

模具成形表面加工工艺

北京火花机床集团 (100007) 徐德玉

我国已成为一个模具制造大国,但不是一个模具强国。强化模具制造水平和能力的核心是提高模具成形表面加工技术。如何选择和合理使用先进、实用、特色、配套型面加工技术,直接关系到模具质量、寿命、成本和周期。模具型面加工工艺组合是模具上水平的共性问题。

但模具型面加工概括地讲,主要分为两类:以分离为特征的凸、凹模组成的刃口型面,多属于二维型面;以施压变形为特征的成形模的型芯、型腔及镶拼件,多属于三维型面。现将模具制造中主要工艺组合归纳如下,供参考。

现在国内模具分 10 类,46 小类,并各具其特

一、刃口类模具型面加工工艺组合

工艺组合	工艺说明	工艺特点	应用
成形磨削与电火花穿孔	1. 电极凸模铣削,凸模淬硬后与电极(铸铁)粘结在一起成形磨削 用电极加工凹模	消除了淬火变形对凸模、凹模的影响,精度可满足一般冲模要求 减少钳工劳动量 成形磨削计算较复杂	主要用于冲孔落料及复合模。二维形状加工。20 世纪 60 年代国内冷冲模具制造实现机械化主要的方式,70 年代快走丝线切割成熟与推广后应用减少
	2. 用成形磨削加工凸模,用凸模作电极加工凹模,即所谓“钢打钢”	基本同上,采用加长凸模作电极,不用另加工电极并可保证凸凹模间隙均匀	基本同上。用于形状不太复杂的模具,对多个小孔和槽形凹模如电机定子复合模的凹模,可用组合凸模当电极加工凹模,效果极好
快走丝数控线切割加工	1. 将固定凹模用的孔加工后淬硬、磨两面、去磁切割成形 按照凹模精加工凸模	1. 型孔、型面加工不用预加工,也不需要加工电极 2. 淬火后加工可消除淬火对凸凹模精度的影响 3. 减少了钳工工作量,但需要编程	主要用于形状较复杂、精度要求较高的二维型面加工。如:凸模、凹模、固定板、卸料板、非圆形弯曲小型凸凹模、精度要求较高的无底拉深凹模及拼块、镶块、电极等加工 数控线切割具有许多优点,20 世纪 70 年代它的广泛应用为国内模具制造走向数控化迈出第一步,至今仍被广泛应用 主要用于冲模制造和二维电极加工
	2. 将固定凸模和凹模用的孔加工后,淬硬磨两面,去磁切割成形		
	3. 跳步模凹模、卸料板等同时切割,将凸模固定孔加工后淬硬、磨两面、去磁、切成。将凹模、卸料板、固定板上的固定孔加工成→淬火→磨两面→去磁。将凹模、卸料板、固定板装夹在一起切出,以保证步距要求(导柱孔、型孔、侧刃口) 料冲裁间隙大时,可将凹模与卸料板同时加工后取下卸料板,凹模在原位置进行再切割成形	1~3 同上 4. 可保证几块板的型孔,位置形状一致性和与凸模间隙均匀性	
慢走丝精密数控线切割加工	将固定凸模和凹模的孔加工成,淬硬、磨平面、去磁、切割成形	1~3 同快走丝线切割 4. 采用多次切割:粗切效率高,精切精度高($\pm 3\mu\text{m}$),表面质量好($R_a 1.6 \sim 0.2\mu\text{m}$),采用细丝($\phi 0.1\text{mm}$ 以下)可切窄缝等 5. 可实现按程序定位自动穿丝,自动化程度高,可实现无人操作,加工跳步模方便,步距更准确	主要用于精密、复杂冲模,尤其适合加工跳步模、凸模、凹模,固定板卸料板,凹模拼块及精密塑料模、压铸模等电加工电极制作。这是国内 20 世纪 80 年代以来制作精密模具主要手段之一



(续)

