

耐热高硬钢板加工工艺

苏州苏福马机械有限公司 (江苏 215011) 黄初榕

平压式连续压机是人造板制造行业最先进的生产设备,是集高科技、精密、尖端、重型机电于一体的产品。设计上要求设备具有结构精密刚性、传动高速平稳、机构柔性准确、耐磨可靠等要求,也给制造工艺提出了在高温、高压、快速、重载、宽幅等条件下的各零部件材料强度可靠和几何精度保证的要求。作为连续压机设备中主要部件的热压板组(上下各五块),以高硬强韧的弹性、耐磨和耐热、宽幅超长的一级平板平面精度、多块拼接的等厚尺寸精度、高光镜面的低表面粗糙度值和导入端“一平二斜两圆弧”的复杂曲面数控加工等要求,是工艺加工中需解决的主要问题。

1. 工艺难度分析

热压板是传压、传热的载体和钢带运行时链毯的工作台面,因此对热压板的要求较高,这不仅体现在对热压板的几何尺寸精度和热压板拼接精度要求上,更体现在对热压板的材质和硬度要求的特殊性上,这决定了热压板有以下几个工艺特性。

(1) 高硬强韧 热压板材料为14Cr1MoR 铬钼合金钢,经过压淬回火后表面硬度400 HBW 以上,既具备了铬钼合金钢特有热强韧性,又兼有热处理后的高硬耐磨性,其可切削性处于合金钢的高硬和强韧的高难两端,切削难度大幅提高,这对刀具提出了耐硬磨、耐强热、高效光洁的高标要求。

(2) 幅面大几何精度高 热压板最大一块为130mm×7 000 mm×2 650 mm,宽向上为平直度0.015mm的一级平板要求,长向上为平面度0.10mm的二级平板要求,板间等厚度0.03mm,抛光达镜面表面粗糙度值 $R_a=0.4\sim0.8\mu\text{m}$,其要求的精度非常高(见图1)。

(3) 易变形 具备压淬、幅面大、硬韧特点的热压板主要有三种变形:一是应力变形,由于不对称的切削会使原有的内应力平衡破坏而产生表面晶粒扭变;二是挠性变形,由于工件刚性不足受自重而下挠引起伪平的残余变形;三是热变形,由于材料的高硬强韧使切削中产生大量的热而引起热胀变形。即使这几种变形是微量累积,也可以轻易破坏来之不易的平面精度。

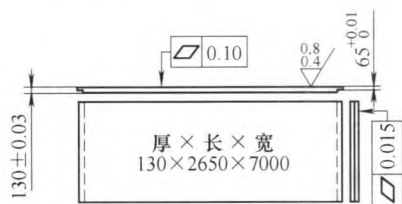


图 1

(4) 复杂曲面数控加工 其中有上下两块热压板导入端为“一平二斜两圆弧”曲面板,其宽向平直度及长向轮廓度和表面粗糙度要求与平板一致,是高精+曲面的难度组合加工。

2. 刀具的试验和选择

针对热压板的材料特点和精度要求,我们进行了刀具试验,达到以下四个目的:一是为粗铣加工找到低成本的刀片,以节约成本;二是为半精铣加工找到耐磨和成本相宜的刀片,以获得最佳性价比;三是为精铣找到强韧耐磨的精细刀片,以一次完成大面加工,保证一级平板平面精度要求;四是为以上三种刀片找到合适的切削三要素。

经过大量加工试验,并结合实际热压板粗、半精、精加工的印证,我们确定了粗、半精、精铣刀片及刀盘和各切削参数,如附表所示。

刀具及切削参数

切削形式	刀盘直径/mm	刀具品牌及切削参数
粗加工 平面	250	三菱刀片 $n = 150\text{r/min}$, $v_t = 250\text{mm/min}$, $a_p = 0.5\text{mm}$
半精加工 平面	200	山特维克可乐满刀片 $n = 200\text{r/min}$, $v_t = 300\text{mm/min}$, $a_p = 0.2\text{mm}$
精加工 平面	200	山特维克可乐满刀片加修光刃 $n = 250\text{r/min}$, $v_t = 350\text{mm/min}$, $a_p = 0.1\text{mm}$
加工 圆弧面	100	山特维克可乐满刀片 $n = 400\text{r/min}$, $v_t = 70\text{mm/min}$, $a_p = 0.5\text{mm}$

