸件基本尺寸 机械加工前的毛坯铸件的尺寸(见图 3-2),包括必要的机械加工余量 RMA(见图 3-3)。

尺寸公差 允许尺寸的变动量,符号为 CT。公差等于最大极限尺寸与最小极限尺寸之代数差的绝对值;也等于上偏差与下偏差之代数差的绝对值。

错型(错箱) 由于合型时错位,铸件的一部分与另一部在分型面处相互错开(见图 3-4)。

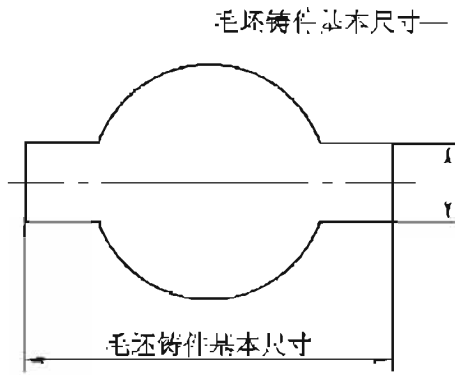


图 3-2 图样标注

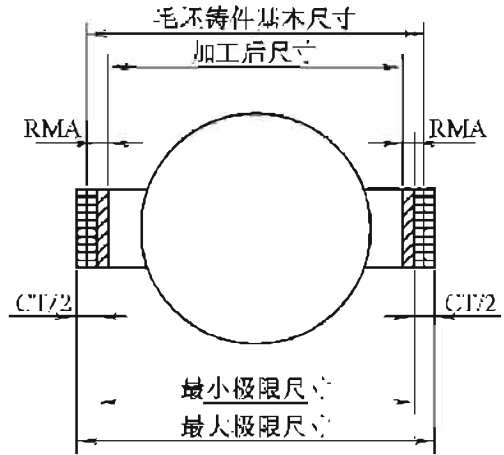


图 3-3 尺寸公差与极限尺寸

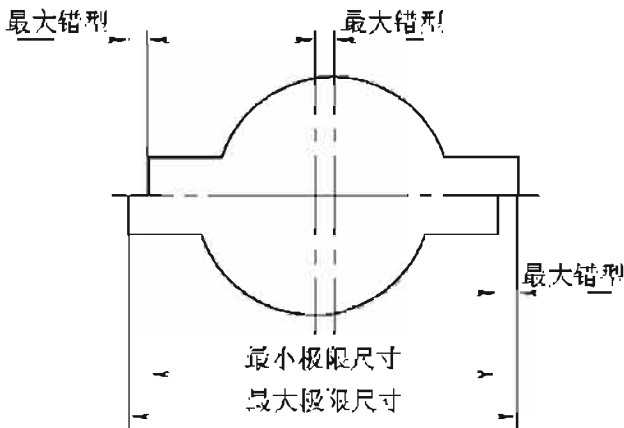


图 3-4 最大错型

尺寸标注 除壁厚的尺寸标注(允许存在由两个尺寸组成的尺寸链)外,应避免链式尺寸标注。

公差等级 铸件公差有 16 级,代号为 CT1 至 CT16(见表 3-3)。对不适合采用一般公差的尺寸,应规定个别公差。

壁厚 除非另有规定,在 CT1 至 CT15 级中的壁厚公差应比其他尺寸的一般公差粗一级,例如,如果图样上标注的一般公差为 CT10,则壁厚公差为 CT11。

倾斜要素 在设计要求有斜度(例如,带有起模斜度)的场合,应采用沿斜面对称分布的公差(见图 3-5)。

图样上一般应规定斜度是增加材料,还是减去材料,或取平均值,例如,斜度+,如图 3-5a 所示;斜度-,如图 3-5b 所示;斜度±,如图 3-5c 所示。

与图样上通用的斜度布置不同的特殊表面的斜度,应在该表面上单独标注,例如+ ∇ 。

对于要机械加工的尺寸,为能获得成品尺寸,应采用“斜度+”,而不考虑图样上对斜度的通用技术要求。

除非另有规定,错型应处在表 3-3 所规定的公差范围内。当需要进一步限制错型时,应在图样上注明最大错型值。

要求的机械加工余量(RMA) 在毛坯铸件上为了随后可用机械加工方法去除铸造对金属表面的影响,并使之达到所要求的表面特征和必要的尺寸精度而留出的金属余量。

对圆柱形的铸件部分或在双侧机械加工的情况下,RMA 应加倍(见图 3-6 和图 3-7)。

起模斜度 为使模样容易从铸型中取出或型芯自芯盒脱出,平行于起模方向在模样或芯盒壁上的斜度。

壁厚 壁厚是指由铸型与铸型、铸型与型芯、型芯与型芯之间构成的铸壁厚度。

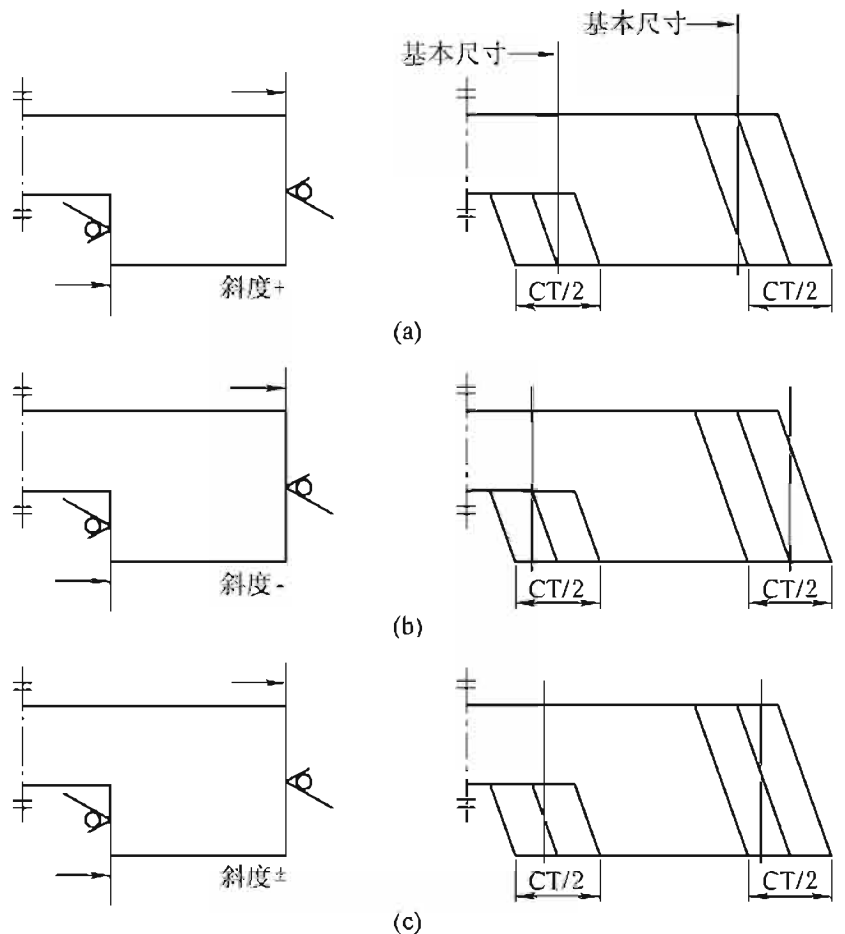


图 3-5 斜面上的公差

公差带的位置 除非另有规定,公差应相对于基本尺寸对称分布,即一半在基本尺寸之上,一半在基本尺寸之下(见图 3-3)。

因特殊原因,经铸造厂与采购方协商同意,公差带也可以不对称分布。在这种情况下,公差应单独标注在基本尺寸的后面。

要求的机械加工余量

铸件某一部位在铸态下的最大尺寸应不超过成品尺寸与要求的加工余量及铸造总公差之和(见图 3-3 和图 3-6~图 3-9)。当采用斜度时,斜度应另外考虑,如图 3-5 所示。

除非另有规定,要求的机械加工余量适用于整个毛坯铸件,即对所有需机械加工的表面只规定一个值,且该值应根据最终机械加工后成品铸件的最大轮廓尺寸,根据相应的尺寸范围选取(见图 3-10)。

要求的机械加工余量等级 有 10 级,称之为 A, B, C, D, E, F, G, H, J 和 K 级(见表 3-2)。

推荐用于各种铸造合金和铸造方法的机械加工余量(RMA)等级列在表 3-6 中,仅作为参考资料用。

以下图表中所用的字母符号及其含义如下:

R ——铸件毛坯的基本尺寸;

F ——最终机械加工后的尺寸;

RMA ——要求的机械加工余量;

CT ——铸件公差。

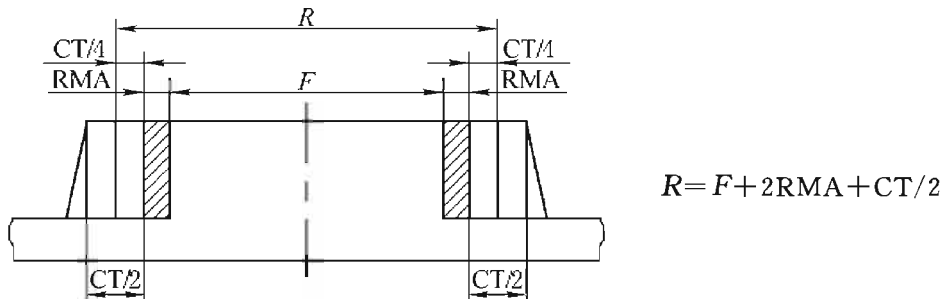


图 3-6 凸台外面作机械加工

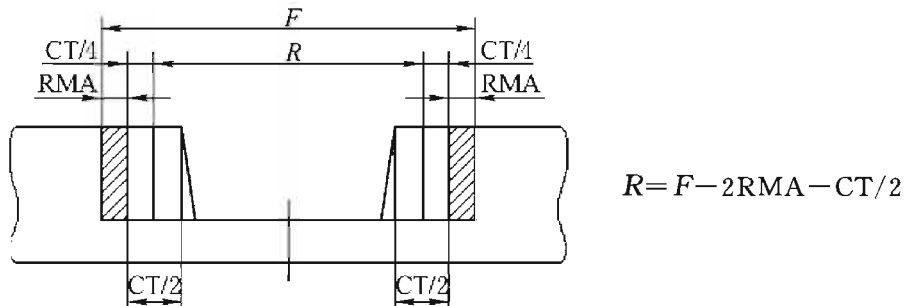


图 3-7 内腔作机械加工

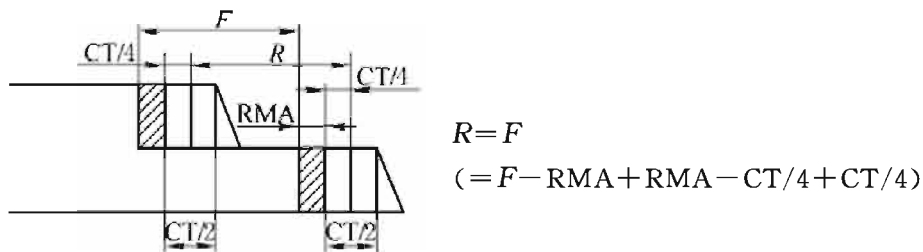
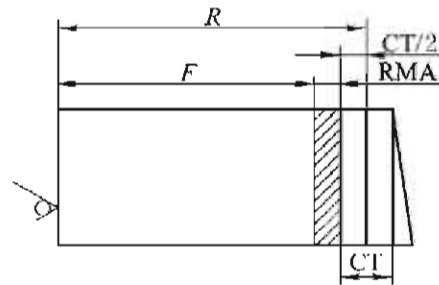


图 3-8 台阶尺寸作机械加工



$$R = F + RMA + CT/2$$

图 3-9 在铸件某一部分一侧作机械加工

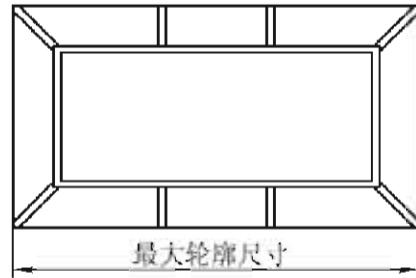


图 3-10 最终机械加工后铸件的最大轮廓尺寸

由铸造厂预机械加工的表面 采购方应按 ISO1302 的规定,在图样上规定需要由铸造厂进行预机械加工的表面和为进行最终机械加工所需的机械加工余量。

为达到预机械加工状态所需的机械加工余量与表 3-2 中的规定值无关,应由铸造厂负责确定。

表 3-2 要求的铸件机械加工余量

[mm]

最大尺寸 ^①	要求的机械加工余量等级									
	A ^②	B ^②	C	D	E	F	G	H	J	K
≤40	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.7	1	1.4
>40~63	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.7	1	1.4	2
>63~100	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	1	1.4	2	2.8	4
>100~160	0.3	0.4	0.5	0.8	1.1	1.5	2.2	3	4	6
>160~250	0.3	0.5	0.7	1	1.4	2	2.8	4	5.5	8
>250~400	0.4	0.7	0.9	1.3	1.4	2.5	3.5	5	7	10
>400~630	0.5	0.8	1.1	1.5	2.2	3	4	6	9	12
>630~1 000	0.6	0.9	1.2	1.8	2.5	3.5	5	7	10	14
>1 000~1 600	0.7	1	1.4	2	2.8	4	5.5	8	11	16
>1 600~2 500	0.8	1.1	1.6	2.2	3.2	4.5	6	9	14	18
>2 500~4 000	0.9	1.3	1.8	2.5	3.5	5	7	10	14	20
>4 000~6 300	1	1.4	2	2.8	4	5.5	8	11	16	22
>6 300~10 000	1.1	1.5	2.2	3	4.5	6	9	12	17	24

注: ① 最终机械加工后铸件的最大轮廓尺寸。

② 等级 A 和 B 仅用于特殊场合,例如,在采购方与铸造厂已就夹持面和基准面或基准目标商定模样装备、铸造工艺和机械加工工艺的成批生产情况下。

在图样上的标注

铸造公差标注 按下列方式之一标注在图样上:

1. 用公差代号统一标注。

例如：“一般公差 GB/T 6414—CT12”

2. 需要标明限制错型。

例如：“一般公差 GB/T 6414—CT12—最大错型 1.5”

3. 需要在基本尺寸后面标注个别公差。

例如：“95±3”或“200 $\pm\frac{5}{3}$ ”

机械加工余量的标注 应在图样上标出需机械加工的表面和要求的机械加工余量值,并在括号内标出要求的机械加工余量等级。当制造模样或金属型装备时应考虑这些要求。

要求的机械加工余量应按下列方式标注在图样上。

1. 用公差和要求的机械加工余量代号统一标注;

例如:对于轮廓最大尺寸在 400~630 mm 范围内的铸件,要求的机械加工余量等级为 H,要求的机械加工余量值为 6 mm (同时铸件的一般公差为 GB/T 6414—CT12)为

“GB/T 6414—CT12—RMA6(H)”

注:允许在图样上直接标注经计算后得出的尺寸值。

2. 如果有个别要求的机械加工余量,则应标注在图样的特定表面上,如由铸造厂预机械加工的表面。

例如:见图 3-11。

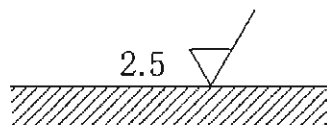


图 3-11 要求的机械加工余量在特定表面上的标注

铸造公差

对铸件规定的公差可以确定铸造方法。因此在设计完成或合同签订之前,建议采购方应与铸造厂取得联系,以商定:

1. 铸件设计和所要求的精度;
2. 机械加工要求;
3. 铸造方法;
4. 所要生产的铸件数量;
5. 所采用的铸造设备;
6. 各种特殊要求,例如,基准目标系统,个别的尺寸公差、几何公差、圆角半径公差以及个别的机械加工余量;
7. 是否有更适合该铸件的其他标准。

由于铸件的尺寸精度与生产因素有关,表 3-4 和表 3-5 列出了各种铸造方法通常能够达到的公差等级。铸造方法的精度取决于许多因素,包括:

- 铸件的复杂程度;
- 模样装备或金属型装备的类型;
- 所涉及的金属或合金;
- 模样或金属型的状况;
- 铸造厂的生产方式。

对于大批量重复生产方式,有可能通过精心调整和控制型芯的位置达到比表 3-4 所示更精的公差等级。

在用型砂铸造方法作小批量和单个铸件生产时,通过采用金属模样和研制开发装备及铸造工艺来达到小公差的做法通常是不切实际且不经济的。表 3-5 给出了适用于这种生产方式的较宽的公差。

表 3-3 中的公差是根据许多国家的铸造厂的数据。这些数据被用于构成一组光滑曲线。这些曲线采用的增量为:

$\sqrt{2}$,用于等级 CT1~CT13; $\sqrt[3]{2}$,用于等级 CT13~CT16。

铸件的许多尺寸受分型面和型芯的影响,因而需要增大尺寸公差。鉴于设计者没有必要了解所用的铸型和型芯的布置情况,因此这些公差增加量已经包括在表 3-3 中。

表 3-3 铸件尺寸公差

[mm]

毛坯铸件基本尺寸 [mm]	铸件尺寸公差等级 CT ^①															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 ^②	14 ^②	15 ^②	16 ^{②③}
≤10	0.09	0.13	0.18	0.26	0.36	0.52	0.74	1	1.5	2	2.8	4.2				
>10~16	0.1	0.14	0.2	0.28	0.38	0.54	0.78	1.1	1.6	2.2	3.0	4.4				
>16~25	0.11	0.15	0.22	0.30	0.42	0.58	0.82	1.2	1.7	2.4	3.2	4.6	6	8	10	12
>25~40	0.12	0.17	0.24	0.32	0.46	0.64	0.9	1.3	1.8	2.6	3.6	5	7	9	11	14
>40~63	0.13	0.18	0.26	0.36	0.50	0.70	1	1.4	2	2.8	4	5.6	8	10	12	16
>63~100	0.14	0.20	0.28	0.40	0.56	0.78	1.1	1.6	2.2	3.2	4.4	6	9	11	14	18
>100~160	0.15	0.22	0.30	0.44	0.62	0.88	1.2	1.8	2.5	3.6	5	7	10	12	16	20
>160~250		0.24	0.34	0.50	0.72	1	1.4	2	2.8	4	5.6	8	11	14	18	22
>250~400			0.40	0.56	0.78	1.1	1.6	2.2	3.2	4.4	6.2	9	12	16	20	25
>400~630				0.64	0.9	1.2	1.8	2.6	3.6	5	7	10	14	18	22	28
>630~1 000				0.72	1	1.4	2	2.8	4	6	8	11	16	20	25	32
>1 000~1 600				0.80	1.1	1.6	2.2	3.2	4.6	7	9	13	18	23	29	37
>1 600~2 500							2.6	3.8	5.4	8	10	15	21	26	33	42
>2 500~4 000								4.4	6.2	9	12	17	24	30	38	49
>4 000~6 300									7	10	14	20	28	35	44	56
>6 300~10 000										11	16	23	32	40	50	64

注：① 在等级 CT1~CT15 中对壁厚采用粗一级公差。

② 对于不超过 16 mm 的尺寸,不采用 CT13~CT16 的一般公差,对于这些尺寸应标注个别公差。

③ 等级 CT16 仅适用于一般公差规定为 CT15 的壁厚。

表 3-4 大批量生产的毛坯铸件的公差等级

方 法	公 差 等 级 CT									
	铸 件 材 料									
	钢	灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铜合金	锌合金	轻金属合金	镍基合金	钴基合金	
砂型铸造 手工造型	11~14	11~14	11~14	11~14	10~13	10~13	9~12	11~14	11~14	
砂型铸造机器 造型和壳型	8~12	8~12	8~12	8~12	8~10	8~10	7~9	8~12	8~12	
金属型铸造 (重力铸造或低压铸造)		8~10	8~10	8~10	8~10	7~9	7~9			
压力铸造					6~8	4~6	4~7			
熔模铸造	水玻璃	7~9	7~9	7~9	5~8		5~8	7~9	7~9	
	硅溶胶	4~6	4~6	4~6	4~6		4~6	4~6	4~6	

注：1. 表中所列出的公差等级是指在大批量生产下、且影响铸件尺寸精度的生产因素已得到充分改进时铸件通常能够达到的公差等级。

2. 本标准还适用于本表未列出的由铸造厂和采购方之间协议商定的工艺和材料。

表 3-5 小批量生产或单件生产的毛坯铸件的公差等级

方 法	造型材料	公 差 等 级 CT							
		铸 件 材 料							
		钢	灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铜合金	轻金属合金	镍基合金	钴基合金
砂型铸造	黏土砂	13~15	13~15	13~15	13~15	13~15	11~13	13~15	13~15
手工造型	化学黏结剂砂	12~14	11~13	11~13	11~13	10~12	10~12	12~14	12~14

注：1. 表中所列出的公差等级是小批量的或单件生产的砂型铸件通常能够达到的公差等级。
 2. 表中数值一般适用于大于 25 mm 的基本尺寸。对于较小的尺寸，通常能经济实用地保证下列较细的公差值：
 a) 基本尺寸 ≤ 10 mm，精三级；
 b) 10 mm < 基本尺寸 ≤ 16 mm，精二级；
 c) 16 mm < 基本尺寸 ≤ 25 mm，精一级。
 3. 本标准还适用于本表未列出的由铸造厂和采购方之间协议商定的工艺和材料。

表 3-6 毛坯铸件典型的机械加工余量等级

方 法	要求的机械加工余量等级								
	铸 件 材 料								
	钢	灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铜合金	锌合金	轻金属合金	镍基合金	钴基合金
砂型铸造 手工造型	G~K	F~H	F~H	F~H	F~H	F~H	F~H	G~K	G~K
砂型铸造机器 造型和壳型	F~H	E~G	E~G	E~G	E~G	E~G	E~G	F~H	F~H
金属型 (重力铸造和低压铸造)		D~F	D~F	D~F	D~F	D~F	D~F		
压力铸造					B~D	B~D	B~D		
熔模铸造	E	E	E		E		E	E	E

注：本标准还适用于本表未列出的由铸造厂和采购方之间协议商定的工艺和材料。

锻件的机械加工余量与公差

锤上钢质自由锻件的机械加工余量与公差

锤上钢质自由锻件的机械加工余量与公差标准(GB/T 15826.1—1995)适用于含碳量不超过 0.9% 和其他合金成分总含量不超过 4% 的碳素钢和合金钢的自由锻件。示图见图 3-12。

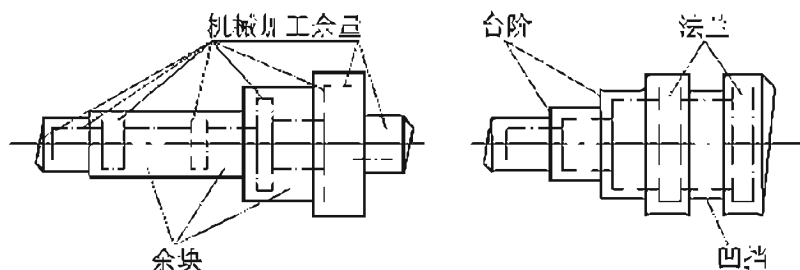


图 3-12 锻件机械加工余量和公差

标准中术语

【余块】指为简化锻件外形及锻造过程,在锻件的某些地方加添一些大于机械加工余量的金属。

【法兰】指在锻件上长度与直径之比小于 0.5 倍,且此直径比其相邻直径均大于 1.5 倍的台阶。

【凹档】指在锻件上直径(或非圆形锻件的截面尺寸)小于其邻接两部分直径(或截面尺寸)的部分。

机械加工余量与公差的等级 等级分为两个:

F 级 用于一般精度的锻件;

E 级 用于较高精度的锻件。

E 级往往需要特殊的工具和增加锻造加工费用,因此用于较大批量的生产。

自由锻件的形状与位置公差如无特殊要求时,均不得大于 GB/T 15826 规定的公差值。

GB/T 15826 的机械加工余量与公差适用于轧材锻造的锻件。采用钢锭锻造时,余量与上偏差(内孔和凹档为下偏差)允许按标准的数值增加 50%。

余量不包括机械加工夹头、热处理夹头、理化检验用料及最终热处理(调质等)要求粗加工的余量。这些余量应按需方要求另外增加。

轴类零件(包括光轴、台阶轴和曲轴),锻件的长度尺寸可按 2 去 3 入、7 退 8 进的原则,将尾数化整为 0 和 5 mm。

锻件图的绘制方法 如图 3-13 所示,锻件的外形用粗实线表示,零件的轮廓线用双点划线表示。锻件的基本尺寸和公差标注在尺寸线上面,零件的尺寸标注在尺寸线下面的括号内。

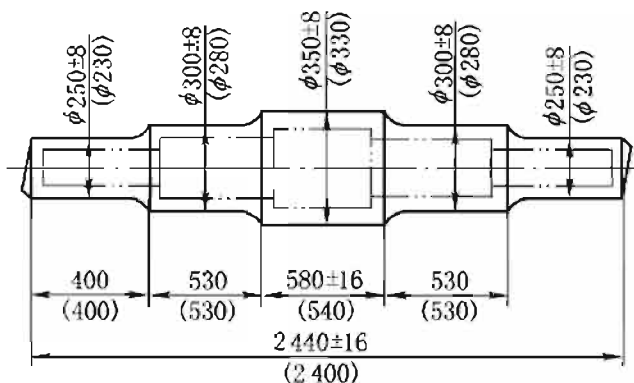


图 3-13 锻件尺寸图

薄壁型圆环件 即零件尺寸符合 $\frac{D-d}{2} \leq 40$ mm 时,锻件的余量和公差按表查出后,按下列要求适当增加:

1. 要求 F 级锻件精度的零件,按表的余量增值系数 f 增加其高度 H 和内径 d 的余量,而外径的余量和公差

不增加。

2. 要求 E 级锻件精度的零件,按表的余量增值系数 f 增加其外径 D ,高度 H 和内径 d 的余量。

3. 余量按增值系数增加后的锻件尺寸,其公差也要增加,公差的增值系数均为 1.2。

上述尺寸增加后的数值以毫米为单位均按四舍五入化整。

计算举例

1. 按 F 级锻件精度的零件,计算锻件尺寸:

设:零件尺寸 $D = 280$ mm, $d = 260$ mm, $H = 145$ mm。

查表 3-9 得: $a = 14$ mm ± 6 mm, $b = 8$ mm ± 3 mm, $c = 18$ mm ± 8 mm,

壁厚 = $\frac{D-d}{2} = \frac{280-260}{2} = 10$ mm。

查表 3-9 得:余量增值系数 $f = 1.4$ 。

计算:外径的余量和公差不增加: $a = 14$ mm ± 6 mm

高度的余量: $b \cdot f = 8 \times 1.4 = 11.2 \approx 11$ mm

公差: $\pm 3 \times 1.2 = \pm 3.6 \approx \pm 4$ mm

内径的余量: $c \cdot f = 18 \times 1.4 = 25.2 \approx 25$ mm

公差: $\pm 8 \times 1.2 = \pm 9.6 \approx \pm 10$ mm

表 3-8 续

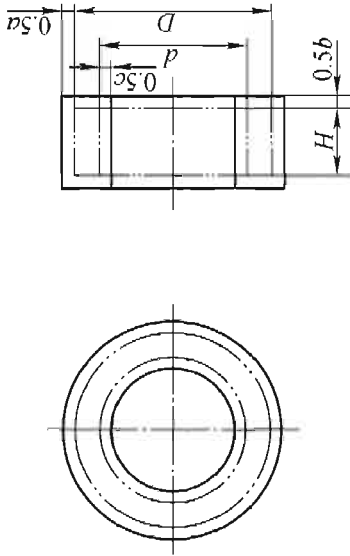
		零 件 高 度 H																						
		> 0 ~ 40	> 40 ~ 63	> 63 ~ 100	> 100 ~ 160	> 160 ~ 200	> 200 ~ 250	> 250 ~ 315	> 315 ~ 400	> 400 ~ 500	> 500 ~ 630													
零件直径 D		加工余量 a, b, c 与极限偏差																						
		a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c		
锻 件 精 度 等 级 F																								
>160~200	8±3	6±2	12±5	8±3	7±2	12±5	8±3	8±3	12±5	9±3	9±3	14±6	10±4	10±4	15±6	12±5	12±5	18±8	13±5	13±5	20±8			
>200~250	9±3	7±2	14±6	9±3	7±2	14±6	9±3	8±3	14±6	10±4	9±3	15±6	11±4	10±4	17±7	12±5	12±5	18±8	14±6	14±6	21±9	16±7	16±7	24±10
>250~315	10±4	8±3	15±6	10±4	8±3	15±6	11±4	9±3	15±6	11±4	10±4	17±7	12±5	11±4	18±8	13±5	12±5	20±8	14±6	14±6	21±9	16±7	16±7	24±10
>315~400	12±5	9±3	18±8	12±5	9±3	18±8	12±5	10±4	18±8	13±5	11±4	20±8	14±6	12±5	21±9	15±6	13±5	23±10	16±7	15±6	24±10	18±8	18±8	27±12
>400~500				14±6	10±4	21±9	14±6	11±4	21±9	15±6	12±5	23±10	16±7	14±6	24±10	17±7	15±6	26±11	18±8	17±7	27±12	20±9	19±8	30±13
>500~630				17±7	13±5	26±11	18±8	14±6	27±12	19±8	15±6	29±13	20±8	16±7	30±13	21±9	17±7	32±14	22±9	19±8	33±14	23±10	22±9	35±15
锻 件 精 度 等 级 E																								
>63~100	4±2	4±2	6±2	4±2	4±2	6±2	5±2	5±2	8±3	7±2	7±2	11±4												
>100~160	5±2	4±2	8±3	5±2	5±2	8±3	6±2	6±2	9±3	6±2	7±2	9±3	8±3	8±3	12±5	10±4	10±4	15±6						
>160~200	6±2	5±2	9±3	6±2	6±2	9±3	7±2	7±2	11±4	7±2	8±3	11±4	8±3	9±3	12±5	10±4	10±4	15±6	12±5	12±5	18±8			
>200~250	6±2	6±2	9±3	7±2	6±2	11±4	7±2	7±2	11±4	8±3	8±3	12±5	9±3	10±4	14±6	10±4	11±4	15±6	12±5	12±5	18±8	14±6	14±6	21±9
>250~315	8±3	7±2	12±5	8±3	8±3	12±5	8±3	8±3	12±5	9±3	9±3	14±6	10±4	10±4	15±6	11±4	12±5	17±7	12±5	13±5	18±8	15±6	15±6	23±10
>315~400	10±4	8±3	15±6	10±4	8±3	15±6	10±4	9±3	15±6	11±4	10±4	17±7	12±5	12±5	18±8	13±5	13±5	20±8	14±6	14±6	21±9	16±7	17±7	24±10
>400~500				12±5	10±4	18±8	12±5	11±4	18±8	13±5	12±5	20±8	14±6	13±5	21±9	15±6	14±6	23±10	16±7	16±7	24±10	19±8	18±8	29±17
>500~630				16±7	12±5	24±10	16±7	13±5	24±10	17±7	14±6	26±11	18±8	15±6	27±12	18±8	17±7	29±13	20±8	19±8	30±13	22±9	22±9	35±15

注：1. 本表适用于零件尺寸 $0.1D \leq H \leq 1.5D$ 、 $d \leq 0.5D$ 的带孔圆盘类自由锻件。
 2. 锻件高度与孔径之比大于 3 倍时，允许不冲孔。
 3. 带孔圆盘类自由锻件的最小冲孔直径 d 由锻锤吨位 W 确定。

$W[t]$	≤0.15	0.25	0.5	0.75	1	2	3	5
$d[mm]$	30	40	50	60	70	80	90	100

表 3-9 圆环类自由锻件机械加工余量与公差(GB/T 15826.4—1995)

[mm]



零件直径 D	零件高度 H																																								
	加工余量 a, b, c 与极限偏差																																								
	锻件精度等级 F																																								
零件壁厚 $\frac{D-d}{2}$		> 0 ~ 40				> 40 ~ 63				> 63 ~ 100				> 100 ~ 160				> 160 ~ 200				> 200 ~ 250				> 250 ~ 315				> 315 ~ 400				> 400 ~ 500				> 500 ~ 630			
		a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	余量增值系数 f												
>63~100		7±2	6±2	9±3	7±2	6±2	9±3	8±3	7±2	10±4	7±2	10±4	8±3	13±5	10±4	12±5	10±4	17±7	14±6	12±5	18±8	16±7	12±5	21±9	17±7	14±6	22±9	1.4 1.3													
>100~160		8±3	6±2	10±4	8±3	6±2	10±4	9±3	7±2	12±5	7±2	12±5	10±4	8±3	13±5	10±4	16±7	11±4	17±7	14±6	17±7	18±8	15±6	23±10	19±8	15±6	25±11	1.6 1.3 1.2													
>160~200		9±3	6±2	12±5	9±3	6±2	12±5	10±4	7±2	13±5	7±2	13±5	11±4	8±3	14±6	12±5	10±4	18±8	14±6	17±7	19±8	16±7	14±6	22±9	18±8	15±6	24±10	1.6 1.4 1.3 1.2													
>200~250		10±4	6±2	13±5	11±4	6±2	14±6	11±4	6±2	14±6	12±5	8±3	16±7	13±5	10±4	17±7	14±6	12±5	18±8	15±6	16±7	21±9	17±7	14±6	22±9	18±8	15±6	27±11	1.6 1.4 1.3 1.2												
>250~315		11±4	6±2	14±6	12±5	7±2	16±7	13±5	7±2	17±7	14±6	8±3	18±8	15±6	10±4	20±8	16±7	12±5	21±9	17±7	14±6	22±9	17±7	14±6	22±9	18±8	15±6	28±11	1.7 1.6 1.4 1.3 1.2												
>315~400		13±5	8±3	17±7	14±6	8±3	18±8	15±6	9±3	20±8	16±7	10±4	21±9	17±7	11±4	22±9	18±8	13±5	23±10	19±8	14±6	23±10	19±8	15±6	25±11	21±9	18±8	27±11	1.7 1.6 1.4 1.3 1.2												
>400~500		16±7	9±3	21±9	17±7	10±4	22±9	18±8	11±4	23±10	19±8	12±5	25±11	20±8	13±5	26±11	22±9	14±6	27±11	22±9	14±6	27±11	22±9	16±7	29±13	24±10	19±8	31±13	1.9 1.7 1.6 1.4 1.3 1.2												
>500~630						20±8	12±5	26±11	21±9	13±5	27±12	22±9	14±6	29±13	23±10	15±6	30±13	24±10	16±7	31±13	26±11	18±8	32±14	27±12	21±9	35±16	29±13	26±11	38±17	1.9 1.7 1.6 1.4 1.3 1.2											
>63~100		5±2	5±2	5±2	5±2	6±2	5±2	6±2	6±2	6±2	6±2	6±2	6±2	7±2	6±2	8±3	7±2	7±2	7±2	7±2	8±3	7±2	8±3	7±2	8±3	7±2	8±3	7±2	8±3	1.4 1.3											
>100~160		6±2	5±2	6±2	6±2	5±2	6±2	7±2	6±2	7±2	7±2	7±2	7±2	8±3	7±2	8±3	7±2	9±3	8±3	8±3	9±3	7±2	9±3	7±2	10±4	9±3	10±4	9±3	10±4	1.5 1.3 1.2											
>160~200		7±2	5±2	7±2	7±2	5±2	7±2	8±3	6±2	8±3	6±2	8±3	6±2	9±3	6±2	10±4	7±2	10±4	11±4	9±3	11±4	12±5	11±4	12±5	11±4	12±5	11±4	12±5	11±4	12±5	1.5 1.4 1.3 1.2										
>200~250		8±3	6±2	8±3	8±3	6±2	8±3	9±3	6±2	9±3	6±2	10±4	8±3	11±4	7±2	11±4	8±3	11±4	11±4	9±3	11±4	12±5	11±4	12±5	11±4	12±5	11±4	12±5	11±4	12±5	1.5 1.4 1.3 1.2										
>250~315		9±3	6±2	9±3	9±3	6±2	10±4	10±4	7±2	10±4	6±2	12±5	9±3	13±5	8±3	13±5	10±4	14±6	11±4	14±6	15±6	13±5	15±6	13±5	15±6	13±5	15±6	13±5	15±6	1.6 1.5 1.4 1.3 1.2											
>315~400		11±4	7±2	11±4	11±4	8±3	12±5	13±5	8±3	13±5	8±3	14±6	10±4	15±6	10±4	15±6	11±4	15±6	14±6	12±5	15±6	16±7	14±6	18±8	14±6	18±8	15±6	20±8	17±7	20±8	1.6 1.5 1.4 1.3 1.2										
>400~500		13±5	9±3	13±5	14±6	9±3	14±6	15±6	10±4	15±6	10±4	16±7	11±4	16±7	12±5	18±8	12±5	18±8	15±6	18±8	19±8	15±6	20±8	18±8	22±9	15±6	20±8	18±8	22±9	1.7 1.6 1.5 1.4 1.3 1.2											
>500~630						17±7	11±4	17±7	18±8	12±5	18±8	12±5	19±8	13±5	19±8	13±5	21±9	14±6	21±9	15±6	22±9	15±6	24±10	17±7	24±10	17±7	25±11	17±7	25±11	1.7 1.6 1.5 1.4 1.3 1.2											

注: 本表适用于零件尺寸 $0.2(D-d) \leq H \leq D$ 的圆环类自由锻件。

求得的锻件尺寸为：

$$\begin{aligned} D_0 &= (280 + 14) \pm 6 = 294 \text{ mm} \pm 6 \text{ mm} \\ H_0 &= (145 + 11) \pm 4 = 156 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm} \\ d_0 &= (260 - 25) \pm 10 = 235 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. 按 E 级锻件精度的零件, 计算锻件尺寸：

