

管子自动加工生产线 及其在船舶管系制造中的应用

上海船舶工艺研究所 (200032) 赵伯健 毛信顺 曹凌源 张剑锋

【摘要】 管系制造是船舶建造中的重要环节, 随着船舶行业的发展, 对船舶管系制造技术提出了更高要求。本文以实际生产应用的管子自动加工生产线为例, 介绍了多工艺、多工序混合作业的柔性化管子自动加工生产线在管系制造中的应用。

1. 概述

管系建造是船舶和海洋工程建造的重要环节之一。以一条7.5万吨级的液化天然气运输船(LNG)为例, 船上分布的各种管子总长度可达39km。据统计, 船舶建造工程中的管系加工和安装工作量占建造总工时的9%~18%, 其中各种法兰管的装配和焊接工作量占一半以上。

由于历史原因, 我国造船业管系生产多年来普遍沿用传统生产模式, 按批量法则以“工种”专业化为导向建立, 根据工种所需的设备划分场地和操作人员, 各加工环节自成一体, 机械设备简易, 过于依靠人工操作。以致生产管理复杂, 制造周期长, 质量控制困难, 工人劳动强度大, 成为了制约造船生产效率进一步提高的主要瓶颈之一。

随着船舶行业的发展, 新型船舶不断问世, 对船舶管系生产提出了更高的要求。近年来, 为了提高管系生产能力, 转换造船模式, 按成组技术原理, 开展“管件族”制造法, 采用自动、半自动管子加工生产线实现高效的生产方式的技术研究正逐步在开展, 这是管系制造发展的方向。我所在“十五”期间, 产学研用相结合, 成功研发中径管自动加工生产线, 投入生产运行至今, 实现了高效率的管子自动加工生产方式。

2. 管子自动加工生产线的组成

管子自动加工生产线主要针对船舶管系中数

量相对较大的中径管的切割下料和法兰直管的焊接生产加工, 管径规格DN100~250mm, 壁厚5~13mm, 零件长度0.1(法兰管焊接为0.8)~6m。装备采用流水线形式配置, 由定长切割、法兰装配和法兰焊接等自动生产线组成, 可以根据产能需求灵活配置多套生产线组合。通过现场数据网络、计算机系统集成一体化多工艺、多工序混合作业的自动化加工流水线。各生产线之间自设置上、下料机构和存放料架, 自动进行工件输入、输出, 保持物料存取和流动连续通畅, 杜绝工位之间的堆放和吊运。根据原料管、装配管和焊接管的不同形式分别设计了滚动式移动、挡杆式移动和翻板式移动存放料架, 工件按步进方式传送。

通过现场局域网接受生产管理系统加工信息、工艺流程要求, 通过定长切割生产线, 将预先堆放在材料架平台上的原料管子进行自动进料、长度测量、实时套料、定长切割、分理传送和收集; 通过装配生产线承接经过定长加工的定长直管, 从存放料架上依次移位、上料、就位检测、中心定位、法兰转角定位、法兰装配和点焊成为待焊接管; 再经过法兰焊接生产线将待焊接管依次移位传送, 由机器人焊接系统自动识别焊缝和跟踪, 依据专家数据库自动匹配最佳焊接参数, 进行单层或多层焊等加工工序, 直至完工收集, 形成了高效率、高质量的自动化流水线生产。

(1) 定长切割生产线 管子定长切割是管子

加工生产的第一道工序,为后序法兰直管、弯管和开孔切割加工提供定长管子零件。接受来自生产计划管理系统的加工信息,执行自动进料、测量套料、定长切割和分理传送等工序流程,整个加工过程自动进行。

定长切割线装备由原料管料架,初级进料输送,次级分离输送,定长顶推台车,自动坡口切割机以及分离收集料架组成。原料管料架由一个倾斜钢结构平台和一套气动上料装置组成。上料时,原料管由上料装置托起置于初级辊轴传送带,初级传送由被动辊轴组 and 一台定长送进台车构成,台车带有夹紧机构和位移编码器,工作时顶推原料管向前,并由编码器信号向控制台传递移动距离数据,实现长度测量、计算机套料和定长传送功能。原料管经过切割机被切割加工、送入次级输送带,次级传送由动力辊轴组和下料机构组成。在控制器指挥下,将完成切割的管零件分离传送、下料到目标集料架。

