

焊管生产线铣边机关键功能的 自动控制设计

韩立坤

(中油宝世顺(秦皇岛)钢管有限公司, 河北 秦皇岛 066206)

摘 要: 为了实现焊管生产线铣边机关键功能的自动控制, 对焊管生产线铣边机单边铣削量自动分配、压下装置自动调整、刀盘转速自动调整等关键功能进行了分析, 并建立铣削过程的数学模型, 推导出铣削线速度与单边铣削量、铁屑厚度等参数之间的关系, 完成了关键功能的自动控制设计。生产应用表明, 铣边机刀盘转速实测值与计算值基本一致。该自动控制系统的设计和应用, 有利于提高钢管成型和焊接质量水平, 能够有效降低电能、铣刀等材料消耗和操作人员的劳动强度, 同时可为铣边机关键功能实现自动控制提供有效的理论依据。

关键词: 焊管; 铣边机; 自动控制; 铣削线速度; 铣削量; 坡口

中图分类号: TG547

文献标识码: B

DOI: 10.19291/j.cnki.1001-3938.2022.07.008

Automatic Control Design of Key Functions of Edge Milling Machine in Welded Pipe Production Line

HAN Likun

(Zhongyou BSS (Qinhuangdao) Petro Pipe Co., Ltd., Qinhuangdao 066206, Hebei, China)

Abstract: In order to realize the automatic control of the key functions of the edge milling machine in the welded pipe production line, the key function principles of the automatic allocation of single side milling depth, automatic floating of groove milling and automatic adjustment of milling unit speed of the edge milling machine in the welded pipe production line are studied, the mathematical model of the milling process is established, the relationship between the milling linear speed and the parameters such as single side milling depth and scrap thickness is deduced, and the automatic control design of the key functions is completed. The production application shows that the measured value of cutter head speed of edge milling machine is basically consistent with the calculated value. The design and application of the automatic control system is conducive to improve the quality of steel pipe forming and welding, effectively reduce the consumption of materials such as electric energy and milling cutter and the labor intensity of operators, and provide an effective theoretical basis for the automatic control of key functions of edge milling machine.

Key words: welded pipe; edge milling machine; automatic control; milling linear speed; milling depth; groove

0 前 言

螺旋埋弧焊管的生产以热轧带钢为原料, 通过开卷、矫平、剪切对焊、铣边、递送、成型、焊接等加工工艺进行制造。在生产过程中, 通常

需要对带钢边缘进行加工, 铣边机是螺旋埋弧焊管生产过程中对带钢边缘进行加工的设备, 通过对带钢的两侧切削加工, 获得满足成型工艺要求的工作宽度和焊接工艺要求的坡口形状^[1]。在螺旋埋弧焊管生产中, 带钢的工作宽度和焊接坡口

的尺寸精度对钢管稳定成型和焊接质量有着至关重要的影响^[2]。若带钢铣削质量不稳定，将产生钢管管径、圆度超差，或因两侧坡口不对称造成焊道不规则，焊缝余高超差等缺陷^[3]。

1 带钢铣削工艺参数

埋弧焊管的焊缝质量受内外焊坡口形状的影响较大，精确的坡口尺寸是保证焊接质量和焊缝形貌的必要条件^[4]。生产双面埋弧焊管时，带钢一般铣削成X形坡口，如图1所示，其铣削工艺中重要的参数包括工作宽度 B 、上下坡口角度 α 和 β 、钝边宽度 E 、上坡口深度 H 和坡口平整度等^[5]。这些参数中，工作宽度 B 与两侧铣刀盘的相对位置有关，上坡口深度 H 与铣刀盘在垂直方向和带钢的相对位置有关，坡口的平整度与刀盘的铣削能力或铣削转速有关。