工艺组合	工艺说明	工艺特点	应用
线切割与精密磨削	<p>对直通式凸模、凹模拼块（尤其硬质合金件）采用线切割面 0.1mm 余量用光学曲线磨、坐标磨、成形磨等精磨成</p> <p>有台阶淬硬凸模和镶拼凹模，粗铣留余量 0.2~0.3mm 淬硬磨成硬质合金凸模，采用银焊、铜焊固定后，切割留 0.10mm 余量精磨成</p>	<p>1. 磨削精度、表面质量高，可消除电加工变质层及硬质合金线切割加工时逸出钻的影响，提高模具寿命</p> <p>2. 精密成形磨、平磨、工具磨、光学曲线磨、坐标磨等对工人技能要求较高</p>	<p>主要用于加工高精度冲模（5μm）特别是硬质合金跳步模（凹模采用镶拼结构）</p> <p>当硬质合金凸模不易磨削处可采用喷玻璃微珠抛光，安装后再成形磨轮廓</p> <p>这是国内 20 世纪 80 年代以来制造高精度模具的手段</p> <p>研磨抛光有利于改善表面质量、表面应力状态，提高耐磨性</p>

注：弯曲模、拉伸模由于成形后有回弹，应在试模合格后，再热处理（淬硬），研抛或镀硬铬。

二、成形模的型芯、型腔加工工艺组合

工艺组合	工艺说明	工艺特点	应 用																					
切 削 加 工 + 钳 工	回 转 体 车 削（包括仿形、数控）淬 火 后 磨 削、抛 光 非 回 转 体 型 芯、型 腔 在 毛 坯 加 工 后 简 单 件 划 线，在 立 铣、工 具 铣 上 按 线 控 制 形 状、尺 寸，按 先 深 后 浅 顺 序 铣 削。形 状 复 杂 的 型 芯、型 腔，可 用 仿 形 铣、数 控 铣、高 速 铣、五 轴 铣 上 按 靠 模 或 程 序 加 工 从 浅 到 深 铣 成，再 钳 工 修 正	切 削 加 工 效 率 较 电 加 工 高，但 对 窄 槽、深 型 腔、精 细 表 面（可 雕 刻）清 拐 尖 角 复 杂 型 腔 加 工 困 难 普 通 机 床 效 率 低，劳 动 强 度 大，设 备 投 资 小，操 作 水 平 要 求 高，加 工 质 量 低 仿 形、数 控 等 加 工 特 点 与 普 通 机 床 相 反 加 工 指 标：	普 通 机 床 多 用 于 粗 加 工 或 形 状 简 单，要 求 低 型 腔 型 芯 加 工 仿 形 加 工 主 要 用 于 非 解 析 复 杂 曲 面，数 据 量 大 编 程 困 难 有 样 件 的 型 芯、型 腔 数 控 加 工 主 要 用 于 精 度 要 求 高， 较 复 杂 的 解 析 曲 面 和 列 表 曲 面 高 速 铣 主 要 用 于 精 度 高、浅 型 腔 淬 硬 型 面 或 曲 面 较 平 坦（曲 率 半 径 较 大）覆 盖 件 模 具 型 面 五 轴 铣：主 要 用 于 三 轴 数 控 铣 不 易 接 近 铣 削 型 面，加 工 效 率 高，但 编 程 难 度 大																					