设：零件尺寸 $D = 280 \text{ mm}$, $d = 260 \text{ mm}$, $H = 145 \text{ mm}$ 。

查表 3-9 得： $a = 12 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, $b = 8 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$, $c = 12 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ 。

$$\text{壁厚} = \frac{D-d}{2} = \frac{280-260}{2} = 10 \text{ mm}。$$

查表 3-9 得：余量增值系数 $f = 1.4$ 。

计算：外径的余量： $a \cdot f = 12 \times 1.4 = 16.8 \approx 17 \text{ mm}$,

$$\text{公差：} \pm 5 \times 1.2 = \pm 6 \text{ mm}。$$

高度的余量： $b \cdot f = 8 \times 1.4 = 11.2 \approx 11 \text{ mm}$,

$$\text{公差：} \pm 3 \times 1.2 = \pm 3.6 \approx \pm 4 \text{ mm}。$$

内径的余量： $c \cdot f = 12 \times 1.4 = 16.8 \approx 17 \text{ mm}$,

$$\text{公差：} \pm 5 \times 1.2 = \pm 6 \text{ mm}。$$

求得的锻件尺寸为：

$$\begin{aligned} D_0 &= (280 + 17) \pm 6 = 297 \text{ mm} \pm 6 \text{ mm} \\ H_0 &= (145 + 11) \pm 4 = 156 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm} \\ d_0 &= (260 - 17) \pm 6 = 243 \text{ mm} \pm 6 \text{ mm} \end{aligned}$$

薄壁型套筒件 即零件壁厚尺寸符合 $\frac{D-d}{2} \leq 40 \text{ mm}$ 时, 锻件的余量和公差按表查出后, 按下列要求适当增加：

1. 要求 F 级锻件精度的零件, 按表的余量增值系数 f 增加其高度 H 和内径 d 的余量, 而外径 D 的余量和公差不增加。

2. 要求 E 级锻件精度的零件, 按表的余量增值系数 f 增加其外径 D , 高度 H 和内径 d 的余量。

3. 余量按增值系数增加后的锻件尺寸, 其公差也要增加, 公差的增值系数均为 1.3。

上述尺寸增加后的数值, 均按四舍五入化为整 mm 数。

计算举例：

a. 按 F 级锻件精度的零件, 计算锻件尺寸：

设：零件尺寸 $D = 280 \text{ mm}$, $d = 260 \text{ mm}$, $H = 380 \text{ mm}$ 。

查表 3-10 得： $a = 19 \text{ mm} \pm 8 \text{ mm}$, $b = 20 \text{ mm} \pm 8 \text{ mm}$, $c = 25 \text{ mm} \pm 11 \text{ mm}$ 。

$$\text{壁厚} = \frac{D-d}{2} = \frac{280-260}{2} = 10 \text{ mm}。$$

查表 3-10 得：余量增值系数 $f = 1.6$ 。

计算：外径的余量和公差不增加： $a = 19 \text{ mm} \pm 8 \text{ mm}$,

高度的余量： $b \cdot f = 20 \times 1.6 = 32 \text{ mm}$,

$$\text{公差：} \pm 8 \times 1.3 = \pm 10.4 \approx \pm 10 \text{ mm}。$$

内径的余量： $c \cdot f = 25 \times 1.6 = 40 \text{ mm}$,

$$\text{公差：} \pm 11 \times 1.3 = \pm 14.3 \approx \pm 14 \text{ mm}。$$

求得的锻件尺寸为：

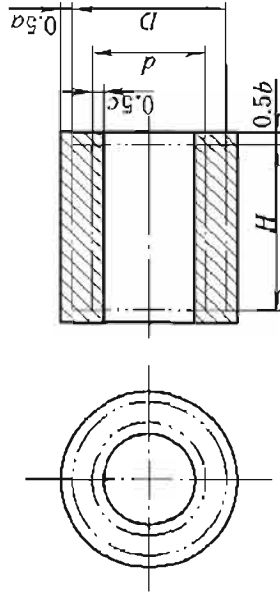
$$\begin{aligned} D_0 &= (280 + 19) \pm 8 = 299 \text{ mm} \pm 8 \text{ mm} \\ H_0 &= (380 + 32) \pm 10 = 412 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm} \\ d_0 &= (260 - 40) \pm 14 = 220 \text{ mm} \pm 14 \text{ mm} \end{aligned}$$

b. 按 E 级锻件精度的零件, 计算锻件尺寸：

设：零件尺寸 $D = 280 \text{ mm}$, $d = 260 \text{ mm}$, $H = 380 \text{ mm}$ 。

表 3-10 套筒类自由锻件机械加工余量与公差(GB/T 15826.5—1995)

[mm]



零件直径 D	零件高度 H												零件壁厚 $\frac{D-d}{2}$																	
	> 100 ~ 160			> 160 ~ 200			> 200 ~ 250			> 250 ~ 315			> 315 ~ 400			> 400 ~ 500			> 500 ~ 630											
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	大于 0	4	6.3	10	16	25						
加工余量 a, b, c 与极限偏差																														
锻件精度等级 F																														
>100~160	10±4	8±3	13±5	10±4	12±5	10±4	16±7	14±6	12±5	23±10	16±7	13±5	33±15	17±7	13±5	33±15	15±7	17±7	13±5	33±15	15±7	17±7	13±5	1.9	1.6	1.3	1.1			
>160~200				12±5	10±4	16±7	13±5	17±7	14±6	18±8	18±8	15±6	27±12	20±8	15±6	27±12	20±8	17±7	14±6	18±8	18±8	15±6	27±12	2	1.7	1.4	1.2			
>200~250							14±6	18±8	15±6	16±7	20±8	17±7	23±10	22±9	17±7	23±10	22±9	18±8	33±15	23±10	18±8	33±15	23±10	2	1.7	1.4	1.2			
>250~315									17±7	14±6	22±9	19±8	20±8	25±11	20±8	19±8	20±8	25±11	20±8	28±12	26±11	23±10	38±17	2.2	1.9	1.6	1.3	1.1		
>315~400												21±9	18±8	27±12	23±10	27±12	23±10	26±11	23±10	23±10	24±10	30±13	38±17	2.2	1.9	1.6	1.3	1.1		
>400~500															26±11	23±10	34±15	29±13	30±13	30±13	38±17	32±14	30±13	2.3	2	1.9	1.6	1.3	1.1	
>500~630																							32±14	30±13	2.3	2	1.9	1.6	1.3	1.1
锻件精度等级 E																														
>100~160	8±3	7±2	8±3	8±3	11±4	9±3	16±7	9±3	10±4	23±10	10±4	12±5	33±15	15±7	12±5	33±15	15±7	17±7	12±5	10±4	23±10	10±4	12±5	1.7	1.5	1.3	1.1			
>160~200				10±4	9±3	10±4	13±5	11±4	12±5	18±8	12±5	14±6	27±12	14±6	14±6	27±12	14±6	17±7	14±6	18±8	18±8	15±6	27±12	1.8	1.6	1.4	1.2			
>200~250							12±5	11±4	14±6	16±7	14±6	15±6	23±10	15±6	15±6	23±10	15±6	17±7	14±6	14±6	16±7	14±6	15±6	1.8	1.6	1.4	1.2			
>250~315									15±6	13±5	15±6	17±7	20±8	17±7	20±8	17±7	20±8	17±7	19±8	28±12	19±8	28±12	19±8	1.9	1.7	1.5	1.3	1.1		
>315~400												20±8	17±7	20±8	22±9	24±10	22±9	24±10	22±9	24±10	22±9	24±10	24±10	1.9	1.7	1.5	1.3	1.1		
>400~500															25±11	23±10	25±11	27±12	23±10	25±11	27±12	23±10	25±11	1.8	1.7	1.5	1.3	1.1		
>500~630																							31±14	30±13	1.9	1.7	1.5	1.3	1.1	

注：本表适用于零件尺寸 $D < H \leq 2D$ 、 $d > 0.5D$ 的套筒类自由锻件。

查表 3-10 得: $a = 17 \text{ mm} \pm 7 \text{ mm}$, $b = 20 \text{ mm} \pm 8 \text{ mm}$, $c = 17 \text{ mm} \pm 7 \text{ mm}$,

$$\text{壁厚} = \frac{D-d}{2} = \frac{280-260}{2} = 10 \text{ mm}.$$

查表 3-10 得: 余量增值系数 $f = 1.5$.

计算: 外径的余量: $a \cdot f = 17 \times 1.5 = 25.5 \approx 26 \text{ mm}$,

$$\text{公差: } \pm 7 \times 1.3 = \pm 9.1 \approx \pm 9 \text{ mm}.$$

高度的余量: $b \cdot f = 20 \times 1.5 = 30 \text{ mm}$,

$$\text{公差: } \pm 8 \times 1.3 = \pm 10.4 \approx \pm 10 \text{ mm}.$$

内径的余量: $c \cdot f = 17 \times 1.5 \approx 25.5 \approx 26 \text{ mm}$,

$$\text{公差: } \pm 7 \times 1.3 = \pm 9.1 \approx \pm 9 \text{ mm}.$$

求得的锻件尺寸为:

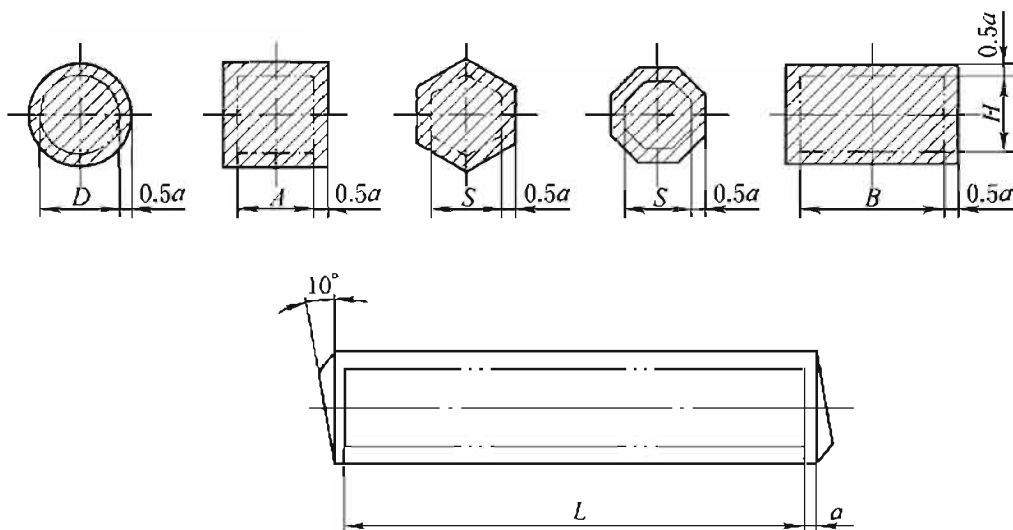
$$D_0 = (280 + 26) \pm 9 = 306 \text{ mm} \pm 9 \text{ mm}$$

$$H_0 = (380 + 30) \pm 10 = 410 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$$

$$d_0 = (260 - 26) \pm 9 = 234 \text{ mm} \pm 9 \text{ mm}$$

表 3-11 光轴类锻件机械加工余量与公差 (GB/T 15826.6—1995)

[mm]



零件尺寸 D, A, S, H_F, B	零件长度 L						
	$> 0 \sim 315$	$> 315 \sim 630$	$> 630 \sim 1\ 000$	$> 1\ 000 \sim 1\ 600$	$> 1\ 600 \sim 2\ 500$	$> 2\ 500 \sim 4\ 000$	$> 4\ 000 \sim 6\ 000$
	余量 a 与 极限偏差						
锻件精度等级 F							
$> 0 \sim 40$	7 ± 2	8 ± 3	9 ± 3	12 ± 5			
$> 40 \sim 63$	8 ± 3	9 ± 3	10 ± 4	12 ± 5	14 ± 6		
$> 63 \sim 100$	9 ± 3	10 ± 4	11 ± 4	13 ± 5	14 ± 6	17 ± 7	
$> 100 \sim 160$	10 ± 4	11 ± 4	12 ± 5	14 ± 6	15 ± 6	17 ± 7	20 ± 8
$> 160 \sim 200$		12 ± 5	13 ± 5	15 ± 6	16 ± 7	18 ± 8	21 ± 9
$> 200 \sim 250$		13 ± 5	14 ± 6	16 ± 7	17 ± 7	19 ± 8	22 ± 9
$> 250 \sim 315$			16 ± 7	18 ± 8	19 ± 8	21 ± 9	23 ± 10
$> 315 \sim 400$			18 ± 8	19 ± 8	20 ± 8	22 ± 9	
锻件精度等级 E							
$> 0 \sim 40$	6 ± 2	7 ± 2	8 ± 3	11 ± 4			
$> 40 \sim 63$	7 ± 2	8 ± 3	9 ± 3	11 ± 4	12 ± 5		
$> 63 \sim 100$	8 ± 3	9 ± 3	10 ± 4	12 ± 5	13 ± 5	16 ± 7	

表 3-11 续

零件尺寸 D, A, S, H_P, B	零件长度 L						
	$>0 \sim 315$	$>315 \sim 630$	$>630 \sim 1000$	$>1000 \sim 1600$	$>1600 \sim 2500$	$>2500 \sim 4000$	$>4000 \sim 6000$
	余量 a 与 极限偏差						
锻件精度等级 E							
$>100 \sim 160$	9 ± 3	10 ± 4	11 ± 4	13 ± 5	14 ± 6	16 ± 7	19 ± 8
$>160 \sim 200$		11 ± 4	12 ± 4	14 ± 6	15 ± 6	17 ± 7	20 ± 8
$>200 \sim 250$		12 ± 5	13 ± 5	15 ± 6	16 ± 7	18 ± 8	21 ± 9
$>250 \sim 315$			15 ± 6	17 ± 7	18 ± 8	20 ± 8	22 ± 9
$>315 \sim 400$			17 ± 7	18 ± 8	19 ± 8	21 ± 9	

注：1. 本表规定了圆形、方形、六角形、八角形、矩形 ($B/H \leq 5$) 截面的光轴类自由锻件的机械加工余量与公差。

2. 本表适用于零件尺寸 $L > 2.5D$ (或 A, B, S) 的光轴类自由锻件。

3. 矩形截面 H 的余量, 以 H_P 代替 H 查表, $H_P = \frac{B+H}{2}$ 。

矩形截面光轴两边长之比 $B/H > 2.5$ 时, H 的余量 a 增加 20%。

当零件尺寸 L/D (或 L/B) > 20 时, 余量 a 增加 30%。

矩形截面光轴以较大的一边 B 和长度 L 查上表得 a , 以确定 L 和 B 的余量。 H 的余量 a 则以长度 L 和计算值 $H_P = \frac{B+H}{2}$ 查表确定。

例：求矩形截面光轴的锻件尺寸：

设：零件尺寸 $B = 200 \text{ mm}$, $H = 100 \text{ mm}$, $L = 3500 \text{ mm}$, 要求锻件精度等级 F 级。

查表：以 B 和 L 查表 3-11 得 $a = 18 \text{ mm} \pm 8 \text{ mm}$ 。

求得：长度 L 的余量与极限偏差为 $2a = 36 \text{ mm} \pm 16 \text{ mm}$,

宽度 B 的余量与极限偏差为 $a = 18 \text{ mm} \pm 8 \text{ mm}$ 。

计算： $H_P = \frac{B+H}{2} = \frac{200+100}{2} = 150 \text{ mm}$ 。

查表：以 H_P 和 L 查得 $a = 17 \text{ mm} \pm 7 \text{ mm}$ 。

求得的锻件尺寸为：

$$B_0 = (200 + 18) \pm 8 = 218 \text{ mm} \pm 8 \text{ mm}$$

$$H_0 = (100 + 17) \pm 7 = 117 \text{ mm} \pm 7 \text{ mm}$$

$$L_0 = (3500 + 36) \pm 16 = 3536 \text{ mm} \pm 16 \text{ mm}$$

表 3-12 台阶轴类锻件机械加工余量与公差 (GB/T 15826.7—1995)

[mm]

零件最大直径 D	零件总长 L						
	$>0 \sim 315$	$>315 \sim 630$	$>630 \sim 1000$	$>1000 \sim 1600$	$>1600 \sim 2500$	$>2500 \sim 4000$	$>4000 \sim 6000$
	余量 a 与 极限偏差						
锻件精度等级 F							
$>0 \sim 40$	7 ± 2	8 ± 3	9 ± 3	10 ± 4			

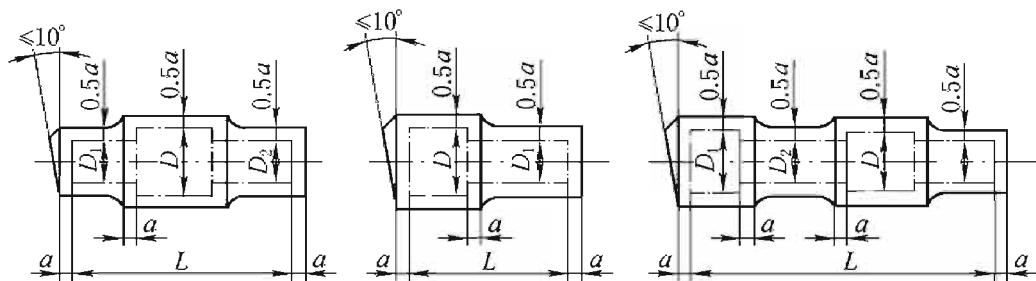


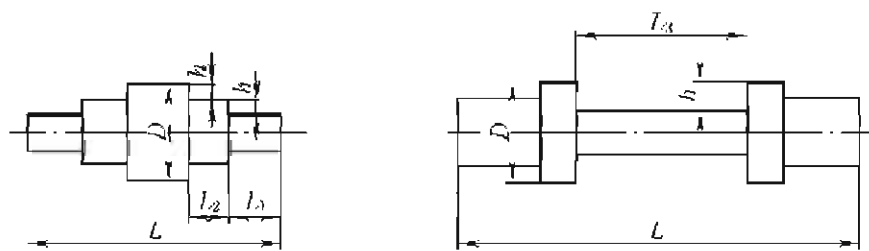
表 3-12 续

零件最大直径 D	零件总长 L						
	$>0 \sim 315$	$>315 \sim 630$	$>630 \sim 1\,000$	$>1\,000 \sim 1\,600$	$>1\,600 \sim 2\,500$	$>2\,500 \sim 4\,000$	$>4\,000 \sim 6\,000$
	余量 a 与 极限偏差						
锻件精度等级 F							
$>40 \sim 63$	8 ± 3	9 ± 3	10 ± 4	12 ± 5	13 ± 5		
$>63 \sim 100$	9 ± 3	10 ± 4	11 ± 4	13 ± 5	14 ± 6	16 ± 7	
$>100 \sim 160$	10 ± 4	11 ± 4	12 ± 5	14 ± 6	15 ± 6	17 ± 7	19 ± 8
$>160 \sim 200$		12 ± 5	13 ± 5	15 ± 6	16 ± 7	18 ± 8	20 ± 8
$>200 \sim 250$		13 ± 5	14 ± 6	16 ± 7	17 ± 7	19 ± 8	21 ± 9
$>250 \sim 315$			16 ± 7	18 ± 8	19 ± 8	21 ± 9	23 ± 10
$>315 \sim 400$			18 ± 8	19 ± 8	20 ± 8	22 ± 9	
$>400 \sim 500$				20 ± 8	22 ± 9		
锻件精度等级 E							
$>0 \sim 40$	6 ± 2	7 ± 2	8 ± 3	9 ± 3			
$>40 \sim 63$	7 ± 2	8 ± 3	9 ± 3	11 ± 4	12 ± 5		
$>63 \sim 100$	8 ± 3	9 ± 3	10 ± 4	12 ± 5	13 ± 5	15 ± 6	
$>100 \sim 160$	9 ± 3	10 ± 4	11 ± 4	13 ± 5	14 ± 6	16 ± 7	18 ± 8
$>160 \sim 200$		11 ± 4	12 ± 5	14 ± 6	15 ± 6	17 ± 7	19 ± 8
$>200 \sim 250$		12 ± 5	13 ± 5	15 ± 6	16 ± 7	18 ± 8	20 ± 8
$>250 \sim 315$			15 ± 6	17 ± 7	18 ± 8	20 ± 8	22 ± 9
$>315 \sim 400$			17 ± 7	18 ± 8	19 ± 8	21 ± 9	
$>400 \sim 500$				19 ± 8	20 ± 8		

- 注：1. 本表适用于零件总长 L 与台阶最大直径 D 之比 (L/D) 大于 2.5 的台阶轴。
 2. 各台阶直径和长度上的余量按零件最大直径 D 和总长度 L 确定。
 3. 当零件某部分的总长度 L 与直径 D_i 之比 L/D_i 大于 20 时, 该直径 D_i 的余量增加 30%。
 4. 当零件相邻两直径之比大于 2.5 时, 可按节省材料的原则将其中一部分的直径余量增加 20%。
 5. 台阶与凹档锻出与否, 按表 3-13 确定。
 6. 端部法兰和中间法兰锻出与否, 按表 3-14 确定。

表 3-13 台阶和凹档的锻出条件 (GB/T 15826.7—1995)

[mm]



台阶高度 h	零件总长度 L	零件相邻台阶的直径 D								
		$>0 \sim 40$	$>40 \sim 63$	$>63 \sim 100$	$>100 \sim 160$	$>160 \sim 200$	$>200 \sim 250$	$>250 \sim 315$	$>315 \sim 400$	
锻出台阶或凹档最小长度的计算基数 l										
$>5 \sim 8$	$>0 \sim 315$	100	120	140	160	180				
	$>315 \sim 630$	140	160	180	210	240				
	$>630 \sim 1\,000$	180	210	240	270	300				
	$>1\,000 \sim 1\,600$	240	270	300	330	360				
	$>1\,600 \sim 2\,500$		330	360	400	440				
	$>2\,500 \sim 4\,000$			440	480	520				
	$>4\,000 \sim 6\,000$				560	600				

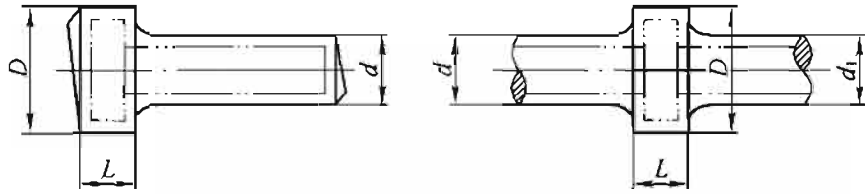
表 3-13 续

台阶高度 h	零件总长度 L	零件相邻台阶的直径 D							
		>0~40	>40~63	>63~100	>100~160	>160~200	>200~250	>250~315	>315~400
锻出台阶或凹档最小长度的计算基数 l									
>8~14	>0~315	70	80	90	100	110	120	140	
	>315~630	90	100	110	120	140	160	180	
	>630~1 000	110	120	140	160	180	210	240	
	>1 000~1 600	140	160	180	210	240	270	300	
	>1 600~2 500		210	240	270	300	330	360	
	>2 500~4 000			300	330	360	400	440	
	>4 000~6 000				400	440	480	520	
>14~23	>0~315		60	70	80	90	100	110	120
	>315~630		80	90	100	110	120	140	160
	>630~1 000		100	110	120	140	160	180	210
	>1 000~1 600		120	140	160	180	210	240	270
	>1 600~2 500		160	180	210	240	270	300	330
	>2 500~4 000			240	270	300	330	360	400
	>4 000~6 000				330	360	400	440	480
>23~36	>0~315			60	70	80	90	100	
	>315~630			80	90	100	110	120	140
	>630~1 000			100	110	120	140	160	180
	>1 000~1 600			120	140	160	180	210	240
	>1 600~2 500			160	180	210	240	270	300
	>2 500~4 000			210	240	270	300	330	360
	>4 000~6 000					330	360	400	440
>36~55	>0~315				60	70	80		
	>315~630				80	90	100	110	
	>630~1 000				100	110	120	140	160
	>1 000~1 600				120	140	160	180	210
	>1 600~2 500				160	180	210	240	270
	>2 500~4 000				210	240	270	300	330
	>4 000~6 000					300	330	360	
>55~75	>0~315								
	>315~630					80	90	100	110
	>630~1 000					100	110	120	140
	>1 000~1 600					120	140	160	180
	>1 600~2 500					160	180	210	240
	>2 500~4 000					210	240	270	300
	>4 000~6 000					270	300	330	360

注：台阶和凹档在端部台阶长度 $L_1 \geq l$ 时、中间台阶长度 $L_2 \geq 0.8l$ 时或凹档长度 $L_3 \geq 1.5l$ 时应予锻出。

表 3-14 法兰的最小锻出宽度(GB/T 15826.7—1995)

[mm]



端部法兰

中间法兰

与法兰相邻部分的尺寸 d	法 兰 直 径 D							
	$>0\sim40$	$>40\sim63$	$>63\sim100$	$>100\sim160$	$>160\sim200$	$>200\sim250$	$>250\sim315$	$>315\sim400$
锻 出 法 兰 的 最 小 宽 度 L								
$>0\sim40$	$\frac{23}{15}$	$\frac{30}{22}$	$\frac{40}{30}$	$\frac{55}{42}$				
$>40\sim50$		$\frac{26}{20}$	$\frac{36}{28}$	$\frac{50}{39}$	$\frac{65}{51}$			
$>50\sim63$		$\frac{23}{18}$	$\frac{32}{25}$	$\frac{45}{36}$	$\frac{60}{48}$	$\frac{85}{65}$		
$>63\sim80$			$\frac{28}{22}$	$\frac{40}{33}$	$\frac{55}{45}$	$\frac{80}{60}$	$\frac{110}{80}$	
$>80\sim100$			$\frac{23}{18}$	$\frac{35}{33}$	$\frac{50}{42}$	$\frac{75}{55}$	$\frac{105}{75}$	$\frac{135}{100}$
$>100\sim120$				$\frac{30}{26}$	$\frac{45}{38}$	$\frac{65}{50}$	$\frac{95}{70}$	$\frac{125}{95}$
$>120\sim160$					$\frac{40}{33}$	$\frac{60}{45}$	$\frac{85}{65}$	$\frac{115}{90}$
$>160\sim200$						$\frac{50}{38}$	$\frac{75}{58}$	$\frac{105}{80}$
$>200\sim250$							$\frac{65}{50}$	$\frac{95}{70}$
$>250\sim315$								$\frac{85}{60}$

- 注：1. 表中分子数值适用于端部法兰，分母数值适用于中间法兰。
 2. 中间法兰按法兰直径 D 与相邻较小直径 d 来确定其最小锻出宽度 L 。
 3. 法兰按台阶轴类锻件加放余量后其宽度值如小于表列数值则可增大至表列数值。

表 3-15 单拐曲轴类自由锻件机械加工余量及公差(GB/T 15826.8—1995)

[mm]

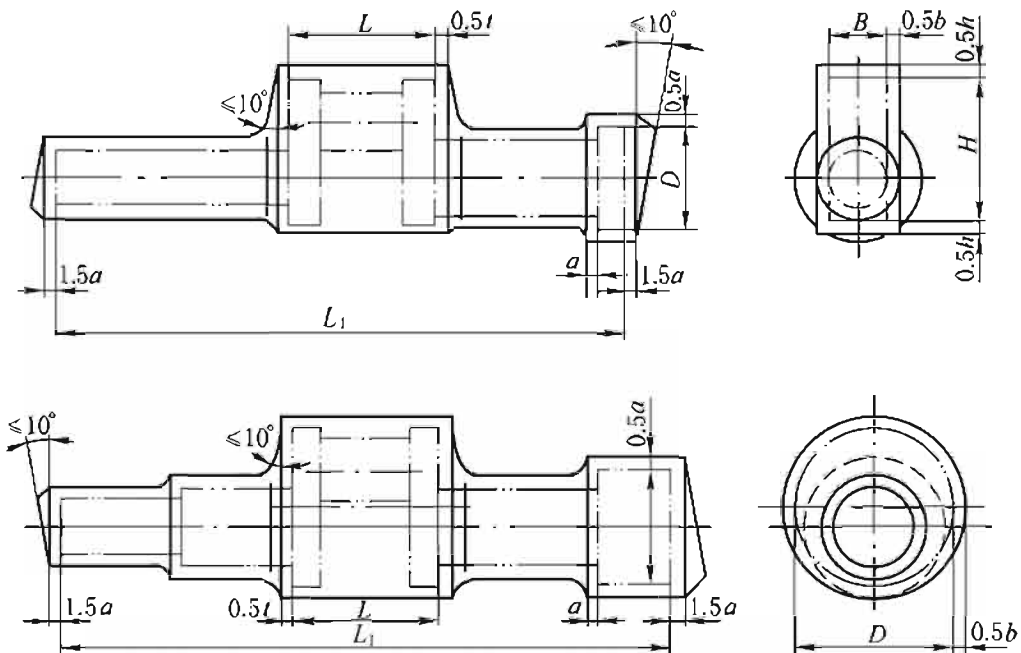


表 3-15 续

曲拐长度 L	曲拐高度 H (或 D)											
	>200~250			>250~315			>315~400			>400~450		
	加工余量 b, h, t 与极限偏差											
	b	h	t	b	h	t	b	h	t	b	h	t
锻件精度等级 F												
>200~250	14 ± 6	18 ± 8	36 ± 16	16 ± 7	21 ± 9	42 ± 18						
>250~315	16 ± 7	21 ± 9	42 ± 18	18 ± 8	23 ± 10	46 ± 20	20 ± 8	26 ± 11	52 ± 23			
>315~400				20 ± 8	26 ± 11	52 ± 23	22 ± 9	29 ± 13	58 ± 26	23 ± 10	30 ± 13	60 ± 27
>400~500				22 ± 9	29 ± 13	58 ± 26	23 ± 10	30 ± 13	60 ± 27	25 ± 11	33 ± 15	66 ± 30
>500~630							25 ± 11	33 ± 15	66 ± 30	27 ± 12	35 ± 16	70 ± 30
锻件精度等级 E												
>200~250	13 ± 5	17 ± 7	34 ± 15	15 ± 6	20 ± 8	40 ± 18						
>250~315	15 ± 6	20 ± 8	40 ± 18	17 ± 7	22 ± 9	44 ± 19	19 ± 8	25 ± 11	50 ± 22			
>315~400				19 ± 8	25 ± 11	50 ± 22	21 ± 9	27 ± 12	54 ± 24	22 ± 9	29 ± 13	58 ± 26
>400~500				21 ± 9	27 ± 12	54 ± 24	22 ± 9	29 ± 13	58 ± 26	24 ± 10	31 ± 14	62 ± 27
>500~630							24 ± 10	31 ± 14	62 ± 27	26 ± 11	34 ± 15	68 ± 30

注：1. 曲拐部分的机械加工余量与公差按曲拐的高度 H (或 D)和长度 L 确定。

2. 圆柱部分(轴颈、轴尾和法兰)的机械加工余量与公差根据最大直径 D 和零件总长度 L_1 确定。 a 按表 3-12 台阶轴类锻件增大 20%。

3. 台阶与凹档锻出与否按表 3-13 确定。

4. 法兰锻出与否按表 3-14 确定。

5. 本表适用于单拐曲轴和偏心轴类自由锻件的机械加工余量与公差(表 3-15)。

6. 本表适用于曲拐高度 H (或 D) ≤ 500 mm, 曲拐长度 $L \leq 600$ mm 的单拐曲轴和偏心轴锻件。

钢质模锻件的公差和机械加工余量

钢质模锻件的公差及机械加工余量标准(GB/T 12362—2003)

标准适用范围 质量 ≤ 250 kg、长度(最大尺寸) ≤ 2500 mm 的由模锻锤、热模锻压力机、螺旋压力机、平锻机等锻压设备生产的结构钢模锻件。其他钢种的锻件亦可参照使用。

公差及机械加工余量等级 公差分为两级:普通级和精密级。

普通级公差适用于一般模锻工艺能够达到技术要求的锻件。精密级公差适用于有较高技术要求,但需要采取附加制造工艺才能达到的锻件。用来制取例如齿轮、航空零件等一些难于切削加工有高性能要求需增加精压工序、采用无氧或少氧气氛加热的精密模锻件。精密级公差可用于某一锻件的全部尺寸,也可用于局部尺寸。

平锻件只采用普通级。机械加工余量只采用一级。

锻件质量 m_r 零件图基本尺寸—估计机械加工余量—绘制锻件图—估算锻件质量。并按此质量查表确定公差和机械加工余量。

局部成形的平锻件,当一端墩锻时只计入墩锻部分质量(图 3-14a)。两端均墩锻时,分别计算墩锻部分质量。当不形成部分长度小于该部直径两倍时应视为完整锻件(图 3-14b)。

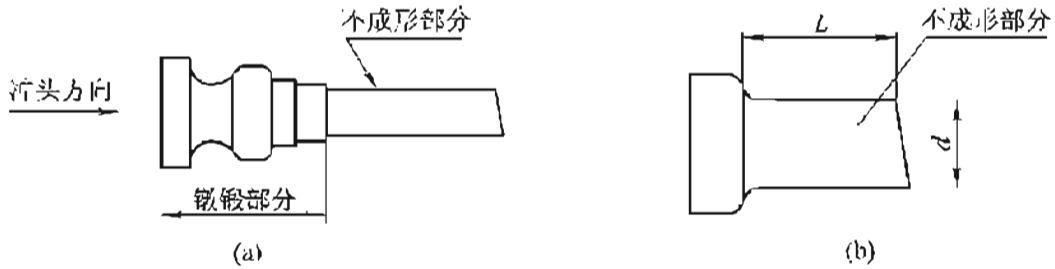


图 3-14 锻件锻锻部分
(a) 不成形部分长; (b) 不成形部分短

锻件形状复杂系数 S 指锻件质量 m_H 与相应的锻件外廓包容体质量 m_N 之比:

$$S = \frac{m_H}{m_N}$$

锻件外廓包容体质量 m_N 是以包容锻件最大轮廓的圆柱体或长方体作为实体的计算质量,

圆形锻件(图 3-15)

$$m_N = \frac{\pi}{4} d^2 h \rho$$

非圆形锻件(图 3-16)

$$m_N = lbh\rho$$

式中 ρ ——钢材密度, 7.85 g/cm^3 。

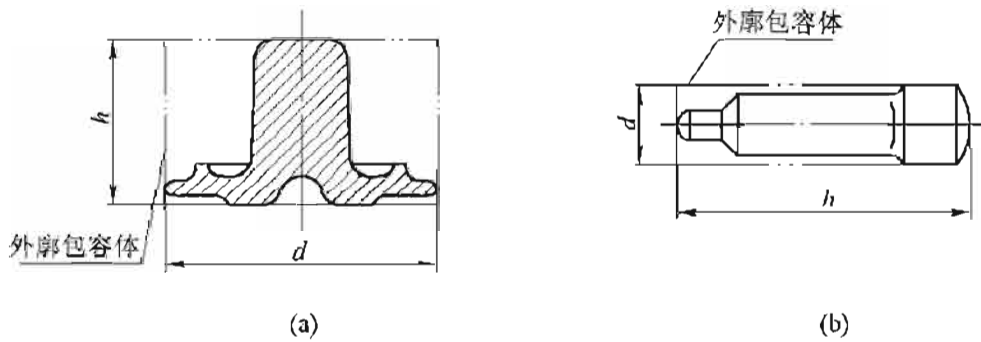


图 3-15 圆形锻件

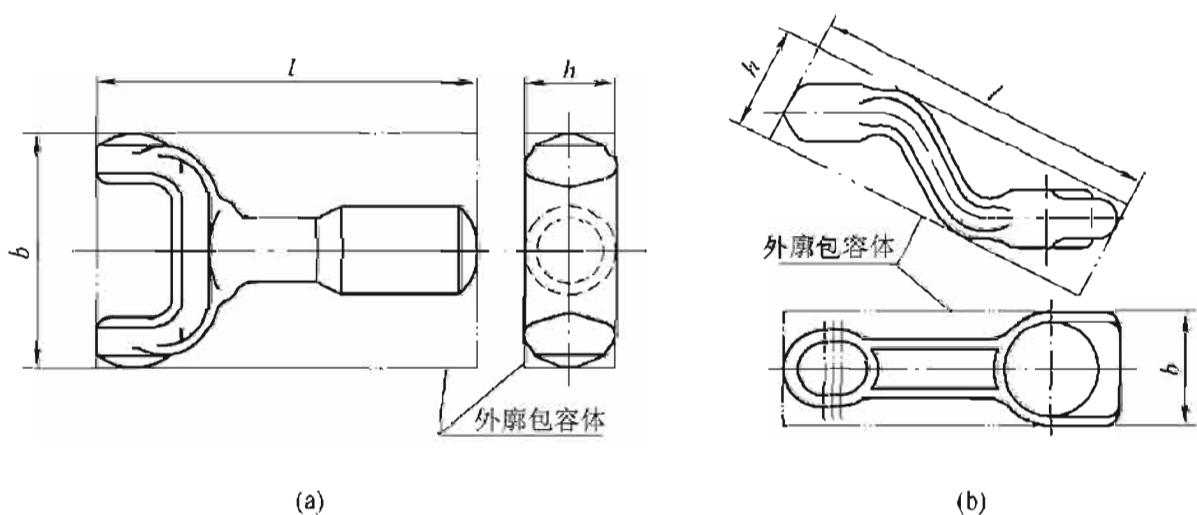


图 3-16 非圆形锻件

根据 S 值的大小,锻件形状复杂系数分为 4 级:

S_1 级(简单): $0.63 < S < 1$,

S_2 级(一般): $0.32 < S < 0.63$,

S_3 级(较复杂): $0.16 < S < 0.32$,

S_4 级(复杂): $0 < S < 0.16$ 。

特殊情况：

1. 当锻件形状为薄形圆盘或法兰件(图 3-17),且圆盘厚度和直径之比 $t/d \leq 0.2$ 时,采用 S_4 级;
2. 当平锻件 $t_1/d_1 \leq 0.2$ 或 $t_2/d_2 \geq 4$ 时,采用 S_4 级(图 3-18);

