

UOE焊管机组铣边机刀盘转速计算模型及 铣削参数分析

黄 杰, 徐根涛

(宝山钢铁股份有限公司, 上海 201900)

摘 要: 为了合理设置铣削参数、提高铣边机生产效率, 推导了UOE大直径直缝埋弧焊管铣边机刀盘转速计算模型, 并将模型计算结果与实际生产数据进行了对比验证。验证结果显示, 计算得出的参数与生产时的实际参数基本一致。根据模型计算公式, 利用Matlab计算软件分析了铣削厚度、铣削线速度对夹钳小车速度的影响, 表明铣削厚度、铣削线速度与夹钳小车速度均为线性正相关。

关键词: UOE焊管机组; 铣边机; 铣削线速度; 铣削厚度; 夹钳小车速度

中图分类号: TG506.9

文献标识码: B

DOI: 10.19291/j.cnki.1001-3938.2024.03.008

Analysis of Calculation Model and Milling Parameter of the Cutter Head Speed of UOE Welding Unit Edge Milling Machine

HUANG Jie, XU Gentao

(Baoshan Iron & Steel Co., Ltd., Shanghai 201900, China)

Abstract: In order to set the milling parameters reasonably and improve the production of the edge miller, a calculation model of the cutter head speed of the UOE large diameter straight welded pipe milling machine is published, and the calculation results of the model are compared with the actual production data. The verification results show that the calculated parameters are basically consistent with the actual parameters during production. According to the model calculation formula, the influence of milling thickness and milling line speed on the speed of the clamp car was analyzed using Matlab calculation software. The analysis showed that there was a linear positive correlation between milling thickness, milling line speed, and the speed of the clamp car.

Key words: UOE welding unit; edge milling machine; milling line speed; milling thickness; the speed of the clamp car

1 概 述

宝山钢铁股份有限公司钢管条钢事业部UOE焊管生产线于2007年投产, 是国内首套现代化大直径直缝埋弧焊管机组。成型关键设备由德国MEER公司设计制造, 设计直径508~1 422 mm, 厚度6~40 mm, 最大长度18 300 mm, 设计年产能50万t^[1-4]。焊管生产线主要设备包括引弧板焊接机器人、板探设备、铣边机、CUO成型机等设备。其中, 铣边机布置在引弧板焊接之后、预弯

边之前, 是UOE生产线钢板成型前的一道重要工序, 其作用是加工出精确的板宽和满足焊接工艺的坡口形状。铣边机的组成包括铣削单元主驱动、主铣头装置、夹钳小车、精对中装置、输送机辅助设备等, 钢板由夹钳小车输送及固定^[5], 铣削单元有4个主铣头装置, 安装了4个刀盘, 如图1所示。其中, 一对钝边刀盘将钢板两侧加工成带一定角度的直边, 保证精确板宽; 另一对刀盘加工坡口的钝角, 形成不同的上下坡口, 满足后续内焊、外焊的坡口要求^[6]。

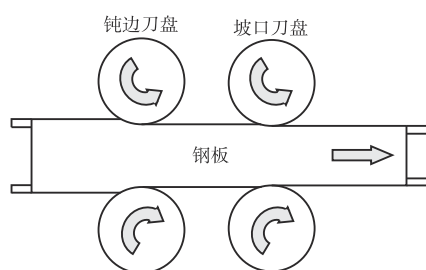


图1 铣边机刀盘结构示意图

铣边机铣削工艺参数主要有刀盘实际尺寸(直径)、铣削线速度、铣削厚度、刀盘转速和夹钳小车速度等。铣削参数的合理匹配对保证钢板质量和刀具耐用度、提高生产效率和经济效益都具有十分积极的意义。铣削参数匹配不当,会导致切削力增大、切削温度升高、刀具寿命降低等问题,或不能充分发挥铣边机的性能,导致生产效率和经济效益降低。因此,有必要解读铣边机内部程序,研究铣边机铣削计算模型,并分析相关参数之间的关系,以指导铣边机的生产操作。

2 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缝质量和焊缝形貌的必要条件。一般坡口铣削成X形^[7-9],如图2所示。其中, A 为钢板厚度(mm), B 为下坡口高度(mm), C 为钝边高度(mm), D 为上坡口高度(mm), E 为下坡口角度($^{\circ}$), F 为钝边角度($^{\circ}$), G 为上坡口角度($^{\circ}$)。

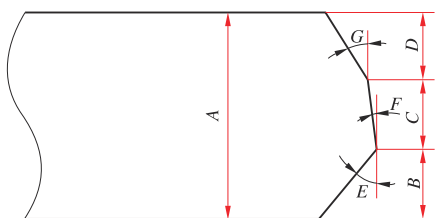


图2 钢板铣削后坡口尺寸参数

除上述参数外,还有部分参数,刀盘直径 D_0 (钝边刀盘和坡口刀盘直径,mm),刀盘铣刀数量 z (钝边和坡口刀盘铣刀数量),铣边机铁屑的平均厚度 d (mm),铣刀旋转运动的线速度 v_0 (m/min)。