自动坡口切割机是定长切割线的关键设备之一。它运用金属切削加工的原理,采用了工件固定不动,刀具随主轴旋转同时作径向进给的加工方法,既可实现I形切口,也可实现V形切口加工。在运行控制上采用了伺服控制技术,切削速度和进刀量都连续可调。最大切割管通径250mm,最大切割壁厚13mm。刀架盘上布置两把切割刀具,一把平割刀,一把600角割刀,由刀具对管子进行径向切断以及断面坡口切削加工,切断和坡口加工同时完成(见图1)。金属切削加工产生的工件精度、垂直度、表面质量极好,无须进行修正和打磨便可进行焊接,生产效率很高。以DN200mm、壁厚13mm的管子切割为例,设定切削速度60m/min,进刀量0.1mm,切断和开坡口同时进行,加工时间

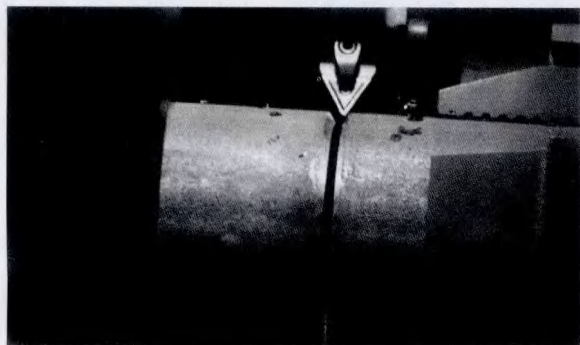


图1 带坡口定长切割

约2min。较目前普遍采用的带锯床切割方法,效率提高数倍,避免了先切断后加工坡口的二次加工工艺,具有明显的技术优势。

(2) 法兰装配生产线 法兰装配生产线安装于管子定长切割与管子法兰焊接生产线之间。主要用于定长切割加工后的直管零件与法兰的定位焊接,采用了机械自动定位和定位焊人工辅助的加工方式。它接受管子定长切割生产线实时加工流程数据信息,进行在线方式生产,保持同步运行。

管子装配生产线配置上下料机构、托辊支架和两套数控可升降卡盘式法兰定位机构,为了适应不同管长,其中一套安装在轨道台车上。卡盘式法兰定位装置可保证法兰平面的垂直度以及圆心精确定位。加工时台车由伺服驱动自动行进到符合直管长度的位置。上料架上滚落的管子经滚道置于托辊支架。工作时两套卡盘式法兰定位机构的气动夹爪将法兰夹紧,按法兰螺孔偏转角度需要旋转法兰,由伺服控制自动升降调准法兰圆心与管子轴线一致,保证了焊缝间隙均匀的最佳装配效果,经实施定位焊。

(3) 管-法兰焊接生产线 管-法兰焊接生产线由焊接旋转变位机构和机器人焊接系统组成。机器人焊接系统采取头尾架式双机器人结构、两端法兰先内角后外角同步焊接的全自动化生产方式(见图2)。

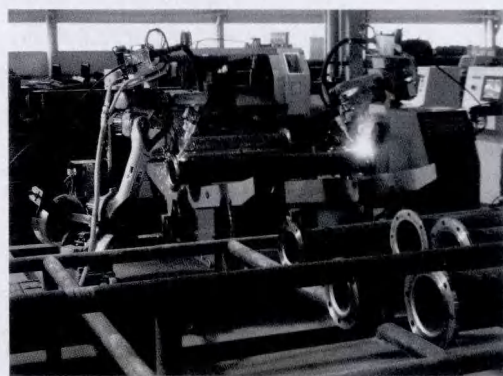


图2 机器人管-法兰焊接生产线

焊接旋转变位机构是生产线关键设备之一,担负着移位上料、管子定位、旋转变位等加工功能。考虑到国产管子材料存在尺寸偏差大的特点,我们设计了自定心卡盘无限角度旋转机构。整套焊接旋转变位机构由上下料机构、可升降自定心卡盘无限角度旋转机构、两套双滚轮承载支架和移动轨道组

成,其中一套安装于固定平台,另一套安装在移动轨道上的尾架小车。加工时尾架小车由伺服驱动自动行进到符合直管长度的位置,法兰管由上料臂接力送进入滚轮承载支架位置。卡盘式夹紧机构由升降伺服电动机控制根据焊接管径规格上升到圆心位置,卡盘紧法兰外缘,由伺服电动机带动卡盘旋转。配合机器人实施焊接,完成法兰内、外角焊接。法兰是车削加工工件,尺寸精度较高,定心夹紧其外缘旋转,可确保焊缝是以法兰内圆作为基准的同心圆轨迹,不受管子圆度和挠曲度影响。采用夹紧旋转方式避免了摩擦旋转方式下管子出现轴向移动和滑动现象,可精确控制旋转角度,满足收弧需要。这对多层焊尤为重要。

