

结合 Cimatron 软件加工压铸模具异形镶件

大连工业大学 机械工程与自动化学院 赵学庆 王帅

通过对压铸模具中的异形镶件归类，针对不同类型的镶件进行工艺分析，结合 Cimatron 软件，由简单到复杂，为 CAM 技术人员编制镶件加工程序勾画了一个通用的工艺思路。通过灵活设计工艺端，不仅为高速铣削加工提供了稳定的装夹方式与加工基准，也为三坐标检测提供了方便的测量条件，是形状复杂异形镶件加工中一种简捷有效的加工方法。

一、引言

压铸模具中的异型镶件通常为孤立的薄筋、均匀铸件壁厚设计的工艺部分或复杂易损的成型部位，其形状多种多样，为区别标准的圆形（PIN）或矩形的镶件（镶块），特称为异形镶件。依据装配的形式不同，镶件大体可分为两种类型：盲腔型镶件和通腔型镶件。

盲腔镶件指的是镶件在型腔的镶嵌槽是盲腔，没有穿透型腔，需要依靠配合段定位并配合穿腔螺栓固定的镶件。通腔镶件指的是镶件穿透型腔，通过配合段定位，依靠型腔与镶件底座固定端的压实来固定的镶件。

二、异形镶件加工的工艺特点

可根据异形镶件的结构特点决定镶件的加工工艺。镶件成型部位的公差范围多在 $0 \sim +0.05\text{mm}$ （单面）之间。平缓开阔的形状可以使用高速加工的方法直接成型加工；有深筋、窄槽和狭长等难以加工特征的部件，可采用电加工的方式成型加工。

镶嵌配合部位的公差范围在 $0 \sim -0.02\text{mm}$ （单面）之间，是镶件加工中要求最高的部位。若采用机加工完成，要考虑

到刀具磨损造成镶件侧壁余量不均而超差。若条件允许，可以采用线切割完成配合部位的加工，这样可以保证配合段的上下一致性，提高镶件配合部位加工的准确率。

底座固定部位的外形公差范围在 $0 \sim -0.2\text{mm}$ 之间，无光洁度要求，可以采用线切割与机加工两种方式完成；底座的高度尺寸公差在 $0 \sim +0.02\text{mm}$ 之间，在装配中起到限定高度的作用，有较高要求，在机加工中要特别注意。高长异形镶件的配合段与底座固定端也常有使用线切割来做电加工的工艺安排。高速加工的效率很高，而电加工的过程长、成本高，因此尽可能的创造条件将可加工的部位高速加工完成，机加工难以完成的部位再采用电加工完成。这是镶件加工的基本工艺思路。

在加工过程中，不需要刻意避免电加工。对镶件中的深筋、沟槽等特殊部位，电加工的效率明显高于 NC 加工，电极的设计制作技巧也是提高加工效率的重要手段。

三、编程思路与加工方法示例

1. 盲腔型镶件

盲腔型镶件在结构上分成两部分：成型部位，镶嵌配

合部位。在配合端的底面有螺栓孔，可将镶件固定在型腔中。

(1) 示例 1：标准盲腔型镶件，如图 1 所示。

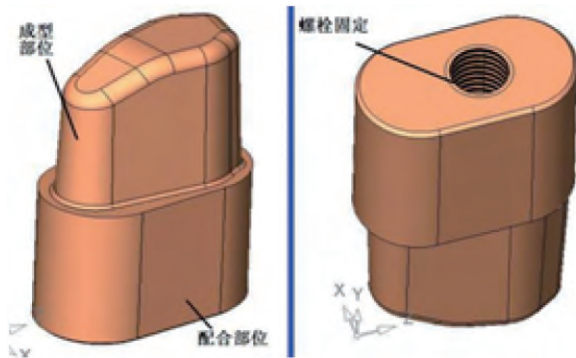


图 1 标准形状的盲腔型镶件

标准盲腔镶件的成型部位与镶嵌配合部位有平面联接，两部位可以分别使用层切削的方式加工，设置不同的刀具直径补偿值可满足不同的尺寸精度要求。平面部分的高度尺寸有严格要求，加工时要保证公差范围。

