

船用柴油机技术发展及加工设备需求

机械工业信息研究院 (北京 100037) 马为清 李小娜 胡端阳 王峰丽

舰船动力装置在过去近百年中,经历了从蒸汽机推进到柴油机推进的重大变革。近几十年,随着船用燃气轮机的出现和核能的开发,舰船动力装置得到了极大的丰富,国外在舰船柴油机和燃气轮机等领域的技术发展迅速。

一、船用柴油机技术发展概况

船用柴油机具有热效率高、功率范围广、较好的功率重量比和功率体积比等优点,因此在舰船动力装置中所占份额极大。在一般大中型民用船舶中,有90%以上使用柴油机做为主推进装置,一般称为主机,只有在一些军船和特种船舶和个别货船(比如一些LNG船和运煤船等)使用燃气轮机、蒸汽机等。

现代低速柴油机,以MC系列为例,其单轴功率为1 600~69 640kW,此范围满足了大部分船舶的推进要求。为与低速柴油机争夺市场,中速柴油机的输出功率也在不断提高,两者功率重叠范围不断扩大。现在中速柴油机可选范围为720~18 000kW。而高速柴油机功率在3 000kW以上时选择余地不大。

船舶发展的大型化与高速化,使得柴油机将进一步向高性能、大功率方向发展,并要求具有高的可靠性和耐久性。近10年,船用柴油机在高可靠性、低排放和高功率密度等方面取得了长足的进步,这与其在共轨喷油技术、电子控制技术和相继增压技术等领域的发展密切相关。

1. 共轨喷油技术

在MTU4000系列柴油机上应用的第一代共轨喷油系统的喷油压力为180MPa,第2代共轨喷油系统采用高压直列式燃油泵和引入式喷油器,与第1

代系统最大的不同是每个引入式喷油器都配有燃油蓄压器,蓄压功能由这些蓄压器来完成,共轨的功能缩减为仅向蓄压器供油。蓄压器可在整个功率范围内产生180MPa的压力。

2. 电子控制技术

柴油机电子控制技术包括,增压系统和配气系统等采用电子控制,以及电子调速、气缸电子润滑和柴油机电子启动等,即对柴油机的工作运转等进行全电子控制。MTU公司的改进型4 000舰艇柴油机采用了新一代燃油共轨技术和电子控制技术,废气可不经烟气再处理和不使用其他设备就可满足排放要求,达到了新的NO_x排放限制,NO_x排放量为7.2g/kW·h,粒子排放也很少。

3. 相继增压技术

舰船柴油机大多采用相继增压系统(STC),使柴油机在高转速时2台(多台)增压器能一起工作,低转速时1台增压器停转或部分增压器停转,以提高其效率,从而增大低转速时的柴油机功率,改善低负荷性能。

二、大型船用柴油机的制造与加工

柴油机的曲轴、机体、缸盖、连杆及凸轮轴五大件的机械加工、热处理和计量检测能力是中低速柴油机制造投入的重点。

1. 船用曲轴的制造加工

船用柴油机曲轴由于承受载荷极大,转速不是很高,所以在尺寸和重量上高出普通曲轴很多。船用柴油机曲轴目前大多采用优质合金结构钢,且有向球墨铸铁方向发展的趋势。

目前国内外制造超大型曲轴毛坯普遍采用的成

型装备是在大型通用自由锻水压机上加装专用的弯曲锻压装置。大型柴油机曲轴弯曲锻压技术包括曲轴弯曲锻压设备与曲轴弯曲锻压工艺两部分,其技术的发展进程表现在曲轴弯曲锻压设备的进步与曲轴弯曲锻压工艺的更新两方面。国际上曾采用和正在采用的曲轴弯曲锻压技术有RR法、TR法、NRR法和卧式曲轴弯曲锻压专机四种。

大型曲轴按结构可分为整体式和组装式两种。其中组装式曲轴采用曲柄单件加工,热装后整体加工的加工工艺。组装式曲柄是将曲轴上的主轴颈和曲轴作为两个工件分别予以锻造、热处理及大部分机械加工,然后再用过盈配合方法装配成整根曲轴,最后经少量修正加工而成。船用曲轴制造加工工艺复杂,由于其自身尺寸大、重量重,所以一般采用专用机床加工。