		<table><tr><td>指 标</td><td>加 工 精 度</td><td>粗 糙 度</td></tr><tr><td>方 式</td><td>/mm</td><td>$R_a/\mu\text{m}$</td></tr><tr><td>立 铣</td><td>—</td><td>3.2~1.6</td></tr><tr><td>仿 形 铣</td><td>$\pm 0.02 \sim \pm 0.1$</td><td>2.5</td></tr><tr><td>数 控 铣</td><td>$\pm 0.01 \sim \pm 0.03$</td><td>2.5</td></tr><tr><td>高 速 铣</td><td>$\pm 0.01 \sim \pm 0.03$</td><td>0.4</td></tr><tr><td>五 轴 铣</td><td>—</td><td>0.4~2.5</td></tr></table>		指 标	加 工 精 度	粗 糙 度	方 式	/mm	$R_a/\mu\text{m}$	立 铣	—	3.2~1.6	仿 形 铣	$\pm 0.02 \sim \pm 0.1$	2.5	数 控 铣	$\pm 0.01 \sim \pm 0.03$	2.5	高 速 铣	$\pm 0.01 \sim \pm 0.03$	0.4	五 轴 铣	—	0.4~2.5
		指 标		加 工 精 度	粗 糙 度																			
		方 式		/mm	$R_a/\mu\text{m}$																			
		立 铣		—	3.2~1.6																			
		仿 形 铣		$\pm 0.02 \sim \pm 0.1$	2.5																			
		数 控 铣		$\pm 0.01 \sim \pm 0.03$	2.5																			
高 速 铣	$\pm 0.01 \sim \pm 0.03$	0.4																						
五 轴 铣	—	0.4~2.5																						
电 火 花 加 工 + 钳 工	型 腔 加 工 蚀 除 量 大，要 求 电 极 损 耗 小，并 要 采 取 措 施 排 屑。为 修 整 型 腔 侧 壁，保 证 形 状，尺 寸 要 求 多 采 用 平 动 加 工 或 多 电 极 加 工、平 动 加 工 无 法 加 工 清 拐、清 角 型 腔。加 工 型 面 沿 进 给 方 向 有 锥 度、加 工 表 面 有 几 十 微 米 硬 化 层 研 磨 抛 光 较 困 难	1. 电 火 花 加 工 效 率 较 切 削 加 工 低， 需 要 制 作 电 极 2. 可 加 工 硬、脆、粘 及 高 熔 点 金 属 材 料。采 用 淬 火 后 加 工 型 腔 消 除 热 处 理 变 形 影 响 3. 加 工 时 无 切 削 力，适 合 小 孔、深 孔、窄 槽、精 细 表 面 及 清 拐、清 角 复 杂 型 腔 加 工 4. 对 操 作 人 员 要 求 高	主 要 应 用 于 塑 料 模、压 铸 模、锻 模、挤 压 模 等 型 腔 加 工																					