使用 CimatronE 软件编程，标准盲腔镶件是典型的符合凸型件特征的部件，在编程过程中使用层切削的方式做垂直区域的粗加工与半精加工，使用曲面铣削（环绕铣削或平行铣削）的方式加工曲面，清根铣的方式清理空间的凹形圆角，最后使用精铣水平区域的方式保证模型中平面部分的高度公差。

(2) 示例 2：复杂形状方形盲腔镶件，如图 2 所示。

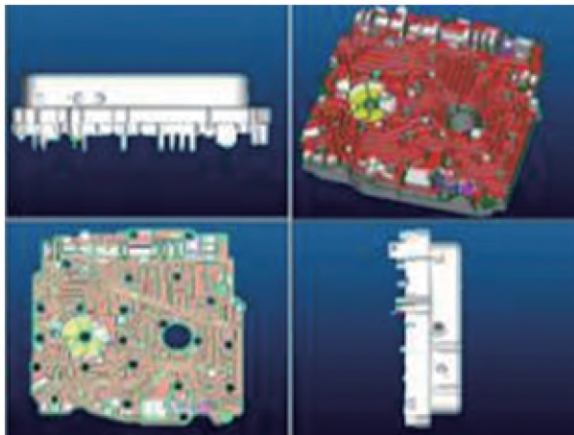


图 2 复杂形状的方形盲腔型镶件

镶件的成型部位沟槽纵横，形状复杂。制作石墨电极，采用电极电加工的方式完成正面精加工。镶嵌配合部位的尺寸范围小于正面的成型部位，在加工背面的时候，同样要注

意配合段的高度公差。

电极的提取方式在 CimatronE 中有独特的快捷方法，会做专文讲解石墨电极的提取方法与使用技巧。

由于使用电极电加工作为成型部位的精加工方式，因此在编程过程中成型部位只需要做到半精加工即可。沟槽不做程序加工，则此件就简化成为了一个简单的方形凸型件。粗加工使用环绕切削 3D 的方式，再使用层切削的方式做一个半精加工即可。

在镶件热处理期间，进行电极制作。使用三维摇动的电火花机床，电加工粗放电与精放电的时间约在 15 小时左右。

(3) 示例 3：复杂形状圆形盲腔镶件，如图 3 所示。

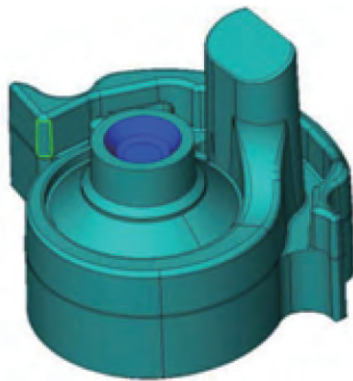


图 3 复杂形状的圆形盲腔镶件

圆形镶件的成型段与镶嵌配合端在分型线处联接，加工后分型线轮廓一定要清晰，可以避免压铸过程中铝液渗入配合缝隙造成铸件产生毛刺。

为保证分型线的轮廓清晰，要将成型部位与分型线相联接的曲面沿着拔模角度向下延伸 3mm 左右，称为裙面。编程时沿着裙面加工 2mm。由于成型部位的公差在 $0 \sim +0.05\text{mm}$ ，镶嵌配合段的公差在 $0 \sim -0.02\text{mm}$ ，因此在线切割切除配合段余料后，分型线会清晰显现，而且会上移 1mm 左右，这正是镶件分型线在装配过程中需要的调整高度。

为了线切割加工镶件镶嵌部位而使用方形毛坯，预留出 20mm 以上的线切割工艺夹持部分；成型部位采用 3D 环绕切削的方式粗加工，热处理后电极电加工完成；配合段采用慢走丝线切割加工完成是非常稳妥的方法。