通过对多种规格管材的焊接工艺试验和优化筛选,建立管子法兰焊接参数数据库,包括了焊接工艺、焊接层道数和各层道焊接速度等相关参数。焊接时根据工件规格,数据库实时自动提供优化的焊接参数,供机器人实施完成法兰直管的焊接。

焊接机器人对被焊工件的尺寸精度和装配精度及定位有较高的要求。管子加工中存在的长度偏差($\leq 1\text{mm}$)和装配偏差($\leq 1\text{mm}$),再加管子移动、上料过程的定位偏差(约 5mm),综合偏差难以满足上述机器人的位置重现要求,因此,必须进行焊缝位置的自动寻找和焊缝跟踪。

机器人焊接采用了接触式焊缝起始位置检测传感系统,采取焊丝与工件三维基准面接触的方式获取当前工件实际位置,并计算出焊缝与示教位置的偏差数据,作为自行平移调整参数,以适应上料定位的偏差和工件尺寸偏差。

焊缝跟踪采用了摆动式电弧跟踪系统。管法兰焊接属于角焊缝,在第一层摆动焊接时,摆动电极在两个直角边之间运动,产生电弧长度的周期性变化。焊接机器人配置电弧传感器,根据气保焊电弧自适应原理,通过采集焊接电流信号可以反映出这一变化。得出的信号偏差可计算出焊枪高度偏差和对中偏差,根据获取偏差数据自行调整焊枪位置,解决了由于装配偏差和焊接过程热变形导致的焊缝实时跟踪问题。对于多层焊接,由于底层焊接后角焊缝得到填充,形状改变导致电弧信号的变化不再明显,给电弧跟踪带来了困难。经过分析,旋转焊接时,管子焊缝偏差是以每转为周期重复出现,因

此可以对两层以上的焊缝偏差纠正采用底层偏差记忆重现方法。底层焊接时,在管子圆周上设置 N 个纠正点,电弧跟踪焊接经过各纠正点,由机器人记录臂端实时位置坐标偏差值,底层焊接完成时按顺序记录下 N 个位置偏差值,底层以后焊接,每经过纠正点时控制系统向机器人发出信号,机器人将手臂移动对应顺序的位置偏差,重现了底层焊接时高度偏差和对中偏差的纠正。纠正点越密,偏差模拟就越精确。

3. 柔性化自动加工生产线的集成运行控制

通常船舶管系辅助生产设计系统可以在离线状态下确定管子零件的某些加工属性,如加工日期、套料排列顺序、流程分配等。但是一旦预先假设的条件发生改变,如原料管长度不符、生产调度改变或设备局部维护检修等情况发生,预先的确定无法执行,将会引发生产流程受阻。柔性化混合作业自动流水线不仅仅是可以适应一定规格范围的产品加工,更重要的是具备按生产计划在线自适应完成任务的分配,物流的方向选择及信息的同步跟随,产能平衡调节和加工记录及可追溯等特性。这样上层生产计划管理系统只要确定一个阶段任务,在“壳、舾、涂”一体化的现代造船模式下,通常以分段加工周期作为管系生产任务阶段目标,即对同一分段的管子零件赋予同样的周期属性(往往以分段代码表示),周期内具体生产顺序、加工设备的安排指定由生产线运行控制系统根据生产实际情况作调度决策,保持生产流程的通畅,合理利用各种资源。以此为目标,生产线集成运行控制具备如下功能。

(1) 自动套料 套料的目的是最大限度地利用原料管,使切断后废料最少。从市场采购的船用原料管通常是不定长。原料管子在生产线上将被切割成符合需要长度的零件,按“管件族制造法”组织生产,这些管子零件的规格和长度是随机的,因此不适合预先进行离线套料。

实时自动套料技术可有效解决套料难题。该技术在不影响流水线加工效率的前提下对原料管长度实时测量,控制系统在待加工管件中选择周期属性、管径、壁厚属性相同的管子零件,按照最短余料的原则进行套料组合,实时进入定长切割加工。由于遵守周期属性,生产计划的要求得到了满足,