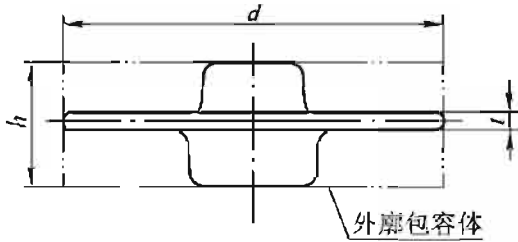


图 3-17 S_4 级形状的盘形零件

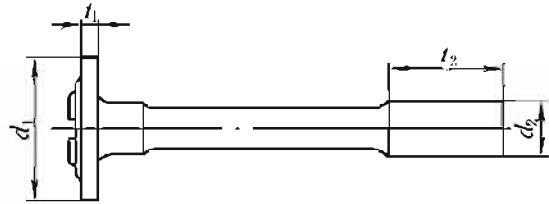


图 3-18 S_4 级形状和平锻件

3. 平锻件冲孔深度大于直径 1.5 倍时,形状复杂系数提高一级。

锻件材质系数 M 分为两级: M_1 和 M_2 。

M_1 级:最高含碳量小于 0.65% 的碳素钢或合金元素总含量小于 3% 的合金钢。

M_2 级:最高含碳量大于或等于 0.65% 的碳素钢或合金元素总含量大于或等于 3% 的合金钢。

锻件分模线形状 分为平直分模线或对称弯曲分模线(见图 3-19a、b)和不对称弯曲分模线(见图 3-20)两类。

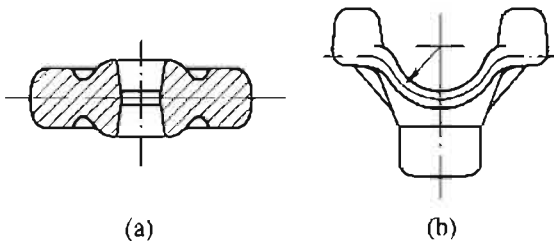


图 3-19 平直分模线或对称弯曲分模线



图 3-20 不对称弯曲分模线

零件表面粗糙度 是确定锻件加工余量的重要参数。按轮廓算术平均偏差 R_a 数值大小分为 $R_a \geq 1.6 \mu\text{m}$ 和 $R_a \leq 1.6 \mu\text{m}$ 两类。

公差 长度、宽度和高度尺寸公差是指在分模线一侧同一块模具上沿长度、宽度、高度方向上的尺寸公差见图 3-21。

图中 l ——长度方向尺寸;

b ——宽度方向尺寸;

h ——高度方向尺寸;

f ——落差尺寸;

t ——跨越分模线的厚度尺寸。

此类公差根据锻件基本尺寸、重量、形状复杂系数以及材质系数确定。表 3-16 所列是普通级,表 3-17 所列是精密级。

落差(图 3-21 中 f)尺寸公差是高度尺寸公差的一种形式,其数值比相应高度尺寸公差放宽一档,上下偏差值按 $\pm \frac{1}{2}$ 比例分配。

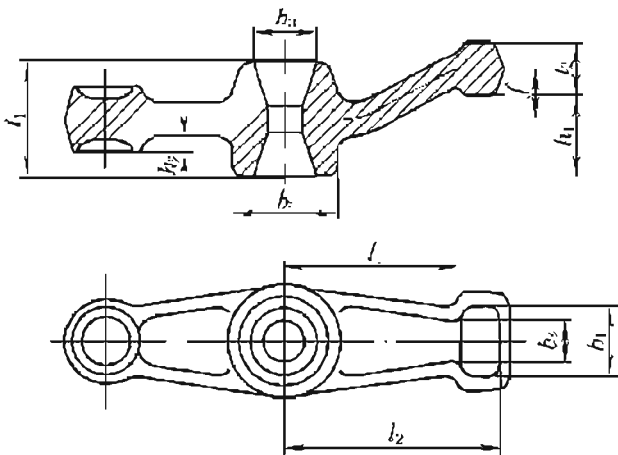


图 3-21 锻件的长度、宽度和高度方向上的尺寸

孔径尺寸公差按孔径尺寸由表 3-16 或表 3-17 确定公差值。其上下偏差按 $+\frac{1}{4}$, $-\frac{3}{4}$ 比例分配。

厚度尺寸公差 指跨越分模线的厚度尺寸的公差(图 3-21 中 t)。

锻件所有厚度尺寸取同一公差,其数值按锻件最大厚度尺寸由表 3-18 或表 3-19 确定。

顶料杆压痕公差 由表 3-18 或表 3-19 可以确定,凸出为正,凹进为负。但凹进深度不得超过表面缺陷深度公差。

错差公差 错差是锻件在分模线上、下两部分对应点所偏移的距离(图 3-22),

$$\text{错差} = \frac{l_1 - l_2}{2} \text{ 或 } \frac{b_1 - b_2}{2}$$

式中 l_1 、 b_1 ——平行于分模线最大投影长度、宽度。

l_2 、 b_2 ——平行于分模线最小投影长度、宽度。

错差公差由表 3-16 或表 3-17 确定,其应用与其他公差无关。

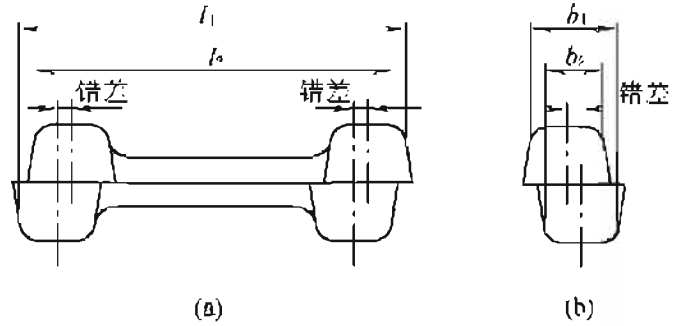


图 3-22 锻件错差

横向残留飞边及切入锻件深度公差 锻件在切边后,其横向残留飞边公差由表 3-16 或表 3-17 确定,切入锻件深度公差和横向残留飞边公差数值相等。两者与其他公差无关(图 3-23)。

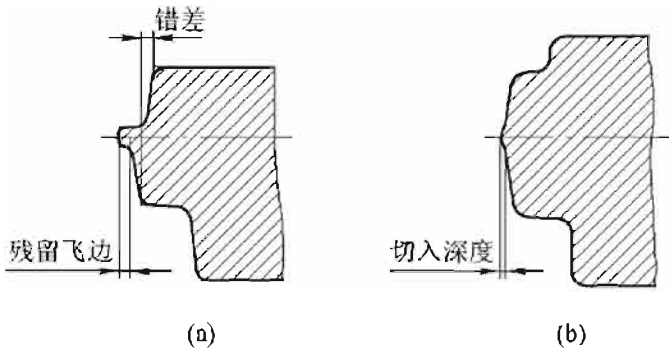


图 3-23 残留飞边

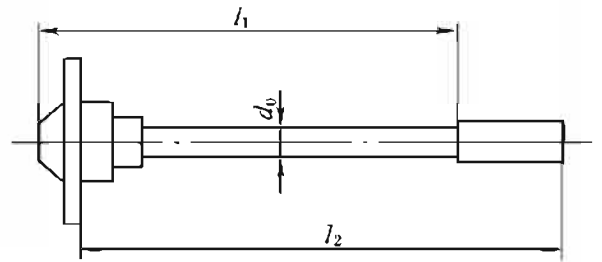


图 3-24 杆部长度

平锻件杆部长度、宽度(直径)尺寸公差 杆部长度指锻锻部分的内侧(含台阶部分)至锻件另一端端面之间的距离(图 3-24 中 l_1 或 l_2)。其公差根据杆部长度由表 3-16 确定。

在确定此类公差时,材质系数取 M_1 ,形状复杂系数取 S_1 ,锻件质量按直径为 d_0 ,长度为 l_1 或 l_2 的棒料质量计算。

宽度(直径)尺寸公差由表 3-16 确定。对凹模成形的锻锻部分所有宽度(直径)尺寸取相同公差,其值由最大宽度(直径)尺寸确定。

平锻件台阶及厚度尺寸公差 台阶尺寸指锻锻成形部分沿轴线方向的尺寸 p (图 3-25),其尺寸公差由表 3-16 确定。

厚度尺寸公差是指从凸模越过分模线到凹模间的尺寸 t (图 3-25),其公差值根据最大厚度尺寸由表 3-18 确定。

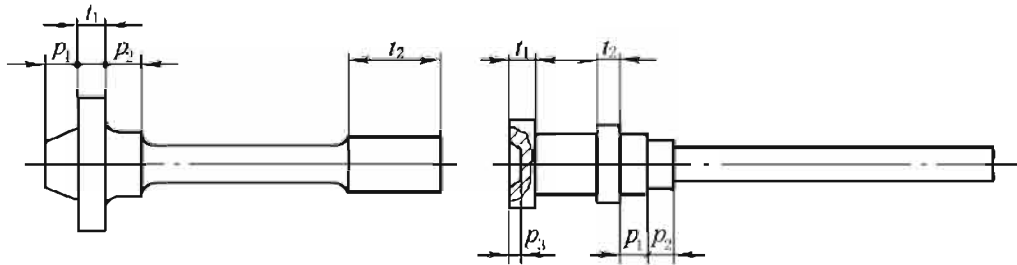


图 3-25 厚度尺寸

平锻件同轴度公差 指凸模成形部分的轴线对凹模成形外径的轴线所允许的偏移值。

同轴度公差由表 3-16 确定,数值为错差公差的两倍。冲孔件同轴度公差由表 3-20 确定,孔深 ≤ 1.5 倍孔径时 ($\frac{h}{d} \leq 1.5$),不采用同轴度公差。

表3-16 锻件的长度、宽度、高度及错差、残留飞边公差(普通级)(GB/T12362—2003)

[mm]

错差公差	残留飞边公差	分模线 非对称	锻件质量 [kg]	材质系数 M_1	形状 复杂系数 $S_1 S_2 S_3 S_4$	锻件基本尺寸																												
						0		30		80		120		180		315		500		800		1 250												
						大于	至	30	80	120	180	315	500	800	1 250	2 500																		
0.4	0.5		>0~0.4			1.1 ^{+0.8} _{-0.3}	1.2 ^{+0.8} _{-0.4}	1.4 ^{+0.9} _{-0.5}	1.6 ^{+1.1} _{-0.5}	1.6 ^{+1.1} _{-0.5}	1.8 ^{+1.2} _{-0.6}	1.8 ^{+1.2} _{-0.6}	2.0 ^{+1.3} _{-0.7}	2.0 ^{+1.3} _{-0.7}	2.2 ^{+1.5} _{-0.8}	2.2 ^{+1.5} _{-0.8}	2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	3.0 ^{+2.1} _{-1.1}	3.0 ^{+2.1} _{-1.1}	4.0 ^{+2.7} _{-1.3}	4.0 ^{+2.7} _{-1.3}	5.0 ^{+3.3} _{-1.5}	5.0 ^{+3.3} _{-1.5}	6.3 ^{+4.2} _{-2.1}	6.3 ^{+4.2} _{-2.1}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	10 ^{+6.7} _{-3.3}	10 ^{+6.7} _{-3.3}	12 ^{+8.0} _{-4.0}	12 ^{+8.0} _{-4.0}	13 ^{+8.7} _{-4.3}	13 ^{+8.7} _{-4.3}
0.5	0.6		>0.4~1.0			1.2 ^{+0.8} _{-0.4}	1.4 ^{+0.9} _{-0.5}	1.6 ^{+1.1} _{-0.5}	1.8 ^{+1.2} _{-0.6}	1.8 ^{+1.2} _{-0.6}	2.0 ^{+1.3} _{-0.7}	2.0 ^{+1.3} _{-0.7}	2.2 ^{+1.5} _{-0.8}	2.2 ^{+1.5} _{-0.8}	2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	3.0 ^{+2.1} _{-1.1}	3.0 ^{+2.1} _{-1.1}	4.0 ^{+2.7} _{-1.3}	4.0 ^{+2.7} _{-1.3}	5.0 ^{+3.3} _{-1.5}	5.0 ^{+3.3} _{-1.5}	6.3 ^{+4.2} _{-2.1}	6.3 ^{+4.2} _{-2.1}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	10 ^{+6.7} _{-3.3}	10 ^{+6.7} _{-3.3}	12 ^{+8.0} _{-4.0}	12 ^{+8.0} _{-4.0}	13 ^{+8.7} _{-4.3}	13 ^{+8.7} _{-4.3}		
0.6	0.7		>1.0~1.8			1.4 ^{+0.9} _{-0.5}	1.6 ^{+1.1} _{-0.5}	1.8 ^{+1.2} _{-0.6}	2.0 ^{+1.3} _{-0.7}	2.0 ^{+1.3} _{-0.7}	2.2 ^{+1.5} _{-0.8}	2.2 ^{+1.5} _{-0.8}	2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	3.0 ^{+2.1} _{-1.1}	3.0 ^{+2.1} _{-1.1}	4.0 ^{+2.7} _{-1.3}	4.0 ^{+2.7} _{-1.3}	5.0 ^{+3.3} _{-1.5}	5.0 ^{+3.3} _{-1.5}	6.3 ^{+4.2} _{-2.1}	6.3 ^{+4.2} _{-2.1}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	10 ^{+6.7} _{-3.3}	10 ^{+6.7} _{-3.3}	12 ^{+8.0} _{-4.0}	12 ^{+8.0} _{-4.0}	13 ^{+8.7} _{-4.3}	13 ^{+8.7} _{-4.3}				
0.8	0.8		>1.8~3.2			1.6 ^{+1.1} _{-0.5}	1.8 ^{+1.2} _{-0.6}	2.0 ^{+1.3} _{-0.7}	2.2 ^{+1.5} _{-0.8}	2.2 ^{+1.5} _{-0.8}	2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	3.0 ^{+2.1} _{-1.1}	3.0 ^{+2.1} _{-1.1}	4.0 ^{+2.7} _{-1.3}	4.0 ^{+2.7} _{-1.3}	5.0 ^{+3.3} _{-1.5}	5.0 ^{+3.3} _{-1.5}	6.3 ^{+4.2} _{-2.1}	6.3 ^{+4.2} _{-2.1}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	10 ^{+6.7} _{-3.3}	10 ^{+6.7} _{-3.3}	12 ^{+8.0} _{-4.0}	12 ^{+8.0} _{-4.0}	13 ^{+8.7} _{-4.3}	13 ^{+8.7} _{-4.3}						
1.0	1.0		>3.2~5.6			1.8 ^{+1.2} _{-0.6}	2.0 ^{+1.3} _{-0.7}	2.2 ^{+1.5} _{-0.8}	2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	3.0 ^{+2.1} _{-1.1}	3.0 ^{+2.1} _{-1.1}	4.0 ^{+2.7} _{-1.3}	4.0 ^{+2.7} _{-1.3}	5.0 ^{+3.3} _{-1.5}	5.0 ^{+3.3} _{-1.5}	6.3 ^{+4.2} _{-2.1}	6.3 ^{+4.2} _{-2.1}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	10 ^{+6.7} _{-3.3}	10 ^{+6.7} _{-3.3}	12 ^{+8.0} _{-4.0}	12 ^{+8.0} _{-4.0}	13 ^{+8.7} _{-4.3}	13 ^{+8.7} _{-4.3}								
1.2	1.2		>5.6~10			2.0 ^{+1.3} _{-0.7}	2.2 ^{+1.5} _{-0.8}	2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	2.8 ^{+1.9} _{-0.9}	2.8 ^{+1.9} _{-0.9}	3.6 ^{+2.4} _{-1.2}	3.6 ^{+2.4} _{-1.2}	4.5 ^{+3.0} _{-1.7}	4.5 ^{+3.0} _{-1.7}	5.6 ^{+3.7} _{-2.1}	5.6 ^{+3.7} _{-2.1}	7.0 ^{+4.7} _{-2.3}	7.0 ^{+4.7} _{-2.3}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	10 ^{+6.7} _{-3.3}	10 ^{+6.7} _{-3.3}	12 ^{+8.0} _{-4.0}	12 ^{+8.0} _{-4.0}	13 ^{+8.7} _{-4.3}	13 ^{+8.7} _{-4.3}								
1.4	1.4		>10~20			2.2 ^{+1.5} _{-0.7}	2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	2.8 ^{+1.9} _{-0.9}	3.2 ^{+2.1} _{-1.1}	3.2 ^{+2.1} _{-1.1}	4.0 ^{+2.7} _{-1.3}	4.0 ^{+2.7} _{-1.3}	5.0 ^{+3.3} _{-1.5}	5.0 ^{+3.3} _{-1.5}	6.3 ^{+4.2} _{-2.1}	6.3 ^{+4.2} _{-2.1}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	10 ^{+6.7} _{-3.3}	10 ^{+6.7} _{-3.3}	12 ^{+8.0} _{-4.0}	12 ^{+8.0} _{-4.0}	13 ^{+8.7} _{-4.3}	13 ^{+8.7} _{-4.3}										
1.6	1.7		>20~50			2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	2.8 ^{+1.9} _{-0.9}	3.2 ^{+2.1} _{-1.1}	3.6 ^{+2.4} _{-1.2}	3.6 ^{+2.4} _{-1.2}	4.5 ^{+3.0} _{-1.7}	4.5 ^{+3.0} _{-1.7}	5.6 ^{+3.7} _{-2.1}	5.6 ^{+3.7} _{-2.1}	7.0 ^{+4.7} _{-2.3}	7.0 ^{+4.7} _{-2.3}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	10 ^{+6.7} _{-3.3}	10 ^{+6.7} _{-3.3}	12 ^{+8.0} _{-4.0}	12 ^{+8.0} _{-4.0}	13 ^{+8.7} _{-4.3}	13 ^{+8.7} _{-4.3}										
1.8	2.0		>50~120			2.8 ^{+1.9} _{-0.9}	3.2 ^{+2.1} _{-1.1}	3.6 ^{+2.4} _{-1.2}	4.0 ^{+2.7} _{-1.3}	4.0 ^{+2.7} _{-1.3}	5.0 ^{+3.3} _{-1.5}	5.0 ^{+3.3} _{-1.5}	6.3 ^{+4.2} _{-2.1}	6.3 ^{+4.2} _{-2.1}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	10 ^{+6.7} _{-3.3}	10 ^{+6.7} _{-3.3}	12 ^{+8.0} _{-4.0}	12 ^{+8.0} _{-4.0}	13 ^{+8.7} _{-4.3}	13 ^{+8.7} _{-4.3}												
2.0	2.4		>120~250			3.2 ^{+2.1} _{-1.1}	3.6 ^{+2.4} _{-1.2}	4.0 ^{+2.7} _{-1.3}	4.5 ^{+3.0} _{-1.7}	4.5 ^{+3.0} _{-1.7}	5.6 ^{+3.7} _{-2.1}	5.6 ^{+3.7} _{-2.1}	7.0 ^{+4.7} _{-2.3}	7.0 ^{+4.7} _{-2.3}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	10 ^{+6.7} _{-3.3}	10 ^{+6.7} _{-3.3}	12 ^{+8.0} _{-4.0}	12 ^{+8.0} _{-4.0}	13 ^{+8.7} _{-4.3}	13 ^{+8.7} _{-4.3}												
2.4	2.8					3.6 ^{+2.4} _{-1.2}	4.0 ^{+2.7} _{-1.3}	4.5 ^{+3.0} _{-1.7}	5.0 ^{+3.3} _{-1.7}	5.0 ^{+3.3} _{-1.7}	6.3 ^{+4.2} _{-2.1}	6.3 ^{+4.2} _{-2.1}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	10 ^{+6.7} _{-3.3}	10 ^{+6.7} _{-3.3}	12 ^{+8.0} _{-4.0}	12 ^{+8.0} _{-4.0}	13 ^{+8.7} _{-4.3}	13 ^{+8.7} _{-4.3}														

例：锻件质量为6 kg,材质系数为 M_1 ,形状复杂系数为 S_2 ,尺寸为160 mm,平直分模线时各类公差查法。

注：锻件的高度或台阶尺寸及中心到边缘尺寸公差,按±1/2的比例分配。内表面尺寸极限偏差,正负符号与表中相反。长度、宽度尺寸的上、下偏差按±2/3,±1/3比例分配。

表3-17 锻件的长度、宽度、高度及错差、残留飞边公差(精密级)(GB/T12362—2003)

[mm]

错差公差	残留飞边公差	分模线 非对称 平直或对称	锻件质量 [kg]	材质系数 M ₁ M ₂	形状 复杂系数 S ₁ S ₂ S ₃ S ₄	锻件基本尺寸																			
						0		30		80		120		180		315		500		800		1250			
						大于	至	30	80	120	180	315	500	800	1250	2500									
0.3	0.3		>0~0.4			0.7 ^{+0.5} _{-0.2}	0.8 ^{+0.5} _{-0.3}	0.9 ^{+0.6} _{-0.3}	1.0 ^{+0.7} _{-0.3}	1.2 ^{+0.8} _{-0.4}	1.0 ^{+0.7} _{-0.3}	1.2 ^{+0.8} _{-0.4}	1.4 ^{+0.9} _{-0.5}	1.6 ^{+1.1} _{-0.6}	2.0 ^{+1.3} _{-0.7}	2.2 ^{+1.5} _{-0.8}	2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	3.2 ^{+2.1} _{-1.1}	4.0 ^{+2.7} _{-1.3}	5.0 ^{+3.3} _{-1.5}	6.3 ^{+4.2} _{-2.1}	7.0 ^{+4.7} _{-2.3}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	10.0 ^{+6.0} _{-3.0}	12.5 ^{+6.7} _{-3.3}
0.4	0.4		>0.4~1.0			0.8 ^{+0.5} _{-0.3}	0.9 ^{+0.6} _{-0.3}	1.0 ^{+0.7} _{-0.3}	1.2 ^{+0.8} _{-0.4}	1.4 ^{+0.9} _{-0.5}	1.0 ^{+0.7} _{-0.3}	1.2 ^{+0.8} _{-0.4}	1.4 ^{+0.9} _{-0.5}	1.6 ^{+1.1} _{-0.6}	2.0 ^{+1.3} _{-0.7}	2.2 ^{+1.5} _{-0.8}	2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	3.2 ^{+2.1} _{-1.1}	4.0 ^{+2.7} _{-1.3}	5.0 ^{+3.3} _{-1.5}	6.3 ^{+4.2} _{-2.1}	7.0 ^{+4.7} _{-2.3}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	10.0 ^{+6.0} _{-3.0}	12.5 ^{+6.7} _{-3.3}
0.5	0.5		>1.0~1.8			0.9 ^{+0.6} _{-0.3}	1.0 ^{+0.7} _{-0.3}	1.2 ^{+0.8} _{-0.4}	1.4 ^{+0.9} _{-0.5}	1.6 ^{+1.1} _{-0.6}	1.0 ^{+0.7} _{-0.3}	1.2 ^{+0.8} _{-0.4}	1.4 ^{+0.9} _{-0.5}	1.6 ^{+1.1} _{-0.6}	2.0 ^{+1.3} _{-0.7}	2.2 ^{+1.5} _{-0.8}	2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	3.2 ^{+2.1} _{-1.1}	4.0 ^{+2.7} _{-1.3}	5.0 ^{+3.3} _{-1.5}	6.3 ^{+4.2} _{-2.1}	7.0 ^{+4.7} _{-2.3}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	10.0 ^{+6.0} _{-3.0}	12.5 ^{+6.7} _{-3.3}
0.6	0.6		>1.8~3.2			1.0 ^{+0.7} _{-0.3}	1.2 ^{+0.8} _{-0.4}	1.4 ^{+0.9} _{-0.5}	1.6 ^{+1.1} _{-0.6}	1.8 ^{+1.2} _{-0.6}	1.0 ^{+0.7} _{-0.3}	1.2 ^{+0.8} _{-0.4}	1.4 ^{+0.9} _{-0.5}	1.6 ^{+1.1} _{-0.6}	2.0 ^{+1.3} _{-0.7}	2.2 ^{+1.5} _{-0.8}	2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	3.2 ^{+2.1} _{-1.1}	4.0 ^{+2.7} _{-1.3}	5.0 ^{+3.3} _{-1.5}	6.3 ^{+4.2} _{-2.1}	7.0 ^{+4.7} _{-2.3}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	10.0 ^{+6.0} _{-3.0}	12.5 ^{+6.7} _{-3.3}
0.7	0.7		>3.2~5.6			1.2 ^{+0.8} _{-0.4}	1.4 ^{+0.9} _{-0.5}	1.6 ^{+1.1} _{-0.6}	1.8 ^{+1.2} _{-0.6}	2.0 ^{+1.3} _{-0.7}	1.2 ^{+0.8} _{-0.4}	1.4 ^{+0.9} _{-0.5}	1.6 ^{+1.1} _{-0.6}	1.8 ^{+1.2} _{-0.6}	2.2 ^{+1.5} _{-0.8}	2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	3.2 ^{+2.1} _{-1.1}	4.0 ^{+2.7} _{-1.3}	5.0 ^{+3.3} _{-1.5}	6.3 ^{+4.2} _{-2.1}	7.0 ^{+4.7} _{-2.3}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	10.0 ^{+6.0} _{-3.0}	12.5 ^{+6.7} _{-3.3}	15.0 ^{+7.5} _{-3.7}
0.8	0.8		>5.6~10			1.4 ^{+0.9} _{-0.5}	1.6 ^{+1.1} _{-0.6}	1.8 ^{+1.2} _{-0.6}	2.0 ^{+1.3} _{-0.7}	2.2 ^{+1.5} _{-0.8}	1.4 ^{+0.9} _{-0.5}	1.6 ^{+1.1} _{-0.6}	1.8 ^{+1.2} _{-0.6}	2.0 ^{+1.3} _{-0.7}	2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	3.2 ^{+2.1} _{-1.1}	4.0 ^{+2.7} _{-1.3}	5.0 ^{+3.3} _{-1.5}	6.3 ^{+4.2} _{-2.1}	7.0 ^{+4.7} _{-2.3}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	10.0 ^{+6.0} _{-3.0}	12.5 ^{+6.7} _{-3.3}	15.0 ^{+7.5} _{-3.7}	18.0 ^{+8.5} _{-4.2}
1.0	1.0		>10~20			1.6 ^{+1.1} _{-0.6}	1.8 ^{+1.2} _{-0.6}	2.0 ^{+1.3} _{-0.7}	2.2 ^{+1.5} _{-0.8}	2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	1.6 ^{+1.1} _{-0.6}	1.8 ^{+1.2} _{-0.6}	2.0 ^{+1.3} _{-0.7}	2.2 ^{+1.5} _{-0.8}	2.8 ^{+2.1} _{-1.1}	3.6 ^{+2.4} _{-1.2}	4.5 ^{+3.0} _{-1.5}	5.6 ^{+3.7} _{-1.7}	7.0 ^{+4.7} _{-2.3}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	10.0 ^{+6.0} _{-3.0}	12.5 ^{+6.7} _{-3.3}	15.0 ^{+7.5} _{-3.7}	18.0 ^{+8.5} _{-4.2}	22.0 ^{+10.0} _{-4.9}
1.2	1.2		>20~50			1.8 ^{+1.2} _{-0.6}	2.0 ^{+1.3} _{-0.7}	2.2 ^{+1.5} _{-0.8}	2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	2.8 ^{+2.1} _{-1.1}	1.8 ^{+1.2} _{-0.6}	2.0 ^{+1.3} _{-0.7}	2.2 ^{+1.5} _{-0.8}	2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	3.2 ^{+2.1} _{-1.1}	4.0 ^{+2.7} _{-1.3}	5.0 ^{+3.3} _{-1.5}	6.3 ^{+4.2} _{-2.1}	7.0 ^{+4.7} _{-2.3}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	10.0 ^{+6.0} _{-3.0}	12.5 ^{+6.7} _{-3.3}	15.0 ^{+7.5} _{-3.7}	18.0 ^{+8.5} _{-4.2}	22.0 ^{+10.0} _{-4.9}
1.2	1.2		>50~120			2.0 ^{+1.3} _{-0.7}	2.2 ^{+1.5} _{-0.8}	2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	2.8 ^{+2.1} _{-1.1}	3.2 ^{+2.1} _{-1.1}	2.0 ^{+1.3} _{-0.7}	2.2 ^{+1.5} _{-0.8}	2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	2.8 ^{+2.1} _{-1.1}	3.6 ^{+2.4} _{-1.2}	4.5 ^{+3.0} _{-1.5}	5.6 ^{+3.7} _{-1.7}	7.0 ^{+4.7} _{-2.3}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	10.0 ^{+6.0} _{-3.0}	12.5 ^{+6.7} _{-3.3}	15.0 ^{+7.5} _{-3.7}	18.0 ^{+8.5} _{-4.2}	22.0 ^{+10.0} _{-4.9}	28.0 ^{+12.0} _{-5.9}
1.4	1.4		>120~250			2.2 ^{+1.5} _{-0.7}	2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	2.8 ^{+2.1} _{-1.1}	3.2 ^{+2.1} _{-1.1}	3.6 ^{+2.4} _{-1.2}	2.2 ^{+1.5} _{-0.8}	2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	2.8 ^{+2.1} _{-1.1}	3.2 ^{+2.1} _{-1.1}	4.0 ^{+2.7} _{-1.3}	5.0 ^{+3.3} _{-1.5}	6.3 ^{+4.2} _{-2.1}	7.0 ^{+4.7} _{-2.3}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	10.0 ^{+6.0} _{-3.0}	12.5 ^{+6.7} _{-3.3}	15.0 ^{+7.5} _{-3.7}	18.0 ^{+8.5} _{-4.2}	22.0 ^{+10.0} _{-4.9}	28.0 ^{+12.0} _{-5.9}
1.4	1.7					2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	2.8 ^{+2.1} _{-1.1}	3.2 ^{+2.1} _{-1.1}	3.6 ^{+2.4} _{-1.2}	4.0 ^{+2.7} _{-1.3}	2.5 ^{+1.7} _{-0.9}	2.8 ^{+2.1} _{-1.1}	3.2 ^{+2.1} _{-1.1}	3.6 ^{+2.4} _{-1.2}	4.5 ^{+3.0} _{-1.5}	5.6 ^{+3.7} _{-1.7}	7.0 ^{+4.7} _{-2.3}	8.0 ^{+5.3} _{-2.7}	10.0 ^{+6.0} _{-3.0}	12.5 ^{+6.7} _{-3.3}	15.0 ^{+7.5} _{-3.7}	18.0 ^{+8.5} _{-4.2}	22.0 ^{+10.0} _{-4.9}	28.0 ^{+12.0} _{-5.9}	36.0 ^{+15.0} _{-7.5}

例：锻件质量为3 kg, 材质系数为 S₃, 尺寸为120 mm, 平分模线时各类公差查法。

注：锻件的高度或台阶尺寸及中心到边缘尺寸公差, 按±1/2的比例分配。内表面尺寸极限偏差, 正负符号与表中相反。长度、宽度尺寸的上、下偏差按±2/3, ±1/3比例分配。

表3-18 模锻件的厚度及顶料杆压痕公差及允许偏差(普通级)(GB/T 12362—2003)

[mm]

顶出器压痕		锻件质量 [kg]	锻件材质系数	形状复杂系数	锻件厚度尺寸																								
					大于	0	18	30	50	80	120	180	30	50	80	120	180												
+(凸)		0.4	M ₁	S ₁	公差值及允许偏差																								
-(凹)					0.4	M ₂	S ₂	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.0	3.2	3.5	3.6	3.8	4.0	4.5	5.0	5.6	6.0	6.3	7.0
0.8	0.4	>0~0.4			1.0 ^{+0.8} _{-0.2}	1.1 ^{+0.8} _{-0.3}	1.2 ^{+0.9} _{-0.3}	1.4 ^{+1.0} _{-0.4}	1.6 ^{+1.2} _{-0.4}	1.8 ^{+1.4} _{-0.4}	2.0 ^{+1.5} _{-0.5}	2.2 ^{+1.7} _{-0.5}	2.5 ^{+1.9} _{-0.6}	2.8 ^{+2.1} _{-0.6}	3.0 ^{+2.2} _{-0.6}	3.2 ^{+2.4} _{-0.8}	3.5 ^{+2.6} _{-0.8}	3.6 ^{+2.7} _{-0.9}	3.8 ^{+2.9} _{-0.9}	4.0 ^{+3.0} _{-1.0}	4.5 ^{+3.4} _{-1.1}	5.0 ^{+3.8} _{-1.1}	5.6 ^{+4.2} _{-1.2}	6.0 ^{+4.6} _{-1.2}	6.3 ^{+4.8} _{-1.4}	7.0 ^{+5.3} _{-1.4}	8.0 ^{+6.0} _{-1.5}	9.0 ^{+6.8} _{-1.6}	10.0 ^{+7.5} _{-1.7}
1.0	0.5	>0.4~1.0			1.1 ^{+0.8} _{-0.3}	1.2 ^{+0.9} _{-0.3}	1.4 ^{+1.0} _{-0.4}	1.6 ^{+1.2} _{-0.4}	1.8 ^{+1.4} _{-0.4}	2.0 ^{+1.5} _{-0.5}	2.2 ^{+1.7} _{-0.5}	2.5 ^{+1.9} _{-0.6}	2.8 ^{+2.1} _{-0.6}	3.0 ^{+2.2} _{-0.6}	3.2 ^{+2.4} _{-0.8}	3.5 ^{+2.6} _{-0.8}	3.6 ^{+2.7} _{-0.9}	3.8 ^{+2.9} _{-0.9}	4.0 ^{+3.0} _{-1.0}	4.5 ^{+3.4} _{-1.1}	5.0 ^{+3.8} _{-1.1}	5.6 ^{+4.2} _{-1.2}	6.0 ^{+4.6} _{-1.2}	6.3 ^{+4.8} _{-1.4}	7.0 ^{+5.3} _{-1.4}	8.0 ^{+6.0} _{-1.5}	9.0 ^{+6.8} _{-1.6}	10.0 ^{+7.5} _{-1.7}	
1.2	0.6	>1.0~1.8			1.2 ^{+0.9} _{-0.3}	1.4 ^{+1.0} _{-0.4}	1.6 ^{+1.2} _{-0.4}	1.8 ^{+1.4} _{-0.4}	2.0 ^{+1.5} _{-0.5}	2.2 ^{+1.7} _{-0.5}	2.5 ^{+1.9} _{-0.6}	2.8 ^{+2.1} _{-0.6}	3.0 ^{+2.2} _{-0.6}	3.2 ^{+2.4} _{-0.8}	3.5 ^{+2.6} _{-0.8}	3.6 ^{+2.7} _{-0.9}	3.8 ^{+2.9} _{-0.9}	4.0 ^{+3.0} _{-1.0}	4.5 ^{+3.4} _{-1.1}	5.0 ^{+3.8} _{-1.1}	5.6 ^{+4.2} _{-1.2}	6.0 ^{+4.6} _{-1.2}	6.3 ^{+4.8} _{-1.4}	7.0 ^{+5.3} _{-1.4}	8.0 ^{+6.0} _{-1.5}	9.0 ^{+6.8} _{-1.6}	10.0 ^{+7.5} _{-1.7}		
1.5	0.8	>1.8~3.2			1.4 ^{+1.0} _{-0.4}	1.6 ^{+1.2} _{-0.4}	1.8 ^{+1.4} _{-0.4}	2.0 ^{+1.5} _{-0.5}	2.2 ^{+1.7} _{-0.5}	2.5 ^{+1.9} _{-0.6}	2.8 ^{+2.1} _{-0.6}	3.0 ^{+2.2} _{-0.6}	3.2 ^{+2.4} _{-0.8}	3.5 ^{+2.6} _{-0.8}	3.6 ^{+2.7} _{-0.9}	3.8 ^{+2.9} _{-0.9}	4.0 ^{+3.0} _{-1.0}	4.5 ^{+3.4} _{-1.1}	5.0 ^{+3.8} _{-1.1}	5.6 ^{+4.2} _{-1.2}	6.0 ^{+4.6} _{-1.2}	6.3 ^{+4.8} _{-1.4}	7.0 ^{+5.3} _{-1.4}	8.0 ^{+6.0} _{-1.5}	9.0 ^{+6.8} _{-1.6}	10.0 ^{+7.5} _{-1.7}			
1.8	0.9	>3.2~5.6			1.6 ^{+1.2} _{-0.4}	1.8 ^{+1.4} _{-0.4}	2.0 ^{+1.5} _{-0.5}	2.2 ^{+1.7} _{-0.5}	2.5 ^{+1.9} _{-0.6}	2.8 ^{+2.1} _{-0.6}	3.0 ^{+2.2} _{-0.6}	3.2 ^{+2.4} _{-0.8}	3.5 ^{+2.6} _{-0.8}	3.6 ^{+2.7} _{-0.9}	3.8 ^{+2.9} _{-0.9}	4.0 ^{+3.0} _{-1.0}	4.5 ^{+3.4} _{-1.1}	5.0 ^{+3.8} _{-1.1}	5.6 ^{+4.2} _{-1.2}	6.0 ^{+4.6} _{-1.2}	6.3 ^{+4.8} _{-1.4}	7.0 ^{+5.3} _{-1.4}	8.0 ^{+6.0} _{-1.5}	9.0 ^{+6.8} _{-1.6}	10.0 ^{+7.5} _{-1.7}				
2.2	1.2	>5.6~10			1.8 ^{+1.4} _{-0.4}	2.0 ^{+1.5} _{-0.5}	2.2 ^{+1.7} _{-0.5}	2.5 ^{+1.9} _{-0.6}	2.8 ^{+2.1} _{-0.6}	3.0 ^{+2.2} _{-0.6}	3.2 ^{+2.4} _{-0.8}	3.5 ^{+2.6} _{-0.8}	3.6 ^{+2.7} _{-0.9}	3.8 ^{+2.9} _{-0.9}	4.0 ^{+3.0} _{-1.0}	4.5 ^{+3.4} _{-1.1}	5.0 ^{+3.8} _{-1.1}	5.6 ^{+4.2} _{-1.2}	6.0 ^{+4.6} _{-1.2}	6.3 ^{+4.8} _{-1.4}	7.0 ^{+5.3} _{-1.4}	8.0 ^{+6.0} _{-1.5}	9.0 ^{+6.8} _{-1.6}	10.0 ^{+7.5} _{-1.7}					
2.8	1.5	>10~20			2.0 ^{+1.5} _{-0.5}	2.2 ^{+1.7} _{-0.5}	2.5 ^{+1.9} _{-0.6}	2.8 ^{+2.1} _{-0.6}	3.0 ^{+2.2} _{-0.6}	3.2 ^{+2.4} _{-0.8}	3.5 ^{+2.6} _{-0.8}	3.6 ^{+2.7} _{-0.9}	3.8 ^{+2.9} _{-0.9}	4.0 ^{+3.0} _{-1.0}	4.5 ^{+3.4} _{-1.1}	5.0 ^{+3.8} _{-1.1}	5.6 ^{+4.2} _{-1.2}	6.0 ^{+4.6} _{-1.2}	6.3 ^{+4.8} _{-1.4}	7.0 ^{+5.3} _{-1.4}	8.0 ^{+6.0} _{-1.5}	9.0 ^{+6.8} _{-1.6}	10.0 ^{+7.5} _{-1.7}						
3.5	2.0	>20~50			2.2 ^{+1.7} _{-0.5}	2.5 ^{+1.9} _{-0.6}	2.8 ^{+2.1} _{-0.6}	3.0 ^{+2.2} _{-0.6}	3.2 ^{+2.4} _{-0.8}	3.5 ^{+2.6} _{-0.8}	3.6 ^{+2.7} _{-0.9}	3.8 ^{+2.9} _{-0.9}	4.0 ^{+3.0} _{-1.0}	4.5 ^{+3.4} _{-1.1}	5.0 ^{+3.8} _{-1.1}	5.6 ^{+4.2} _{-1.2}	6.0 ^{+4.6} _{-1.2}	6.3 ^{+4.8} _{-1.4}	7.0 ^{+5.3} _{-1.4}	8.0 ^{+6.0} _{-1.5}	9.0 ^{+6.8} _{-1.6}	10.0 ^{+7.5} _{-1.7}							
4.5	2.5	>50~120			2.5 ^{+1.9} _{-0.6}	2.8 ^{+2.1} _{-0.6}	3.0 ^{+2.2} _{-0.6}	3.2 ^{+2.4} _{-0.8}	3.5 ^{+2.6} _{-0.8}	3.6 ^{+2.7} _{-0.9}	3.8 ^{+2.9} _{-0.9}	4.0 ^{+3.0} _{-1.0}	4.5 ^{+3.4} _{-1.1}	5.0 ^{+3.8} _{-1.1}	5.6 ^{+4.2} _{-1.2}	6.0 ^{+4.6} _{-1.2}	6.3 ^{+4.8} _{-1.4}	7.0 ^{+5.3} _{-1.4}	8.0 ^{+6.0} _{-1.5}	9.0 ^{+6.8} _{-1.6}	10.0 ^{+7.5} _{-1.7}								
6.0	3.0	>120~250			2.8 ^{+2.1} _{-0.7}	3.2 ^{+2.4} _{-0.8}	3.6 ^{+2.7} _{-0.9}	4.0 ^{+3.0} _{-1.0}	4.5 ^{+3.4} _{-1.1}	5.0 ^{+3.8} _{-1.1}	5.6 ^{+4.2} _{-1.2}	6.0 ^{+4.6} _{-1.2}	6.3 ^{+4.8} _{-1.4}	7.0 ^{+5.3} _{-1.4}	8.0 ^{+6.0} _{-1.5}	9.0 ^{+6.8} _{-1.6}	10.0 ^{+7.5} _{-1.7}												