另外，在精铣时，刀盘需在精密的对刀仪上调整，保证诸多切削刀片高度误差要最小，修光刃刀片高度误差也要最小，并且修光刃刀片要比切削刀片略高一点。

3. 变形控制方案

生产实践证明，变形是取得精密形位要求的最大障碍，由于热压板本身的挠性，由应力、重力、热力产生的变形如梦魇般跟随着生产全过程，时隐时现，累积后轻易破坏辛苦获得的加工精度，所以控制变形尤为重要。

(1) 工装设计 平面加工的定位看似很简单，对大规格、高精度的热压板加工来说却隐含着两个重要的因素：刚性和大面，即定位是刚性的，定位是大面的。因为刚性不实的定位和可以自重下挠的定位，都会影响最终的加工精度。我们确定的平面加工工装方式是在等高方箱上安装电磁吸盘形成定位大面，用扭力扳手紧固保证定位刚性。有三个作用：一是由于机床横梁固定，通过方箱保证工件一定高度，增加 Z 轴和刀盘的切削刚性；二是用电磁吸盘的吸力代替压紧工件装置，无阻碍方便加工；三是可以随着余量和切削力的大小调整电磁盘吸力，使热压板应力和热胀向四周延伸更为自由，工件处于相对更自然状态。

(2) 变形控制 热压板工件在压淬火后经过了中温回火，切实减少了材料的内应力，但仍残留淬火应力、焊接应力，我们使用二大平面对称加工的办法，一方面均衡释放应力，保持应力平衡，另一方面也是运用高点浮出法，使得基准基础越来越好，让热压板平面在反复翻身加工中逐步趋平。另外，在切削液的选择上使用大流量全程乳化液强力冷却，大幅减小切削热胀变形。通过这些方法，有效控制了三个变形的因素。

4. 平板加工实践

(1) 机床调整措施 我们在精切加工试验中，有时会观察到板面上有正纹、网纹、反纹甚至组合出现。正纹过大，使板面椭圆凹面；网纹凌乱，破坏了板面表面粗糙度；反纹拖刀，使得刀具磨损成倍加剧。有时也会看到有明显有手感的接刀痕，加大了精铣和抛磨工作量。我们使用激光扫描检测和分析，认为这些现象都是横梁 Y 轴的直线度超差和主轴在 XY 面内双向垂直度形位要求超差引起。我们首先精细调整机床，使这两项精度在要求的范围内；其次规定加工时锁定 Z 轴、Y 轴单向进刀及向加工方向微量正斜；为提高切削效率，在满足最小接刀痕的前提下，减少 X 轴向前后接刀重合度，以抑制乱纹和接纹的产生。

(2) 平板加工工艺 热压板工作大面加工实行粗、半精、精、磨抛工序分开的原则。

在粗加工阶段，务必使零件处于自由状态、周边侧挡进行切削。零件与装夹平台之间间隙用铜皮塞实，因为零件具有弹性，如压紧进行切削，加工完放置一段时间后很可能会因反弹导致零件严重变形。为了使应力平衡释放，减小变形，最好能够做到一刀一翻身加工。对于粗加工切削刀具的选择，首先刀盘不宜过大，否则主轴相对于走刀方向任何微弱的横向倾角都将带来很明显的接刀痕迹；其次刀片装夹主偏角最好为 90°，这样被加工表面将不会受到轴向不利的压力作用。

半精加工阶段，装夹、加工方式及注意事项同粗加工工序。对于切削刀具的选择，同样选择刀片装夹主偏角 90°的刀盘，为了更好地保证切削性能和稳定性，选择较好的进口刀盘及刀片，以达到更好的半精加工效果。在刀片选择上，我们最终确定刀线具有高韧性和耐磨性、适合淬硬钢加工的刀片作为半精加工刀片。

精加工阶段，板面已基本平整，将零件放置于

电磁铁台面上，通电后磁力固定零件。加工时仍然恒定 Z 轴坐标，走刀定为 Y 轴单向加工，加工过程伴随高压切削液冷却，并随时观察刀片磨损情况。我们的经验是，刀片的耐磨度完成不了整个面的精加工，必须更换一次刀片。在切削刀具选择方面，刀盘选择了适合淬火钢高速加工的高铝合金刀体刀盘，刀片高度微米级可调式装夹，内置冷却保证了冷却的同时能够有良好的排屑性能。切削三要素按刀具试验确定的参数执行。