而管子零件的生产顺序则由套料结果实时确定。管子零件一旦完成切割进入后序加工传送,其被赋予的加工属性信息将伴随物流逐个传送后序加工对应的控制系统,直到在自动加工生产线上完成全部加工。即每个零件一套数据贯穿整个加工流程,中间过程没有数据输入。

(2) 负荷自适应决策 管子自动生产线根据产能由定长切割生产线配置数条装配及焊接生产线组成(见图3)。因此存在切割后的物流传送路线确定和生产能力的平衡问题。作为柔性生产线,不同规格工件流转加工,各工序加工装备的负荷是不相等的,需具备实时监测和生产负荷自适应调节才能保持生产线连续流畅运行。定长切割线控制系统设计了生产负荷平衡调节决策功能模块。在分理传送时通过信息网络检测后道加工的载荷信息,向最轻负荷位置传送物料和加工信息。这种负荷平衡自适应调节,不依赖人工调整设备或安排生产批次,即使局部设备检修维护,仍可保持其他生产线流转运行,具有高度灵活性和可靠性。

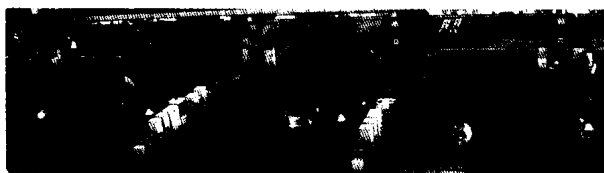


图3 一套定长切割和三套法兰装配、法兰焊接
集成一体化管子自动加工生产线

(3) 基于信息网络的运行控制系统 管子自动生产线以现场局域网架构信息传递通道,分配相应的网络地址。局域网的出入口与管子加工中心的“生产计划管理系统”连接。信息网络实现信息传递交互,即接受来自生产管理系统的信息,实现集中的生产组织和管理控制,同时各生产线组合间相互传递实时加工数据信息,控制各自物料工件的流转加工。各工序加工过程的生产信息都由计算机控制系统以工作日志的形式记录,“生产管理系统”可以通过局域网收集、保存工作日志,用于检测、查询和追溯。

各组成生产线都配置独立的控制系统,各控制系统的主控计算机通过信息网络连接,实现同步运行。控制系统由多级控制组合构成,如焊接生产线由主控计算机、可编程逻辑控制器、机器人控制系统构成三级控制系统组合,独立控制执行各自的加

工任务。第一级控制是工控计算机,通过信息网络接收前道工序的数据,包括:工件规格、加工工艺信息等;经过计算和处理,产生相关控制信息指令到下级控制。第二级控制是可编程逻辑控制器,在信号级别上完成定位、传送、切割、装配和焊接等过程控制和伺服系统执行控制。将控制信息转换成相应控制代码,协同机器人运行,负责故障监控、保护和协调工作。第三级机器人控制系统,根据工艺代码自动选择相应的运行程序,执行焊接过程操作。采取多级控制系统有利于发挥每一级控制器的优势和特点,既有丰富的计算机系统平台资源和充分友好的界面,又有精准、可靠的操控执行能力,保障了系统的稳定和可靠。

4. 结语

管子自动加工生产线是一条柔性化混合作业生产线。配置了坡口割管、数控定位装配、双机器人焊接系统等核心加工环节,架构信息网络,实现同步在线运行。为了适应国产管材存在尺寸偏差大的实际工况应用,在切割下料、存储传送、上下料、定位、焊接旋转变位等工装配套环节开展系列创新研发。能完成覆盖中径管范围的几十种规格管子的切割下料以及法兰直管的装配与焊接加工。除了在法兰装配工位法兰定位焊固定采取人工辅助操作,生产线运行不需依赖人工操作而自动执行,自动化程度很高。

管子自动加工生产线的实现和投入应用提升船舶管系生产基础条件,改变传统的生产方式。它根据成组技术理论建立的管线族制造法先进生产组织、管理模式,在分道作业的区域(中径管加工区),采用集成化的组合生产线以流水作业方式开展管子切割加工和法兰直管焊接生产的自动化生产加工。对提高加工质量和效率,减轻工人的劳动强度,改善生产环境,促进船舶建造水平和能力的提升起到推动作用。这项技术成果2007年起先后在上海、广州、江苏等地船厂投入生产运行,性能稳定可靠。无论焊接效率还是焊接质量都获得显著提高,大幅减少后期修补打磨工作。管子自动生产线投产应用为企业节约大量的人力、物力资源,带来良好的社会效益,具有广阔的推广应用前景。

MW (20120807)