编程时对分型线处的曲面进行延伸的方法，在镶件加

工中是简单、有效且实用的技巧。以下示例中分型线处的处理方法类同。

(4) 示例 4：高长的盲腔镶件，如图 4 所示。

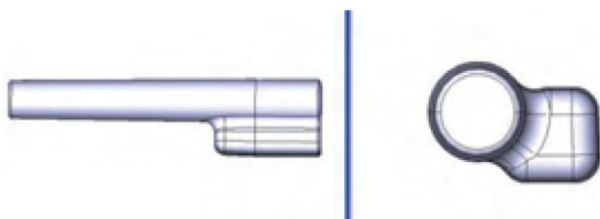


图 4 高长的异形盲腔镶件

此类镶件数量在压铸模具镶件中占较大比例。高长度的镶件外形相对简单平滑，长度与径向尺寸的比例较大，比较适合 NC 加工完成。

在加工中，不仅要考虑精加工刀具的长度是否满足加工高度要求，还要考虑因刀具长、工件高而引起的刀具与工件的震颤。震颤会导致刀具磨损加速，引起尺寸偏差、光洁度下降，因此，缩短刀具长度，增加工件强度是 NC 加工此类型镶件的关键。底端的镶嵌配合部分依然采用线切割的方式去除。

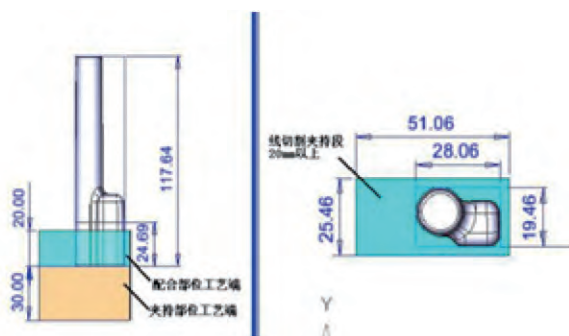


图 5 高长镶件夹持工艺端设计

如图 5 所示，为提高镶件夹持强度，在底部增加了 30mm 的夹持段，这样夹持部位增加到 50mm，可以有效增强虎钳夹持的稳定性。成型段 NC 加工结束后，先水平放置线切割切掉 30mm 这部分夹持段，再垂直放置切除镶嵌配合段。切割后的效果如图 6 所示。

(5) 示例 5：扁平盲腔镶件，如图 7 所示。

扁平类型的镶件中有较多的圆弧形凹槽。若采用与高长度类型镶件类似的加工方法，则较长的刀具产生的尺寸偏差在凹圆弧部位就会放大，会给装配带来较大的工作量。



图 6 精加工与线切割后的状态

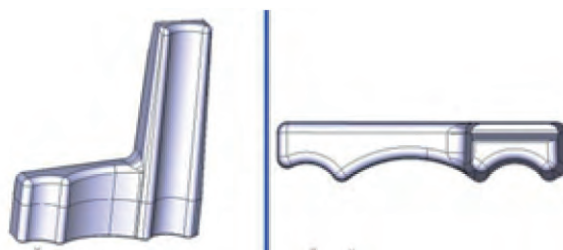


图 7 扁平类型的盲腔型镶件

为避免此种情况，可以选择工件平躺方式的加工。

镶嵌配合段也可以在平躺加工中完成，做好裙面辅助面，同样会加工出清晰的分型线轮廓。在底端与角部空白处合理设计装夹工艺端，可以有效装夹平躺式的加工部件。角部工艺端与成型部位的联接固定厚度在 5mm 内，NC 加工最后阶段采用层切削的方式切除。扁平镶件工艺端设计如图 8 所示。

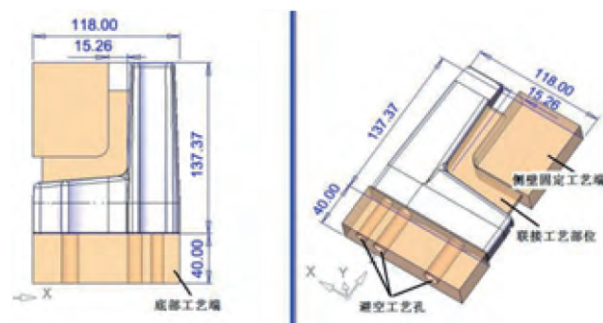


图 8 工艺端的设计思路

由于刀具缩短，刀具与工件的强度显著提高，因此平躺式加工效果明显优于立式加工效果。

加工方法采用最基本的 3D 环绕切削与层切削的方式做粗加工。为提高热处理后的精加工精度，在热处理前增加一个曲面铣削（平行铣削）做半精加工，为热处理后的精加工留有均匀的余量。镶件底部的水孔、螺栓孔等要在工艺端做出避空的孔，在热处理前完成孔加工的各项工作。粗加工热