2. 柴油机缸体的加工

一般柴油机缸体缸孔精度达到IT6,缸孔与主轴孔垂直度为0.015~0.02mm,缸孔圆柱度为0.006~0.008mm,缸孔止口深度误差为0.02~0.025mm。无论是缸体的缸孔加工还是三轴孔的加工,需要专用精密机床或是加工中心完成高精加工的要求,能大大提高机床的柔性化。而且对整个缸体的加工采用由加工中心组成的柔性敏捷自动线,采用桁架机械手输送,可以真正实现高速、高效、高精的生产制造模式,非常适用中小批量的生产,适应多品种的加工。

三、船用柴油机的加工设备需求

大型船舶动力装置的关键加工件集中在大功率柴油机的机座、机架、气缸体、缸盖活塞杆、十字头、连杆、曲轴等,关键加工件材质为特种合金钢,一般为小批加工,要求加工成品率100%。现代大型船舶的关键配套设备几何尺寸大,精度要求高,因此要求加工设备的规格大、功率大、扭矩大和精度高。

1. 低速柴油机机体加工

用于加工大型低速柴油机机体加工的设备,不仅需要主轴功率大、扭矩大,还需要加工精度高,并配备相应的检测设备,主要加工设备有龙门镗铣五面加工中心、数控落地镗铣床、数控导轨钻床、

卧式镗铣加工中心和数控立式车铣加工中心等。其中,数控龙门镗铣床应具有铣、镗、钻、绞和攻螺纹功能,工件一次装夹,可实现5个面的加工。

2. 低速柴油机汽缸的加工

加工低速柴油机气缸套的主要设备有缸套内外圆车床、立式珩磨机等,用于缸盖加工的设备为卧式加工中心、数控立式车铣加工中心,用于低速柴油机油头油泵加工的卧式车削中心、五面体加工中心等。另外,还需要加工连杆和活塞杆的深孔钻镗床及中凸变椭圆的大活塞加工设备。

船用柴油机机体重量大、尺寸大、加工要求高,焊接后去应力难度大,高精度的热处理设备也是船舶制造的必需。

3. 低速柴油机曲轴的加工

曲轴在柴油机中承担最大负荷和全部功率,承受着强大的方向不断变化的弯矩及扭矩,同时经受着长时间高速运转的磨损,因此要求曲轴材质具有较高的刚性、疲劳强度和良好的耐磨性能。

(1) 曲轴加工工艺要求 曲轴的加工工艺复杂,大型曲轴制造加工工艺更加复杂,由于其自身尺寸大,重量重,所以一般需要专用机床加工。而且,有的轴颈表面需要强化处理提高其耐磨性和疲劳强度。曲轴加工工艺的复杂性通过一些几方面体现:①曲轴形状复杂,连杆轴径和主轴径不在同一根轴线上,在连杆轴径加工中易产生不平衡的现象,应配备能迅速找正连杆轴颈中心的偏心夹具,且应加平衡块。②船用柴油机大型曲轴的长径比较大(一般 $L/d=10\sim 20$),因此刚度较差。为防止变形,在加工过程中应当采取措施:选用有较高刚度的机床、刀具及夹具等,从而减少变形和振动;减少扭转变形、弯曲变形,在加工中尽量使切削力的作用互相抵消;采取跟刀架、辅助支撑等措施,防止曲轴轴向变形;合理安排工位顺序以减少加工变形;增设校直工序。

曲轴加工的主要工序包括:打中心孔、铣定位面、车大小头孔及端面、粗磨连杆轴颈、钻细长油孔、钻攻飞轮螺孔、磨削主轴颈。磨削主轴的工序为粗磨→半精磨→精磨→抛光。现在曲轴粗加工比较流行的工艺是:主轴颈采用车拉工艺和高速外铣,连杆颈采用高速外铣,而且倾向于高速随

(下转第76页)