磨抛阶段，使用千叶轮和抛盘进行磨抛加工，无需冷却。千叶轮为粗磨工具，以抛去走刀痕迹和接刀纹为最终目的，抛盘为精磨工具，以降低表面粗糙度值为最终目的。

值得注意的是，在粗加工→半精加工→精加工→磨抛加工整个加工过程中，每完成一次整面加工都需对板面的平面度、Y 向直线度、板厚以及台阶厚度进行检测跟踪并作记录，以保证本道工序加工零件质量不影响下道工序正常进行。

5. 曲面加工实践

(1) 主型线和定位 圆弧热压板的上型线由“一平+二斜+二圆弧”组成（见图 2），工序确定以“一斜+两圆弧”为主型线，其理由是：这是条相切的光滑连续线，一次编程加工保证其型线的光滑过渡。在定位上采用将一斜线垫平，其优点是：让斜线转化成平面加工，减少了直线插补铣削，使其加工精度和效率更高。

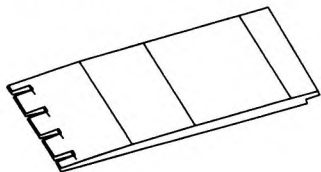


图 2

(2) 刀具选用 第一，考虑到直角刀片与圆刀片的切削余料形状，以及圆刀片能更好地减少精加工刀片所受的冲击力，故而采用圆刀片式的可回转刀具。第二，其所使用的圆刀片直径则直接影响了加工精度。从 CAD 图可知，刀片直径越大，走同样步距所形成的波峰越小，获得更低的表面粗糙度值（见图 3）。第三，选用更多刀片密齿刀盘，减少每齿的切削量，可大幅提高刀具的切削效率和刀片耐磨度。

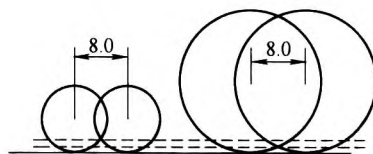


图 3

(3) 精铣曲面编程 精加工时，走刀路线确定为宽度方向的单向进给（即在短边上进行走刀进给），有三个原因：一是在短方向切削，每走一道线可在较短时间进入空切削状态，使刀片连续切削时间少，有利于延长刀片寿命；二是工件横向直线度要求较高，在宽度方向横向切削有利于保证工件要求的直线度；三是工件表面粗糙度值要求较小，采用单向切削可使走刀纹路趋于一致，有利于保证工件表面粗糙度。通过 CAD 造型，CAM 刀具轨迹生成，POST 后处理，DC 在线传输，获得曲面仿真走刀如图 4 所示。

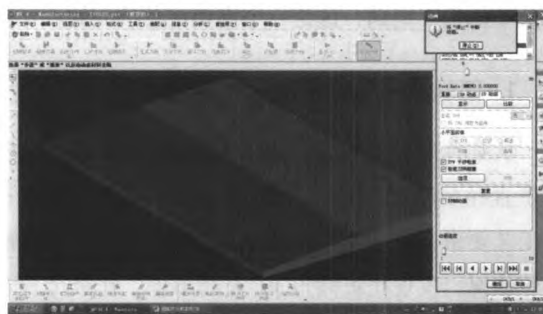


图 4

(4) 曲面抛磨 通过“一平+二斜+二圆弧”曲线符合机床特点的 YZ 面内的插补编程并配以磨盘，抛光精铣曲面的加工微痕，实现曲面的高轮廓度和镜面效果。

6. 结语

我们经过工艺设计，结合工艺试验各项成果，通过采取精密数控机床调整措施，对工件内应力变形的控制、合理的刀具选择、切削三要素及加工技巧实践和切削附件、定位工装、量表量仪、乳液强冷配置等工艺组合方法，在耐热高硬强韧材料一级平板平面的平板、曲面加工中执行，高效完成了热压板组零件精密加工，符合图样的各项技术要求和指标，热压板组加工工艺达到了国内同类产品的先进水平。MW

（收稿日期：20131020）