处理后的状态如图 9 所示。



图 9 粗加工热处理后的状态

精加工的过程如图 10 所示。压板压住夹持工艺端，镶件靠实机床床面，稳定有力。加工后的效果图如图 11 所示。



图 10 精加工时的状态



图 11 精加工结束后的状态

精加工结束后，线切割切除底部工艺端，完成加工。成品如图 12 所示。



图 12 线切割后的成品状态

(6) 示例 6: 高长扁平盲腔镶件，如图 13 所示。

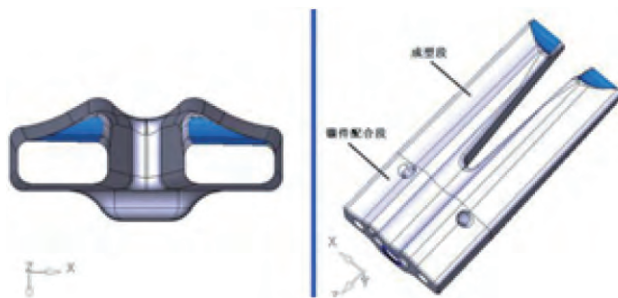


图 13 高长扁平的盲腔型镶件

高长扁平类型镶件兼具高长类型与扁平类型镶件的特点，因此平躺式加工依然是此类镶件的优选加工方式。

将成型段的顶部与镶嵌配合段的底部沿着形状向外自然或水平延伸 1.5 倍刀具直径的距离，可以在机加工中很好地处理线切割衔接部位的毛坯残留问题。在延伸工艺端之外再做装夹工艺端，即可完成两个部位正面与背面的加工。对特长的镶件，还可以在成型段中部添加支撑段，在精加工的最后阶段加工去除支撑段。工艺端设计效果如图 14 所示。

编程加工的方式与扁平镶件相同。NC 加工后，经三坐标检测尺寸合格，再线切割切除工艺端。如有偏差，依然可以再次装夹加工修复。加工后的状态如图 15 所示。

(7) 示例 7: 较大型镶件的变形控制。

四缸体模具的缸套镶件，是较大型的压铸模具盲腔镶件，尺寸与技术要求如图 16 与图 17 所示。

加工变形量的控制是这类大型镶件加工的关键。保证



制定细致的工艺才能确保加工环节的可控。制定规范的工艺表格应成为工艺人员的工作习惯。四缸体模具镶件的工艺单如图 18 所示。

[illegible]

图 17 缸体镶件的技术要求

				材料名称		物料规格	材料型号		
				数量:	1	正品:	备注:	材质	检测方式
序号	工序名称	设备	加工内容	计划工时	接受时间	作业者	备 注	完成时间	实际完工
1	下料	锯床	380×140×258				附带一件试块, 材单		
2	粗磨四面	磨床	380×140				保证垂直度0.1mm		
3	NC粗加工	NC	见加工单				以基准面定位, 为慢丝留夹持部位		
4	热处理		HRC45~47				回收热处理处理		
5	精磨五面	磨床	保证垂直度0.01mm				见早即可		
6	三坐标检测	三坐标					确认背面圆度纹孔与基准的距离, 存档3		
7	NC精加工正面	NC	见加工单				正反面去除0.5mm		
8	三坐标检测	三坐标	全尺寸检测				检测单存档3		
9	NC精加工背面	NC	见加工单				背面去除, 留量0.2~0.3mm		
10	慢丝切削	慢丝	见图C形				注意分型线部位清晰		
11	三坐标检测	三坐标	全尺寸检测				检测单存档3		
12	抛光						注意分型线部位清晰, 按图标注字		
13	氧化处理								
14	三坐标检测	三坐标	全尺寸检测				检测单存档4		
15	包装, 发货						订木箱; 内腔尺寸: 400×180×280		
							附带材料单、检测单4、热处理单、试块		