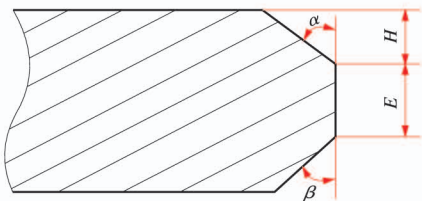


图1 带钢X形坡口铣削参数示意图

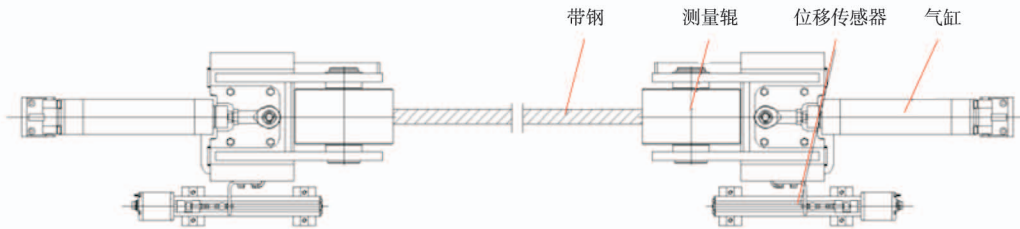


图2 铣边机入口测量装置示意图

该装置可测量原料实际板宽 B_0 和相对机组中心线的实际位置，由磁感应滑块位移传感器来实现测量功能，精度为0.1 mm。工作时，测量辊与带钢接触，尾部气缸提供压紧力，在线性滑轨上实现横移，位移传感器位于测量辊下方，横移机构与磁感应滑块相连接。测量出的实际板宽用于指导单边铣削量调整；测量出的原料实际位置用于指导铣边机床头箱横移调整，保证精确的工作宽度。

此外，单边铣削量自动分配功能主要保证了

2 铣边机的关键功能

螺旋埋弧焊管机组铣边机的关键功能主要包含三部分，即单边铣削量的自动分配、压下装置自动调整和刀盘转速自动调整控制。另外，铣削单元随带钢上表面浮动属于被动适应功能，此功能实现了铣刀盘与带钢上表面的相对位置不变，从而保证钝边高度 H 值的均匀一致，避免出现公母坡口情况，影响焊接质量。

2.1 单边铣削量自动分配

单边铣削量自动分配功能是指在铣边机不停机的前提下，左右铣刀盘位置自动调整定位^[6]，由伺服减速机+滚珠丝杠机构执行完成。此功能应以保证精确的工作宽度为基准，不受原料板型影响。控制系统工作时，一是设定工作宽度 B ，二是通过宽度测量装置检测来料宽度 B_0 ，系统将根据采集的数据平均分配两侧铣削量 T ，即

$$T = \frac{B_0 - B}{2} \quad (1)$$

单边铣削量取决于来料宽度，但同时床头箱位置应以机组中心线为基准，参照动态的单边铣削量和带钢实际位置，综合调整床头箱及刀盘位置，实现自动控制。实现此功能的关键因素为铣边机来料入口位置设置宽度测量装置，如图2所示。

刀盘始终处于铣削状态，防止脱铣造成坡口不均匀而影响焊接质量，也避免了铣削超限及负载过大引发设备故障。同时，此功能限制了铣边机进一步消除带钢“月形弯”的能力，不适用边沿递送的螺旋焊管机组，自动分配铣削量的功能不能满足稳定递送线，从而影响钢管成型质量，所以此功能的实用性存在局限，系统设计时可作为选择项来考虑。

2.2 压下装置自动调整

铣边机在铣削过程中，若带钢产生厚度方向

发生运动,致使床头箱和铣刀盘与带钢之间的相对位置发生变化,进而影响带钢板边的钝边高度及精度,并最终影响钢管质量^[7]。随着国内热轧板材技术及装备水平的提高,板材缺陷得到了很好的控制。但带钢在开卷矫直过程中,由于设备能力不足、工艺执行不到位等因素,带钢存在较大曲率半径的波浪弯情况还是无法避免,因而要求左、右铣削单元要随着带钢边沿上下瓢曲状态进行仿形铣削^[8]。

坡口仿形铣削功能是由压下装置主动适应带钢板型来实现,如图3所示。压下装置属于铣边机床头箱部件,由气缸或液压油缸提供一定预紧力,保证上压辊和下托辊与带钢始终保持一定压紧状态,实现铣刀盘与带钢相对位置不变,铣削过程不受来料板型影响。其中上压辊安装在压下装置机架上,更换规格时可通过蜗杆机构调整上压辊在垂直方向的位置,调整带钢与铣刀盘相对位置,从而保证上坡口深度 H 达到焊接要求。