(续)

工艺组合	工艺说明	工艺特点	应用
切削加工 + 电火花加工	<p>电加工效率低, 柔性好, 适应范围广 (无论硬的软的, 大的小的, 粗的精细的, 窄的宽的, 深的浅的, 清槽, 清角, 还是大圆角……都能加工。但加工大型腔时余量较大, 应用切削加工去余量, 提高效率。对不好去的余料才用电加工去余料)</p> <p>对于型腔、型芯上有深槽、窄缝小孔的应采用切削加工 + 局部电加工的工艺组合, 在型腔、型芯主要部位切削成, 再用分解电极加工剩下的局部形状</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 采用切削加工与电加工组合, 工作效率高, 加工质量好, 充分发挥了两者的优点 2. 分解电极制造简单找正麻烦 3. 组合电极易保证窄槽与窄槽、小孔等相互位置, 但制造麻烦 	<p>主要用于大型塑料模, 如大电视机壳模具先切去余量, 再加工可以省一个电极, 电视机壳模具型芯在切削加工成 (表面要求极低) 再用电极加工上面筋槽等</p>
切削镶拼件 + 成形磨削 线切割镶拼件 + 成形磨削	<p>毛坯加工后别线、粗铣, 淬火后磨成</p> <p>对形状复杂拼块淬火后可采用线切割加工留 0.1mm, 再精磨成</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 切削加工和线切割加工拼块效率高, 慢走丝线切割加工精度高 ($\pm 3 \mu\text{m}$), 表面粗糙度值小, 效率高。磨削可进一步提高拼块表面质量, 坐标磨削可提高位置精度 2. 便于精密模具实现成形部分互换 3. 可以把复杂难加工件, 变成容易加工的件, 使之保证质量 4. 对工人操作技能要求高 	<p>整体型腔刚性良好, 体积小但对清槽、清角要求高的, 成形时排气多的, 为便于小深腔加工抛光和高精度模具 ($10 \mu\text{m}$ 内) 常采用镶拼模具。可采用本工艺组合</p>
冷挤压型腔	<p>在常温下利用装在压力机上的成形凸模 (工艺冲头) 在一定压力和速度下挤压使坯料产生塑性变形而形成与凸模相吻合的型腔表面</p>	<p>挤压过程简单, 生产率高, 加工精度高 (可达 IT7 级) 表面质量好 ($R_a 0.32 \sim 0.08 \mu\text{m}$), 无需再加工。冲头可多次使用, 型腔一致性好, 表面硬化模具寿命高, 需大吨位挤压设备</p>	<p>适合难以切削加工的复杂型腔、浮雕花纹、字母及多型腔模具如多腔瓶盖塑料模</p> <p>适合于中小型塑性好的材料 (铜、低碳钢)、深型腔及复杂形状的凹模加工</p>
电铸成形	<p>利用电解的方法使金属离子还原, 沉积在母模表面上, 使母模 (与制品形状一致的凸模或凹模) 表面通过电解液获得金属沉积层, 取出母模后即得到与母模轮廓相符的型腔 (或型面) 的工艺方法</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 复制精度高, 能制出机械加工难以加工的复杂细微型腔表面 (花纹图案文字) 2. 尺寸精度高, 表面粗糙度一致性良好, 无需修正 3. 设备简单, 可一槽多件同时加工出不同形状零件 4. 电铸属于金属还原沉积, 所以制造周期较长, 硬度可达到 45 ~ 50HRC 	<p>可电铸镍、铁、铜等材料</p> <p>复制精细的表面轮廓、花纹, 如唱片模, 工艺美术品模具</p> <p>复制塑料注射模、玻璃模型腔及拉伸模凹模腔, 电火花加工型腔的电极</p>
电解加工	<p>工件接正极, 工具接负极, 工具向工件缓慢进给保持 0.1 ~ 1mm 间隙, 具有 0.45 ~ 1.96MPa 压力的电解液从间隙中流过, 工件 (正极) 逐渐被腐蚀 (电蚀物被冲走) 直到工件表面形成与阴极相似的吻合面为止</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不受金属材料硬度、强度限制 2. 生产效率高, 约为电火花加工的 5 ~ 10 倍, 且生产率不受加工精度及表面粗糙度限制 3. 可达到 $R_a 1.25 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 粗糙度, 加工重复精度可达到 0.05 ~ 0.10mm (采用新工艺后水平) 4. 不产生切削力所引起的残余应力和变形, 没有飞边毛刺 5. 电极不损耗可长期使用 6. 设备附件多、占地大、造价高, 易污染环境 	<p>可加工硬质合金、淬火钢、不锈钢、耐热合金等, 高硬度、高强度及高韧性金属材料。并且可加工叶片锻模等各种复杂形面</p> <p>模具制造中主要用于淬火后易变形的型腔加工。对有一定批量的型腔模具加工非常有利, 如: 汽车零件的锻模制造, 硬质合金拉丝模孔加工</p>



(续)

工艺组合	工艺说明	工艺特点	应用
陶瓷铸造	将陶瓷浆浇在母模与沙套之间形成陶瓷层,再经拔模喷烧和焙烧得到。耐火性好,尺寸精度较高,表面光洁的铸型合箱浇铸即可得到铸件	1. 生产周期短,有母模后二、三天即可加工完 2. 节约材料投资少 3. 使用寿命低 4. 加工精度及表面质量差	适用于形状简单,精度及表面质量要求不高的压塑模、塑料模、儿童玩具模等 也用于大型形状较复杂的成形模拉深模的凸模,凹模

