大型船用中速柴油机曲轴工艺设计

青岛淄柴博洋柴油机股份有限公司 （山东 266700） 邱前进 张严芳 丁 晓

曲轴是柴油机用于传递功率的关键零部件，在柴油机的工作循环中，曲轴承受周期性不断变化的压力、往复运动的惯性力、旋转质量的离心惯性力及力矩等复杂的交变载荷，承受拉、压、弯和磨损，因此要求曲轴应具备有足够的强度、刚性、韧性、耐磨性及良好的平衡性。

大型船用柴油机曲轴的长径比较大，刚性较差，尺寸、形位公差精度较高，因此加工工艺比较复杂。柴油机曲轴有6缸、8缸两种，6缸曲轴长4 085.5mm，8缸曲轴长5 115.5mm，主轴颈ϕ295mm，连杆轴颈ϕ280mm，材料为S44SY，轴颈及止推面淬火处理。图1为某船用中速柴油机8缸曲轴的外形。

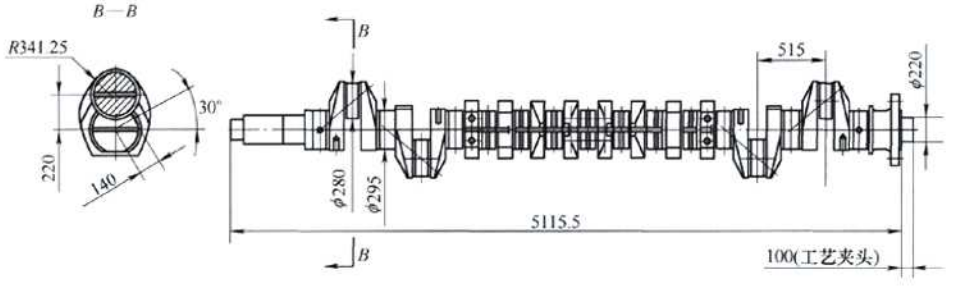

图1 曲轴简图

1. 曲轴的工艺流程

曲轴工艺流程为：曲轴毛坯的锻造→正火→划线→打中心孔→粗车主轴颈及工艺夹头→钻、铰定位销孔→粗车连杆轴颈→粗铣平衡重安装面→去应力退火→划线→半精车主轴颈→半精车连杆轴颈→探伤→去应力退火→粗磨主轴颈→粗磨连杆轴颈→钻油孔→淬火→回火→半精磨主轴颈→半精磨连杆轴颈→精车开挡、内R→精铣平衡重安装面及螺纹孔→精磨主轴轴颈→精磨连杆轴颈→锯夹头→车飞轮端止口→镗飞轮螺栓孔→抛光→探伤→动平衡。

2. 曲轴工序设计分析

（1）曲轴毛坯的锻造及预备热处理 曲轴毛坯采用使曲轴具有全纤维的TR法弯曲锻锻技术锻出，以保持曲轴内部金属纤维组织合理地连续分布，这样可以使曲轴的力学性能得到改善，使用寿命和可靠性得到提高。

S44SY钢的化学成份与45Mn钢相近，但其力学性能高于45Mn钢，曲轴锻造后采用正火处理，以消除锻造应力，降低硬度，细化晶粒，使组织均匀，并为后续的中频感应加热淬火做好准备。

（2）主轴颈的加工 首先借正曲轴毛坯划出两端十字中心线，在龙门镗铣床打两端中心孔，中心孔为加工主轴颈的定位基准，中心孔的加工质量直接影响曲轴的加工精度，因此，中心孔在粗加工及热处理后必须进行修研。在数控车床粗车主轴颈外圆、开挡面及两端工艺夹头外圆，工艺夹头作为曲轴车床及磨床的其中一个定位基准，曲轴毛坯在两端预先留有工艺夹头。

（3）钻、铰定位销孔 主轴颈加工完成后，以两端工艺夹头为基准，在飞轮端面钻、铰定位销孔，作为曲轴车床及磨床的另一定位基准，以保证加工主轴颈与连杆轴颈基准的统一。

（4）连杆轴颈的加工 曲轴连杆轴颈的加工在双头曲轴车床上完成，根据车床的结构和曲轴加工的要求，设计了曲轴车床专用夹具。该夹具

上设计有调节工装偏心距及分度装置，夹具底座上布置有加工6缸、8缸曲轴各轴颈及臂膀圆弧的分度定位销孔，同时配用不同的平衡块，可以实现一次装夹工件完成曲轴连杆轴颈、开挡及臂膀圆弧的加工，具有一定的柔性，大大提高了生产效率。