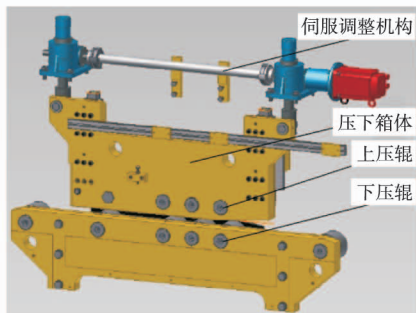


图3 铣边机压下机构示意图

压下装置自动调整功能是以带钢上表面为零基准面,建立数学模型。初次调整时,使用一定厚度的样块来标定,设定上坡口深度 H ,选定刀盘角度 α 和 β 等参数确定系统初始值。更换规格时,在系统标定值的基础上,控制系统将按照所需参数与初始值进行比较,由伺服减速机精确调整上压辊的伸缩量,实现所需坡口尺寸的自动调整,带钢实际厚度与设定值存在偏差时需进一步微调,直至满足焊接工艺要求。

2.3 刀盘转速自动调整控制

预精焊机组在工业化生产中有诸多技术优势,在带钢高速(3~8 m/min)递送成型时,与一步法相对的低速(1~2 m/min)相比,单位时

间内带钢铣削量大大增加^[5]。这就意味着根据实际所需铣削量自动调整功能更能适应带钢不同递送速度下的生产情况,而且对节约电能起到了至关重要的作用。

铣边机刀盘转速与带钢的递送速度、单边铣削量、刀盘有效铣刀数量等参数相关^[9]。其中带钢的递送速度、单边铣削量是变量,焊管机组控制系统将带钢递送速度信号传输给铣边机,铣边机板宽自动测量装置采集板宽数据后经系统PLC计算得出单边铣削量,实现铣刀盘转速的自动调整功能。

3 铣削原理分析及参数推导

3.1 铣削过程分析

目前螺旋埋弧焊管机组铣边机都采用顺铣方式,随着铣刀盘的旋转及刀刃转动角度的变化,带钢由薄到厚被铣削,当铣削角度变化时,铣削厚度随之变化^[10]。因刀盘转速远大于带钢递送速度,随着铣刀盘旋转,每片铣刀与带钢切入点从零逐步为最大切削量,最终铣刀与带钢脱离,如图4所示。

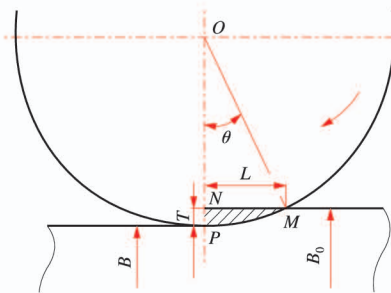


图4 铣削过程示意图

3.2 数学模型建立

图4所示的带钢铣削过程中,刀盘上中下三层刀片同时铣削,将带钢宽度从 B_0 加工到所需的工作宽度 B ,铣刀从切入位置 M 到切削结束位置 N ,圆弧铁屑对应铣削范围的夹角定义为 θ ,铁屑理论为从薄到厚的圆弧渐厚形状。由于铣刀盘直径远大于铣削长度,为便于计算铣削部分的面积,将圆弧形近似为三角形,则定义铣削长度 MN 为 L ,最大铣削量 NP 长度为 T , T 即为单边铣削量,数学模型如图5所示。

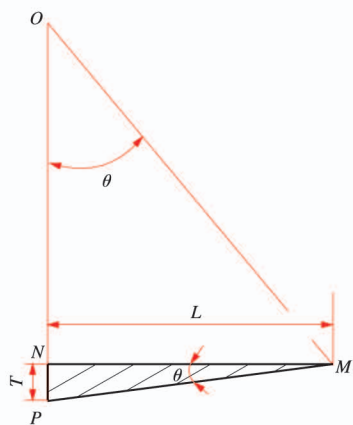


图 5 带钢铣削模型

3.3 铣削参数推导

根据铣削模型可知, 在 $\triangle OMN$ 中:

$$\cos\theta = \frac{ON}{OM} = 1 - \frac{2T}{R} \quad (2)$$

$$\theta = \arccos(1 - \frac{2T}{R}) \quad (3)$$

式中: R ——刀盘直径, mm。

在 $\triangle MNP$ 中

$$\tan\theta=\frac{T}{L} \quad (4)$$

通常坡口用铣刀盘为三层结构, 每层包含约 10~20 片铣刀, 可覆盖整个带钢厚度。铣削时每秒钟每层参与铣削的刀片数量定义为铣削频率 f_i , 则

$$f_z = v_{\text{II}} m \quad (5)$$

式中： f_z ——切削频率，片/min；

 $v_{\text{刀}}$ ——铣刀盘转速, r/min;

m ——单层铣刀数量, 片;

按照体积不变原则,单位时间内刀盘的总铣削量等于带钢行进长度,因此铣削等量关系式为

$$v_{\text{递}} \times 1\,000 = f_n n \quad (6)$$

式中: $v_{\text{递}}$ ——带钢递送速度, m/min;

n ——铁屑厚度, mm。

由 (3) ~ (6) 式可得出刀盘转速和铣削线速度, 即

$$v_{\text{J}} = \frac{1\,000 K v_{\text{J}} \tan(\arccos(1-2T/R))}{mn} \quad (7)$$

$$v_{\text{线}} = \frac{v_{\text{刀}} \pi R}{1000} = \frac{v_{\text{刀}} \pi R \tan(\arccos(1-2T/R))}{\pi t} \quad (8)$$

式中: K ——转速修正系数;

t ——钢板壁厚。

通过公式 (7) 可总结出铣边机刀盘的转速主要与带钢的递送速度、单边铣削量、铣刀盘直径、刀片数量、铁屑厚度有关。其中, 铣刀盘的转速与铁屑厚度存在统一性, 刀盘转速越高, 单位时间内铣削频率越高, 铁屑的厚度值越小, 坡口平整度越高; 反之铁屑厚度值越大, 平整度就越低。根据生产经验铁屑厚度一般控制在 0.5~0.7 mm。

考虑设备铣削稳定性、坡口表面平整度等因素,刀盘的切削能力要略大于实际铣削总量,因此对刀盘转速增加修正系数 K ,一般取 $1.15\sim 1.35^{[1]}$,当参数变化时, K 值随参数变化而变化。

3.4 实例验证

在中俄东线 $\Phi 1\,422\text{ mm}\times 21.4\text{ mm}$ 规格焊管生产中,带钢平均递送速度为 3.6 m/min ,铣边机单边铣削量为 3 mm ,铣刀盘直径为 500 mm 。上、中、下铣刀均为 10 片,铁屑厚度设置为 0.6 mm ,刀盘转速修正系数 $K=1.25$ 。在此参数下,计算刀盘转速为 167.3 r/min ,铣削线速度为 262.9 m/min ,与实测值相符。通过近几年的生产总结,多次验证得出实测值与理论计算值基本一致,详见表 1。

表1 铣边机刀盘转速实测值与计算值对比

钢管规格/ (mm×mm)	递送速度/ (m·min ⁻¹)	单边铣削量/ mm	刀盘转速/(r·min ⁻¹)		铣削线速度/(m·min ⁻¹)	
			计算值	实测值	计算值	实测值
Φ1 422×21.4	3.6	3	167.3	165.0	262.9	259.2
Φ1 219×18.4	4.0	3	185.9	182.0	292.1	285.9
Φ1 016×17.5	4.2	3	195.2	195.0	306.7	306.3
Φ813×14.3	4.5	3	209.2	210.0	328.6	329.9
Φ610×11.1	4.0	3	185.9	186.0	292.1	292.2

实际上, 铣边机转速自动调整功能的控制程序, 需参照理论计算公式, 并设定几个分档区间, 使铣边机的转速在一定范围内按照档位区间最大值执行, 这样既能保证铣刀盘转速可

调,又能在波动量较小的情况下使转速稳定输出,从而有利于坡口加工质量和设备运行的稳定性。

(下转第 51 页)