三、电火花成形电极加工

电火花成形加工是目前成形模具型腔主要加工方式之一。电火花成形机床的有效利用与电极制造密切相关。目前电火花成形加工,主要用石墨电极和铜电极(在欧洲、日本铜电极与石墨电极应用比为3:7,在美国为1:9),两者成形方式如下:

1. 铜电极

铜电极加工稳定,损耗小,但加工效率较低。常用于制作小型电极,特别是截面形状复杂,有清楞、清角,细微图案、文字的电极。

(1) 二维形状常用数控线切割加工,亦可用坐标磨床用精密铣削功能加工。目前国内常用方法之一。

(2) 平面图形、文字、浅曲面立体可用数字化的扫描编程再数控雕刻加工成。

(3) 一般电极常用小型加工中心,具有高刚度,的主轴头切削平稳。高速切削切削力小,可加工薄壁电极。用小刀可加工细微形状,机床功率小,刀库容量小,进给速度快。有的还带油雾冷却系统。

(4) 国外尚有金属电极加工专机,如:日本沙迪克生产的 APM 系列机床。

2. 石墨电极

石墨电极加工速度快,损耗小,硬度低,易加工成形(切削速度可比铜高5倍)。成本较铜低,不易扎刀,但脆性大易塌角,加工时污染大。

(1) 采用数控铣床、小型加工中心,加工时多用吸尘器和清扫机之类装置,清除污染。也有采用湿式加工的,但要切削液的专用过滤器(目前国内常用方法之一)。

(2) NC 石墨电极加工系列(专机)机床采用全封闭防护罩,抽真空强行集屑。各轴导轨、光栅尺及刀库(刀位数少)完全封闭保护的准高速加工中心,主轴转速高,石墨不易塌角,转速范围大,进给快效率高,如:日本牧野的 SNC 系列。还有用环形水罩隔离加工区的,如:日本沙迪科 GT 系列。

(3) 沙线切割:利用 $\phi 0.6 \sim 1.2\text{mm}$ 钢琴丝(在其上镀一层金刚石磨料作工具,在其两端)施加一定张力,并上下往复运动,由 NC 控制进给,即可进行切割。

沙线切割速度比电火花线切割高6倍,运行成本约为电火花线切割1/3,双头沙线切割可利用线径不同在一个机上同时加工粗、精加工,电极而无需多次切割。

沙线切割精度 $\pm 0.05\text{mm}$, 最小圆角 0.33mm , 最小线径 0.6mm , 主要用于挤出模空刀电极及其他二维电极加工。

国外:日本沙迪克 EMM30 有双头机,单头机。

国内:天津仪表机床厂生产的 TYJ-3001 型数控沙线切割机。

(4) 数控电火花线切割:加工精度 $\pm 0.055\text{mm}$ 较高,切割最小内圆角为 0.055mm , 但切割较沙线切割效率低、成本高,是目前国内常用方法之一。

(5) RP(快速原型)+电铸:利用 RP 技术造原型,再做出反型,然后做镀导电层及防水处理等,再放入电解槽,经过较长时间在其上沉积铜壳体,分离后可作电极。

电铸电极复制精度高,不需要编程。整个电极无需修整,电火花加工表面粗糙度值极小。

加工周期长,但可多件同时加工,实现无人化加工,成本低。电铸电极主要用于模具型腔带复杂花纹、皮革纹,特别是难以用 NC 加工的电极。

3. 研磨加工

利用 RP 技术制造原型或已有样件,直接复制含有磨粒的三维研具(阴模),将其装在专机上,沿垂向缓慢向下进给。石墨毛坯在工作方台上由 NC 控制平动,将石墨研成与研具相反形状的电极(阳)。该方法还可用于对损耗电极进行修复。

主要用于相同形状较多的电极,如汽车行业的锻模。

(收稿日期:20021008)