图 18 缸体镶件的工艺单



在制定了工艺端的方案之后,缸套镶件就简化成为具有明显凸、凹形状特征的模型。依据 CimatronE 软件所提供的粗加工、半精加工和精加工的方法,即可顺利完成程序的编制工作。加工单如图 20 所示,仅供参考。

程序注释	刀具名称	副角R	刀具直径	切削深度	主轴	进给	整个加工时间
4-438h185	BKILL	0.0	3.	-	1800	1200	0.065
435re2-120	B38EC	5.	37.	0.5	1000	1500	137.079
435re2-120	B38EC	5.	37.	0.5	1000	1500	151.91
435re20	B38EC	5.	37.	0.5	1000	1500	82.790
435re20	B38EC	5.	37.	0.5	1000	1500	71.135
435re20	B38EC	5.	37.	0.5	1000	1500	108.229
416re2	B16EC	0.8	18.	0.25	1800	1300	17.032
B16R1-C	B16EC	0.8	18.	0.25	1600	1500	14.168
B16EC20	B16EC2	0.8	20.	1.	1000	1200	131.092
426re2-105	B26EC20	0.8	28.	0.25	1600	1500	162.601
No Text	B26EC20	0.8	28.	0.3	1600	1500	26.356

图 20 成型部位编程的加工程序单

装夹的方式可以参考图 21 的模式。准备工作充足，是加工顺利进行的有效保证。



图 21 精加工结束前在机床上的状态

由于工艺端部位厚度达到 135mm，线切割的时间接近 90 小时。机加工时在工艺端上做出穿丝孔，可以规避切割应力导致镶件变形。在线切割机床上的加工时间长，切屑的电腐蚀会导致镶件表面产生腐蚀斑点，可涂专用防护油脂做好防护。切割后状态如图 22 所示。



图 22 镶件线切割结束后的状态

线切割的成本虽然较高，但准确性、精度要高于机加工。对于高成本的模具部件而言，确保成功完成是加工的主要目

标。三坐标检测的数据如图 23 及图 24 所示，镶件配合部位与成型部位很好地结合，满足了公差尺寸的要求。

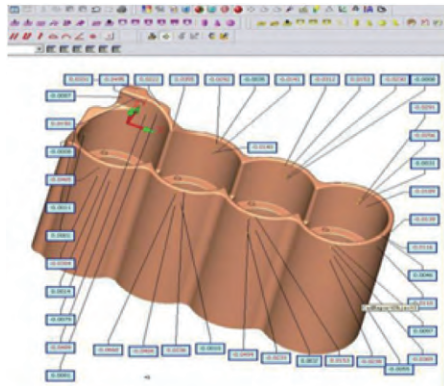


图 23 镶件成型部位的三坐标测量数据

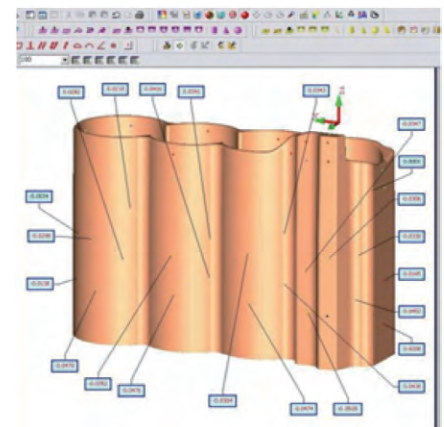


图 24 镶嵌配合部位的三坐标检测数据

由此可见，稳妥的工艺安排，简洁流畅的程序加工，结合精心细致的安排调整，是加工高标准部件成功的必要条件。

通过对上述几种盲腔型镶件的分析可以看出，提高镶件在加工过程中的强度是获得高质量加工效果的前提，而在加工工艺中设计适合的工艺夹持部分是增加镶件强度的有效方法。

CimatronE 软件为高品质部件加工提供的有效 CAD 工具，可以把模具专业技术人员的加工思想有效地融入 CAM 过程中，是一款应手的专业软件工具。

2. 通腔型镶件

通腔型镶件在结构上分为三部分：成型部位，镶嵌配合部位，底座固定部位。通腔型镶件比盲腔型镶件多出了镶件底座固定部位，适合于模具中窄长类型不便于使用螺栓固定的镶件设计。