例：锻件质量3 kg, 材质系数为M₁, 形状复杂系数为S₃, 最大厚度尺寸为45 mm时各类公差查法。
注：上、下偏差也可按+3/4, -1/4比例分配。若有需要也可按+2/3, -1/3比例分配。

表3-19 模锻件的厚度及顶料杆压痕公差及允许偏差(精密级)(GB/T 12362—2003)

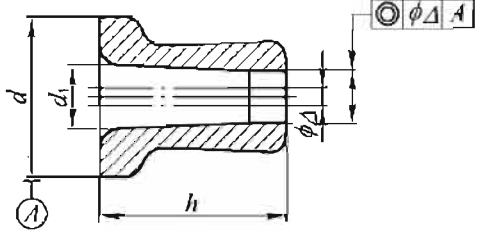
[mm]

压痕 极限偏差	锻件质量 [kg]	锻件材质系数 M_1 M_2	形 状 复杂系数 S_1 S_2 S_3 S_4	锻 件 厚 度 尺 寸																				
				大于		0		18		30		50		80		120		180						
				至	18	30	50	80	120	180	315													
				公 差 值 及 允 许 偏 差																				
+(凸)	0.6	>0~0.4		0.6 ^{+0.5} _{-0.1}	0.8 ^{+0.6} _{-0.2}	0.9 ^{+0.7} _{-0.2}	1.0 ^{+0.8} _{-0.2}	1.2 ^{+0.9} _{-0.3}	1.4 ^{+1.0} _{-0.4}	1.6 ^{+1.1} _{-0.4}	1.8 ^{+1.2} _{-0.4}	2.0 ^{+1.3} _{-0.5}	2.2 ^{+1.4} _{-0.5}	2.5 ^{+1.5} _{-0.6}	2.8 ^{+1.6} _{-0.6}	3.2 ^{+1.7} _{-0.6}	3.6 ^{+1.8} _{-0.6}	4.0 ^{+1.9} _{-0.6}	4.5 ^{+2.0} _{-0.6}	5.0 ^{+2.1} _{-0.6}	5.6 ^{+2.2} _{-0.6}	6.3 ^{+2.3} _{-0.6}	7.0 ^{+2.4} _{-0.6}	8.0 ^{+2.5} _{-0.6}
	0.8	>0.4~1.0		0.8 ^{+0.6} _{-0.2}	0.9 ^{+0.7} _{-0.2}	1.0 ^{+0.8} _{-0.2}	1.2 ^{+0.9} _{-0.3}	1.4 ^{+1.0} _{-0.4}	1.6 ^{+1.1} _{-0.4}	1.8 ^{+1.2} _{-0.4}	2.0 ^{+1.3} _{-0.5}	2.2 ^{+1.4} _{-0.5}	2.5 ^{+1.5} _{-0.6}	2.8 ^{+1.6} _{-0.6}	3.2 ^{+1.7} _{-0.6}	3.6 ^{+1.8} _{-0.6}	4.0 ^{+1.9} _{-0.6}	4.5 ^{+2.0} _{-0.6}	5.0 ^{+2.1} _{-0.6}	5.6 ^{+2.2} _{-0.6}	6.3 ^{+2.3} _{-0.6}	7.0 ^{+2.4} _{-0.6}	8.0 ^{+2.5} _{-0.6}	
	1.0	>1.0~1.8		0.9 ^{+0.7} _{-0.2}	1.0 ^{+0.8} _{-0.2}	1.2 ^{+0.9} _{-0.3}	1.4 ^{+1.0} _{-0.4}	1.6 ^{+1.1} _{-0.4}	1.8 ^{+1.2} _{-0.4}	2.0 ^{+1.3} _{-0.5}	2.2 ^{+1.4} _{-0.5}	2.5 ^{+1.5} _{-0.6}	2.8 ^{+1.6} _{-0.6}	3.2 ^{+1.7} _{-0.6}	3.6 ^{+1.8} _{-0.6}	4.0 ^{+1.9} _{-0.6}	4.5 ^{+2.0} _{-0.6}	5.0 ^{+2.1} _{-0.6}	5.6 ^{+2.2} _{-0.6}	6.3 ^{+2.3} _{-0.6}	7.0 ^{+2.4} _{-0.6}	8.0 ^{+2.5} _{-0.6}		
	1.2	>1.8~3.2		1.0 ^{+0.8} _{-0.2}	1.2 ^{+0.9} _{-0.3}	1.4 ^{+1.0} _{-0.4}	1.6 ^{+1.1} _{-0.4}	1.8 ^{+1.2} _{-0.4}	2.0 ^{+1.3} _{-0.5}	2.2 ^{+1.4} _{-0.5}	2.5 ^{+1.5} _{-0.6}	2.8 ^{+1.6} _{-0.6}	3.2 ^{+1.7} _{-0.6}	3.6 ^{+1.8} _{-0.6}	4.0 ^{+1.9} _{-0.6}	4.5 ^{+2.0} _{-0.6}	5.0 ^{+2.1} _{-0.6}	5.6 ^{+2.2} _{-0.6}	6.3 ^{+2.3} _{-0.6}	7.0 ^{+2.4} _{-0.6}	8.0 ^{+2.5} _{-0.6}			
	1.6	>3.2~5.6		1.2 ^{+0.9} _{-0.3}	1.4 ^{+1.0} _{-0.4}	1.6 ^{+1.1} _{-0.4}	1.8 ^{+1.2} _{-0.4}	2.0 ^{+1.3} _{-0.5}	2.2 ^{+1.4} _{-0.5}	2.5 ^{+1.5} _{-0.6}	2.8 ^{+1.6} _{-0.6}	3.2 ^{+1.7} _{-0.6}	3.6 ^{+1.8} _{-0.6}	4.0 ^{+1.9} _{-0.6}	4.5 ^{+2.0} _{-0.6}	5.0 ^{+2.1} _{-0.6}	5.6 ^{+2.2} _{-0.6}	6.3 ^{+2.3} _{-0.6}	7.0 ^{+2.4} _{-0.6}	8.0 ^{+2.5} _{-0.6}				
	1.8	>5.6~10		1.4 ^{+1.0} _{-0.4}	1.6 ^{+1.1} _{-0.4}	1.8 ^{+1.2} _{-0.4}	2.0 ^{+1.3} _{-0.5}	2.2 ^{+1.4} _{-0.5}	2.5 ^{+1.5} _{-0.6}	2.8 ^{+1.6} _{-0.6}	3.2 ^{+1.7} _{-0.6}	3.6 ^{+1.8} _{-0.6}	4.0 ^{+1.9} _{-0.6}	4.5 ^{+2.0} _{-0.6}	5.0 ^{+2.1} _{-0.6}	5.6 ^{+2.2} _{-0.6}	6.3 ^{+2.3} _{-0.6}	7.0 ^{+2.4} _{-0.6}	8.0 ^{+2.5} _{-0.6}					
	2.2	>10~20		1.6 ^{+1.1} _{-0.4}	1.8 ^{+1.2} _{-0.4}	2.0 ^{+1.3} _{-0.5}	2.2 ^{+1.4} _{-0.5}	2.5 ^{+1.5} _{-0.6}	2.8 ^{+1.6} _{-0.6}	3.2 ^{+1.7} _{-0.6}	3.6 ^{+1.8} _{-0.6}	4.0 ^{+1.9} _{-0.6}	4.5 ^{+2.0} _{-0.6}	5.0 ^{+2.1} _{-0.6}	5.6 ^{+2.2} _{-0.6}	6.3 ^{+2.3} _{-0.6}	7.0 ^{+2.4} _{-0.6}	8.0 ^{+2.5} _{-0.6}						
	2.8	>20~50		1.8 ^{+1.1} _{-0.4}	2.0 ^{+1.5} _{-0.5}	2.2 ^{+1.7} _{-0.5}	2.5 ^{+1.9} _{-0.6}	2.8 ^{+2.1} _{-0.7}	3.2 ^{+2.4} _{-0.7}	3.6 ^{+2.7} _{-0.7}	4.0 ^{+3.0} _{-0.8}	4.5 ^{+3.4} _{-0.9}	5.0 ^{+3.8} _{-0.9}	5.6 ^{+4.2} _{-0.9}	6.3 ^{+4.6} _{-0.9}	7.0 ^{+5.0} _{-0.9}	8.0 ^{+5.4} _{-0.9}							
	3.5	>50~120		2.0 ^{+1.5} _{-0.5}	2.2 ^{+1.7} _{-0.5}	2.5 ^{+1.9} _{-0.6}	2.8 ^{+2.1} _{-0.7}	3.2 ^{+2.4} _{-0.7}	3.6 ^{+2.7} _{-0.7}	4.0 ^{+3.0} _{-0.8}	4.5 ^{+3.4} _{-0.9}	5.0 ^{+3.8} _{-0.9}	5.6 ^{+4.2} _{-0.9}	6.3 ^{+4.6} _{-0.9}	7.0 ^{+5.0} _{-0.9}	8.0 ^{+5.4} _{-0.9}								
	4.5	>120~250		2.2 ^{+1.7} _{-0.5}	2.5 ^{+1.9} _{-0.6}	2.8 ^{+2.1} _{-0.7}	3.2 ^{+2.4} _{-0.7}	3.6 ^{+2.7} _{-0.7}	4.0 ^{+3.0} _{-0.8}	4.5 ^{+3.4} _{-0.9}	5.0 ^{+3.8} _{-0.9}	5.6 ^{+4.2} _{-0.9}	6.3 ^{+4.6} _{-0.9}	7.0 ^{+5.0} _{-0.9}	8.0 ^{+5.4} _{-0.9}									

例：锻件质量3 kg, 材质系数为 M_1 , 形状复杂系数为 S_3 , 最大厚度尺寸为45 mm时各类公差查法。
注：上、下偏差按+3/4、-1/4 比例分配。若有需要也可按+2/3、-1/3比例分配。

表 3-20 平锻件冲孔同轴度公差

[mm]

	相对孔深 $\frac{h}{d_1}$	公差值
	$> 1.5 \sim 3$	$0.5 \sim 0.8$
	$> 3 \sim 5$	$0.8 \sim 1.2$
	> 5	$0.24h/d_1$

平锻件局部变形公差 锻件不成形杆部与锻锻部分相连处,允许局部变形呈圆锥形(图 3-26),其长度在 $l \leq 1.5d$ 且不大于 100 mm 之内。局部变形公差由锻锻部分最大直径 D 确定。

壁厚差公差 壁厚差是带孔锻件在同一横剖面内量得的壁厚最大尺寸和最小尺寸的差值(图 3-27),其公差为表 3-16 或表 3-17 中错差公差的两倍。

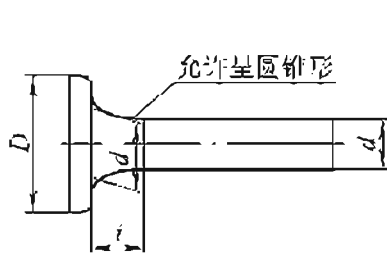


图 3-26 平锻件局部变形

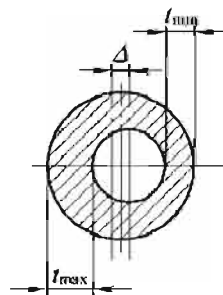


图 3-27 壁厚差

直线度和平面度公差 锻件加工面的直线度和平面度公差由表 3-21 确定。但不得大于该表面机械加工余量的 2/3。

中心距公差 对于平面直线分模,且位于同一块模具内的中心距(图 3-28)公差由表 3-22 确定。

弯曲轴线(图 3-29)及其他类型锻件的中心距公差由供需双方商定。

中心距公差与其他公差无关。

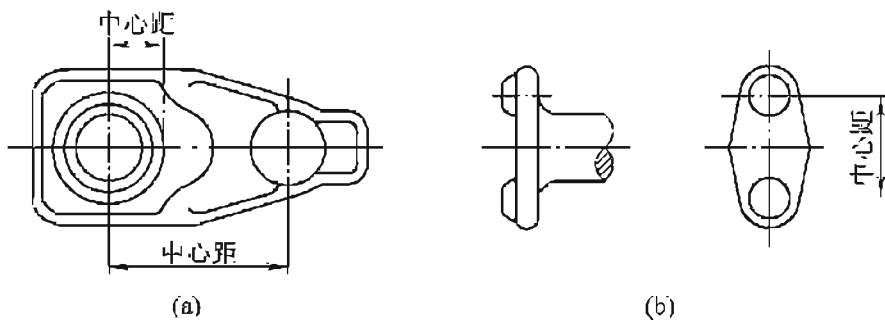


图 3-28 中心距

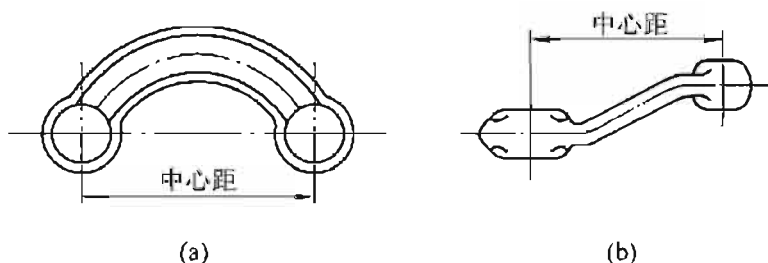


图 3-29 弯曲轴线中心距

表面缺陷深度公差 表面缺陷深度是指锻件表面的凹陷、麻点、碰伤、折叠和裂纹的实际深度。

若锻件实际尺寸等于基本尺寸时,加工表面的深度公差为单边加工余量之半;若实际尺寸大于或小于基本尺寸时,加工表面的深度公差为单边加工余量之半加或减单边实际偏差值。对内表面尺寸取相反值。

其他公差 内外圆角半径公差 在一般情况下,不作要求和检查,需要时查表 3-23。

模锻斜度公差 在一般情况下不作要求和检查,需要时查表 3-23。

锻件角度公差 按夹角部分的短边长度 l_1 ,由表 3-23 确定。

纵向毛刺及冲孔变形公差 切边或冲孔后,需经加工的锻件边缘允许存在少量残留毛刺和冲孔变形,其公差根据锻件质量由表 3-23 确定。

冲孔偏移指在冲孔连皮处孔中心对理论中心的偏移。其公差由表 3-23 确定。

剪切端变形公差 是坯料剪切时杆部产生局部变形,其公差由表 3-23 确定。

机械加工余量 锻件机械加工余量根据估算锻件质量、零件表面粗糙度及形状复杂系数由表 3-24、表 3-25 确定。

对于扁薄截面或锻件相邻部位截面变化较大的部分应适当增大局部余量,如图 3-30 中的 l_1 和 l_2 。

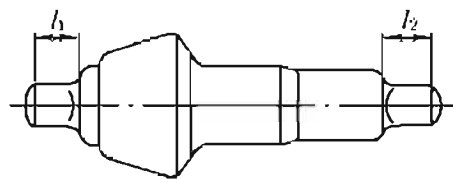


图 3-30 局部增大余量

表 3-21 锻件加工表面直线度、平面度公差(GB/T 12362—2003)

[mm]

锻件外形尺寸	大于	0	30	80	120	180	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000
	至	30	80	120	180	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500
正火锻件 调质锻件																
公差值	普通级	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.2	
	精密级	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	

例:当锻件长度为 240 mm,热处理为调质时,直线度和平面度公差的普通级为 1.2 mm,精密级为 0.8 mm。

表 3-22 锻件的中心距公差(GB/T 12362—2003)

[mm]

中心距	大于	0	30	80	120	180	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000
	至	30	80	120	180	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500
一般锻件 有一道校正或精压工序 同时有校正和精压工序																
极限偏差	普通级	±0.3	±0.4	±0.5	±0.6	±0.8	±1.0	±1.2	±1.6	±2.0	±2.5	±3.2	±4.0	±5.0	±6.0	
	精密级	±0.25	±0.3	±0.4	±0.5	±0.6	±0.8	±1.0	±1.2	±1.6	±2.0	±2.5	±3.2	±4.0	±5.0	

例:当锻件中心距尺寸为 300 mm,有一道校正或精压工序,其中心距的极限偏差为普通级 ±1.0 mm,精密级 ±0.8 mm。

表 3-23 钢质模锻件其他公差

[mm]

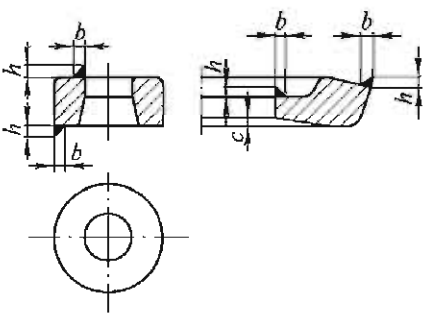
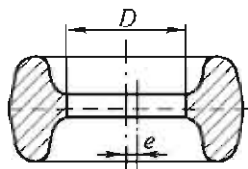
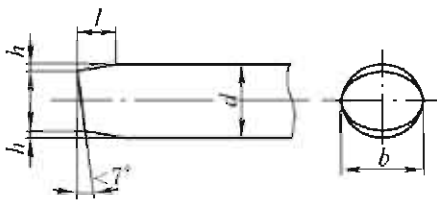
基本尺寸		~10		>10~50		>50~120		>120~180		>180		
		R	r	R	r	R	r	R	r	R	r	
锻件的内外圆角半径公差	圆角半径	R	r	R	r	R	r	R	r	R	r	
	上偏差(+)	0.6R	0.4r	0.5R	0.3r	0.4R	0.25r	0.3R	0.2r	0.25R	0.2r	
	下偏差(-)	0.3R	0.2r	0.25R	0.15r	0.2R	0.12r	0.15R	0.1r	0.12R	0.1r	
	短边长度 l_1	大于	0	6	10	18	30	50	80	120	180	260
锻件的模锻斜度公差	锻件高度尺寸	至	6	10	18	30	50	80	120	180	260	
		公差值	普通级	5°	4°	3°	2°30'	2°	1°30'	1°15'	1°	0°50'
	公差值	精密级	3°	2°30'	2°	1°30'	1°15'	1°	0°50'	0°40'	0°30'	0°30'
		短边长度 l_2	大于	0	30	50	80	120	180			
锻件角度公差	短边长度 l_1	至	30	50	80	120	180					
		极限偏差	普通级	±3°	±2°30'	±2°	±1°30'	±1°15'	±1°	±0°50'	±0°40'	±0°30'
	极限偏差	精密级	±2°	±1°30'	±1°15'	±1°	±0°50'	±0°40'	±0°30'	±0°30'	±0°30'	
		短边长度 l_2	大于	0	30	50	80	120	180			
锻件切边冲孔纵向毛刺及局部变形公差		锻件质量 [kg]	纵向毛刺公差		变形公差 c							
			高度 h	宽度 b								
		≤1	1	0.5	0.5							
		>1~5	1.6	0.8	0.8							
锻件冲孔偏移公差		冲孔直径 D	大于	0	30	50	80	120	180			
		公差值	至	30	50	80	120	180				
			普通级	1.8	2.2	2.5	3	3.5	4			
		精密级	1	1.2	1.5	1.8	2.2	2.8				
锻件剪切端变形公差		坯料尺寸 d		公差值								
				h	l							
		≤36	0.07d	1d								
		>36~70	0.05d	0.7d								
		>70	0.04d	0.6d								
								b < 1.05d				

表 3-24 锻件内孔直径的单面机械加工余量

[mm]

孔 径		~25	>25~40	>40~63	>63~100	>100~160	>160~250
孔 深	>0~63	2	2	2	2.5	2.6	3
	>63~100		2.6	2.6	3	3	3
	>100~140			3	3	3.4	3.4
	>140~200				4	4	4
	>200~280					4.6	4.6

表 3-25 锻件内外表面加工余量(GB/T 12362—2003)

[mm]

锻件质量 [kg]	零件表面 粗糙度 R_a [μm]		形 状 复杂系数 S_1, S_2, S_3, S_4	单 边 余 量							
				厚度方向	水 平 方 向						
					大于 至	0 315	315 400	400 630	630 800	800 1 250	1 250 1 600
> 0~0.4			1.0~1.5	1.0~1.5	1.5~2.0	2.0~2.5					
> 0.4~1.0			1.5~2.0	1.5~2.0	1.5~2.0	2.0~2.5	2.0~3.0				
> 1.0~1.8			1.5~2.0	1.5~2.0	1.5~2.0	2.0~2.7	2.0~3.0				
> 1.8~3.2			1.7~2.2	1.7~2.2	2.0~2.5	2.0~2.7	2.0~3.0	2.5~3.5			
> 3.2~5.6			1.7~2.2	1.7~2.2	2.0~2.5	2.0~2.7	2.5~3.5	2.5~4.0			
> 5.6~10.0			2.0~2.5	2.0~2.5	2.0~2.5	2.3~3.0	2.5~3.5	2.7~4.0	3.0~4.5		
> 10.0~20.0			2.0~2.5	2.0~2.5	2.0~2.7	2.3~3.0	2.5~3.5	2.7~4.0	3.0~4.5		
> 20.0~50.0			2.3~3.0	2.0~3.0	2.5~3.0	2.5~3.5	2.7~4.0	3.0~4.5	3.0~4.5		
> 50.0~120.0			2.5~3.2	2.5~3.2	2.5~3.5	2.7~3.5	2.7~4.0	3.0~4.5	3.5~4.5	4.0~5.5	
> 120.0~250.0			3.0~4.0	2.5~3.5	2.5~3.5	2.7~4.0	3.0~4.5	3.0~4.5	3.5~4.5	4.0~5.5	
			3.5~4.5	2.7~3.5	2.7~3.5	3.0~4.0	3.0~4.5	3.5~5.0	4.0~5.0	4.5~6.0	
			4.0~5.5	2.7~4.0	3.0~4.0	3.0~4.5	3.5~4.5	3.5~5.0	4.0~5.5	4.5~6.0	

例：当锻件质量为 3 kg，零件表面粗糙度 R_a 3.2 μm ，形状复杂系数为 S_3 ，长度为 480 mm 时查出该锻件余量是：厚度方向为 1.7~2.2 mm，水平方向为 2.0~2.7 mm。

公差表使用方法 由表 3-16 或表 3-17 确定锻件长度、宽度或高度尺寸公差时，应根据锻件质量选定相应范围，然后沿水平线向右移动。若材质系数为 M_1 ，则沿同一水平线继续向右移动；若材质系数为 M_2 ，则沿倾斜线向右下移动到与 M_2 垂线的交点。对于形状复杂系数 S ，用同样方法，沿水平或斜线移动到 S_1 或 S_2 、 S_3 、 S_4 格的位置，并继续向右移动，直到所需尺寸的垂直栏中，即可查得所需的公差值。

确定错差和横向残留飞边公差时，同样在锻件质量栏内选定范围，然后向左移动，根据分模线形状查得错差和残留飞边公差值。

例如，某锻件 6 kg、长度尺寸为 160 mm、材质系数 M_1 ，形状复杂系数 S_2 ，平直分模线，采用普通级公差，由表 3-16 查得极限偏差 +2.1，-1.1，横向残留飞边公差为 1.2，错差公差为 1.2，查表顺序按表 3-16 箭头所示。

其余公差表使用方法类推。

表 3-26 锻件公差应用示例——连杆

[mm]

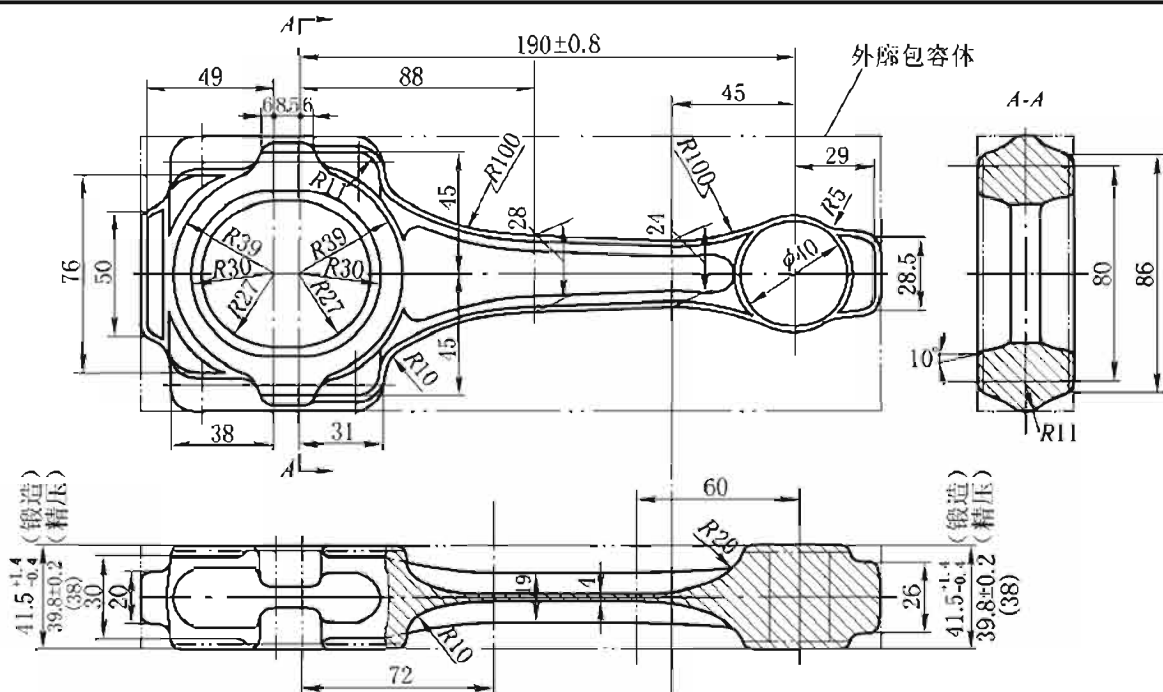
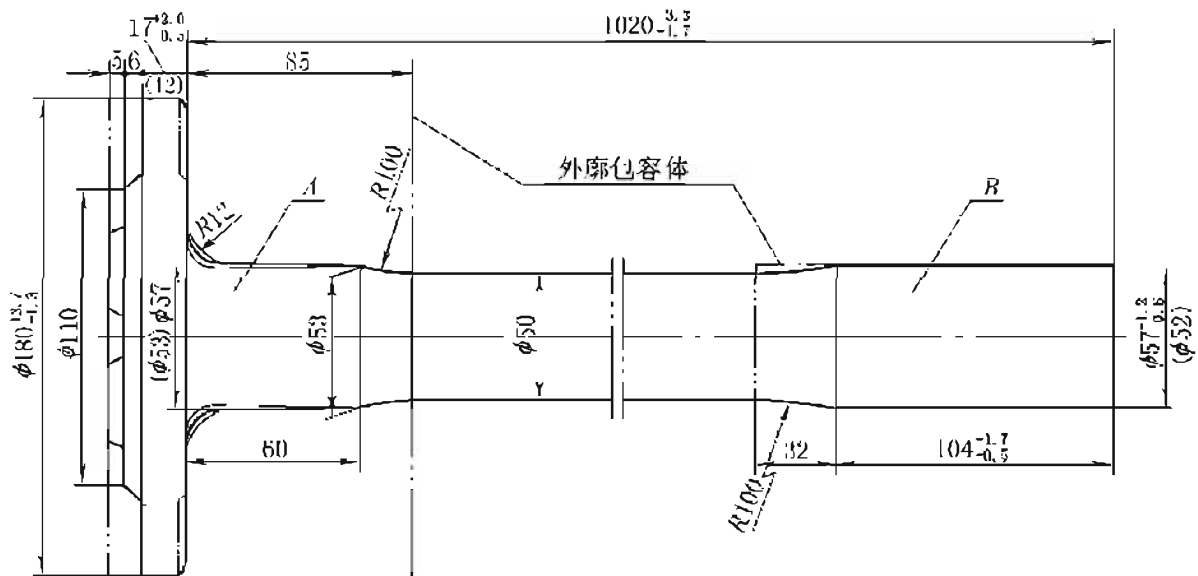


表 3-26 续

锻件质量(kg)	包容体质量(kg)	形状复杂系数	材质系数	公差等级
2.5	9.133	S_3	$M_1(40MnB)$	普通
项 目		公差、极限偏差或余量值		根 据
总长度 276.5		+2.1 -1.1		表 3-16
总宽度 102		+1.7 -0.8		表 3-16
厚度 41.5		+1.4 -0.4		表 3-19(精密级)
中心距 190		± 0.8		表 3-22(精密级)
错差		0.8		表 3-16
残留飞边及切入深度		0.8		表 3-16
直线度		0.9		表 3-21(精密级)
平面度				
单面加工余量(精压)		0.9		

表 3-27 锻件公差应用示例——半轴

[mm]



锻件质量[kg]	包容体质量[kg]	形状复杂系数	材质系数	公差等级
5.6/2.6	22.56/2.68	S_4/S_1	$M_1(40MnB)$	普通
项 目		公差、极限偏差或余量值		根 据
轴段长度 1020		+3.3 -1.7		表 3-16(按 M_1 、 S_1 、15.7 kg)
法兰直径 $\phi 180.0$		+2.7 -1.3		表 3-16(A段 S_4)
轴头直径 $\phi 57$		+1.2 -0.6		表 3-16(B段 S_1)
法兰厚度 17		+2 -0.5		表 3-18(A段 S_4)
轴头长度 104		+1.7 -0.5		表 3-18(B段 S_1)

表 3-27 续

锻件质量(kg)	包容体质量(kg)	形状复杂系数	材质系数	公差等级
5.6/2.6	22.56/2.68	S_4/S_1	$M_1(40MnB)$	普通
项 目		公差、极限偏差或余量值		根 据
错差				
残留飞边及切入深度				
纵向毛刺		2.5		表 3-23
直线度		2.2		表 3-21
平面度				
单面加工余量		2.5		表 3-25

径向锻机上轴类锻件公差和机械加工余量

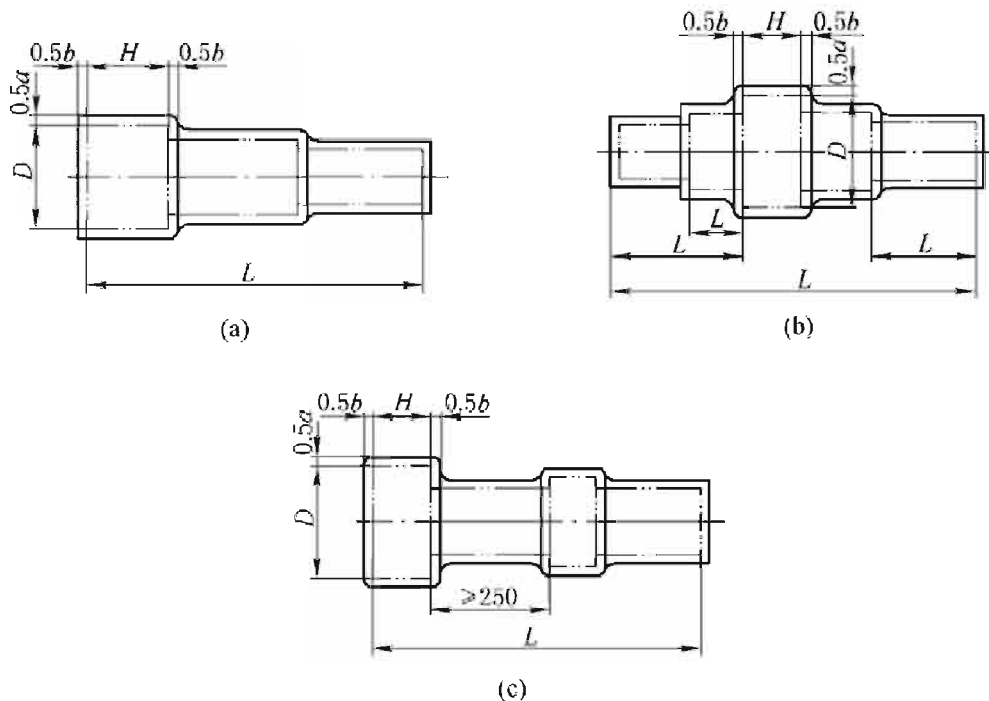
径向锻机上钢质轴类锻件公差和机械加工余量,适用于径向锻机上批量生产的直径不大于 200 mm,长度不大于 2000 mm 的热锻钢质轴类(实心、空心、台阶轴、光轴)锻件。相应数值见表 3-28、表 3-29。

热锻钢质轴类锻件夹持部分(未锻部分)直径 D 的机械加工余量按 GB/T 908《锻制圆钢和方钢品种》选择,并允许增加 1~2 mm,但夹持部分的印痕深度不得超过单面最小机械加工余量的二分之一。

锻件端部切头后,不允许有裂纹、缩孔。锻件表面出现的棱角、裂纹、螺旋凹坑、鱼鳞斑等缺陷深度,不得超过单面最小机械加工余量的二分之一。

表 3-28 热锻实心轴类锻件公差及机械加工余量

[mm]



零件长度 L	零件最大直径 D							
	$>30\sim80$		$>80\sim100$		$>100\sim120$		$>120\sim200$	
	余量 a 、 b 与公差							
	a	b	a	b	a	b	a	b
$>0\sim400$	$3.5_{-0.4}^{-0.8}$	$4.5_{0.3}^{+1.5}$	$4_{0.5}^{-0.9}$	$5_{0.8}^{-1.8}$	$4.5_{0.5}^{+}$	$5.5_{0.9}^{-1.8}$		
$>400\sim800$	$4_{-0.5}^{-0.9}$	$5_{-0.8}^{+1.8}$	$4.5_{-0.5}^{-1}$	$5.5_{-0.9}^{-1.8}$	$5_{-0.6}^{+1.2}$	6_{-1}^{+2}	$5.5_{-0.8}^{+1.3}$	$6.5_{-1.1}^{-2.5}$

表 3-28 续

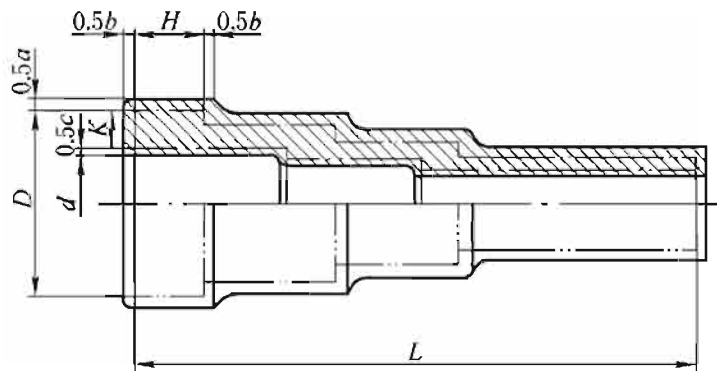
零件长度 L	零件最大直径 D							
	$>30\sim80$		$>80\sim100$		$>100\sim120$		$>120\sim200$	
	余量 a 、 b 与公差							
	a	b	a	b	a	b	a	b
$>800\sim1200$	$4.5^{+1}_{-0.5}$	$5.5^{+1.8}_{-0.9}$	$5^{+1.2}_{-0.6}$	6^{+2}_{-1}	$5.5^{+1.3}_{-0.6}$	$6.5^{+2.2}_{-1.1}$	$6^{+1.4}_{-0.7}$	$7^{+2.3}_{-1.2}$
$>1200\sim2000$			$5.5^{+1.3}_{-0.6}$	$6.5^{+2.2}_{-1.1}$	$6^{+1.4}_{-0.7}$	$7^{+2.3}_{-1.2}$	$6.5^{+1.5}_{-0.7}$	$7.5^{+2.4}_{-1.2}$