曲轴的曲柄销半径为220mm，加工连杆轴颈外圆时，先通过两端夹具的梯形螺杆9调整偏心距至220mm，在工装的另一侧配置相应的平衡块2，使之与工装和曲轴的重量保持平衡。以曲轴两端工艺夹头、飞轮端面定位销孔及飞轮端面定位，为一面两销定位原理，夹头放置在两端夹具的定位块上，飞轮端面靠于夹罐5端面，左端夹具菱形定位销8插入曲轴飞轮端面定位销孔，保证工件在夹具上的轴向和周向定位，用压盖7夹紧曲轴两端工艺夹头。

现以加工6缸曲轴为例说明加工过程，图2为加工6缸曲轴的第1、6缸连杆轴颈示意图。先将定位销2插入相应的定位孔中，压紧夹紧环6，加工第1、6缸连杆轴颈后，拔出夹具两端定位销，松开夹紧环，旋转蜗杆7，夹罐逆时针转120°，插入定位销，压紧夹紧环，即可加工第2、5缸连杆轴颈，依次可以完成其他轴颈的加工。

从图1中可知，曲轴臂膀圆弧的圆心分别位于主轴垂直中心线两端旋转60°，距主轴颈中心140mm处，因此加工臂膀圆弧时，先调整两端夹具偏心距至140mm，同时夹罐以加工第1、6缸轴颈位置，逆时针旋转60°，可以完成第1、6、3、4缸一端臂膀圆弧的加工，同理可完成其他各相位臂膀圆弧的加工。

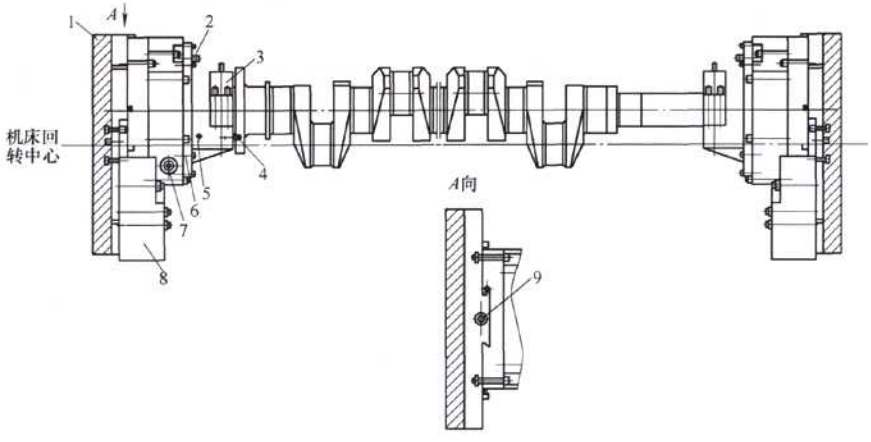

图2　加工6缸曲轴1、6缸连杆轴颈示意图

1. 机床夹盘　2. 定位销　3. 压盖　4. 菱形定位销　5. 夹罐　6. 夹紧环　7. 蜗杆　8. 平衡块　9. 梯形螺杆

（5）曲轴平衡重安装面、飞轮螺栓孔及油孔的加工　龙门镗铣床设计了铣夹具，以曲轴主轴颈及飞轮端面定位销孔定位，夹具具有分度功能，通过旋转分度完成曲轴各相位平衡重安装面、螺栓孔及油孔的加工，安装面螺栓孔的精度为5级精度，精度要求比较高，采用螺纹铣刀铣削加工，能获得较好的表面质量和螺纹精度。曲轴斜油孔角度为40°31′，因龙门镗铣床铣头最小旋转分度单位为2°30′，为实现斜油孔的加工，设计方案通过铣头和铣夹具同时旋转，最终达到斜油孔的倾斜角度。斜油孔长径比为1:26，属于典型的细长孔，并且与主轴颈、连杆轴颈油孔贯通，因此油孔的加工方式采用枪钻工艺，能更好的保证加工表面质量和生产效率。

（6）曲轴的淬火、回火　曲轴在工作过程中将活塞连杆的往复运动变为旋转运动，使曲轴承受冲击和扭转，曲轴承受很大的弯曲应力和扭转应力，为提高曲轴的耐磨可靠性，通过对曲轴表面淬火进行强化处理。曲轴要求主轴颈、连杆轴颈表面淬火硬度为48.5～62HRC，深度2～4mm，止推面淬火硬度≥37HRC，深度0.75～1.5mm，曲轴材料为中碳钢。根据工件的材料成分和淬火的深度及硬度要求，设计采用中频感应喷淋淬火，中频感应淬火能够达到较深的硬化层，处理速度快，生产率高，节约电力。