(1) 示例 1：标准通腔镶件，如图 25 所示。

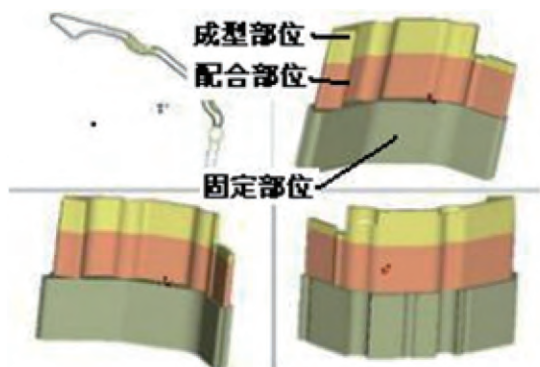


图 25 标准异形通腔型镶件

成型部位的加工与盲腔型镶件相同，采用高速切削的方式加工完成。

镶嵌配合段部位由于有固定端底座平面的阻挡，不能采用线切割方式加工。但配合段的精度要求同样严格，也会遇到刀具加工对凹槽部位加工不到位的现象。可以设计放电电极，使用电加工方式加工配合段，能够精确控制配合段尺寸公差与底面固定端的高度公差。底座固定部位采用 NC 加工或者线切割加工。

(2) 示例 2：高长通腔镶件，如图 26 所示。

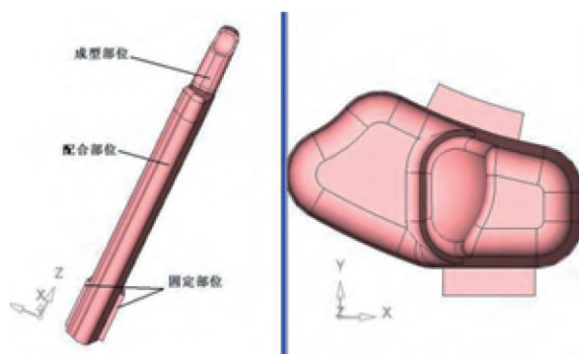


图 26 高长异形通腔型镶件

高长的通腔型镶件，底座固定端的形状多是根据配合段的形状顺势设计而成，NC 加工时需要特殊工艺安排。

平躺加工是高长类型镶件的较合理的加工方式。根据镶件具体的形状，灵活运用镶件上尚未加工的毛坯材料作为夹持部分。加工的最后环节，是使用线切割切除工艺夹持部分。

图 26 所示的镶件为例，NC 精加工需要三次装夹（底面钻孔除外）。第一次加工顶端成型面及 25mm 长度的配合段；第二次装夹加工直边侧壁的配合段；第三次装夹加工

曲面一侧的配合段及底座固定端。

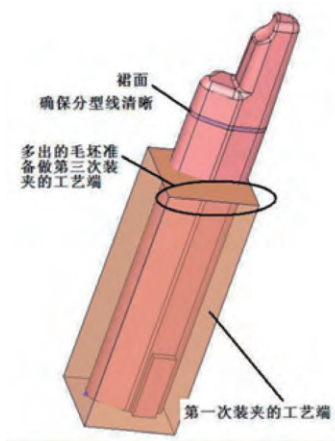


图 27 第一次装夹工艺端的设计

为了给第三次装夹加工做好准备，要在做毛坯尺寸的时候考虑到预留的装夹工艺端部分。在配合段的一侧直边上，有短小的固定端，将此部位增高、延长，做成可以足够支撑强度的工艺端，如图 30 所示，可谓“无中生有”。