注：1. 本表适用于表面粗糙度 $R_a 1.6\sim R_a 6.3 \mu\text{m}$ 的零件。如表面粗糙度大于 $R_a 1.6\sim R_a 6.3 \mu\text{m}$ 时，锻件余量的数值仅供参考。

2. 调头锻的轴类锻件，其机械加工余量应比表内规定的余量数值增加 $0.5\sim 2 \text{ mm}$ 。

表 3-29 热锻空心轴类锻件公差及机械加工余量

[mm]



坯料壁厚 K	零件总长度 L					
	$>0\sim500$		$>500\sim800$		>800	
	外 径 径 向					
	零件最大外径 D					
	$>0\sim80$	>80	$>0\sim80$	>80	$>0\sim80$	>80
$>0\sim10$	$4^{+0.9}_{-0.4}$	$4.5^{+1}_{-0.5}$	$5^{+1.1}_{-0.5}$	$5.5^{+1.2}_{-0.6}$	$6^{+1.4}_{-0.6}$	$6.5^{+1.5}_{-0.7}$
$>10\sim20$	$4.5^{+1}_{-0.5}$	$5^{+1.1}_{-0.5}$	$5.5^{+1.2}_{-0.6}$	$6^{+1.4}_{-0.6}$	$6.5^{+1.5}_{-0.7}$	$7^{+1.6}_{-0.7}$
>20	$5^{+1.1}_{-0.5}$	$5.5^{+1.2}_{-0.6}$	$6^{+1.4}_{-0.6}$	$6.5^{+1.5}_{-0.7}$	$7^{+1.6}_{-0.7}$	$7.5^{+1.7}_{-0.8}$
	内 径 径 向					
	零件最大内径 d					
	$>0\sim50$	>50	$>0\sim50$	>50	$>0\sim50$	>50
$>0\sim10$	$5^{+0.5}_{-1.1}$	$5.5^{+0.6}_{-1.2}$	$6^{+0.6}_{-1.4}$	$6.5^{+0.7}_{-1.5}$	$7^{+0.7}_{-1.6}$	$7.5^{+0.8}_{-1.7}$
$>10\sim20$	$5.5^{+0.6}_{-1.2}$	$6^{+0.6}_{-1.4}$	$6.5^{+0.7}_{-1.5}$	$7^{+0.7}_{-1.6}$	$7.5^{+0.8}_{-1.7}$	$8^{+0.8}_{-1.8}$
>20	$6^{+0.6}_{-1.4}$	$6.5^{+0.7}_{-1.5}$	$7^{+0.7}_{-1.6}$	$7.5^{+0.8}_{-1.7}$	$8^{+0.8}_{-1.8}$	$8.5^{+0.9}_{-1.9}$

注：1. 各台阶的公差及机械加工余量，均按零件最大外径 D 、最大内径 d 及总长度 L 选用。

2. 热锻空心轴类锻件的轴向(内外)公差及机械加工余量表 3-28 确定。

钢冲压件的机械加工余量

表 3-30 在锻锤下垫模中制出的冲压件

[mm]

零件的长度或直径	零件的高度或直径							
	≤25	>25~50	>50~75	>75~100	>100~125	>125~150	>150~175	>175~200
	加工余量							
≤150	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5		
>150~250	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
>250~300	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
>300~350	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0

注：冲模的倾斜角为 3°~7°。

表 3-31 钢冲件的尺寸公差

[mm]

零件的长度或直径	公差类别	零件的高度或直径							
		≤25	>25~50	>50~75	>75~100	>100~125	>125~150	>150~175	>175~200
		公差							
≤150	I	+1.5 -0.5	+1.5 -0.5	+2.0 -0.8	+2.5 -1.0	+2.5 -1.0	+2.5 -1.0		
	II	+1.5	+2.0	+2.0	+2.5	+2.5	+3.0		
>150~250	I	+1.5 -0.5	+1.5 -0.5	+2.0 -0.8	+2.5 -1.0	+2.5 -1.0	+3.0 -1.0	+3.0 -1.0	+3.5 -1.0
	II	+2.0	+2.0	+2.5	+3.0	+3.0	+3.0	+3.5	+3.5
>250~300	I	+2.0 -0.5	+2.0 -0.8	+2.5 -1.0	+3.0 -1.0	+3.0 -1.0	+3.5 -1.0	+3.5 -1.0	+3.5 -1.0
	II	+2.5	+2.5	+3.0	+3.0	+3.0	+3.5	+3.5	+4.0
>300~350	I	+2.0 -0.8	+2.5 -0.8	+2.5 -1.0	+3.0 -1.0	+3.5 -1.0	+3.5 -1.0	+3.5 -1.0	+3.5 -1.0
	II	+2.5	+2.5	+3.0	+3.0	+3.0	+3.5	+3.5	+4.0

注：1. I—在冲模合缝平面方向上的公差；
II—与冲模合缝平面垂直方向上的公差。
2. 孔的公差采用与表中符号相反的符号。

轧制材料轴类的机械加工余量

表 3-32 热轧钢轴类外圆的选用

[mm]

零件的公称直径	零件的长度与公称直径之比				零件的公称直径	零件的长度与公称直径之比			
	≤4	>4~8	>8~12	>12~20		≤4	>4~8	>8~12	>12~20
	毛坯的直径					毛坯的直径			
5	7	7	8	8	12	14	14	15	15
6	8	8	8	8	14	16	16	17	18
8	10	10	10	11	16	18	18	18	19
10	12	12	13	13	17	19	19	20	21
11	14	14	14	14	18	20	20	21	22

表 3-32 续

零件的公称直径	零件的长度与公称直径之比				零件的公称直径	零件的长度与公称直径之比			
	≤4	>4~8	>8~12	>12~20		≤4	>4~8	>8~12	>12~20
	毛坯的直径					毛坯的直径			
19	21	21	22	23	45	48	48	50	50
20	22	22	23	24	46	50	52	52	52
21	24	24	24	25	50	54	54	55	55
22	25	25	26	26	55	58	60	60	60
25	28	28	28	30	60	65	65	65	70
27	30	30	32	32	65	70	70	70	75
28	32	32	32	32	70	75	75	75	80
30	33	33	34	34	75	80	80	85	85
32	35	35	36	36	80	85	85	90	90
33	36	38	38	38	85	90	90	95	95
35	38	38	39	39	90	95	95	100	100
36	39	40	40	40	95	100	105	105	105
37	40	42	42	42	100	105	110	110	110
38	42	42	42	43	110	115	120	120	120
40	43	45	45	45	120	125	125	130	130
42	45	48	48	48	130	140	140	140	140
44	48	48	50	50	140	150	150	150	150

注：1. 带台阶的轴如最大直径接近于中间部分，应按最大直径选择毛坯的直径，如最大直径接近于端部，毛坯直径可以小些。

2. 确定毛坯的直径时，应先考虑本厂中常用的轧制材料的种类(尺寸)。

表 3-33 易切削钢轴类外圆的选用——车后不磨

[mm]

零件的公称直径	车削的长度与直径之比					零件的公称直径	车削的长度与直径之比				
	≤4	>4~8	>8~12	>12~16	>16~20		≤4	>4~8	>8~12	>12~16	>16~20
	毛坯的直径						毛坯的直径				
4	5	5	5	5	5	24	26	26	26	26	26
5	6	6	6	6	6	25	27	27	27	27	27
6	7	7	7	7	7.5	28	30	30	30	30	30
7	8	8	8	8	8.5	30	32	32	32	32	32
8	9	9	9	9.5	9.5	32	34	34	34	34	34
9	10	10	11	11	11	35	38	38	38	38	38
10	11	11	12	12	12	38	40	40	40	40	40
11	12	12	12.5	12.5	12.5	40	42	42	42	42	42
12	13	13	14	14	14	42	44	44	44	44	44
13	14	14	15	15	15	45	47	47	47	47	47
14	15	15	16	16	16	48	50	50	50	50	50
15	16	16	17	17	17	50	52	52	52	52	52
16	17	17	18	18	18	52	55	55	55	55	55
17	18	19	19	19	19	55	58	58	58	58	58
18	19	20	20	20	20	58	60	60	60	60	60
19	21	21	21	21	21	60	64	64	64	64	64
20	22	22	22	22	22	65	68	68	68	68	68
22	24	24	24	24	24	70	75	75	75	75	75
23	25	25	25	25	25	80	85	85	85	85	85

注：带台阶的轴如最大直径接近于中间部分，应按最大直径选择毛坯直径；如最大直径接近于端部，毛坯直径可以小些。

表 3-34 易切削钢轴类外圆的选用——车后须淬火及磨

[mm]

零件的公称直径	车削长度与直径之比					零件的公称直径	车削长度与直径之比				
	≤4	>4~8	>8~12	>12~16	>16~20		≤4	>4~8	>8~12	>12~16	>16~20
	毛坯的直径						毛坯的直径				
4	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	24	26	26	26	26	26
5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	25	27	27	27	27	27
6	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	28	30	30	30	30	32
7	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	30	32	32	32	32	34
8	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	32	34	34	34	36	36
9	11	11	11	11	11	35	38	38	38	38	38
10	12	12	12	12	12	38	40	40	42	42	42
11	12.5	12.5	12.5	12.5	13	40	42	42	44	44	44
12	14	14	14	14	14	42	44	45	45	45	45
13	15	15	15	15	15	45	47	48	48	48	48
14	16	16	16	16	16	48	50	52	52	52	52
15	17	17	17	17	17	50	52	55	55	55	55
16	18	18	18	18	18	52	55	55	55	55	55
17	19	19	19	19	19	55	58	58	58	58	60
18	20	20	20	20	20	60	64	64	64	64	64
19	21	21	21	21	21	65	68	68	68	68	70
20	22	22	22	22	22	70	75	75	75	75	75
22	24	24	24	24	24	80	85	85	85	85	85
23	25	25	25	25	25						

注：带台阶的轴如最大直径接近于中间部分，应按最大直径选择毛坯的直径；如最大直径接近于端部，毛坯的直径可以小些。

下料加工余量

表 3-35 下料加工余量

[mm]

常用型材锯削下料加工余量										
	直径或对边距离 d	切口宽度 B		工件长度 L						夹头 K
				≤50	>50~200	>200~500	>500~1 000	>1 000~5 000	>5 000	
	端面工艺留量 $2a$									
≤30	弓锯	3	2	2	3	4	5	6	20	
>30~80			2	3	4	5	6	8		
>80~120	圆	6	3	4	5	6	8	10	25	
>120~180	盘	7	4	5	6	8	10	12	30	
>180~250	锯	7	5	6	8	10	12	14	35	
下料极限偏差			<± $a/4$							

表 3-35 续

常用型材锯削下料加工余量								
	高度×边长 $H \times b$		切口宽度 B (用圆锯片)		工件长度 L			
					≤ 1000	$> 1000 \sim 5000$	> 5000	
	$< 100 \times 68$ $100 \times 68 \sim 630 \times 190$		7		端面加工余量 $2a$			
3 5					5 10	7 15		
下料极限偏差				$< \pm a/4$				
薄片砂轮下料加工余量	直径或对边距离		切口宽度 B		工件长度 L			
					≤ 1000	$> 1000 \sim 5000$	> 5000	
	≤ 100 $> 100 \sim 150$		4 6		两端面加工余量 $2a$			
					3 4	5 6	7 8	
下料极限偏差				$< \pm a/4$				
气割下料切割口宽度	板材厚度	5~10	$< 10 \sim 20$	$< 20 \sim 40$	$< 40 \sim 60$	$< 60 \sim 100$	$< 100 \sim 150$	$< 150 \sim 180$
	割嘴号	1	2	3	4	5	6	7
	手动割口宽度	2	2.5	3	3.5	4~6	6.5	8
	机动割口宽度	1.5~2	2.5	3	3.5	4.5~5	5~5.5	6~7
手工气割下料毛坯每边加工余量	毛坯长度或直径		毛 坯 厚 度					
			≤ 25	$> 25 \sim 50$	$> 50 \sim 100$	$> 100 \sim 200$	$> 200 \sim 300$	
			每 边 加 工 余 量					
	长 度	≤ 100	3	4	5	8	10	
		$> 100 \sim 250$	4	5	6	9	10	
		$> 250 \sim 630$	4	5	6	9	11	
		$> 630 \sim 1000$	5	6	7	10	11	
		$> 1000 \sim 1600$	5	6	7	10	12	
		$> 1600 \sim 2500$	6	7	8	11	12	
		$> 2500 \sim 4000$	6	7	8	11	13	
直 径	$> 4000 \sim 5000$	7	8	9	12	13		
	60~100	5	7	10	14	16		
	$> 100 \sim 150$	6	8	11	15	17		
	$> 150 \sim 200$	7	9	12	16	18		
	$> 200 \sim 250$	8	10	13	17	19		
$> 250 \sim 300$	9	11	14	18	20			

第 四 章

工序间的加工余量

选择工序间加工余量的主要原则

机械加工中余量的大小等于每个中间工序加工余量的总和。

按照下述表格中的数值选择加工余量的主要原则：

1. 应采用最小的加工余量,以求缩短加工时间,并降低零件的制造费用;
2. 加工余量应能保证得到图纸上所规定的表面粗糙度及精度;
3. 决定加工余量时应考虑到零件热处理时引起的变形,否则可能产生废品;
4. 决定加工余量时应考虑到所采用的加工方法和设备,以及加工过程中零件可能发生的变形;
5. 决定加工余量时应考虑到被加工零件的大小。零件愈大,则加工余量也愈大。

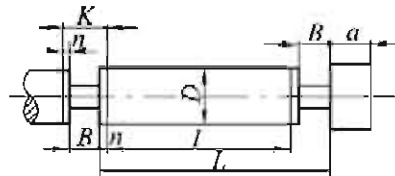
按照下述表格中的数值选择各中间工序公差的主要原则：

1. 公差不应超出经济的加工精度范围;
2. 公差应计及加工余量的大小,因为公差的界限决定加工余量的最大尺寸与最小尺寸;
3. 公差应根据零件的最后精度。

轴加工余量

表 4-1 切断余量

[mm]



零件直径 D	余 量						
	切断后不加工			端面需加工			夹紧部分长度 a
	圆 锯 片		车 床 或 六 角 车 床	零 件 长 度			
	φ	B		≤1 000	>1 000~5 000	>5 000	
		B	2n			a	
≤10			3	2	4	5	30
11~20	275	4	3	4	5	7	40
21~30	275	4	3	6	7	9	40
31~80	275	4	6	7	8	10	60
81~150	510	6	6	8	10	12	70
151~200	660	6	8	9	10	12	80
201~260	810	6.5	10	10	11	14	80
261~300	910	7	12	10	12	14	90
301~400	1 200	9	14	10	12	14	90
401~490	1 500	11	16	10	12	16	100
491~1 000	1 500	11	26	10	15	20	100

注：1. 一个零件的毛坯长度

$$L = l + K$$

$$K = 2n + B; \quad n = \frac{K - B}{2}$$

2. 几个零件的毛坯长度

$$L_1 = c(l + K) - B$$

式中 c——零件数量。

3. 在六角车床上加工时几个零件的毛坯长度

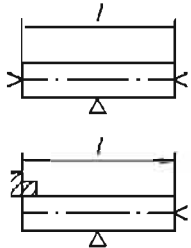
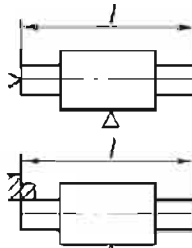
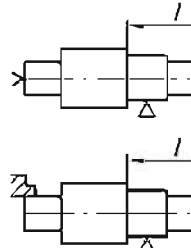
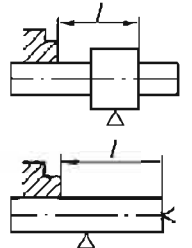
$$L_2 = c(l + K) - B + a$$

式中 a——夹紧部分长度。

表 4-2 轴的加工方法

轴的精度	加工方法
12 级	一次车光
11 级	长零件粗车及精车,短零件一次车光
9 级及 10 级	粗车以后用高精度的精车,或粗车后磨光
6 级及 7 级	粗车及精车后磨光
5 级	轴的最后工序用金刚石细车或高精度磨光

表 4-3 轴的折算长度(确定精车及磨削加工余量用)

轴件装在顶尖间或装在卡盘与顶尖间			轴件仅一端夹紧在卡盘内
			
(1) 加工光轴,取折算长度 $L = l$	(2) 加工台阶轴中段,取 $L = l$	(3) 加工台阶轴侧段,取 $L = 2l$	(4) 取 $L = 2l$

注:轴类工件在加工中受力变形与其长度和装夹方式(顶尖或卡盘)有关。(1)、(2)、(3)情况, l 为轴的端面到加工部分最远一端之间的距离。(4)情况, l 为卡爪端面到加工部分最远一端之间的距离。

表 4-4 轴在粗车外圆后的精车外圆的加工余量

[mm]

轴的直径 d	零件长度 L					
	≤ 100	$> 100 \sim 250$	$> 250 \sim 500$	$> 500 \sim 800$	$> 800 \sim 1200$	$> 1200 \sim 2000$
	直径余量 a					
≤ 10	0.8	0.9	1.0			
$> 10 \sim 18$	0.9	0.9	1.0	1.1		
$> 18 \sim 30$	0.9	1.0	1.1	1.3	1.4	
$> 30 \sim 50$	1.0	1.0	1.1	1.3	1.5	1.7
$> 50 \sim 80$	1.1	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8
$> 80 \sim 120$	1.1	1.2	1.2	1.4	1.6	1.9
$> 120 \sim 180$	1.2	1.2	1.3	1.5	1.7	2.0
$> 180 \sim 260$	1.3	1.3	1.4	1.6	1.8	2.0
$> 260 \sim 360$	1.3	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1
$> 360 \sim 500$	1.4	1.5	1.5	1.7	1.9	2.2

注:1. 在单件或小批生产时,本表数值需乘上系数 1.3,并化成一位小数,如 $1.1 \times 1.3 = 1.43$,采用 1.4(四舍五入)。这时的粗车外圆的公差等级为 14 级。

2. 决定加工余量用的轴的长度计算与装夹方式有关,见表 4-3。

3. 粗车外圆的公差带相当于 $h12 \sim h13$ 。

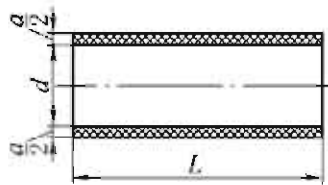
表 4-5 粗车外圆、正火后的精车外圆的加工余量

[mm]

轴直径 d	零件长度 L								
	≤ 300	$>300\sim 500$	$>500\sim 1\ 000$	$>1\ 000\sim 1\ 600$	$>1\ 600\sim 2\ 500$	$>2\ 500\sim 4\ 000$	$>4\ 000\sim 6\ 300$	$>6\ 300\sim 8\ 000$	$>8\ 000\sim 10\ 000$
	直径余量 a								
6~18	1.5~2	2.5~3							
18~50	1.5~2.5	2.5~3	3~3.5	3~3.5	3.5~4	3.5~5	5~5.5		
50~120	2.8~3.2	3~3.5	3~3.5	3.5~4	4~4.5	4~5.5	4.5~6	5.5~6.5	6~8
120~240	3~3.5	3.2~3.8	3.5~4	4~5.5	5~6	6~8	8~10	10~12	10~12
240~350	4~5	4.5~6	4.5~6	6~7.5	7.5~9	8~10	10~12	10~12	12~15
350~500	4~5	5~6	5~6	6~7.5	7.5~10	10~12	10~12	12~15	15~18
>500	5~6	6~8	6~8	8~10	10~12	12~15	12~15	15~18	18~22

表 4-6 轴磨削的加工余量

[mm]



轴的直径 d	磨削性质	轴的性质	轴的长度 L					
			≤ 100	$>100\sim 250$	$>250\sim 500$	$>500\sim 800$	$>800\sim 1\ 200$	$>1\ 200\sim 2\ 000$
			直径余量 a					
≤ 10	中心磨	未淬硬 淬硬	0.2 0.3	0.2 0.3	0.3 0.4			
	无心磨	未淬硬 淬硬	0.2 0.3	0.2 0.3	0.2 0.4			
$>10\sim 18$	中心磨	未淬硬 淬硬	0.2 0.3	0.3 0.3	0.3 0.4	0.3 0.5		
	无心磨	未淬硬 淬硬	0.2 0.3	0.2 0.3	0.2 0.4	0.3 0.5		
$>18\sim 30$	中心磨	未淬硬 淬硬	0.3 0.3	0.3 0.4	0.3 0.4	0.4 0.5	0.4 0.6	
	无心磨	未淬硬 淬硬	0.3 0.3	0.3 0.4	0.3 0.4	0.3 0.5		
$>30\sim 50$	中心磨	未淬硬 淬硬	0.3 0.4	0.3 0.4	0.4 0.5	0.5 0.6	0.6 0.7	0.6 0.7
	无心磨	未淬硬 淬硬	0.3 0.4	0.3 0.4	0.3 0.5	0.4 0.5		
$>50\sim 80$	中心磨	未淬硬 淬硬	0.3 0.4	0.4 0.5	0.4 0.5	0.5 0.6	0.6 0.8	0.7 0.9
	无心磨	未淬硬 淬硬	0.3 0.4	0.3 0.5	0.3 0.5	0.4 0.6		
$>80\sim 120$	中心磨	未淬硬 淬硬	0.4 0.5	0.4 0.5	0.5 0.6	0.5 0.6	0.6 0.8	0.7 0.9
	无心磨	未淬硬 淬硬	0.4 0.5	0.4 0.5	0.4 0.6	0.5 0.7		
$>120\sim 180$	中心磨	未淬硬 淬硬	0.5 0.5	0.5 0.6	0.6 0.7	0.6 0.8	0.7 0.9	0.8 1.0
	无心磨	未淬硬 淬硬	0.5 0.5	0.5 0.6	0.5 0.7	0.5 0.8		

表 4-6 续

轴的直径 d	磨削 性质	轴的 性质	轴 的 长 度 L					
			≤ 100	$>100\sim 250$	$>250\sim 500$	$>500\sim 800$	$>800\sim 1200$	$>1200\sim 2000$
			直 径 余 量 a					
$>180\sim 260$	中心磨	未淬硬	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.9
		淬硬	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	1.1
$>260\sim 360$	中心磨	未淬硬	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9
		淬硬	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1
$>360\sim 500$	中心磨	未淬硬	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0
		淬硬	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.2

- 注：1. 在单件或小批生产时，本表的余量值应乘上系数 1.2，并化成一位小数，例如 $0.4 \times 1.2 = 0.48$ ，采用 0.5（四舍五入）。
2. 决定加工余量用的轴的长度计算与装夹方式有关，见表 4-3。
3. 磨前加工公差相当于 h11。

表 4-7 研磨的加工余量

[mm]

直 径	直 径 余 量	直 径	直 径 余 量
≤ 10	0.005~0.008	51~80	0.008~0.012
11~18	0.006~0.008	81~120	0.010~0.014
19~30	0.007~0.010	121~180	0.012~0.016
31~50	0.008~0.010	181~260	0.015~0.020

注：经过精磨的工件的手工研磨余量 $3\sim 8\ \mu\text{m}$ ；机械研磨余量 $8\sim 15\ \mu\text{m}$ 。

表 4-8 抛光的加工余量

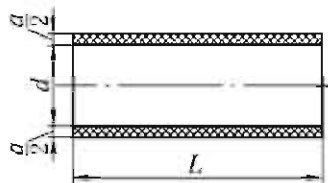
[mm]

零 件 直 径	≤ 100	101~200	201~700	>700
直 径 余 量	0.1	0.3	0.4	0.5

注：抛光前的加工公差等级为 7 级。

表 4-9 用金刚石细车轴外圆的加工余量

[mm]

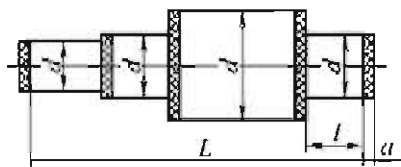


零 件 材 料	零 件 直 径	直 径 加 工 余 量 a
轻 合 金	≤ 100	0.3
	>100	0.5
青 铜 及 铸 铁	≤ 100	0.3
	>100	0.4
钢	≤ 100	0.2
	>100	0.3

- 注：1. 如果采用两次车削（粗车及精车），则精车的加工余量为 0.1 mm。
2. 预加工公差按 h9 决定。
3. 本表中所列的加工余量适用于零件的长度为直径的三倍为限。

表 4-10 精车端面的加工余量

[mm]



零件直径 d	零件全长 L					
	≤ 18	$>18\sim 50$	$>50\sim 120$	$>120\sim 260$	$>260\sim 500$	>500
	余量 a					
≤ 30	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2
$>30\sim 50$	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2
$>50\sim 120$	0.7	0.7	0.8	1.0	1.2	1.2
$>120\sim 260$	0.8	0.8	1.0	1.0	1.2	1.4
$>260\sim 500$	1.0	1.0	1.2	1.2	1.4	1.5
>500	1.2	1.2	1.4	1.4	1.5	1.7
长度公差	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8

注：1. 加工有台阶的轴时，每台阶的加工余量应根据该台阶的直径 d 及零件的全长分别选用。

2. 表中的公差系指尺寸 L 的公差。

表 4-11 磨端面的加工余量

[mm]

零件直径 d	零件全长 L					
	≤ 18	$>18\sim 50$	$>50\sim 120$	$>120\sim 260$	$>260\sim 500$	>500
	余量 a					
≤ 30	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6
$>30\sim 50$	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6
$>50\sim 120$	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6
$>120\sim 260$	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7
$>260\sim 500$	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7
>500	0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8
长度公差	-0.12	-0.17	-0.23	-0.3	-0.4	-0.5

注：1. 加工有台阶的轴时，每个台阶的加工余量应根据该台阶的直径 d 及零件的全长 L 分别选用。

2. 表中的公差系指尺寸 L 的公差。

表 4-12 切除渗碳层的加工余量

[mm]

渗碳深度	尺寸范围	外圆和内圆直径余量	端面和平单面余量	偏差(-)		
0.4~0.6	≤30	1.5	1			
	>30~50	1.7			0.34	
	>50~80			0.4		
	>80~120			0.46		
	>120~180			0.53		
>180~260						
>0.6~0.8	≤30	2	1.2			
	>30~50				0.34	
	>50~80				0.4	
	>80~120	2.2	1.5		0.46	
	>120~180				0.53	
	>180~260				0.6	
>0.8~1.1	≤30	2.5		1.7		
	>30~50	2.7				0.34
	>50~80					0.4
	>80~120	3		0.46		
	>120~180			0.53		
	>180~260			0.6		
	>260~360			0.68		
	>360~500			0.76		
>1.1~1.4	≤30	3.2	1.8			
	>30~50				0.34	
	>50~80	3.5	2		0.4	
	>80~120				0.46	
	>120~180				0.53	
	>180~260	4	2.3		0.6	
	>260~360				0.68	
	>360~500				0.76	
>1.4~1.8	≤30	4	2.2			
	>30~50				0.34	
	>50~80	4.2	2.5		0.4	
	>80~120				0.46	
	>120~180				0.53	
	>180~260	4.5	2.7		0.6	
	>260~360				0.68	
	>360~500				0.76	

孔加工余量

表 4-13 在钻床上用钻模加工孔(孔的长径比为 5)

[mm]

孔的公差等级	在实体材料上加工孔	预先铸出或热冲出的孔
12 级	一次钻孔	用车刀或扩孔钻镗孔
11 级	孔径 ≤ 10 :一次钻孔 孔径 $> 10\sim 30$:钻孔及扩孔 孔径 $> 30\sim 80$:钻孔,扩钻及扩孔;或钻孔,用扩孔刀或车刀镗孔及扩孔	孔径 ≤ 80 :粗扩和精扩;或用车刀粗镗和精镗;或根据余量一次镗孔或扩孔
10 级及 9 级	孔径 ≤ 10 :钻孔及铰孔 孔径 $> 10\sim 30$:钻孔,扩孔及铰孔 孔径 $> 30\sim 80$:钻孔,扩钻及铰孔;或钻孔,用扩孔刀镗孔,扩孔及铰孔	孔径 ≤ 80 :扩孔(一次或二次,根据余量而定)及铰孔;或用车刀镗孔(一次或二次,根据余量而定)及铰孔
8 级及 7 级	孔径 ≤ 10 :钻孔及一次或二次铰孔 孔径 $> 10\sim 30$:钻孔,扩孔及一次或二次铰孔 孔径 $> 30\sim 80$:钻孔,扩钻(或用扩孔刀镗孔),扩孔,一次或二次铰孔	孔径 ≤ 80 :扩孔(一次或二次,根据余量而定)及一次或二次铰孔;或用车刀镗孔(一次或二次,根据余量而定)及一次或二次铰孔

注:当孔径 ≤ 30 mm,直径余量 ≤ 4 mm 和孔径 $> 30\sim 80$ mm,直径余量 ≤ 6 mm 时,采用一次扩孔或一次镗孔。

表 4-14 在自动车床、六角车床、车床或另一些机床上加工孔(孔的长径比为 3)

[mm]

孔的公差等级	在实体材料上加工孔	预先铸出或热冲出的孔
12 级	一次钻孔	用车刀或扩孔钻镗孔
11 级	孔径 ≤ 10 :用定心钻及钻头钻孔 孔径 $> 10\sim 30$:用定心钻及钻头钻孔和用扩孔刀或车刀或扩孔钻镗孔 孔径 $> 30\sim 80$:(1)用定心钻及钻头钻孔,扩孔钻扩孔; (2)用定心钻及钻头钻孔及用车刀镗孔	(1)一次或二次扩孔(根据余量而定);(2)用车刀一次或二次镗孔
10 级及 9 级	孔径 ≤ 10 :用定心钻和钻头钻孔及铰孔 孔径 $> 10\sim 30$:(1)用定心钻和钻头钻孔,扩孔及铰孔; (2)用定心钻和钻头钻孔,用车刀或扩孔刀镗孔及铰孔;(3)用定心钻和钻头钻孔,扩孔或用车刀镗孔及磨孔;(4)用定心钻及钻头钻孔及拉孔 孔径 $> 30\sim 80$:(1)用定心钻和钻头钻孔,扩钻,扩孔及铰孔;(2)用定心钻和钻头钻孔,用车刀或扩孔刀镗孔及铰孔; (3)用定心钻和钻头钻孔,用车刀镗孔(或扩孔及磨孔);(4)用定心钻和钻头钻孔及拉孔	(1)扩孔及铰孔;(2)用车刀镗孔及铰孔;(3)粗镗孔,精镗孔(不铰);(4)粗镗孔,精镗孔及磨孔;(5)用车刀镗孔及拉孔
8 级及 7 级	孔径 ≤ 10 :用定心钻和钻头钻孔,粗铰(或用扩孔刀镗孔)及精铰 孔径 $> 10\sim 30$:(1)用定心钻和钻头钻孔,扩孔(或用车刀镗孔),粗铰(或用扩孔刀镗孔)及精铰;(2)用定心钻和钻头钻孔,用车刀或用扩孔钻镗孔及磨孔;(3)用定心钻和钻头钻孔及拉孔 孔径 $> 30\sim 80$:(1)用定心钻及钻头钻孔,扩钻,扩孔,粗精铰孔;(2)用定心钻和钻头钻孔,用车刀镗孔,粗铰(或用扩孔刀镗孔)及精铰;(3)用定心钻和钻头钻孔,用车刀或扩孔钻镗孔及磨孔;(4)用定心钻和钻头钻孔及拉孔	孔径 ≤ 80 :(1)1~2 次扩孔(根据余量而定),粗铰(或用扩孔刀镗孔)及精铰;(2)1~2 次用车刀镗孔(根据余量而定),粗铰(或用扩孔刀镗孔)及精铰;(3)粗镗,半精镗及精镗;(4)用车刀镗孔及拉孔;(5)粗镗,精镗及磨孔 孔径 > 80 :(1)用车刀粗镗及精镗和铰孔;(2)粗镗,半精镗,精镗;(3)粗精镗及磨孔;(4)镗孔及拉孔
6 级	加工 6 级公差的孔的最后工序应是用金刚石细镗,用精密调整的车刀镗,细磨及镗磨	

注:1. 用定心钻钻孔仅是用于车床、六角车床及自动车床上。

2. 当孔径 ≤ 30 mm,直径余量 ≤ 4 mm 和孔径 $> 30\sim 80$ mm,直径余量 ≤ 6 mm 时,采用一次扩孔或一次镗孔。

3. 表中括号内的数字表示加工方法的种数。

表 4-15 按照基孔制 7 级公差(H7)加工孔

[mm]

加工孔的直径	直 径					加工孔的直径	直 径						
	钻		用车刀 镗以后	扩孔钻	粗 铰		精 铰	钻		用车刀 镗以后	扩孔钻	粗 铰	精 铰
	第一次	第二次						第一次	第二次				
3	2.9					3H7	30	15	28	29.8	29.8	29.93	30H7
4	3.9					4H7	32	15	30	31.7	31.75	31.93	32H7
5	4.8					5H7	35	20	33	34.7	34.75	34.93	35H7
6	5.8					6H7	38	20	36	37.7	37.75	37.93	38H7
8	7.8				7.96	8H7	40	25	38	39.7	39.75	39.93	40H7
10	9.8				9.96	10H7	42	25	40	41.7	41.75	41.93	42H7
12	11.0			11.85	11.95	12H7	45	25	43	44.7	44.75	44.93	45H7
13	12.0			12.85	12.95	13H7	48	25	46	47.7	47.75	47.93	48H7
14	13.0			13.85	13.95	14H7	50	25	48	49.7	49.75	49.93	50H7
15	14.0			14.85	14.95	15H7	60	30	55	59.5	59.5	59.9	60H7
16	15.0			15.85	15.95	16H7	70	30	65	69.5	69.5	69.9	70H7
18	17.0			17.85	17.94	18H7	80	30	75	79.5	79.5	79.9	80H7
20	18.0		19.8	19.8	19.94	20H7	90	30	80	89.3		89.8	90H7
22	20.0		21.8	21.8	21.94	22H7	100	30	80	99.3		99.8	100H7
24	22.0		23.8	23.8	23.94	24H7	120	30	80	119.3		119.8	120H7
25	23.0		24.8	24.8	24.94	25H7	140	30	80	139.3		139.8	140H7
26	24.0		25.8	25.8	25.94	26H7	160	30	80	159.3		159.8	160H7
28	26.0		27.8	27.8	27.94	28H7	180	30	80	179.3		179.8	180H7

- 注：1. 在铸铁上加工直径到 15 mm 的孔时，不用扩孔钻镗孔。
 2. 在铸铁上加工直径为 30 mm 与 32 mm 的孔时，仅用直径为 28 mm 与 30 mm 的钻头钻一次。
 3. 用磨削作为孔的最后加工方法时，精镗以后的直径根据表 4-23 查得。
 4. 用金刚石细镗作为孔的最后加工方法时，精镗以后的直径根据表 4-24 查得。
 5. 如仅用一次铰孔，则铰孔的加工余量为本表中粗铰与精铰的加工余量总和。

表 4-16 按照基孔制 9 级公差(H9)加工孔

[mm]

加工孔的直径	直 径				加工孔的直径	直 径					
	钻		用车刀 镗以后	扩孔钻		铰	钻		用车刀 镗以后	扩孔钻	铰
	第一次	第二次					第一次	第二次			
3	2.9				3H9	30	15	28	29.8	29.8	30H9
4	3.9				4H9	32	15	30	31.7	31.75	32H9
5	4.8				5H9	35	20	33	34.7	34.75	35H9
6	5.8				6H9	38	20	36	37.7	37.75	38H9
8	7.8				8H9	40	25	38	39.7	39.75	40H9
10	9.8				10H9	42	25	40	41.7	41.75	42H9
12	11.8				12H9	45	25	43	44.7	44.75	45H9
13	12.8				13H9	48	25	46	47.7	47.75	48H9
14	13.8				14H9	50	25	48	49.7	49.75	50H9
15	14.8				15H9	60	30	55	59.5		60H9
16	15.0				16H9	70	30	65	69.5		70H9
18	17.0				18H9	80	30	75	79.5		80H9
20	18.0		19.8	19.8	20H9	90	30	80	89.3		90H9
22	20.0		21.8	21.8	22H9	100	30	80	99.3		100H9
24	22.0		23.8	23.8	24H9	120	30	80	119.3		120H9
25	23.0		24.8	24.8	25H9	140	30	80	139.3		140H9
26	24.0		25.8	25.8	26H9	160	30	80	159.3		160H9
28	26.0		27.8	27.8	28H9	180	30	80	179.3		180H9

- 注：1. 在铸铁上加工直径为 30 mm 与 32 mm 的孔时，仅用直径为 28 mm 与 30 mm 的钻头钻一次。
 2. 用磨削作为孔的最后加工方法时，精镗以后的直径根据表 4-23 查得。
 3. 用金刚石细镗作为孔的最后加工方法时，精镗以后的直径根据表 4-24 查得。

表 4-17 按照 7 级与 9 级公差加工预先铸出或热冲出的孔

[mm]