度要求。经试制,确定浮动间隙为0.12mm。凸模固定板底部开设3条3mm宽、3mm深的排气槽,保证模具与外界相通。

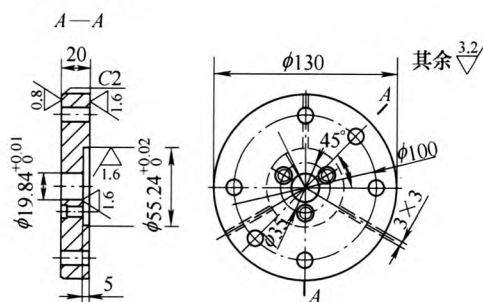


图4 凸模固定板

(3) 凹模:根据冲压设计资料,凹模(见图5)与凸凹模的冲裁间隙取0.01 mm,材料选用T10A,热处理硬度58~60HRC。

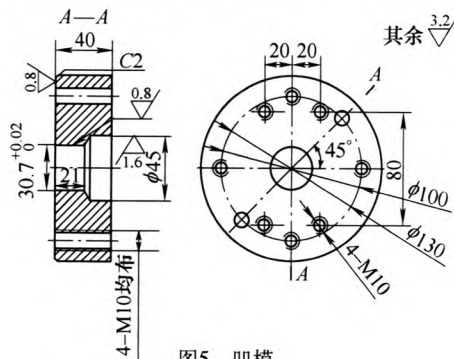


图5 凹模

(4) 凸凹模:采用无修边落料拉深工艺,选取合适的间隙尤其重要。根据材料特点,查阅设计资料,根据实际经验,在设计模具时凸凹模(见图6)与冲裁凹模的冲裁间隙取0.01mm,与拉深凸模的单面间隙取0.23mm,材料选用T10A,热处理硬度58~60HRC。

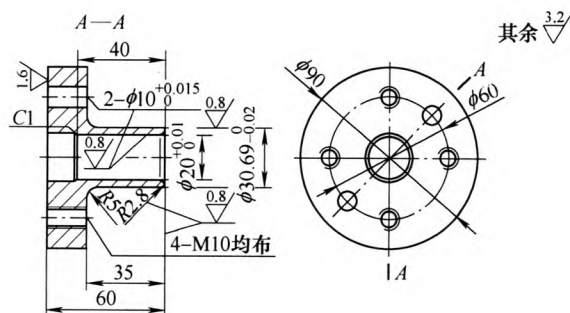


图6 凸凹模

4. 结语

该模具由于采用了浮动凸模调节结构,下模开槽排气通道,给控制工件的尺寸精度及成形质量带来了方便,缩短了生产准备周期,提高了生产效率,取得了较好的技术提升和经济效益。MW

(收稿日期:20120110)

(上接第38页)

动外铣,全部采用干式切削。采用连杆颈随动磨削工艺,可以显著地提高曲轴连杆颈的磨削效率、加工精度和加工柔性。在对连杆颈进行随动磨削时,曲轴以主轴颈为轴线进行旋转,并在一次装夹下磨削所有连杆颈。在磨削过程中,磨头实现往复摆动进给,跟踪着偏心回转的连杆颈进行磨削加工。另外,还必须具有足够的跟踪精度,以确保连杆颈所要求的形状公差。CBN砂轮耐磨性高,在磨削过程中砂轮的直径几乎是不变的,还可以采用很高的磨削速度,磨削效率很高。可以说,随着现代驱动和控制技术、测量控制、CBN(立方氮化硼)砂轮和先进的机床部件的应用,为曲轴磨床的高精度、高效磨削加工创造了条件。

(2) 曲轴加工设备需求 曲轴粗加工多采用车床车削曲轴主轴颈及拐颈。数控内铣铣削工艺是目前国际上曲轴连杆颈粗加工先进的加工方法之一,尤其对于大功率锻钢曲轴的加工,更有利于断屑,

刚性特别好。内铣机床有多种加工形式,使用最多的是曲轴固定型数控曲轴内铣加工工艺。其主要特点是:生产效率高、加工精度好、适用范围广、柔性好。

曲轴精加工采用曲轴磨床。为满足曲轴日益提高的加工要求,对曲轴磨床提出了很高的要求。现代曲轴磨床除了要有很高的静态、动态刚度和很高的加工精度外,还要求有很高的磨削效率和更多的柔性。近年来,更要求曲轴磨床具有稳定的加工精度,为此,对曲轴磨床的工序能力系数规定了 $C_p \geq 1.67$,这意味着要求曲轴磨床的实际加工公差要比曲轴给定的公差小一半。

曲轴加工的主要设备有数控曲拐车(铣)机床、数控曲轴车/铣复合加工机床、数控落地镗铣床、曲轴磨床和卧式车铣中心等设备。数控重型车铣复合加工中心要求其回转直径大,要有近100t的承载能力。MW (收稿日期:20120501)