图 27 中圈示出的多余毛坯就是为第三次装夹做的工艺准备。同样，图中所示的裙面，是沿着成型段拔模斜度向下延伸做成的曲面，长度为 3mm。CAM 编程时，成型段与裙面做一个层切削加工，配合段与垂直向上延伸的辅助面（1mm）可再做一个层切削加工，两个程序加工余量设置为不同值，可保证分型线的清晰准确。如此，编程过程虽略显繁杂，但思路清晰，目的明确，方法简洁，NC 加工中刀路轨迹流畅，正是加工技巧的有效体现。加工轨迹如图 28 所示。

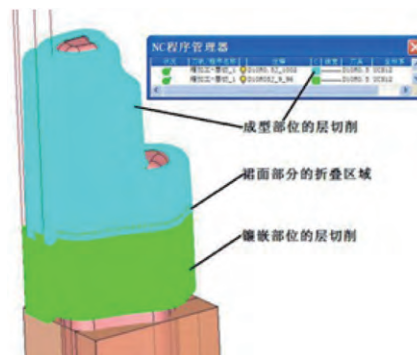


图 28 Cimatron 层切削加工轨迹

正面成型部分粗加工，背面水孔加工到位后，真空炉热处理（ $HRC47 \pm 1^\circ$ ），余下部分待精磨后 NC 加工。

第一次装夹精加工的效果如图 29 所示。较长的夹持部

位有效保证了工件的稳定。



图 29 热处理后第一次装夹精加工

第二次装夹加工是在镶嵌配合段的避空部分加工，应保证此段配合部位“缺肉”，单面余量一般在 $-0.2 \sim -0.5$ 之间。夹持工艺端的设计与加工效果如图 30 与图 31 所示。

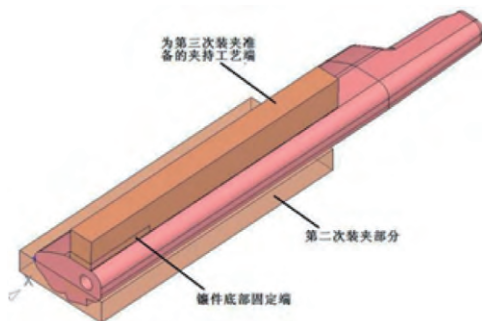


图 30 第二次装夹工艺端的设计

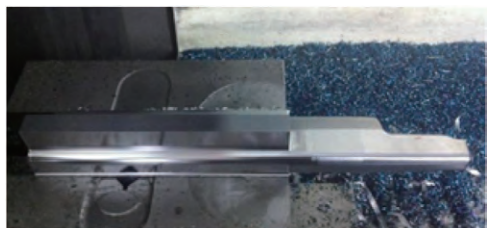


图 31 第二次装夹加工出装夹工艺端

第三次装夹夹持工艺端，加工曲面一侧的配合段与底座固定部位。采用 CimatronE 的清根功能来实现，可以很好地完成编程加工。铣削的过程与加工效果如图 32 与图 33 所示。

清角结束以后，夹持方形的工艺端，线切割切落镶件，完成镶件加工。线切割加工后的效果如图 34 所示。

高长异形镶件符合“有去无回”的类型，基准在加工过程中逐步被铣削去除，因此只能单向成功，不可返修。

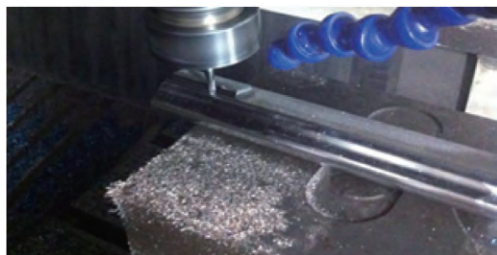


图 32 夹持工艺端做第三次加工



图 33 清角精加工结束



图 34 线切割切除工艺装夹部分

四、结语

通过对压铸模具中盲腔型镶件与通腔型镶件的分析，我们可以看出，装夹工艺端的设计在复杂异形镶件加工中起到非常重要的作用。灵活设计装夹工艺端，可提高工件装夹强度与工件稳定性。工艺端的设计要遵循易于装夹、易于找寻基准的原则。在此基础上，结合软件的 CAD/CAM 功能，通过明确的加工策略、简练的加工方法、规范的编程操作，一定会将 CAM 技术人员的工艺思想转化为现实。IM