加工孔的直径	直 径						加工孔的直径	直 径					
	粗 镗		精 镗		粗 铰	精铰 H7 或 H9		粗 镗		精 镗		粗 铰	精铰 H7 或 H9
	第一次	第二次	镗以后的直径	按 H11 公差				第一次	第二次	镗以后的直径	按 H11 公差		
30		28.0	29.8	+0.13	29.93	30	115	110	113.0	114.3	+0.22	114.8	115
32		30.0	31.7	+0.16	31.93	32	120	115	118.0	119.3	+0.22	119.8	120
35		33.0	34.7	+0.16	34.93	35	125	120	123.0	124.3	+0.25	124.8	125
38		36.0	37.7	+0.16	37.93	38	130	125	128.0	129.3	+0.25	129.8	130
40		38.0	39.7	+0.16	39.93	40	135	130	133.0	134.3	+0.25	134.8	135
42		40.0	41.7	+0.16	41.93	42	140	135	138.0	139.3	+0.25	139.8	140
45		43.0	44.7	+0.16	44.93	45	145	140	143.0	144.3	+0.25	144.8	145
48		46.0	47.7	+0.16	47.93	48	150	145	148.0	149.3	+0.25	149.8	150
50	45	48.0	49.7	+0.19	49.93	50	155	150	153.0	154.3	+0.25	154.8	155
52	47	50.0	51.5	+0.19	51.92	52	160	155	158.0	159.3	+0.25	159.8	160
55	51	53.0	54.5	+0.19	54.92	55	165	160	163.0	164.3	+0.25	164.8	165
58	54	56.0	57.5	+0.19	57.92	58	170	165	168.0	169.3	+0.25	169.8	170
60	56	58.0	59.5	+0.19	59.92	60	175	170	173.0	174.3	+0.25	174.8	175
62	58	60.0	61.5	+0.19	61.92	62	180	175	178.0	179.3	+0.25	179.8	180
65	61	63.0	64.5	+0.19	64.92	65	185	180	183.0	184.3	+0.29	184.8	185
68	64	66.0	67.5	+0.19	67.90	68	190	185	188.0	189.3	+0.29	189.8	190
70	66	68.0	69.5	+0.19	69.90	70	195	190	193.0	194.3	+0.29	194.8	195
72	68	70.0	71.5	+0.19	71.90	72	200	194	197.0	199.3	+0.29	199.8	200
75	71	73.0	74.5	+0.19	74.90	75	210	204	207.0	209.3	+0.29	209.8	210
78	74	76.0	77.5	+0.19	77.90	78	220	214	217.0	219.3	+0.29	219.8	220
80	75	78.0	79.5	+0.19	79.90	80	250	244	247.0	249.3	+0.29	249.8	250
82	77	80.0	81.3	+0.22	81.85	82	280	274	277.0	279.3	+0.32	279.8	280
85	80	83.0	84.3	+0.22	84.85	85	300	294	297.0	299.3	+0.32	299.8	300
88	83	86.0	87.3	+0.22	87.85	88	320	314	317.0	319.3	+0.36	319.8	320
90	85	88.0	89.3	+0.22	89.85	90	350	342	347.0	349.3	+0.36	349.8	350
92	87	90.0	91.3	+0.22	91.85	92	380	372	377.0	479.2	+0.36	379.75	380
95	90	93.0	94.3	+0.22	94.85	95	400	392	397.0	399.2	+0.36	399.75	400
98	93	96.0	97.3	+0.22	97.85	98	420	412	417.0	419.2	+0.40	419.75	420
100	95	98.0	99.3	+0.22	99.85	100	450	442	447.0	449.2	+0.40	449.75	450
105	100	103.0	104.3	+0.22	104.8	105	480	472	477.0	479.2	+0.40	479.75	480
110	105	108.0	109.3	+0.22	109.8	110	500	492	497.0	499.2	+0.40	499.75	500

- 注：1. 用磨削作为孔的最后加工方法时，精镗以后的直径根据表 4-23 查得。
 2. 用金刚石细镗作为孔的最后加工方法时，精镗以后的直径根据表 4-24 查得。
 3. 镗直径大于 500 mm 的孔时，所用的工序间加工余量与直径 500 mm 的孔相同。
 4. 如铸出的孔有很大的加工余量时，第一次粗镗可以分成两次或多次。
 5. 仅用一次铰孔时，铰孔的加工余量为本表中粗铰与精铰的加工余量之总和。

表 4-18 环孔钻加工余量

[mm]

钻头直径 d	75~125	>125~225	>225~275	>275
套料加工余量 (即环孔径向宽度 b)	20~25	30~35	38~42	42~48

表 4-19 单面钻削深孔的加工余量

[mm]

孔的直径 D	钻 孔 深 度 L							
	1 000	2 000	3 000	5 000	7 000	10 000	15 000	20 000
	直 径 余 量 a							
35~100	4(2)	6(4)	8(6)	10(8)				
101~180	4(2)	6(4)	8(6)	10(8)	12(10)	14(12)		
181~400				12(10)	14(12)	16(14)	18(16)	20(18)

注：表中工件加工后须经热处理的，加工余量取未括号的数据；无须热处理的，取括号内的数据。

表 4-20 拉孔的加工余量

[mm]

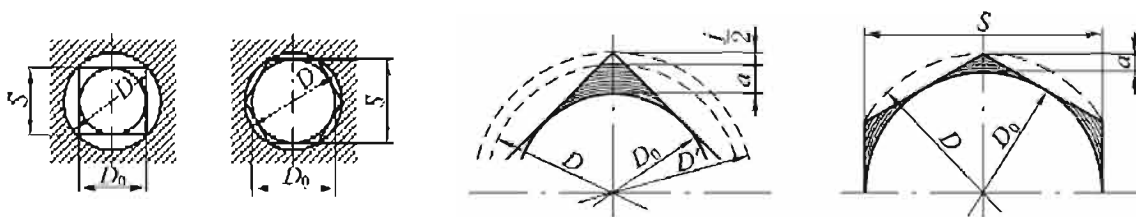
孔 的 长 度	孔 的 直 径			
	10~18	19~30	31~50	51~80
	直 径 余 量			
6~10	0.2	0.3		
11~18	0.3	0.3	0.4	
19~30	0.4	0.4	0.5	0.6
31~50	0.5	0.5	0.5	0.6
51~80		0.5	0.6	0.7
81~120		0.6	0.6	0.7
121~180			0.7	0.8

注：1. $D \leq 80$ mm 孔在拉孔以前的加工公差等级取 11 级 (H11)， $D < 80$ mm 取 H12。

2. 当采用外购拉刀时，孔的直径选择必须符合拉刀前段导程的直径。

3. 对于孔径 80 mm 以上的孔的拉削直径余量(最小值)；当孔径 $> 80 \sim 120$ mm，长径比 4~3 时取 1.0 mm；孔径 $> 120 \sim 180$ mm，长径比 3~2.5 时取 1.2 mm；孔径 $> 180 \sim 260$ mm，长径比 2.5~1.5 时取 1.4 mm。

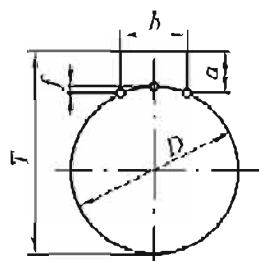
表 4-21 拉正方形及多边形孔的加工余量



S —正方形、六角形的对边长度； D_0 —内切圆直径； D' —外接圆直径； j —顶角径向变钝量
正方形径向加工余量 $2a = D - D_{0min} = D' - j - D_{0min}$ ； 六角形径向加工余量 $2a = D - D_{0min} = D - S_{min}$

表 4-22 拉键槽的加工余量

[mm]



拉键槽加工余量

$$a = T - D_{min} + f + 0.7\Delta p$$

式中 Δp —— 尺寸 T 的公差；

f —— 从下式求出：

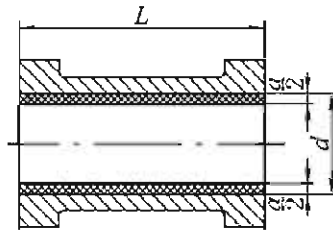
$$f = 0.5(D - \sqrt{D^2 - b^2})$$

表 4-22 续

b	D	f	b	D	f	b	D	f
4	11	0.38	10	32	0.80	16	50	1.32
	12	0.34		34	0.75		52	1.26
	14	0.29		35	0.73		55	1.19
5	15	0.43		12	36	0.71	18	58
	16	0.40	37		1.00	60		1.38
	18	0.36	38		0.97	62		1.34
6	19	0.49	14	40	0.92	20	65	1.27
	20	0.46		42	0.88		68	1.51
	22	0.42		44	1.14		70	1.46
8	24	0.38	45	1.12	72	1.42		
	25	0.66	46	1.09	75	1.36		
	26	0.63	48	1.04	78	1.31		
	28	0.59						
	30	0.55						

表 4-23 磨孔的加工余量

[mm]



孔的直径 d	零件 性质	磨孔的长度 L					磨前公差 IT11
		≤ 50	$>50\sim 100$	$>100\sim 200$	$>200\sim 300$	$>300\sim 500$	
		直径余量 a					
≤ 10	未淬硬 淬硬	0.2 0.2					0.09
$>10\sim 18$	未淬硬 淬硬	0.2 0.3	0.3 0.4				0.11
$>18\sim 30$	未淬硬 淬硬	0.3 0.3	0.3 0.4	0.4 0.4			0.13
$>30\sim 50$	未淬硬 淬硬	0.3 0.4	0.3 0.4	0.4 0.4	0.4 0.5		0.16
$>50\sim 80$	未淬硬 淬硬	0.4 0.4	0.4 0.5	0.4 0.5	0.4 0.5		0.19
$>80\sim 120$	未淬硬 淬硬	0.5 0.5	0.5 0.5	0.5 0.6	0.5 0.6	0.6 0.7	0.22
$>120\sim 180$	未淬硬 淬硬	0.6 0.6	0.6 0.6	0.6 0.6	0.6 0.6	0.6 0.7	0.25
$>180\sim 260$	未淬硬 淬硬	0.6 0.7	0.6 0.7	0.7 0.7	0.7 0.7	0.7 0.8	0.29
$>260\sim 360$	未淬硬 淬硬	0.7 0.7	0.7 0.8	0.7 0.8	0.8 0.8	0.8 0.9	0.32
$>360\sim 500$	未淬硬 淬硬	0.8 0.8	0.8 0.8	0.8 0.8	0.8 0.9	0.8 0.9	0.36

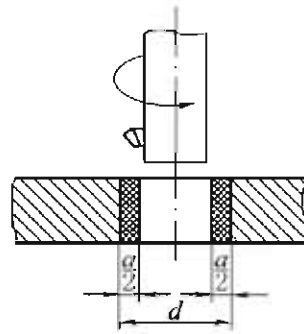
注：1. 当加工在热处理时极易变形的、薄的轴套及其他零件时，应将表中的加工余量数值乘以 1.3。

2. 如被加工孔在以后必须作为基准孔时，其公差应按 7 级公差来制定。

3. 在单件、小批生产时，本表的数值应乘以 1.3，并化成一位小数。例如 $0.3 \times 1.3 = 0.39$ ，采用 0.4（四舍五入）。

表 4-24 金刚石细镗孔的加工余量

[mm]



加工孔的直径 d	材 料								细镗前加工公差 (IT9)
	轻 合 金		巴 氏 合 金		青 铜 及 铸 铁		钢 件		
	加 工 性 质								
	粗加工	精加工	粗加工	精加工	粗加工	精加工	粗加工	精加工	
	直 径 余 量 a								
≤ 30	0.2	0.1	0.3	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.045
31~50	0.3	0.1	0.4	0.1	0.3	0.1	0.2	0.1	0.05
51~80	0.4	0.1	0.5	0.1	0.3	0.1	0.2	0.1	0.06
81~120	0.4	0.1	0.5	0.1	0.3	0.1	0.3	0.1	0.07
121~180	0.5	0.1	0.6	0.2	0.4	0.1	0.3	0.1	0.08
181~260	0.5	0.1	0.6	0.2	0.4	0.1	0.3	0.1	0.09
261~360	0.5	0.1	0.6	0.2	0.4	0.1	0.3	0.1	0.10
361~500	0.5	0.1	0.6	0.2	0.5	0.2	0.4	0.1	0.12
501~640					0.5	0.2	0.4	0.1	0.14
641~800					0.5	0.2	0.4	0.1	0.15
801~1 000					0.6	0.2	0.5	0.2	0.17

注：当采用一次镗削时，加工余量应该是粗加工余量加上精加工余量。

表 4-25 珩磨孔的加工余量

[mm]

加工孔的直径	直 径 余 量 a						珩磨前的加工公差 (IT7)
	细镗以后		精镗以后		磨 以 后		
	材 料						
	铸 铁	钢	铸 铁	钢	铸 铁	钢	
≤ 50	0.09	0.06	0.09	0.07	0.08	0.05	
$> 50 \sim 80$	0.1	0.07	0.1	0.08	0.09	0.05	0.03
$> 80 \sim 120$	0.11	0.08	0.11	0.09	0.1	0.06	0.035
$> 120 \sim 180$	0.12	0.09	0.12		0.11	0.07	0.04
$> 180 \sim 260$	0.12	0.09			0.12	0.08	0.045

表 4-26 研磨孔的加工余量

[mm]

加工孔的直径	铸 铁	钢
25~125	0.020~0.100	0.010~0.040
150~275	0.080~0.160	0.020~0.050
300~500	0.120~0.200	0.040~0.060

注：经过精磨的工件的手工研磨直径余量为 $5 \sim 10 \mu\text{m}$ 。

表 4-27 刮孔的加工余量

[mm]

加工孔的直径 d	加工孔的长度 L			
	≤ 100	$> 100 \sim 200$	$> 200 \sim 300$	> 300
	直径余量 a			
≤ 80	0.05	0.08	0.12	
$> 80 \sim 180$	0.10	0.15	0.20	0.30
$> 180 \sim 360$	0.15	0.20	0.25	0.30
> 360	0.20	0.25	0.30	0.35

注：1. 刮孔前的加工公差等级为 7 级。

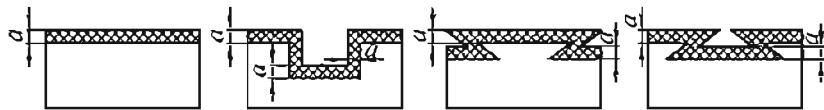
2. 如两轴承相连，则刮孔前两轴承的公差均以大轴承的公差为准。

3. 表中列举的刮孔加工余量，是根据正常加工条件下而定的，当轴线有显著的弯曲时，应将表中的数值增大。

平面加工余量

表 4-28 平面的刨、铣、磨、刮加工余量

[mm]



加工性质	加工面长度	加工面宽度					
		≤ 100		$> 100 \sim 300$		$> 300 \sim 1000$	
		余量 a	公差(+)	余量 a	公差(+)	余量 a	公差(+)
粗加工后精刨 或精铣	≤ 300	1.0	0.3	1.5	0.5	2	0.7
	$> 300 \sim 1000$	1.5	0.5	2	0.7	2.5	1.0
	$> 1000 \sim 2000$	2	0.7	2.5	1.2	3	1.2
精加工后磨削， 零件在装置时 未经校准	≤ 300	0.3	0.1	0.4	0.12		
	$> 300 \sim 1000$	0.4	0.12	0.5	0.15	0.6	0.15
	$> 1000 \sim 2000$	0.5	0.15	0.6	0.15	0.7	0.15
精加工后磨削，零 件装置在夹具中 或用百分表校准	≤ 300	0.2	0.1	0.25	0.12		
	$> 300 \sim 1000$	0.25	0.12	0.3	0.15	0.4	0.15
	$> 1000 \sim 2000$	0.3	0.15	0.4	0.15	0.4	0.15
刮	≤ 300	0.15	0.06	0.15	0.06	0.2	0.1
	$> 300 \sim 1000$	0.2	0.1	0.2	0.1	0.25	0.12
	$> 1000 \sim 2000$	0.25	0.12	0.25	0.12	0.3	0.15

注：1. 几个零件同时加工时，长度及宽度为装置在一起的各零件长度或宽度及各零件间的间隙之总和。

2. 当精刨或精铣时，最后一次行程前留的余量应 ≥ 0.5 mm。

3. 热处理零件的磨前加工余量系将表中数值乘以 1.2。

4. 磨削及刮的加工余量和公差用于有公差的表面的加工，其他尺寸按照自由尺寸的公差进行加工。

5. 公差按照被测量尺寸制定。

表 4-29 平面的研磨余量

[mm]

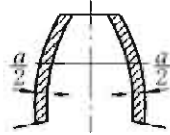
平面长度	平面宽度			平面长度	平面宽度		
	≤ 25	26~75	76~150		≤ 25	26~75	76~150
≤ 25	0.005~0.007	0.007~0.010	0.010~0.014	76~150	0.010~0.014	0.014~0.020	0.020~0.024
26~75	0.007~0.010	0.010~0.014	0.014~0.020	151~260	0.014~0.018	0.020~0.024	0.024~0.030

注：经过精磨的工件的手工研磨余量，每面 3~5 μm ；机械研磨余量，每面 5~10 μm 。

齿轮精加工的余量

表 4-30 精滚齿或精插齿的加工余量

[mm]



模数	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
齿厚余量 a	0.6	0.75	0.9	1.05	1.2	1.35	1.5	1.7	1.9	2.1	2.2

表 4-31 剃齿的加工余量

[mm]

齿轮的直径	≤ 50					$> 50 \sim 100$					$> 100 \sim 200$				
模数	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6
齿厚余量 a	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.09	0.1	0.11	0.12	0.14	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16

表 4-32 磨齿的加工余量

[mm]

模数	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
齿厚余量 a	0.15	0.2	0.23	0.26	0.29	0.32	0.35	0.38	0.4	0.45	0.5

表 4-33 直径大于 400 mm 渗碳齿轮的磨齿加工余量

[mm]

模数	齿数					
	$\geq 40 \sim 50$	$> 50 \sim 75$	$> 75 \sim 100$	$> 100 \sim 150$	$> 150 \sim 200$	> 200
	齿厚余量 a					
$\geq 3 \sim 5$				0.45~0.6	0.5~0.7	0.6~0.8
$> 5 \sim 7$			0.45~0.6	0.5~0.7	0.6~0.8	
$> 7 \sim 10$		0.45~0.6	0.5~0.7	0.6~0.8		
$> 10 \sim 12$	0.45~0.6	0.5~0.7	0.6~0.8			

- 注：1. 小数值的余量是用于小模数及齿数少的齿轮，大数值的余量是用于大模数及齿数多的齿轮。
 2. 在选择余量的数值时，必须考虑各种牌号的钢在热处理时变形的情况。

表 4-34 交叉轴斜齿轮及准双曲面齿轮精加工的余量

[mm]

模数	1.25~1.75	2~2.75	3.0~4.5	5.0~7.0	8.0~11.0	12.0~19.0	20.0~30.0
齿厚余量	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.6	2.0

表 4-35 锥齿轮的精加工余量

[mm]

模数	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
齿厚余量 a	0.5	0.57	0.65	0.72	0.8	0.87	0.93	1.0	1.07	1.5

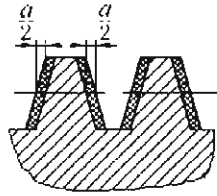
表 4-36 蜗轮的精加工余量

[mm]

模数	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
齿厚余量 a	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	3.0

表 4-37 蜗杆的精加工余量

[mm]

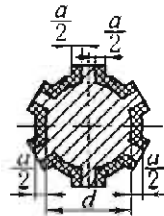


模 数	齿 厚 余 量 a		模 数	齿 厚 余 量 a	
	粗铣后精车	淬火后磨削		粗铣后精车	淬火后磨削
≤ 2	0.7~0.8	0.2~0.3	$> 5 \sim 7$	1.4~1.6	0.5~0.6
$> 2 \sim 3$	1~1.2	0.3~0.4	$> 7 \sim 10$	1.6~1.8	0.6~0.7
$> 3 \sim 5$	1.2~1.4	0.4~0.5	$> 10 \sim 12$	1.8~2.0	0.7~0.8

花键精加工的余量

表 4-38 精铣花键的加工余量

[mm]



花键轴的 公称直径 d	花 键 的 长 度				花键轴的 公称直径 d	花 键 的 长 度			
	≤ 100	$> 100 \sim 200$	$> 200 \sim 350$	$> 350 \sim 500$		≤ 100	$> 100 \sim 200$	$> 200 \sim 350$	$> 350 \sim 500$
	余 量 a					余 量 a			
10~18	0.4~0.6	0.5~0.7			$> 30 \sim 50$	0.6~0.8	0.7~0.9	0.8~1.0	
$> 18 \sim 30$	0.5~0.7	0.6~0.8	0.7~0.9		> 50	0.7~0.9	0.8~1.0	0.9~1.2	1.2~1.5

表 4-39 磨花键的加工余量

[mm]

花键轴的 公称直径 d	花 键 的 长 度				花键轴的 公称直径 d	花 键 的 长 度			
	≤ 100	$> 100 \sim 200$	$> 200 \sim 350$	$> 350 \sim 500$		≤ 100	$> 100 \sim 200$	$> 200 \sim 350$	$> 350 \sim 500$
	余 量 a					余 量 a			
10~18	0.1~0.2	0.2~0.3			$> 30 \sim 50$	0.2~0.3	0.2~0.4	0.3~0.5	
$> 18 \sim 30$	0.1~0.2	0.2~0.3	0.2~0.4		> 50	0.2~0.4	0.3~0.5	0.3~0.5	0.4~0.6

表 4-40 花键加工余量(JB/T 9146—1999)

[mm]

1.

2.

表 4-40 续

1. 内花键小径拉削和磨削余量					2. 外花键小径及键宽磨削余量				
花键小径 基本尺寸 d	拉削 余量 a_1	磨削 余量 a_2	拉前 小径 d_2 (H10)	拉后 小径 d_3 (H7)	花键小径 基本尺寸 d	花键键宽 基本尺寸 B	磨削 余量 a	磨 削 前	
								小径 d_4 (h9)	键宽 B_1 (h10)
11	0.25	0.15	10.6	10.85	11	3	0.2	11.2	3.2
13			12.6	12.85	13	3.5		13.2	3.7
16			15.6	15.85	16	4		16.2	4.2
18			17.6	17.85	18	5		18.2	5.2
21			20.6	20.85	21	5		21.2	5.2
23			22.6	22.85	23	6		23.2	6.2
26	0.3	0.15	25.55	25.85	26	6	0.3	26.2	6.2
28			27.55	27.85	28	7		28.2	7.2
32			31.55	31.85	32	6		32.2	6.2
36			35.55	35.85	36	7		36.2	7.2
42			41.55	41.85	42	8		42.3	8.3
46			45.55	45.85	46	9		46.3	9.3
52	0.2	0.2	51.5	51.8	52	10	0.3	52.3	10.3
56			55.5	55.8	56	10		56.3	10.3
62			61.5	61.8	62	12		62.3	12.3
72	0.35	0.25	71.4	71.75	72	12	0.4	72.3	12.3
82			81.4	81.75	82	12		82.3	12.3
92			91.4	91.75	92	14		92.4	14.4
102			101.4	101.75	102	16		102.4	16.4
112			111.4	111.75	112	18		112.4	18.4

攻螺纹及装配前的钻孔直径

表 4-41 攻螺纹及装配前的钻孔直径

[mm]

公称直径	攻螺纹前钻孔用麻花钻直径									螺栓和螺钉用通孔尺寸					
	普通粗牙螺纹	普通细牙螺纹									精装配	中等装配	粗装配	开口销孔	金属丝孔
		螺 距													
		0.35	0.5	0.75	1	1.25	1.5	2	3	4					
1	0.75									1.1	1.2	1.3			
1.1	0.85									1.3	1.4	1.5			
1.2	0.95									1.5	1.6	1.8			
1.4	1.1									1.7	1.8	2			
1.6	1.25									2	2.1	2.2			
1.8	1.45									2.2	2.4	2.6			
2	1.6														
2.2	1.75														
2.5	2.05	2.15								2.7	2.9	3.1			
3	2.5	2.65								3.2	3.4	3.6			
3.5	2.9	3.1								3.7	3.9	4.2			

表 4-41 续

公称直径	攻螺纹前钻孔用麻花钻直径										螺栓和螺钉用通孔尺寸				
	普通粗牙螺纹	普通细牙螺纹									精装配	中等装配	粗装配	开口销孔	金属丝孔
		螺距													
		0.35	0.5	0.75	1	1.25	1.5	2	3	4					
4	3.3										4.3	4.5	4.8	1	1.2
4.5	3.7		3.5								4.8	5	5.3		
5	4.2		4								5.3	5.5	5.8	1.2	1.2
5.5			4.5												
			5												
6	5			5.2							6.4	6.6	7	1.6	1.6
7	6			6.2							7.4	7.6	8	1.6	1.6
8	6.8			7.2	7						8.4	9	10	2	2
9	7.8			8.2	8										
10	8.5			9.2	9	8.8					10.5	11	12	2.5	2
11	9.5			10.2	10										
12	10.2				11	10.8	10.5				13	13.5	14.5	3.2	2
14	12				13	12.8	12.5				15	15.5	16.5	3.2	2
15					14		13.5								
16	14				15		14.5				17	17.5	18.5	4	3
17					16		15.5								
18	15.5				17		16.5	16			19	20	21	4	3
20	17.5				19		18.5	18			21	22	24	4	3
22	19.5				21		20.5	20			23	24	26	5	3
24	21				23		22.5	22			25	26	28	5	3
25					24		23.5	23							
26							24.5								
27	24				26		25.5	25			28	30	32	5	3
28					27		26.5	26							
30	26.5				29		28.5	28	27		31	33	35	6.3	3
32							30.5	30							
33	29.5						31.5	31	30		34	36	38	6.3	4
35							33.5								
36	32						34.5	34	33		37	39	42	6.3	4
38							36.5								
39	35						37.5	37	36		40	42	45	6.3	4
40							38.5	38	37						
42	37.5						40.5	40	39	38	43	45	48	8	4
45	40.5						43.5	43	42	41	46	48	52	8	4
48	43						46.5	46	45	44	50	52	56	8	4
50							48.5	48	47						
52	47						50.5	50	49	48	54	56	62	8	5
56	50.5										58	62	66		

注：1. 本表所列麻花钻直径，适用于一般生产条件下的钻孔，随生产条件的不同，可按实际需要在麻花钻标准系列中选用相近的尺寸。在螺纹孔小径公差范围内，建议尽可能选用较大尺寸的麻花钻，以减轻攻螺纹工序的负荷，提高丝锥耐用度。
麻花钻直径计算公式：

$$\text{麻花钻直径} = \text{螺纹公称直径} - \text{螺距} \quad (\text{mm})$$

2. 钻普通螺纹底孔钻头直径 d_0 也可用计算求得，当螺距 $P \leq 1 \text{ mm}$ 时 $d_0 = d - P$ 。当 $P > 1 \text{ mm}$ 时 $d_0 \approx d - (1.04 \sim 1.08)P$ 。式中 d 为螺纹公称直径。

表 4-42 英制螺纹及管螺纹攻螺纹前钻孔直径

[mm]

螺纹公称直径 [in]	英制螺纹		圆柱管螺纹	圆锥管螺纹			布氏圆锥管螺纹		
	铸铁	钢		铰孔	不铰孔	孔深	铰孔	不铰孔	孔深
1/16							$6^{+0.16}_0$	$6.2^{+0.14}_0$	14
1/8			$8.8^{+0.12}_0$	$8.1^{+0.2}_0$	$8.3^{+0.2}_0$	15	$8.3^{+0.2}_0$	$8.6^{+0.14}_0$	15
3/16	3.6	3.7							
1/4	5	5.1	$11.7^{+0.14}_0$	$10.8^{+0.24}_0$	$11.1^{+0.24}_0$	20	$10.7^{+0.24}_0$	$11.1^{+0.24}_0$	20
5/16	6.4	6.5							
3/8	7.8	7.9	$15.2^{+0.14}_0$	$14.25^{+0.24}_0$	$14.5^{+0.24}_0$	24	$14.25^{+0.24}_0$	$14.6^{+0.24}_0$	22
(7/16)	9.1	9.2							
1/2	10.4	10.5	$18.8^{+0.14}_0$	$17.9^{+0.24}_0$	$18.2^{+0.28}_0$	29	$17.5^{+0.28}_0$	$18.1^{+0.24}_0$	28
(9/16)	12	12.1							
5/8	13.3	13.5	$20.8^{+0.14}_0$						
3/4	16.3	16.4	$24.3^{+0.23}_0$	$23.25^{+0.28}_0$	$23.7^{+0.28}_0$	31	$22.9^{+0.28}_0$	$23.5^{+0.28}_0$	28
7/8	19.1	19.3	$28.1^{+0.23}_0$						
1	21.9	22	$30.5^{+0.26}_0$	$29.25^{+0.28}_0$	$29.75^{+0.32}_0$	37	$28.75^{+0.28}_0$	$29.4^{+0.28}_0$	35
$1\frac{1}{8}$	24.6	24.7	$35.2^{+0.26}_0$						
$1\frac{1}{4}$	27.8	27.9	$39.2^{+0.26}_0$	$37.75^{+0.32}_0$	$38.43^{+0.32}_0$	40	$37.43^{+0.34}_0$	$38.2^{+0.34}_0$	36
($1\frac{3}{8}$)	30.2	30.3	$41.6^{+0.26}_0$						
$1\frac{1}{2}$	33.4	33.5	$45.1^{+0.3}_0$	$43.5^{+0.34}_0$	$44.3^{+0.32}_0$	42	$43.5^{+0.34}_0$	$44.25^{+0.34}_0$	36
($1\frac{5}{8}$)	35.7	35.8							
$1\frac{3}{4}$	38.9	39	$51^{+0.3}_0$						
($1\frac{7}{8}$)	41.4	41.5							
2	44.6	44.7	$56.9^{+0.3}_0$	$55^{+0.4}_0$	$56^{+0.4}_0$	44	$55.5^{+0.4}_0$	$56.3^{+0.34}_0$	37
$2\frac{1}{4}$	$50.1^{+0.3}_0$		$67.95^{+0.38}_0$						
$2\frac{1}{2}$	$56.4^{+0.35}_0$		$72.45^{+0.38}_0$	70.6					
$2\frac{3}{4}$	$61.8^{+0.45}_0$		$78.8^{+0.38}_0$						
3	$68.2^{+0.45}_0$		$85.2^{+0.38}_0$	83.3					
$3\frac{1}{4}$	$73.9^{+0.4}_0$		$91.3^{+0.38}_0$						
$3\frac{1}{2}$	$80.2^{+0.4}_0$		$97.6^{+0.43}_0$						
$3\frac{3}{4}$	$85.8^{+0.5}_0$								
4	$92.2^{+0.5}_0$		$110.3^{+0.43}_0$	102.95					
$4\frac{1}{2}$			$123^{+0.43}_0$						
5			$135.75^{+0.43}_0$	133.35					
$5\frac{1}{2}$			$148.45^{+0.43}_0$						
6			$161.15^{+0.43}_0$	153.95					

加工余量的确定方法 应保证切去工件的各种缺陷和误差,从而达到一定的表面精度和表面质量。

(1) 查表法 即可由本章各表提供的各种加工余量来确定。表中数据是由以往工厂生产实践和试验研究来制定的,且都是公称余量。这种确定方法较省事,工厂用得较普遍,但要求工厂按自身具体情况进行修正。

(2) 计算法 这是针对具体工件的具体加工,通过实验测试和具体分析来确定加工余量的。因此用这种方法确定的加工余量最为合理,但由于试验需要一定的资金投入和一定的时间,所以工厂一般不用。

第五章

机动时间计算方法

车削工作

车削加工计算(表 5-1)常用符号:

- T_0 ——机动时间[min];
- L ——切刀行程的长度[mm];
- l ——加工长度[mm];
- l_1 ——切刀的切入长度[mm](见表 5-3);
- l_2 ——切刀的超出长度[mm](见表 5-3),当加工到定位器、台阶时, $l_2 = 0$;
- l_3 ——附加长度[mm],单件及小批生产的条件下试刀用(见表 5-6);

- a_p ——切削深度[mm];
- f ——主轴每转切刀的进给量[mm/r];
- n ——机床主轴转速[r/min];
- i ——进给次数;
- d ——零件或毛坯的直径[mm];
- v ——切削速度(圆周速度),

$$v = \frac{\pi d n}{1000} \text{ [m/min].}$$

表 5-1 车削加工计算

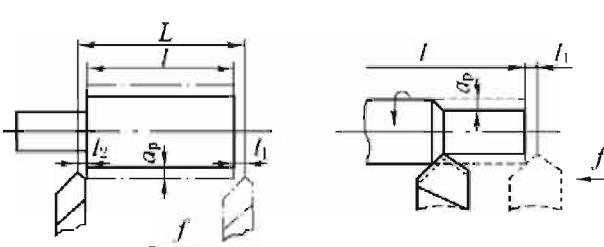
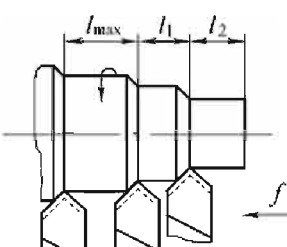
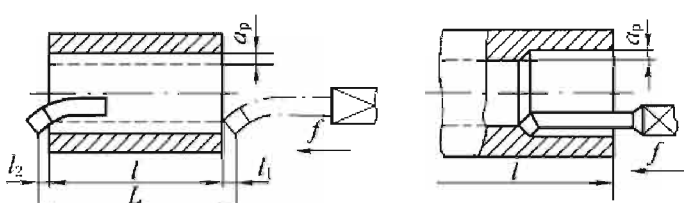
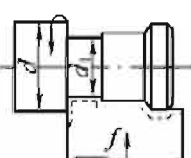
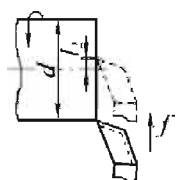
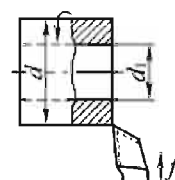
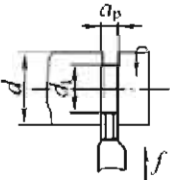
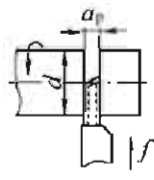
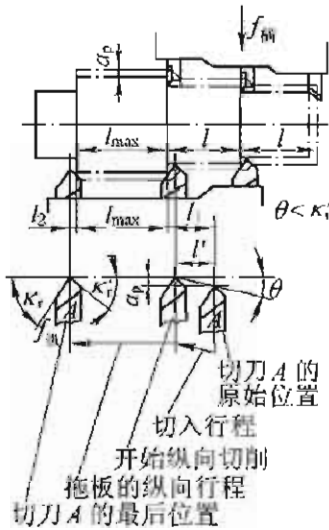
<p style="text-align: center;">圆柱表面的外圆车削</p>  $T_0 = \frac{l + l_1 + l_2 + l_3}{f \cdot n} i$	<p style="text-align: center;">同时车削几个表面</p>  $T_0 = \frac{l_{\max} + l_1 + l_2}{f \cdot n}$ <p>式中 l_{\max}——最大加工长度</p>
<p style="text-align: center;">镗孔</p>  $T_0 = \frac{L}{f \cdot n} i$ $L = l + l_1 + l_2 + l_3$	<p style="text-align: center;">特型车削</p>  $T_0 = \frac{L}{f \cdot n}, L = \frac{d - d_1}{2} + l_1$ <p>式中 d_1——外圆车削后的最小直径。 注: 切削深度 a_p 等于特型切刀工作的切削刃总长</p>
<p style="text-align: center;">实体的端面车削</p>  $T_0 = \frac{L}{f \cdot n} i$ $L = \frac{d}{2} + l_1 + l_2 + l_3$	<p style="text-align: center;">圆环的端面车削</p>  $T_0 = \frac{L}{f \cdot n} i$ $L = \frac{d - d_1}{2} + l_1 + l_2 + l_3$

表 5-1 续

车 槽	切 断
	
$T_0 = \frac{L}{f \cdot n^i}$ $L = \frac{d - d_1}{2} + l_1$ <p>式中 d_1——车槽后的直径</p>	$T_0 = \frac{L}{f \cdot n}$ $L = \frac{d}{2} + l_1 + l_2$

多刀车(每个阶段一把刀)



$$T_0 = \frac{L}{f_{纵} \cdot n}$$

$$L = l_{max} + l_1 + l_2$$

式中 l_{max} ——最大加工长度[mm];
 $f_{纵}$ ——主轴每转切刀的纵进给量[mm];

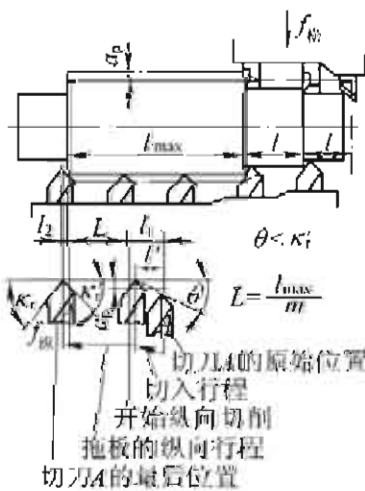
$$l_1 = \frac{a_p}{\tan \theta} + (2 \sim 3) + \frac{a_p}{\tan \kappa_r} + (1 \sim 2) \text{ [mm]}$$

当多刀车床的结构允许调整纵向刀架作横向切削时:

$$l_1 = a_p + (1 \sim 2) + \frac{a_p}{\tan \kappa_r} + (1 \sim 2) \text{ [mm]}$$

$$l_2 = 1 \sim 3 \text{ mm}$$

多刀车(最长的阶段分段切削)



$$T_0 = \frac{L}{f_{纵} \cdot n}$$

$$L = \frac{l_{max}}{m} + l_1 + l_2$$

式中 m ——加工最长阶段的刀具数量;
 l_1 及 l_2 ——同上

刨削、插削工作

刨削、插削加工计算(表 5-2)常用符号:

T_0 ——机动时间[min];

h ——被加工槽的深度[mm];

a_p ——切削深度[mm];

i ——进给次数;

B ——刨削、插削宽度[mm];

f ——每双行程的切刀进给量[mm];

v ——机床的平均速度[m/min];

n ——每分钟的双行程次数;

$$n = \frac{1000v}{L(1+K)}$$

$K = 0.4 \sim 0.75$ (用于龙门刨床); $0.65 \sim 0.93$ (用于插削); $0.7 \sim 0.9$ (用于牛头刨床);

L ——切刀(滑座)或工作台的行程长度[mm], $L = l + l_4 + l_5$;
 l ——被加工零件的长度[mm];
 l_1 ——切刀的切入长度[mm](见表 5-3);
 l_2 ——切刀的超出长度[mm](见表 5-3);
 l_3 ——附加长度[mm], 单件及小批生产的条件下试刀用(见表 5-6);

l_4 ——工作行程开始时刀具(滑座)或零件(工作台)的超出长度[mm](见表 5-4 及表 5-5);
 l_5 ——工作行程结束时刀具(滑座)或零件(工作台)的超出长度[mm](见表 5-4 及表 5-5)。