曲轴淬火机床上设置有三种感应器，分别自动对曲轴主轴颈、曲柄销和止推轴承两侧进行中频淬火。淬火机床的感应器独立悬挂平衡机构、数控浮动跟踪机构是曲轴淬火机床的核心部件，实现感应器在曲轴淬火过程的浮动跟踪定位，并调整负载系统对曲轴的压力以减少曲轴淬火的变形量。

为了能使工件获得要求的淬火硬度和深度，同时避免淬火裂纹和减小变形，采用PAG类水溶性淬火介质。实践证明，PAG类水溶性淬火冷却介质冷却特性稳定，可以获得长期的淬火冷却效果，使用安全、清洁。

曲轴淬火后，应及时进行回火处理，防止变形和裂纹，消除淬火工件中的淬火内应力，提高组织稳定性，使工件在使用过程中不再发生组织转变，从而使工件几何尺寸和性能保持稳定，调整钢铁的力学性能以满足使用要求。

曲轴淬火要求有淬火硬度、深度、宽度和控制变形、防止裂纹等方面的要求，各方面的质量控制要通过淬火、回火各参数综合调整来控制，包括淬火的温度、时间，淬火液的浓度、回火温度等。针对淬火后容易出现的裂纹、变形、硬度不均匀现象，通过试验数据的总结分析，有些淬火后的裂纹并不一定是淬火引起的，在淬火过程中，由于过热，当淬火产生的巨大应力大于材料本身的强度并超过塑性变形极限时，便会导致裂纹产生，淬火裂纹往往是在马氏体转变开始进行后不久产生的，裂纹的分布没有一定的规律，但一般容易在工件的尖角、截面突变处形成。如果裂纹两侧有氧化脱碳现象，则可以肯定裂纹在淬火之前就已经存在，比如磨削裂纹。工件经淬火后最终残存下来的应力，当它超过材料的屈服强度时，便引起工件的变形甚至会使工件开裂。

为减小曲轴的淬火变形，首先要精准配置淬火机床感应器的平衡块，使平衡块与感应器保持平衡，减小感应器对工件的附加压力。淬火时，通过调整中心架的高度，确保各支撑位置等高，曲轴与机床主轴采用柔性连接，并且不影响曲轴淬火时的热胀伸长。另外，合理安排轴颈的淬火顺序，保证每隔两个轴颈位置淬火，减少热变形的影响，通过以上三方面综合控制曲轴的变形量。

淬火冷却介质是影响淬火硬度和变形、开裂的重要因素，淬火冷却介质的浓度越大，其冷却能力越差，相对淬火硬度低。淬火冷却介质的冷却速度是影响淬火质量的决定性因素，为保证工件表面淬硬并获得一定的淬硬层深度，同时要减少热应力和组织应力对零件的有害作用，要求淬火冷却介质在不同的冷却阶段应具有不同的冷却能力，特别在等温转变图鼻尖处，是过冷奥氏体最不稳定区域，零件的冷却速度必须大于临界冷却速度，防止在淬火过程中发生珠光体和贝氏体转变。在低温300℃时应当以缓慢的冷速，防止因巨大的热应力和组织应力引起变形和开裂。

（7）曲轴的磨削　曲轴磨削在曲轴磨床上完成，包括主轴颈、连杆轴颈及止推面的粗磨、半精磨、精磨。在磨主轴颈及止推面时，以曲轴两端工艺夹头定位，磨连杆轴颈时，以曲轴两端工艺夹头及飞轮端面定位销孔定位，通过找正分度装置，实现不同相位轴颈的磨削，保证不同相位角度偏差±20′，同相位偏差在±8′，曲柄半径通过调整两端工装的偏心距实现。

曲轴在磨削时容易出现磨削烧伤，如磨削区的温度未超过淬火钢的相变温度，但已超过马氏体的转变温度，表层金属的回火马氏体组织将转变成硬度较低的回火组织，为回火烧伤；如磨削区的温度超过淬火钢的相变温度，再加上磨削液的急冷作用，表层金属发生二次淬火，为淬火烧伤；如磨削区温度超过了相变温度，而磨削区域又无磨削液进入，表层金属将产生退火组织，表面硬度急剧下降，为退火烧伤。

由此可见曲轴磨削时出现的磨削烧伤，磨削热是造成磨削烧伤的主要原因，因此要尽可能的减少磨削热的产生，改善冷却条件。通过试验得出，在选择合适的砂轮前提下，通过加大磨削液的流量和压力，同时在半精磨、精磨的过程中，砂轮的进给量随磨削余量的不断变化做梯度改变，并及时对砂轮修整，保证砂轮的锋利。实践证明，通过以上多方面的改进，有效的防止了磨削烧伤的产生。

3. 结语

通过对某船用中速柴油机曲轴试制、工艺验证，并经小批量生产实践证明，工艺设计方案合理可行，能够达到曲轴图样设计要求。**MW**

（收稿日期：20110112）