表 5-2 刨削、插削加工计算

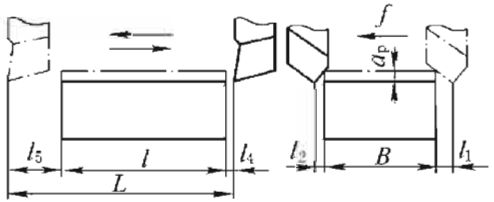
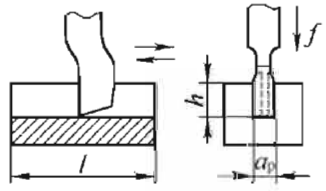
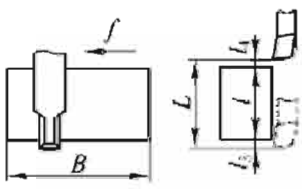
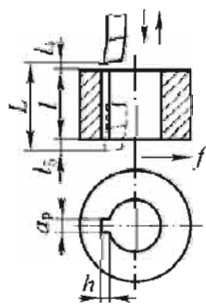
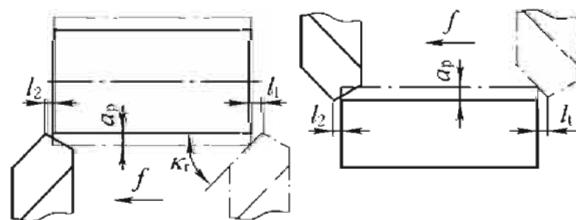
<p style="text-align: center;">刨 平 面</p>  $T_0 = \frac{B + l_1 + l_2 + l_3}{f \cdot n} i$	<p style="text-align: center;">刨 槽</p>  $T_0 = \frac{H}{f \cdot n}$ <p>式中 H——切刀的行程量[mm], 用机动进给时 $H = h + 1$; 用手动进给时 $H = h$; h——被加工槽的深度[mm]</p>
<p style="text-align: center;">插 平 面</p>  $T_0 = \frac{B + l_1 + l_2 + l_3}{f \cdot n} i$	<p style="text-align: center;">插 键 槽</p>  $T_0 = \frac{H}{f \cdot n}$ <p>当手动进给时 $H = h$ 当机动进给时 $H = h + 1$</p>

表 5-3 车刀及镗刀切入及超出长度

[mm]



$$l_1 = \frac{a_p}{\tan \kappa_r}$$

表 5-3 续

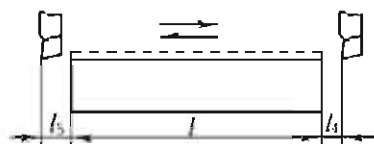
1. 通切车刀与镗刀															
切削深度 a_p	主 偏 角 κ_r							超出长度 l_2	切削深度 a_p	主 偏 角 κ_r					超出长度 l_2
	10°	15°	20°	30°	45°	60°	75°			20°	30°	45°	60°	75°	
	切 入 长 度 l_1									切 入 长 度 l_1					
1	5.7	3.7	2.7	1.7	1	0.6	0.3	1	12	33	20.8	12	6.9	3.2	3
2	11.3	7.5	5.5	3.5	2	1.2	0.6	1	13	36	22.5	13	7.5	3.5	3
3	17	11.2	8.2	5.2	3	1.7	0.8	2	14	37.5	24.2	14	8.1	3.8	3
4	22.6	14.6	11	6.9	4	2.3	1.1	2	15	41.4	26	15	8.7	4	3
5	28.4	18.6	13.7	8.7	5	2.9	1.3	2	16		27.8	16	9.2	4.3	3
6	34	22.4	16.5	10.4	6	3.5	1.6	2	17		29.5	17	9.8	4.6	3
7	40	26	19.2	12.1	7	4	1.9	2	18		31.2	18	10.4	4.8	3
8	45.2	29.8	22	13.8	8	4.6	2.1	3	19		32.9	19	11	5.1	3
9	51	33.6	24.7	15.7	9	5.2	2.4	3	20		34.5	20	11.5	5.4	3
10	57	37.3	27.4	17.3	10	5.8	2.7	3	25		43.3	25	14.4	6.7	5
11			30	19	11	6.3	3	3	30		52	30	17.3	8.1	

- 2. 螺纹车刀:通切螺纹——2~3 螺距;不通切螺纹——1~2 螺距
- 3. 端面车刀:3~5 mm
- 4. 切槽刀:2~3 mm
- 5. 切断刀:1~5 mm

注: 1. 为了保证切刀不受拘束地进给接近加工表面,计算的切入长度 l_1 应增加 0.5~2 mm(与切削深度有关)。
 2. 主偏角 $\kappa_r = 90^\circ$ 的切刀,其切入长度 $l_1 = 0$ 。

表 5-4 龙门刨床工作台的超出长度

[mm]



刨 削 长 度 l	超 出 长 度 $l_4 + l_5$
≤ 2000	200
$> 2000 \sim 4000$	200~325
$> 4000 \sim 6000$	330~375
$> 6000 \sim 10000$	390~475

表 5-5 牛头刨床及插床上切刀的超出长度

[mm]

刨 削 长 度 l	超 出 长 度 $l_4 + l_5$
≤ 100	35
$> 100 \sim 200$	50
$> 200 \sim 300$	60
> 300	75

表 5-6 试刀的附加长度 l_3 [mm]

测量工具	被测量的尺寸	试刀的附加长度	测量工具	被测量的尺寸	试刀的附加长度
直 尺		5	深 度 尺		5
卷 尺	按直径测量	5	百 分 尺	≤ 250	5
	按圆周测量	10		> 250	8
外 卡 钳	≤ 250	3	卡 规	≤ 250	5
	> 250	5		> 250	8
内 卡 钳		5	塞 规		5
内径百分尺	$\leq 1\ 000$	5	样 板		5
	$\leq 2\ 000$	10		活 量 杆	≤ 250
	$\leq 3\ 000$	15	> 250		10
游 标 卡 尺		5			

注：1. 按照划线加工时，试刀的附加长度约为 2 mm。

2. 当计算试刀行程的基本时间时，应将加工长度加本表所列的试刀长度，如试刀为 2 次或 2 次以上者，试刀长度亦如数加倍。

钻 削 工 作

钻削加工计算(表 5-7)常用符号：

T_0 ——机动时间[min];

l ——加工长度(深度)[mm];

l_1 ——刀具的切入长度[mm];

l_2 ——刀具的超出长度[mm];

l_1 及 l_2 当钻孔时见表 5-9、表 5-10;

当扩钻时见表 5-10、表 5-11;

当扩孔时见表 5-12;

当铰孔时见表 5-13;

a_p ——切削深度[mm];

f ——刀具或零件的进给量[mm/r];

n ——刀具或零件的转速[r/min].

表 5-7 钻削工作计算

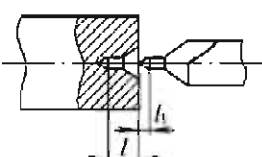
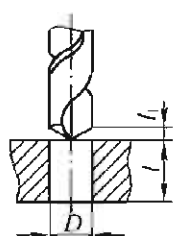
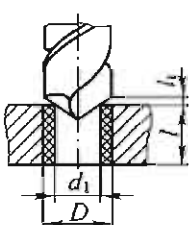
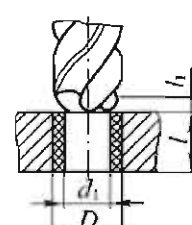
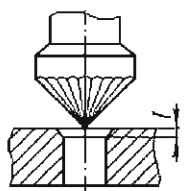
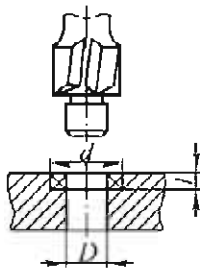
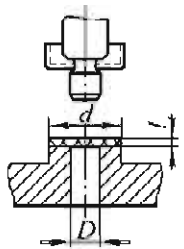
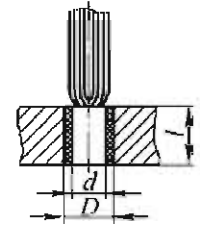
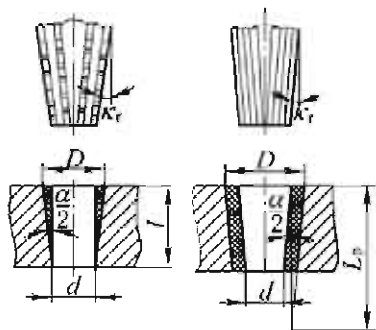
<p>钻中心孔</p>  $T_0 = \frac{l + l_1}{f \cdot n}$	<p>钻 孔</p>  $T_0 = \frac{l + l_1 + l_2}{f \cdot n}$ $a_p = \frac{D}{2}$ <p>钻闭孔时 $l_2 = 0$</p>
<p>扩 钻</p>  $T_0 = \frac{l + l_1 + l_2}{f \cdot n}$ $a_p = \frac{D - d_1}{2}$ <p>扩钻闭孔时 $l_2 = 0$</p>	<p>扩 孔</p>  $T_0 = \frac{l + l_1 + l_2}{f \cdot n}$ $a_p = \frac{D - d_1}{2}$ <p>扩孔闭孔时 $l_2 = 0$</p>

表 5-7 续

<p>镗倒角</p>  <p>机动进给： $T_0 = \frac{l+l_1}{f \cdot n}$ $l_1 = 0.5 \sim 2 \text{ mm}$ 手动进给： $T_0 = \frac{l}{f \cdot n}$ </p>	<p>镗埋头孔</p>  <p>机动进给： $T_0 = \frac{l+l_1}{f \cdot n}$ $l_1 = 0.5 \sim 2 \text{ mm}$ 手动进给： $T_0 = \frac{l}{f \cdot n}$ $a_p = \frac{d-D}{2}$ </p>
<p>镗凸起部</p>  <p>机动进给： $T_0 = \frac{l+l_1}{f \cdot n}$ $l_1 = 0.5 \sim 2 \text{ mm}$ 手动进给： $T_0 = \frac{l}{f \cdot n}$ $a_p = \frac{d-D}{2}$ </p>	<p>铰圆柱孔</p>  <p> $T_0 = \frac{l+l_1+l_2}{f \cdot n}$ $a_p = \frac{D-d}{2}$ 铰闭孔时 $l_2 = 0$ </p>

扩及铰圆锥孔



$$T_0 = \frac{l+l_1}{f \cdot n}$$

$$l = \frac{D-d}{2 \tan \kappa_r}$$

主偏角 $\kappa_r = \text{圆锥角之半} \frac{\alpha}{2}$; $l_1 = 0.5 \sim 2 \text{ mm}$

或
$$T_0 = \frac{L_p}{f \cdot n}$$

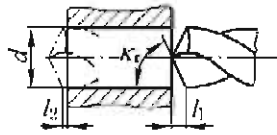
式中 L_p ——加工计算长度[mm](见表 5-8)

表 5-8 加工计算长度

圆锥度	圆锥体在直径上的加工余量 [mm]										
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	3.0
	行程的计算长度 L_p [mm]										
1:3	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	9.0
1:5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	15.0
1:7	1.4	2.8	4.2	5.6	7.0	8.4	9.8	11.2	14.0	18.0	21.0
1:10	2.26	4.5	6.8	9.0	11.5	13.0	15.0	18.0	20.0	22.0	34.0
1:15	3.0	6.0	9.0	12.0	15.0	18.0	21.0	24.0	27.0	30.0	45.0
1:20	4.0	8.0	12.0	16.0	20.0	24.0	28.0	32.0	36.0	40.0	60.0
1:30	6.0	12.0	18.0	24.0	30.0	36.0	42.0	48.0	54.0	60.0	90.0
1:50	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0	150.0

表 5-9 在实体材料上钻孔单刃磨钻头的切入及超出长度

[mm]



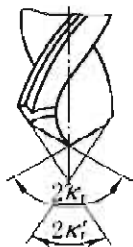
$$l_1 = \frac{d}{2} \cot \kappa_r$$

钻头直径 d	加工材料					超出长度 l_2
	硬橡胶、 赛璐珞	钢、铸铁、 硬青铜	紫 铜	黄铜、软青铜	铝、硬铝、轻质镁 基合金、硅铝合 金、巴氏合金	
	刀 刃 夹 角 $2\kappa_r$					
	90°	116°~118°	125°	130°	140°	
	切 入 长 度 l_1					
	$l_1 = 0.5d$	$l_1 = 0.31d$	$l_1 = 0.26d$	$l_1 = 0.23d$	$l_1 = 0.18d$	
2	1.0	0.62	0.52	0.46	0.36	0.5
3	1.5	0.93	0.78	0.69	0.54	0.5
4	2.0	1.2	1.0	0.92	0.72	1.0
5	2.5	1.5	1.3	1.2	0.90	1.0
6	3.0	1.9	1.6	1.4	1.1	1.0
8	4.0	2.5	2.1	1.8	1.4	1.0
10	5.0	3.1	2.6	2.3	1.8	1.5
12	6.0	3.7	3.1	2.8	2.2	1.5
14	7.0	4.3	3.6	3.2	2.5	1.5
16	8.0	5.0	4.2	3.7	2.9	1.5
18	9.0	5.6	4.7	4.1	3.2	2.0
20	10.0	6.2	5.2	4.6	3.6	2.0
22	11.0	6.8	5.7	5.1	4.0	2.0
24	12.0	7.4	6.2	5.5	4.3	2.0
26	13.0	8.1	6.8	6.0	4.7	2.0
28	14.0	8.7	7.3	6.4	5.0	2.5
30	15.0	9.3	7.8	6.9	5.4	2.5
32	16.0	10.0	8.3	7.4	5.8	2.5
34	17.0	10.6	8.8	7.8	6.1	2.5
36	18.0	11.2	9.3	8.3	6.5	2.5
38	19.0	11.8	9.9	8.7	6.8	3.0
40	20.0	12.4	10.4	9.2	7.2	3.0
45	22.5	14.0	11.7	10.3	8.1	3.0
50	25.0	15.5	13.0	11.5	9.0	3.0
55	27.5	17.0	14.5	12.7	9.9	3.0
60	30.0	18.6	15.6	13.8	10.8	3.0

注：1. 为了保证钻头不受拘束地进给接近加工表面，表内的加入长度 l_1 应该增加，对于 $d \leq 5$ mm 的钻头为 0.5 mm；对于 $d \leq 15$ mm 的钻头为 1 mm；对于 $d \leq 30$ mm 的钻头为 1.5 mm；对于 $d > 30$ mm 的钻头为 2 mm。

2. 钻盲孔的超出长度 $l_2 = 0$ 。

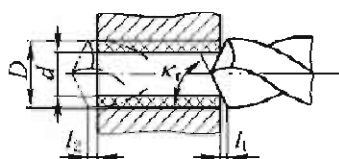
表 5-10 双重刃磨的钻头钻孔和扩孔的切入及超出长度



切入 l_1 (当 $2\kappa_r = 116^\circ$) 等于 $0.4D$ 或 $0.4(D-d)$ [mm],
超出 l_2 见表 5-9, 表 5-11

表 5-11 单刃磨钻头扩钻时的切入及超出长度

[mm]



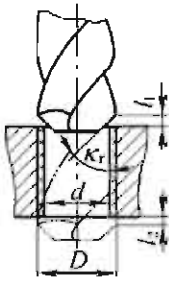
$$l_1 = \left(\frac{D-d}{2}\right) \cot \kappa_r$$

切削深度 $a_p = \frac{D-d}{2}$	加 工 材 料					超出长度 l_2
	硬橡胶、 赛璐珞	钢、铸铁、 硬青铜	紫 铜	黄铜、软青铜	铝、硬铝、轻质镁 基合金、硅铝合 金、巴氏合金	
	刀 刃 夹 角 $2\kappa_r$					
	90°	116°~118°	125°	130°	140°	
	切 入 长 度 l_1					
	$l_1 = a_p$	$l_1 = 0.61a_p$	$l_1 = 0.52a_p$	$l_1 = 0.47a_p$	$l_1 = 0.36a_p$	
2	2	1.2	1.04	0.94	0.72	1
3	3	1.8	1.6	1.4	1.1	1
4	4	2.4	2.1	1.9	1.4	1
5	5	3.1	2.6	2.3	1.8	2
6	6	3.6	3.1	2.8	2.2	2
8	8	4.9	4.2	3.8	2.9	2
10	10	6.1	5.2	4.7	3.6	2
12	12	7.3	6.2	5.6	4.3	2
14	14	8.5	7.3	6.6	5.0	3
16	16	9.7	8.3	7.5	5.8	3
18	18	11.0	9.4	8.5	6.5	3
20	20	12.2	10.4	9.4	7.2	3
25	25	15.4	13.0	11.7	9.0	3

注：1. 为了保证钻头不受拘束地进给接近加工表面，表内的切入长度 l_1 应该增加；对于 $D \leq 15$ mm 的钻头为 1 mm；对于 $D \leq 30$ mm 的钻头为 1.5 mm；对于 $D > 30$ mm 的钻头为 2 mm。
2. 钻盲孔的超出长度 $l_2 = 0$ 。

表 5-12 扩孔的切入及超出长度

[mm]



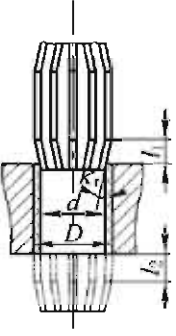
切削深度 $a_p = \frac{D-d}{2}$	切入长度 l_1			扩孔钻直径 D	超出长度 l_2
	主 偏 角 κ_r				
	45°	60°	75°		
1	1	0.58	0.27	12~16	1.5
1.5	1.5	0.87	0.40		
2.0	2.0	1.2	0.54		
2.5	2.5	1.4	0.67		
3.0	3.0	1.7	0.81		
4.0	4.0	2.3	1.1		

$l_1 = \left(\frac{D-d}{2}\right) \cot \kappa_r$

- 注：1. 为了保证扩孔钻不受拘束地进给接近加工表面，表内的切入长度 l_1 应该增加；对于 $D \leq 16$ mm 的扩孔钻为 0.5 mm；对于 $D = 17 \sim 35$ mm 的扩孔钻为 1 mm；对于 $D = 36 \sim 100$ mm 的扩孔钻为 2 mm。
 2. 加工盲孔的超出长度 $l_2 = 0$ 。
 3. 对于韧性金属(钢)建议 $\kappa_r = 60^\circ$ ；对于脆性金属(铸铁、青铜) $\kappa_r = 45^\circ \sim 60^\circ$ ；对于硬质合金扩孔钻 $\kappa_r = 60^\circ \sim 75^\circ$ 。

表 5-13 铰孔的切入及超出长度

[mm]



切削深度 $a_p = \frac{D-d}{2}$	切入长度 l_1					铰刀直径 D	超出长度 l_2
	主 偏 角 κ_r						
	3°	5°	12°	15°	45°		
0.05	0.95	0.57	0.24	0.19	0.05	≤ 6	13
0.10	1.9	1.1	0.47	0.37	0.10	7~10	15
0.125	2.4	1.4	0.59	0.48	0.125	11~16	18
0.15	2.9	1.7	0.71	0.56	0.15	17~20	22
0.20	3.8	2.4	0.95	0.75	0.20	21~35	28
0.25	4.8	2.9	1.2	0.92	0.25	36~60	39
0.30	5.7	3.4	1.4	1.1	0.30	61~80	45

$l_1 = \left(\frac{D-d}{2}\right) \cot \kappa_r$

- 注：1. 为了保证铰刀不受拘束地进给接近加工表面，表内的切入长度 l_1 应该增加；对于 $D \leq 16$ mm 的铰刀为 0.5 mm；对于 $D = 17 \sim 35$ mm 的铰刀为 1 mm；对于 $D = 36 \sim 80$ mm 的铰刀为 2 mm。
 2. 加工盲孔的超出长度 $l_2 = 0$ 。
 3. 对于脆性及硬金属建议 $\kappa_r = 3^\circ \sim 5^\circ$ ；对于韧性金属 $\kappa_r = 12^\circ \sim 15^\circ$ ；对于闭孔 $\kappa_r = 45^\circ$ ；对于镶硬质合金的铰刀 $\kappa_r = 30^\circ \sim 45^\circ$ 。

表 5-14 与清除切屑有关的钻头退出及引入的次数

加工材料	钻头直径 [mm]	钻 孔 长 度 [mm]																
		6	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150	175	200
钢 ($\sigma_b \leq 441$ MPa) 铝	2	1	2	4	7													
	3		1	2	3	5	7											
	4			1	2	3	4	7										
	5			1	1	2	3	5	7									
	8					1	1	2	3	4	5	7						
	10						1	1	2	3	3	5	6	7				
	12							1	1	2	2	3	4	5	7			
	15								1	1	2	2	3	3	5	7		

铣削工作

铣削加工计算(表 5-15)常用符号:

T_0 ——机动时间[min];

L ——工作台的行程长度[mm]

$$L = l + l_1 + l_2 + l_3$$

l ——加工长度[mm];

l_1 ——切入长度[mm](见表 5-16~5-21);

l_2 ——超出长度[mm](见表 5-16~5-21);

l_3 ——附加长度[mm],单件小批量生产条件下的试刀长度(见表 5-6);

f_M ——工作台的每分钟进给量[mm/min]

$$f_M = f_z \cdot z \cdot n$$

f ——铣刀的每转进给量[mm/r]

$$f = f_z \cdot z$$

f_z ——铣刀每齿的进给量[mm];

z ——铣刀齿数;

n ——铣刀每分钟的转数[r/min];

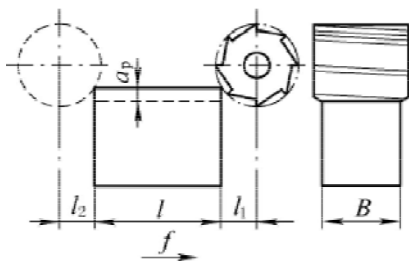
a_p ——切削深度[mm];

B ——铣削宽度[mm];

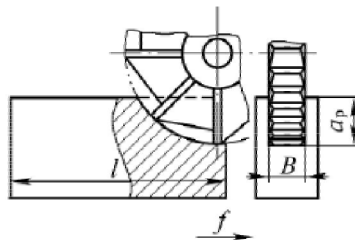
i ——行程次数。

表 5-15 铣削加工计算

圆柱形铣刀铣平面

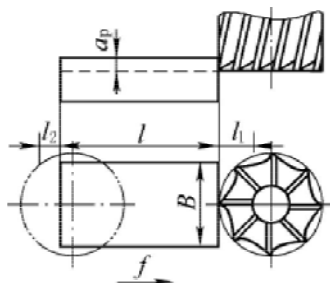


三面刃铣刀铣槽



$$T_0 = \frac{l + l_1 + l_2}{f_M} i$$

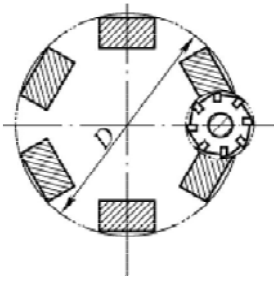
面铣刀铣平面



$$T_0 = \frac{l + l_1 + l_2}{f_M} i$$

表 5-15 续

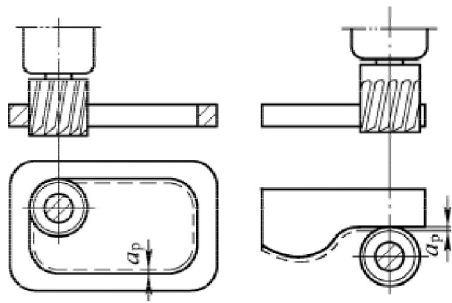
圆形铣切(在连续动作的机床上)



$$T_0 = \frac{L}{f_M}$$

式中 $L = \pi D$ ——铣切长度(在圆弧上的)[mm];
 D ——在被铣切表面的圆周上测量的直径[mm]

按轮廓或仿形铣削



$$T_0 = \frac{l + l_1 + l_2}{f_M} \cdot i$$

式中 l ——铣削轮廓的实际长度[mm];
 $l_1 = a_p + (0.5 \sim 2)$ [mm];
 $l_2 = 0$ ——封闭轮廓铣切;
 $l_2 = 1 \sim 3$ mm ——非封闭轮廓铣切

铣 键 槽

常用符号:

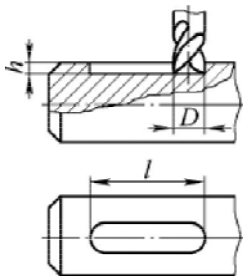
f_{MC} ——垂直进给量[mm/min];
 h ——键槽深度[mm];
 f_{MZ} ——纵向进给量[mm/min];
 l ——键槽的总长[mm];
 D ——铣刀直径[mm];

i ——双行程或单行程数,

$$i = \frac{h}{a_p}$$

a_p ——每双行程的键槽铣切深度(切削深度)[mm]

两端闭口的键槽



一次进给铣切

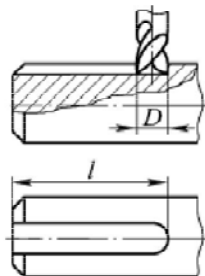
$$T_0 = \frac{h + l_1}{f_{MC}} + \frac{l - D}{f_{MZ}}$$

$l_1 = 0.5 \sim 1$ mm

多次进给铣切

$$T_0 = \frac{l - D}{f_{MZ}} \cdot i$$

一端闭口的键槽



一次进给铣切

$$T_0 = \frac{l + l_1}{f_{MZ}}$$

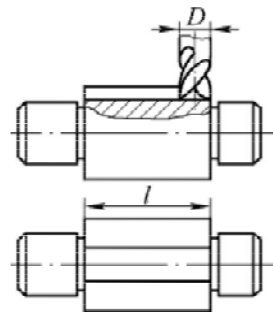
$l_1 = 0.5 \sim 1$ mm

多次进给铣切

$$T_0 = \frac{l + l_1}{f_{MZ}} \cdot i$$

$l_1 = 0.5 \sim 1$ mm

两端开口的键槽



一次进给铣切

$$T_0 = \frac{l + l_1 + l_2}{f_{MZ}}$$

$l_1 = 0.5D + (0.5 \sim 1)$ [mm]

$l_2 = 1 \sim 2$ mm

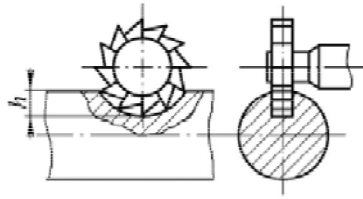
多次进给铣切

$$T_0 = \frac{l + l_1 + l_2}{f_{MZ}} \cdot i$$

$l_1 = 0.5D + (0.5 \sim 1)$ [mm]

$l_2 = 1 \sim 2$ mm

铣半圆键槽



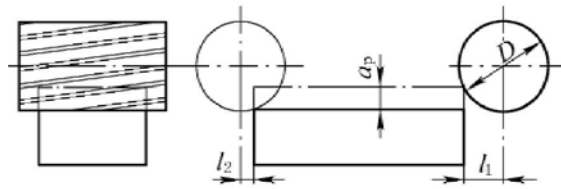
$$T_0 = \frac{l + l_1}{f_{MC}}$$

$l = h$ (键槽深度)[mm];

$l_1 = 0.5 \sim 1 \text{ mm}$

表 5-16 圆柱形铣刀、三面刃铣刀、槽铣刀及样板铣刀的切入及超出长度 [mm]

[mm]



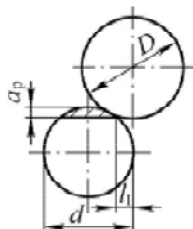
$$l_1 = \sqrt{a_p(D - a_p)}$$

切削深度 a_p	铣 刀 直 径 D														
	35	40	45	50	60	75	90	110	130	150	175	200	225	250	300
	切 入 长 度 l_1														
0.5	4.2	4.5	4.8	5	5.5	6.1	6.7	7.4	8.1	8.6	9.3	10	10.7	11.2	12.2
1	5.9	6.3	6.7	7	7.7	8.6	9.4	10.5	11.4	12.2	13.4	14.1	15	15.7	17.3
2	8.0	8.7	9.3	9.8	10.3	12	13.3	14.7	16	17.2	18.5	19.9	21.2	22.2	24.4
3	9.8	10.5	11.3	11.8	13	14.7	16.2	17.9	19.5	21	22.8	24.3	25.8	27.3	29.8
4	11.2	12	12.9	13.6	15	17	18.6	20.6	22.5	24.2	25.9	28	29.8	31.4	34.5
5	12.3	13	14	15	16.6	18.7	20.6	22.9	25	26.9	28.9	31.2	34.2	35	38.4
6			15.3	16.3	18	20.4	22.5	25	27.3	29.4	32	34.2	36.6	38.2	42
7				17.3	19	21.8	24	26.9	29.4	31.6	34.2	36.8	39.2	41.3	45.5
8				18.3	20.4	23.2	25.6	28.6	31.3	33.7	36.9	39.2	41.5	44	48.2
10				20	22.3	25.5	28.3	31.6	34.6	37.4	40.8	43.6	46.3	49	54
12					25.2	27.5	30.6	34.2	37.7	40.7	44	47.7	50.5	51.2	59
15						30	33.5	37.8	41.6	45	49	52.6	56	59.5	65.4
20							37.4	42.4	47	51	55.9	60	64	67.8	75
25								46	51	55	61	66	70.6	75	84.5
超出长度 l_2	2	2	2	2	2.5	2.5	3	3	3	4	4	4	4	5	5

注：1. 为了保证铣刀不受拘束地进给接近加工表面，切入长度的计算应增加 0.5~3 mm(随切削深度而定)。
2. 当用三面刃铣刀侧面精铣时，切入、超出长度之和等于 $2l_1 + l_2$ 。

表 5-17 圆柱形铣刀、三面刃铣刀铣削圆形表面的切入及超出长度

[mm]



$$l_1 = \sqrt{a_p(d - a_p) + Da_p} - \sqrt{a_p(d - a_p)}$$

工件直径 <i>d</i>	切削深度 <i>a_p</i>	铣 刀 直 径 <i>D</i>								
		40	50	60	75	110	130	150	175	200
		切 入 长 度 <i>l₁</i>								
20	3	5.9	7.1	8.1	8.5	11.6				
	5	7.9	9.3	10.7	12.5	15.3	18.8			
	7		11.5	13.1	15.3	18.6	22.1			
	10		12.5	16.5	19.2	23	27			
30	3	5.2	6.2	7.2	8.5	10.5				
	5	6.8	8.2	9.4	11.2	13.8	16.2			
	7		9.9	11.4	13.5	16.6	18.7			
	10		12.4	14.2	16.7	21	24			
40	15		16.2	19	22	27	31			
	3		5.7	6.5	7.8	9.8				
	5		7.4	8.6	10.3	12.8	15.1			
	7			10.3	12.8	15.3	16.8	20		
50	10			12.7	15.7	18.7	22	25		
	15					24	28	31		
	20					29	34	39		
	25									
60	3			6.1	8.3	9.2	10.3			
	5			7.9	9.5	11.9	14.2	16.2		
	7				11.4	14.7	16.7	20	22	
	10					18	21	24	26	
	15					22	26	30	33	
	20					27	32	36	40	
70	25					31	36	41	46	
	5									
	7					11.5	13.5	15.4	17.4	
	10						16.7	17.7	21	23
	15							23	25	28
	20							28	32	34
超出长度 <i>l₂</i>	25							38	41	
	30							43	47	
	35							48	53	
	5						12.8	15	23	
	10						18.5	21	30	33
	15							26	35	39
20							31	40	44	
25								45	50	
30								51	56	
35										

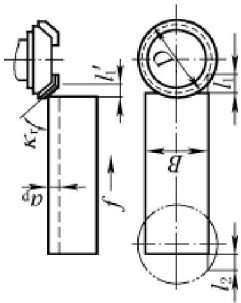
注：为了保证铣刀不受约束地进给接近加工表面，切入长度的计算应增加 0.5~3 mm(随切削深度而定)。

表 5-18 面铣刀对称铣削的切入及超出长度

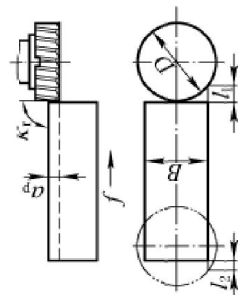
[mm]

$$l_1' = \frac{l}{\tan \kappa_r};$$

$$l_1 = 0.5(D - \sqrt{D^2 - B^2}) + \frac{a_p}{\tan \kappa_r}$$



$$l_1 = 0.5(D - \sqrt{D^2 - B^2})$$

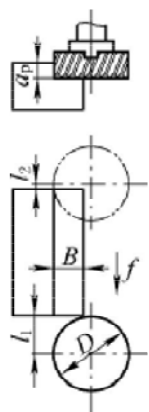


铣削宽度 B	铣 刀 直 径 D																							
	16	20	30	35	40	45	50	60	75	90	110	130	150	175	200	225	250	300	350	400	450	500	600	
8	1.1	0.8																						
10	1.8	1.4	1																					
15		3.5	2	1.8	1.5	1.3	1.2	1	1.4	1	1.5	1.1	1.1	1	1.2									
20			3.8	3.2	2.7	2.3	2.1	1.7	2.2	2	3.3	1.7	1.5	1.2	2									
25			6.7	5.7	4.4	3.8	3.4	2.8	3.3	3	5.8	3.2	2.8	2.2	3									
30				8.5	6.8	6.2	5	4	4.5	4	7.5	5	4.3	3.5	4									
40					6.8	12.2	10	7.5	9.5	6	13.4	7.3	6.8	5.5	4.8	2.5								
50								7.5	15	9		9.5	8.2	7.5	4	3.5								
60								13.4	25	17	13.5	11.5	9.5	8.2	7.5	6.5	5.5							
80										32	23.5	19.5	15.5	13.2	11.5	10.5	8.5	5.5						
100											40	30	23.7	20	17	15.5	12.5	8.5	7	6				
120												66	35	28.5	24.5	21.5	17.5	12.5	10.5	9				
140													51	40	33.5	29	23	17.5	15	12.5				
160														100	60.5	50	33	23	19.5	16	15			
180															112.5	70.5	52	30	25	21	18			
200																125	67	46	31	27	23	21	17	
225																	150	52	35	31	27	23	21	
250																		67	46	35	30	27	22	
300																		150	52	44	37.6	34	28	
350																			67.5	57	50	40	34	
400																			85	84	71	56	40	
450																			175	104	84	71	56	
500																				200	116	100	77	
600																					225	141	102	
超出长度 l ₂	1						2				3					4				5		6		

- 注: 1. 表内切入长度 l_1 用于 $\kappa_r = 90^\circ$ 的面铣刀加工。
 2. 当用 $\kappa_r < 90^\circ$ 的面铣刀加工时, 表内数值应再加上表 5-3 的数值(随 a_p 和 κ_r 来决定)。
 3. 为了保证铣刀不受拘束地进给接近加工表面, 切入长度的计算应增加 0.5~3 mm(随切削深度而定)。
 4. 当要求提高加工表面粗糙度时, 切入、超出长度之和等于铣刀直径 + l_2 。

表 5-19 面铣刀不对称铣削的切入及超出长度(1)

[mm]



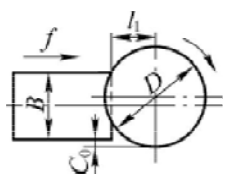
$$l_1 = \sqrt{B(D-B)}$$

铣刀直径 D	铣削平面的宽度 B														超出长度 l ₂	
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100		
	切入长度 l ₁															
40	17.3	19.4														1.5
50	20	23	24.5													2
60	22.3	26	28.3	29.8												2
75		30	33.2	35.4	36.7	37.5										2
90			37.4	39.6	42.5	44										3
110				46	49	51.2	53	54								3
130				51.2	54.8	57.6	60	62	63.4							3
150				56	60	63.4	66.4	68.9	70.7	73.5						3
175					65.9	70	73.5	76.5	79	83	85.8					4
200					71.5	76	80	83.5	87.6	91.6	95.5	98				4
225						81.6	86	90	93.6	99.5	104	108	110	112		4

注：为了保证铣刀不受拘束地进给接近加工表面，切入长度的计算应增加 0.5~3 mm(随切削深度而定)。

表 5-20 面铣刀不对称铣削的切入及超出长度(2)

[mm]



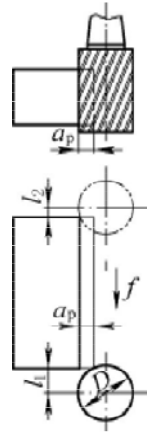
$$l_1 = \sqrt{(B+C_0)(D-B-C_0)}$$

C ₀	铣刀直径 D											
	75	80	90	110	130	150	200	250	300	320	350	400
	切入及超出长度 l ₁ + l ₂											
0.03D	28	29	33	39	47	53	70	87	104	110	120	137
0.05D	24	25	28	34	40	46	60	74	89	95	103	117

注：当精铣时切入、超出长度之和等于铣刀直径 + l₂。

表 5-21 立铣刀切入及超出长度

[mm]



$$l_1 = \sqrt{a_p(D - a_p)}$$

铣刀 直径 D	切 削 深 度 a_p										超出 长度 l_2	
	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	10		
	切 入 长 度 l_1											
3	1.1	1.4										0.5
4	1.3	1.7										0.5
6	1.7	2.2	2.8									0.5
8	1.9	2.6	3.5	3.9								1
10	2.2	3	4	4.6								1
12	2.4	3.4	4.5	5.2	5.7							1
14	2.6	3.6	4.9	5.8	6.3	7.1						1
16	2.8	3.9	5.3	6.3	6.9	7.4	7.8					1
18	3	4.1	5.7	6.7	7.5	8.1	8.5					1
20	3.1	4.4	6	7.2	8	8.7	9.2					1.5
22	3.3	4.6	6.3	7.5	8.5	9.2	9.8	10.5				1.5
25	3.5	4.9	6.8	8.2	9.2	10	10.7	11.2				1.5
28	3.7	5.2	7.2	8.7	9.8	10.7	11.5	12.1	12.6			1.5
30	3.8	5.4	7.5	9	10.2	11.2	12	12.7	13.3			2
35	4.2	5.9	8	9.8	11.2	12.3	13.4	14	14.7	15.8		2
40	4.5	6.3	8.7	10.5	12	13	14.3	15	16	17.3		2
45	4.8	6.7	9.3	11.3	12.9	14	15.3	16.3	17.2	18.7		2
50	5	7	9.8	11.8	13.6	15	16.3	17.3	18.3	20		2

注：为了保证铣刀不受拘束地进给接近加工表面，切入长度的计算应增加 0.5~2 mm(随切削深度而定)。

螺 纹 加 工

螺纹加工计算(表 5-22)常用符号：

T_0 ——机动时间[min];

l ——切削长度[mm];

d ——螺纹直径[mm];

n ——刀具或工件转速[r/min];

f ——工件每转进给量[mm/r],等于工件螺纹的螺距;

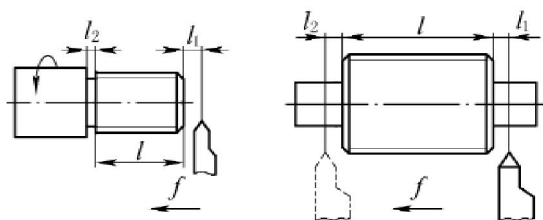
g ——螺纹的线数;

l_1 ——刀具切入长度[mm];

l_2 ——刀具超出长度[mm].

表 5-22 螺纹加工计算

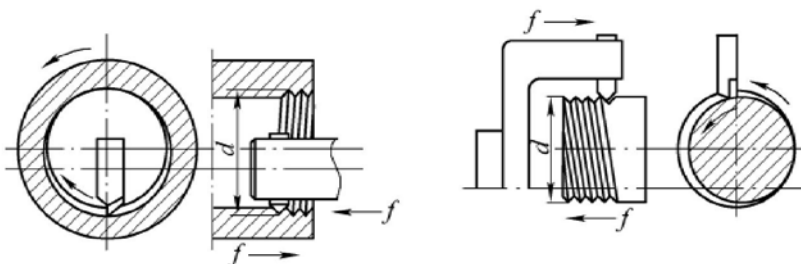
在车床上用车刀车螺纹



$$T_0 = \frac{l + l_1 + l_2}{f \cdot n} i g$$

式中 i ——进给次数；
 l_1 ——通切螺纹 2~3 螺距，不通切螺纹 1~2 螺距[mm]；
 l_2 ——超出长度见表 5-3

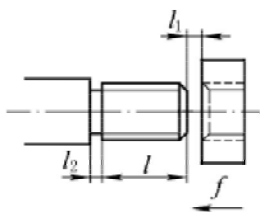
用旋风切削头切削螺纹



$$T_0 = \frac{l + l_1 + l_2}{f \cdot n} i, n = \frac{f \cdot n_{刀} \cdot z}{\pi \cdot d}$$

式中 f ——旋风切削头或工件在刀具每转时的进给量[mm/r]；
 $n_{刀}$ ——刀具转速[r/min]；
 z ——在旋风切削头内的切刀数；
 l_1 ——1~2 螺距[mm]；
 l_2 ——0.5~2 螺距[mm]

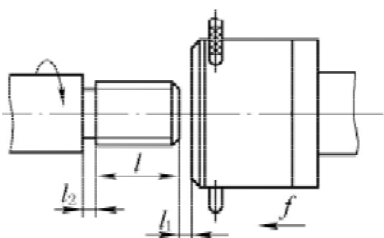
用板牙铰螺纹



$$T_0 = \left(\frac{l + l_1 + l_2}{f \cdot n} + \frac{l + l_1 + l_2}{f \cdot n_1} \right) i$$

式中 l_1 ——1~3 螺距[mm]；
 l_2 ——0.5~2 螺距[mm]；
 n_1 ——工件回程转速[r/min]；
 i ——所用板牙的数量

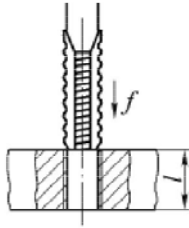
用自动张开的铰板切削螺纹



$$T_0 = \frac{l + l_1 + l_2}{f \cdot n}$$

式中 l_1 ——1~3 螺距[mm]；
 l_2 ——0.5~2 螺距[mm]

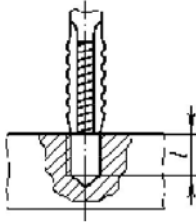
用丝锥攻通孔螺纹



$$T_0 = \left(\frac{l + l_1 + l_2}{f \cdot n} + \frac{l + l_1 + l_2}{f \cdot n_1} \right) i$$

式中 l_1 ——1~3 螺距[mm];
 l_2 ——2~3 螺距[mm];
 n_1 ——丝锥或工件回程转速[r/min];
 i ——所用丝锥的数量

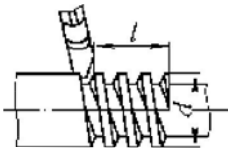
用丝锥攻盲孔螺纹



$$T_0 = \left(\frac{l + l_1}{f \cdot n} + \frac{l + l_1}{f \cdot n_1} \right) i$$

式中 l_1 ——1~3 螺距[mm];
 n_1 ——丝锥或工件回程转速[r/min];
 i ——所用丝锥的数量

用盘铣刀铣螺纹



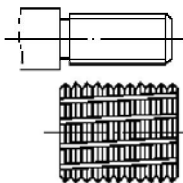
$$T_0 = \frac{l + l_1 + l_2}{f} \cdot \frac{\pi \cdot d}{f_M \cdot \cos \alpha} i \cdot g$$

式中 l_1 ——1~3 螺距[mm];
 l_2 ——0.5~2 螺距[mm];当用定位器时 $l_2 = 0$;
 f_M ——螺纹铣刀沿螺纹展开线的进给量[mm/min],

$$f_M = f_z \cdot z \cdot n_\phi$$

f_z ——螺纹铣刀每齿的进给量[mm/z];
 z ——螺纹铣刀齿数;
 n_ϕ ——螺纹铣刀转速[r/min];
 α ——螺纹的螺旋角[°];
 i ——铣切次数

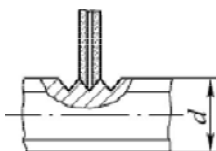
成组铣刀铣螺纹



$$T_0 = \frac{1.2 \pi \cdot d}{f_M}$$

式中 1.2——考虑切入的铣切系数;
 f_M ——工件每分钟的进给量[mm/min]

用单线砂轮磨螺纹

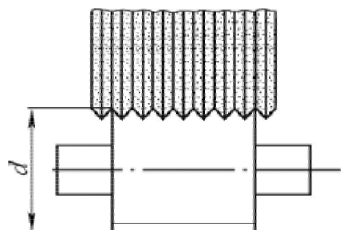


$$T_0 = \frac{l + l_1 + l_2}{f \cdot n} i = \frac{l + l_1 + l_2}{f \cdot n} \left(\frac{h}{l} + m \right)$$

式中 l_1 ——1~3 螺距[mm];
 l_2 ——当磨通螺纹时为 1~3 螺距[mm],当用定位器磨削时为 0;
 n ——工件转速[r/min];
 i —— $i = \frac{h}{f_r} + m$;
 h ——螺纹中径的磨削余量[mm];
 f_r ——径向进给量[mm];
 m ——停止径向进给后的行程次数,当粗磨时 $m = 0$,精磨时 $m = 1 \sim 2$

表 5-22 续

用多线砂轮磨螺纹



$$T_0 = \frac{\pi \cdot d}{v \cdot 1000} \cdot n$$

式中 v ——工件周速[m/min];
 n ——在磨削螺纹时间内工作的转数
 (与螺距有关), $n = 1 \sim 4$

齿 轮 加 工

齿轮加工计算(表 5-23)常用符号:

- | | |
|--------------------------------|----------------------------------------|
| T_0 ——机动时间[min]; | z ——齿轮的齿数; |
| B ——齿轮的宽度[mm]; | f_M ——进给量[mm/min]; |
| β ——螺旋线的螺旋角[$^\circ$]; | n ——铣刀转速[r/min]; |
| m ——齿轮模数[mm]; | q ——滚刀线数; |
| h ——齿的高度[mm]; | i ——行程次数 |

表 5-23 齿轮加工计算

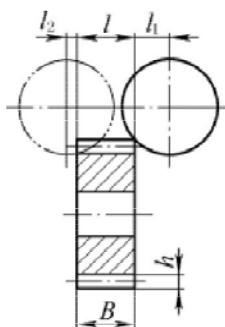
用模数盘形铣刀铣削圆柱齿轮

直齿轮:

$$T_0 = \frac{(B + l_1 + l_2)z \cdot i}{f_M}$$

交叉轴斜齿轮:

$$T_0 = \frac{\left(\frac{B}{\cos \beta} + l_1 + l_2\right)z \cdot i}{f_M}$$



式中 l_1 ——切入长度[mm](见表 5-25);
 l_2 ——超出长度[mm](见表 5-25)。

注: 当同时切削两个或更多的齿轮时, B 必须相当于所有齿轮宽度之和, 但求出的时间须除以同时被加工零件的数量

用滚刀滚圆柱齿轮

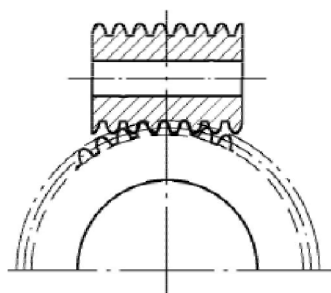
直齿轮:

$$T_0 = \frac{(B + l_1 + l_2)z}{q \cdot n \cdot f}$$

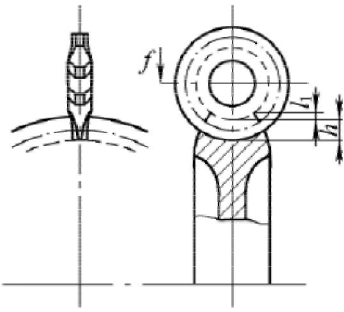
交叉轴斜齿轮:

$$T_0 = \frac{\left(\frac{B}{\cos \beta} + l_1 + l_2\right)z}{q \cdot n \cdot f}$$

式中 l_1 ——切入长度[mm](见表 5-26);
 l_2 ——超出长度[mm](见表 5-26);
 f ——工件每转进给量[mm/r]



用模数盘铣刀铣蜗轮

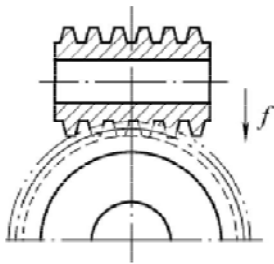


$$T_0 = \frac{(h + l_1)z}{f_M}$$

式中 h —— $2.2m$ [mm];

l_1 ——切入长度, $l_1 = 0.55m$ [mm]

用滚刀径向进给法滚蜗轮



$$T_0 = \frac{(h + l_1 + l_2)z}{q \cdot n \cdot f_r} = \frac{(2.2m + 0.55m + 0.25m)z}{q \cdot n \cdot f_r} = \frac{3m \cdot z}{q \cdot n \cdot f_r}$$

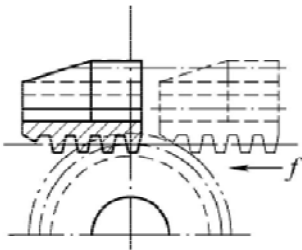
式中 h —— $2.2m$ [mm];

l_1 ——切入长度, $l_1 = 0.55m$ [mm];

l_2 —— $0.25m$ [mm];

f_r ——工件每转的径向进给量[mm]

用滚刀切线进给法滚蜗轮



$$T_0 = \frac{L \cdot z}{q \cdot n \cdot f_q}$$

式中 L ——滚刀在切线方向移动的总长[mm];

$$L \approx 2.94m\sqrt{z}$$

f_q ——工件每转的切向进给量[mm]

用圆盘插齿刀插圆柱齿轮

$$T_0 = \frac{h}{f_r \cdot n} + \frac{\pi \cdot d \cdot i}{f_s \cdot n}$$

式中 h ——齿轮齿的总高[mm]或加工余量;

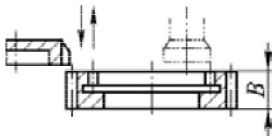
d ——工件的分度圆直径[mm];

i ——滚切次数;

f_r ——插齿刀每双行程的径向进给量[mm];

f_s ——每双行程的圆周进给量[mm];

n ——插齿刀每分钟双行程数;



$$n = \frac{1000 \cdot v}{2L}$$

v ——切削速度[m/min];

L ——插齿刀行程长度[mm];

$$L = B + l_4 + l_5$$

$l_4 + l_5$ ——插齿刀的切入和超出长度[mm](见表 5-27)

表 5-23 续

用梳形插齿刀插圆柱齿轮

$$T_0 = \pi \cdot m \cdot z_1 \left(\frac{1}{n \cdot f} + \frac{1}{f_M} \right) + 0.012 \cdot z_1$$

式中 z_1 ——计算齿数=工件的齿数+增加齿数(见表 5-24);

$$n = \frac{1000 \cdot v}{2L}, L = B + l_4 + l_5$$

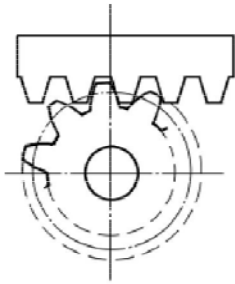
l_4 及 l_5 ——梳刀双面超出长度[mm](见表 5-27);

v ——插齿刀插削速度[m/min];

f ——每双行程的圆周进给量[mm];

f_M ——齿轮返回移动的速度[mm/min];

0.012——双行程转换的时间[min]



在刨齿机上刨锥齿轮

$$T_0 = t \cdot z \cdot i$$

式中 t ——每齿的刨削时间;

$$n_M = \frac{1000 \cdot v}{2 \cdot L}$$

$$t = \frac{n_z}{n_M}$$

L ——刀具的行程长度[mm];

$$L = l + l_4 + l_5;$$

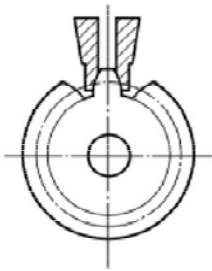
i ——进给次数;

n_z ——加工一个齿时的双行程数;

l ——齿长[mm];

n_M ——每分钟的双行程数;

$l_4 + l_5$ ——双面超出长度[mm](见表 5-28)



用盘形剃齿刀剃齿

$$T_0 = \frac{(B + l_1 + l_2)z}{f \cdot n \cdot z_1} \cdot \frac{a_p}{f_r}$$

式中 B ——齿长[mm];

l_1 ——切入长度[mm];

l_2 ——超出长度[mm];

$$l_1 + l_2 = 10 \text{ mm}$$

f ——工件每转工作台的纵向进给量[mm/r];

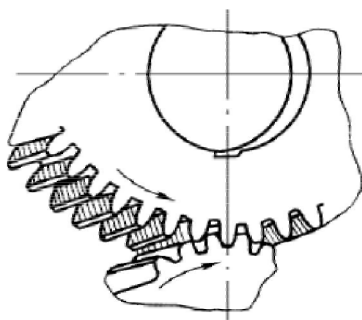
a_p ——每面剃削余量[mm];

n ——剃齿刀转速[r/min];

z ——工件齿数;

z_1 ——剃齿刀齿数;

f_r ——径向进给量[mm/r]



用双砂轮范成法磨齿(YA7063 类磨齿机)

$$T_0 = z \left[\frac{L}{n_0} \left(\frac{i_1}{f_1} + \frac{2i_2}{f_2} + \frac{2i_3}{f_3} \right) + i_1 \tau_1 + 2i_2 \tau_2 + 2i_3 \tau_3 \right]$$

式中 L ——工作台行程长度;

i_2 ——半精行程数;

$$L = l + 2\sqrt{h(D-h)} + 10$$

i_3 ——精行程数;

l ——齿长[mm];

f_1 ——每次范成的纵向进给量(粗行程)[mm];

h ——齿高[mm];

f_2 ——每次范成的纵向进给量(半精行程)[mm];

D ——磨轮直径[mm];

f_3 ——每次范成的纵向进给量(精行程)[mm];

z ——工件齿数;

τ_1 ——粗磨分度转换的时间[min];

n_0 ——每分钟范成次数;

τ_2 、 τ_3 ——半精磨及精磨分度转换的时间[min](见表 5-29)

i_1 ——粗行程数;

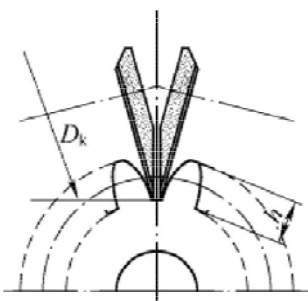
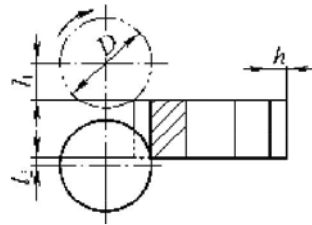


表 5-24 在插齿机上用梳形插齿刀加工时的计算齿数

工件的齿数	7~11	12~18	19~26	27~36	37~48	49~80	81~120	121~172	173~220
增加齿数	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0

表 5-25 用盘形模数铣刀铣圆柱齿轮的切入及超出长度

[mm]

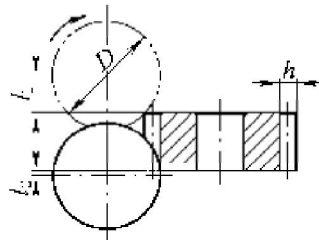


模数 m	铣刀直径	齿的全高 h	第一行程		第二行程		第三行程		超出长度 l_2
			切削深度	切入长度 l_1	切削深度	切入长度 l_1	切削深度	切入长度 l_1	
1	50	2.2	2.2	10.3					2.0
1.5	55	3.3	3.3	13.1					2.5
2	60	4.4	4.4	15.7					2.5
2.5	65	5.5	5.5	18.1					2.5
3	70	6.6	6.6	20.4					2.5
3.5	75	7.7	7.7	22.7					2.5
4	80	8.8	8.8	25.0					3.0
5	90	11.0	11.0	29.5					3.0
6	100	13.2	13.2	33.8					3.0
7	105	15.4	13.0	34.6	2.4	15.7			3.0
8	110	17.6	13.0	35.6	4.6	24.2			3.0
9	115	19.8	13.0	36.5	6.8	27.2			3.5
10	120	22.0	13.0	37.3	9.0	31.7			3.5
11	135	24.2	13.0	39.8	11.2	37.2			3.5
12	145	26.4	13.0	41.4	12.4	42.0			3.5
13	155	28.6	13.0	43.0	13.0	43.0	2.6	19.9	4.0
14	160	30.8	13.0	43.6	13.0	43.6	4.8	27.3	4.0
15	165	33.0	13.0	44.5	13.0	44.5	7.0	33.2	4.0
16	170	35.2	13.0	45.2	13.0	45.2	9.2	38.6	4.0

注：切入长度须根据切削深度增加 1~3 mm，以保证铣刀对工件表面的自由活动。

表 5-26 用滚刀滚齿时的切入及超出长度

[mm]



$$l_1 = \sqrt{h(D-h)}$$

一 次 行 程 滚 削

齿 轮 形 状		模 数 m									
		1.0	1.5	2.0	2.5	3	4	5	6	7	8
		滚 刀 直 径 D									
		50	55	55	65	70	80	90	105	115	115
		切 入 及 超 出 长 度 $l_1 + l_2$									
直 齿		12.2	15.0	16.9	20.0	22.4	26.8	31.8	37.1	41.3	43.8
螺旋齿	15°	12.6	15.4	17.3	20.5	23.4	27.9	32.7	37.9	42.1	44.5
	30°	13.7	16.8	18.8	22.4	25.5	30.3	35.5	41.1	46.2	48.7
	45°	16.6	20.4	22.8	27.0	30.0	36.2	42.2	49.0	54.3	57.5

二 次 行 程 滚 削

齿 轮 形 状		行 程 序 号	模 数 m									
			6	7	8	9	10	11	12	13	14	16
			滚 刀 直 径 D									
			105	115	115	140	150	155	165	175	180	195
			切 入 及 超 出 长 度 $l_1 + l_2$									
直 齿		1	30.6	34.6	36.7	42.8	46.8	49.8	53.3	56.7	59.4	65.4
		2	23.6	26.4	28.4	33.0	36.2	38.4	41.3	43.8	46.2	50.8
螺旋齿	15°	1	31.2	34.6	37.3	43.5	47.1	50.7	54.2	57.6	60.2	66.2
		2	24.0	26.9	28.9	33.5	36.8	39.0	42.0	44.5	46.8	51.6
	30°	1	35.0	38.1	41.0	47.8	51.5	54.8	58.5	62.2	65.0	71.2
		2	27.0	29.5	31.7	36.8	39.8	42.2	45.3	48.0	50.5	55.4
	45°	1	41.0	45.3	48.2	56.0	60.5	64.0	68.7	73.0	76.0	83.5
		2	31.7	35.2	37.3	43.2	46.5	49.2	53.0	56.0	59.0	65.0

注：1. 当一次行程时， $h = 2.17m$ ；当采用二次行程时，第一次 $h = 1.4m$ ，第二次 $h = 0.77m$ 。
 2. 本表数值已包括滚刀与工件表面的自由活动的切入及超出长度。

表 5-27 插齿机的切入及超出长度

[mm]

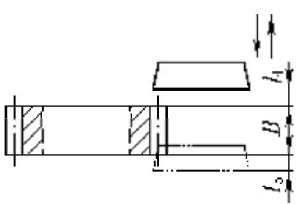
	齿 轮 模 数 m	齿 轮 形 状		
		直 齿	斜 齿	
			15°	30°
		$l_4 + l_5$		
≤ 2	5	5	6	
3	5	6	7	
4	5	7	8	
5	5	8	10	
6	6	8	10	
8	6	10	12	

表 5-28 刨齿机的切入及超出长度

[mm]

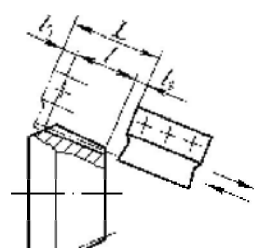
	齿 轮 模 数 m	$l_4 + l_5$
	≤ 5	
$> 5 \sim 10$		15
$> 10 \sim 15$		20
$> 15 \sim 20$		25

表 5-29 半精磨及精磨分度转换的时间

(双砂轮范成法磨齿)

磨 轮 直 径 D [mm]	τ_2 [min]	τ_3 [min]
280	0.03	0.02
220	0.02	0.015

用锥形砂轮范成法磨齿(Y7132类磨齿机)

$$T_0 = \left[\frac{2L}{n} \left(\frac{i_1}{f_{B1}} + \frac{1}{f_{B2}} + \frac{1}{f_{B3}} \right) + 2\tau_2(i+2) \right] z$$

式中 L ——工作行程长度[mm](见表 5-31); f_{B2} ——每一双行程横向进给量(半精磨)[mm];
 i_1 ——粗行程次数; f_{B3} ——每一双行程横向进给量(精磨)[mm];
 n ——磨头每分钟双行程数; τ_2 ——分度转换的时间[min](见表 5-30)
 f_{B1} ——每一双行程横向进给量(粗磨)[mm];

表 5-30 分度转换时间

(锥形砂轮磨齿)

模 数 m [mm]	压 力 角 $\alpha = 20^\circ$				
	齿 轮 分 度 圆 直 径 [mm]				
	100	150	200	250	300
	分 度 转 换 时 间 τ_2 [min]				
2	0.01	0.01	0.05	0.06	0.06
3	0.04	0.045	0.055	0.06	0.07
4	0.04	0.045	0.06	0.07	0.075
5	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08
6	0.04	0.05	0.06	0.075	0.08
7	0.04	0.05	0.065	0.08	0.085
8	0.045	0.055	0.07	0.08	0.09

表 5-31 工作行程长度
(锥形砂轮磨齿)

[mm]

		压 力 角 $\alpha = 20^\circ$												
齿 数 z	模 数 m													
	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	6	7	8	9	10	11	12
	工 作 行 程 长 度													
13	22	27	32	38	43	49	54	65	76	86	97	108	119	130
16	22	27	33	38	44	50	55	66	77	88	99	110	121	132
20	22	28	33	39	44	50	55	66	78	89	100	111	122	133
25	23	28	34	40	45	51	56	68	79	90	102	113	124	136
32	23	29	34	41	46	52	58	68	81	93	104	116	127	139
40	23	29	35	41	47	53	58	70	82	94	105	117	129	141
50	24	30	36	41	47	53	59	71	83	95	106	118	130	142
60	24	30	36	42	48	54	60	71	84	96	107	119	131	143
80	24	30	36	43	48	55	60	72	85	97	109	121	133	145
100	25	31	37	43	50	55	61	73	86	98	110	123	135	147

拉 削 工 作

表 5-32 拉削工作计算

$$T_0 = \frac{L_1 + l + l_1}{v \cdot 1000} i$$

式中 L_1 ——拉刀工作部分长度[mm];

l ——工件被拉削表面长度[mm];

l_1 ——5~10 mm。

如不知拉刀的长度,则机动时间可按下式计算:

$$T_0 = \frac{h \cdot l \cdot \eta \cdot k}{1000 \cdot v \cdot f_z \cdot z}$$

式中 T_0 ——机动时间[min];

h ——单面余量[mm];

η ——考虑校准部分长度的系数,对于标准拉刀一般

$\eta = 1.17 \sim 1.25$; 当无校准部分时 $\eta = 1$;

k ——考虑机床返回行程的系数,对于大多数的机床

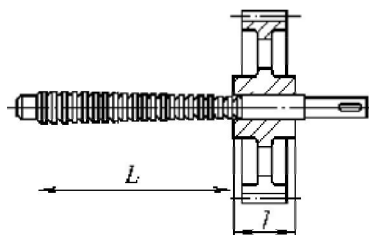
$k = 1.14 \sim 1.5$;

v ——工作行程的切削速度[m/min];

f_z ——拉刀每齿的进给量[mm];

z ——拉刀同时工作的齿数, $z = \frac{l}{t}$;

t ——拉刀的齿距[mm]

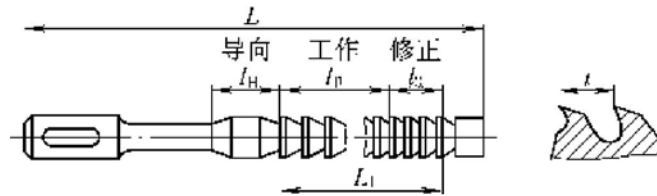


拉刀长度的决定

拉刀长度由下列各项因素决定：

- (1) 被加工材料(决定每齿的进给量)；
- (2) 被加工表面的长度(决定齿距)；
- (3) 加工余量(决定齿数)。

拉刀的最大长度被机床的最大行程长度所限制。



拉刀的总长由下列各部分组成：

1. 柄部(45~115 mm)及颈部(等于机床前引导部分的长度)；
2. 引导部分 l_H 对于圆孔、花键孔及特形孔,平均等于零件长度的 1.2 倍;对于键槽拉刀, l_H 等于零件长度的 1.5~2.5 倍；
3. 工作部分 L_1 由切削刀齿部分 l_p 及校准刀齿部分 l_s 所组成；
4. 后引导部分作为引导后部刀齿之用, $\approx 0.5l$ 。

拉刀工作部分长度 L_1 的计算式：

$$L_1 = (z_1 + z_2)t \quad [\text{mm}]$$

式中 z_1 ——切削刀齿的数量, $z_1 = \frac{a}{f_z}$ ；

a ——单面加工余量[mm]；

f_z ——拉刀每一刀齿的进给量[mm]；

z_2 ——校准刀齿的数量, $z_2 = \frac{l}{t} + 2$ ；

l ——被加工表面的长度[mm]；

t ——拉刀的齿距[mm], $t = A\sqrt{l}$, 或见表 5-33；

A ——系数,等于 1.5~2.5

表 5-33 由零件长度所决定的拉刀齿距

[mm]

工件长度	齿距	工件长度	齿距	工件长度	齿距
10	5	45	11	120	18
15	6	50	11	140	20
20	7	60	12	160	22
25	8	70	13	180	24
30	9	80	14	200	25
35	9	90	15	250	28
40	10	100	16	275	30

磨削工作

磨削加工计算(表 5-34)常用符号:

T_0 ——机动时间[min];

h ——每面的加工余量[mm];

B_M ——磨轮的宽度[mm];

f_B ——纵向进给量[mm/r];

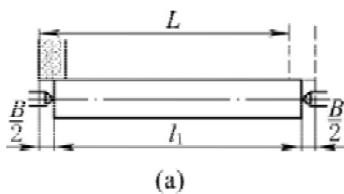
n ——工件每分钟的转数[r/min];

f_t ——磨削深度进给量: f_{t0} [mm/r]; f_t [$\text{mm}/\text{行程}$]; f_{ts} [$\text{mm}/\text{双行程}$]; f_{tM} [mm/min];

K ——考虑加工终了时消除火花的光磨,以及为消除加工面宏观几何形状的不精确而进行局部补磨的系数,见表 5-35 及表 5-36。

表 5-34 磨削加工计算

外 圆 磨



(a)

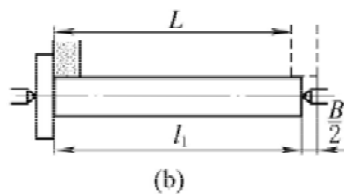
纵进给磨外圆:

磨轮横进给按工作台单行程进给时,

$$T_0 = \frac{LhK}{nf_B f_t}$$

磨轮横进给按工作台一次往复行程进给时,

$$T_0 = \frac{2LhK}{nf_B f_{ts}}$$

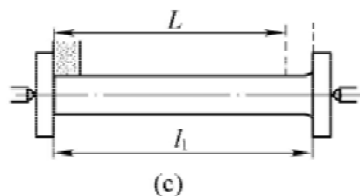


(b)

式中 L ——砂轮行程长度,通磨时见图(a), $L = l_1$ (l_1 ——加工表面的长度);磨削表面的一面带端面和圆角时

见图(b), $L = l_1 - \frac{B}{2}$;磨削表面的两面都带端面

和圆角时见图(c), $L = l - B$ 。



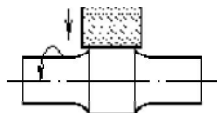
(c)

切入法磨外圆时,

$$T_0 = \left(\frac{h \cdot A}{f_{tM}} + \tau \right) K$$

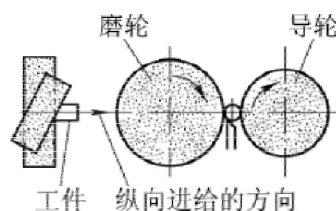
式中 A ——切入次数;

τ ——光整时间[min](见表 5-37、表 5-38)



无 心 磨

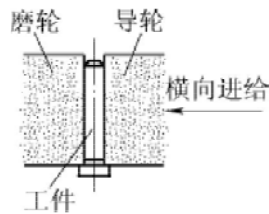
通磨法:



$$T_0 = \frac{(l \cdot q + B_M) i K}{f_{BM} q}$$

$$f_{BM} = 1000 v \sin \alpha = \pi D_a n_a \sin \alpha \eta$$

切入磨法:



$$T_0 = \frac{hK}{f_{\text{BM}}} = \frac{hdK}{n_d D_d \eta f_{10}}$$

式中 l ——工件的磨削长度[mm];

i ——行程次数;

q ——工件的每批数量;

f_{BM} ——纵进给量[mm/min];

α ——导轮倾斜角[°],角度的大小是由加工特性来决定,对于粗磨采用 $3^\circ \sim 5^\circ$,对于精磨采用 $1^\circ \sim 3.5^\circ$;

η ——考虑工件与导轮之间滑动的系数,数值为 0.85~0.9,随工件的直径而定;

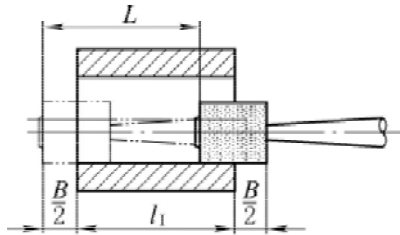
v ——工件的圆周速度[m/min];

d ——工件的直径[mm];

D_d ——导轮的直径[mm];

n_d ——导轮转速[r/min]

内 圆 磨

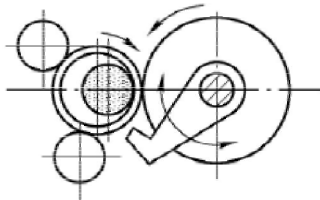


$$T_0 = \frac{2LhK}{nf_B f_{ts}}$$

式中 L ——砂轮行程长度, $L = l$ (l 是加工表面的长度);

f_{ts} ——磨削深度进给量[mm/双行程]

内 圆 无 心 磨

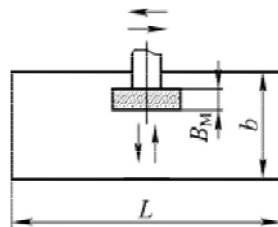


$$T_0 = \frac{h}{f_{ts} n}$$

式中 n ——磨轮每分钟的双行程数

平 面 磨

矩形工作台磨床
用磨轮圆周磨平面:



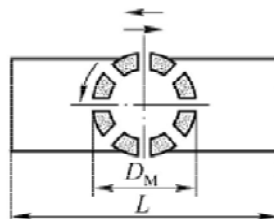
单行程进给

$$T_0 = \frac{LbhK}{1000vf_B f_{ts} z}$$

双行程进给

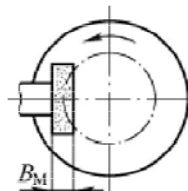
$$T_0 = \frac{2LbhK}{1000vf_B f_{ts} z}$$

矩形工作台磨床
用磨轮端面磨平面:



$$T_0 = \frac{LhK}{1000vf_{ts} z}$$

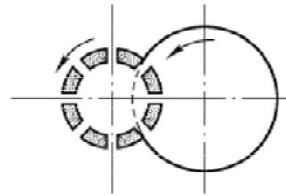
圆形工作台磨床
用磨轮圆周磨平面:



$$T_0 = \frac{LhK}{nf_B f_{ts} z}$$

表 5-34 续

圆形工作台磨床
用磨轮端面磨平面:



$$T_0 = \frac{hK}{nf_{t0}z}$$

式中 L ——磨削计算长度[mm](矩台用磨轮圆周磨 $L = l_1 + 20$; 矩台用磨轮端面磨 $L = l_1 + D_M + 10$; 圆形用磨轮圆周磨 $L = b + B_M + 10$);

l_1 ——工件磨削面长度[mm];

D_M ——磨轮直径[mm];

B ——磨削的计算宽度[mm], $B = b + B_M + 5$;

b ——工件磨削面宽度[mm];

z ——同时加工的工件数量;

v ——工作台往复运动的速度[m/min];

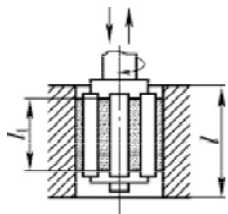
f_B ——磨削宽度进给量[mm/行程]或[mm/r];

n ——工作台转速[r/min];

f_t ——磨削深度进给量: f_{t0} [mm/r]; f_t [mm/行程]; f_{ts} [mm/双行程];

h ——加工余量[mm]

珩磨



$$T_0 = \frac{n \cdot 2L}{1000 \cdot v}$$

式中 n ——为了除去加工余量所必需的行程数;

L ——珩磨头的行程长度, $L = l + 2b - l_1$;

l ——孔的长度[mm];

b ——超出量,每面等于 15~25 mm;

l_1 ——磨条的长度[mm];

v ——往复运动的速度[m/min]

表 5-35 外圆磨的系数 K

磨削方法	加工表面的形状	加工性质和表面粗糙度			
		粗磨	精磨		
			$R_a 1.25 \mu\text{m}$	$R_a 0.63 \mu\text{m}$	$R_a 0.32 \mu\text{m}$
纵进给磨	圆柱体	1.1	1.4	1.4	1.55
切入磨		1.1	1.0	1.0	
	圆柱体带 1 个圆角	1.3	1.3	1.3	
	圆柱体带 2 个圆角	1.65	1.65	1.65	
	端面		1.4	1.4	

表 5-36 平面磨的系数 K

磨削方法	磨削精度 [mm]				
	0.1	<0.10~0.07	<0.07~0.05	<0.05~0.03	<0.03~0.02
无心磨(通磨)		1.05	1.3	1.3	1.3
内圆磨	1.1	1.25	1.4	1.7	2.0
平面磨	1.0	1.07	1.2	1.44	1.7

表 5-37 外圆磨的光整时间 τ

工件的磨削表面直径 D [mm]	表 面 粗 糙 度																	
	$R_a 0.63 \mu\text{m}$																	
	工件的磨削表面长度 l [mm]																	
	20	30	40	50	60	80	100	120	150	20	30	40	50	60	80	100	120	150
	光 整 时 间 τ [min]																	
20	0.05	0.07	0.10	0.13	0.15	0.20	0.26	0.31	0.42	0.08	0.11	0.16	0.21	0.24	0.32	0.42	0.50	0.67
30	0.06	0.09	0.12	0.15	0.19	0.25	0.32	0.38	0.52	0.10	0.14	0.19	0.24	0.30	0.40	0.51	0.60	0.83
40	0.07	0.10	0.14	0.17	0.21	0.28	0.36	0.43	0.57	0.12	0.16	0.22	0.27	0.34	0.45	0.57	0.70	0.95
50	0.08	0.12	0.16	0.19	0.24	0.32	0.41	0.50	0.67	0.14	0.19	0.25	0.30	0.39	0.51	0.66	0.80	1.08
60	0.09	0.13	0.17	0.22	0.26	0.35	0.46	0.55	0.73	0.15	0.21	0.27	0.35	0.42	0.56	0.73	0.90	1.15
80	0.10	0.15	0.19	0.25	0.30	0.40	0.51	0.63	0.84	0.16	0.21	0.30	0.40	0.48	0.64	0.82	1.0	1.35
100	0.11	0.16	0.22	0.27	0.38	0.45	0.57	0.69	0.92	0.18	0.26	0.35	0.45	0.60	0.72	0.91	1.1	1.45
120	0.12	0.18	0.25	0.31	0.40	0.50	0.65	0.80	1.05	0.19	0.29	0.40	0.50	0.64	0.80	1.05	1.3	1.7
150	0.13	0.20	0.28	0.35	0.43	0.57	0.72	0.90	1.20	0.21	0.32	0.45	0.56	0.69	0.91	1.15	1.45	1.9

表 5-38 外圆磨的光整时间的修正系数

工件材料	7 级 及 9 级 精 度																		
	直 径 余 量 h [mm]																		
	修 正 系 数																		
耐热钢 非淬火热钢及铸铁 淬火热钢	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	0.2	0.3	0.4	0.5	
	0.9	1.1	1.3	1.4	1.5	1.75	2.0	1.1	1.3	1.5	1.75	1.9	2.2	2.5	0.8	1.0	1.1	1.2	1.4
	0.8	0.95	1.11	1.25	1.36	1.58	1.76	1.0	1.2	1.4	1.6	1.7	2.0	2.2	0.64	0.77	0.89	1.0	1.11