另外一部分参数无法预先设置,由铣边机内部PLC计算,包括:单个刀片切削时的纵向

进给量 f (mm),刀盘开始铣板时的切削角 α (rad),夹钳小车速度 v (m/min),钝边刀盘铣削线速度 v_d (m/min),刀盘转速 r (r/min),刀盘电机转速 ω (r/min)。其中,夹钳小车速度直接影响生产效率,而刀盘转速则影响刀片使用寿命。

3 铣削参数计算

对铣削过程进行分析,图3为切削过程几何示意图,红线部分为每次切下的铁屑,为弧形,其平均厚度为 d ,当该铁屑厚度极小时,可近似看做一平行四边形,如蓝线部分所示,则铣削厚度(d)与单个刀片纵向进给量(f)的关系为

$$f = d / \sin \alpha \quad (1)$$

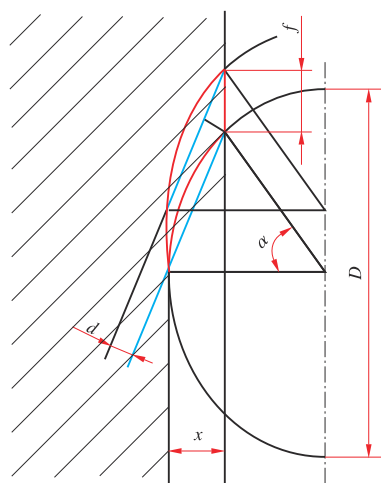


图3 刀具切削过程几何示意图

根据几何关系,切削角 α 由单边切削量和刀盘直径 D_0 确定,即

$$\cos \alpha = \frac{D_0/2 - x}{D_0/2} \quad (2)$$

根据图2所示尺寸,可得到钝边单边铣削量

$$x_1 = A \tan F + \bar{X} \quad (3)$$

式中: x_1 ——钝边单边铣削量,mm;

\bar{X} ——平均单边板宽余量,为来料板宽和目标板宽差值的一半(来料板宽在铣边机前由测宽轮测量,为已知量),mm。

联立(1)式、(2)式和(3)式,可得单个钝边铣刀纵向进给量 f 值。

要保证每个刀片切削铁屑厚度的均匀,夹钳小车给料速度与纵向进给量 f 的关系应满足

$$v_1 = \frac{v_0}{\pi D_0} f z \quad (4)$$

式中: v_1 ——根据钝边量计算的夹钳小车速度, m/min;

v_0 ——铣削速度, m/min;

z ——刀盘上铣刀数量。

同理, 可得到上坡口及下坡口的铣削量 x_2 和 x_3 为

$$x_2 = D \tan G - D \tan F \quad (5)$$

$$x_3 = B \tan E + B \tan F \quad (6)$$

则取其最大值, 坡口单边铣削量 x_4 为

$$x_4 = \max \{ x_2, x_3 \} \quad (7)$$

联立 (1) 式、(2) 式、(5) 式、(6) 式和 (7) 式, 可计算得到单个坡口铣刀纵向进给量 f 值。

则计算坡口刀盘所需夹钳小车进给速度 v_2 , 即

$$v_2 = \frac{v_0}{\pi D_0} f z \quad (8)$$

对某一种规格的钢板来说, 确定刀盘铣削速度和切削厚度就能推导出刀盘转速和夹钳小车速度。由于较快的夹钳小车速度可能导致切削力增大、切削温度升高、刀具振动加剧、刀具寿命降低等^[10], 进而造成钢板加工尺寸不合格, 所以需要分别计算出钝边刀盘和坡口刀盘铣削时夹钳小车的速度, 选取二者中较小的值作为夹钳小车的速度。最终, 夹钳小车进给速度取 v_1 、 v_2 的最小值, 即

$$v = \min \{ v_1, v_2 \} \quad (9)$$

由 (5) 式和 (6) 式可知, 坡口刀盘铣削量是定值, 故坡口刀盘转速也是定值, 即

$$r_2 = \frac{v + v_0}{\pi D_0} \quad (10)$$

考虑齿箱速比, 坡口刀盘驱动电机转速为

$$\omega_2 = \frac{i(v + v_0)}{\pi D_0} \quad (11)$$

式中: i ——齿箱速比, 取 12.454。

ω_2 ——坡口刀盘驱动电机转速, r/min。

根据已确定的夹钳小车速度 v 代入 (4) 式中的 v_1 进行反推计算, 钝边刀盘铣削线速度 v_d 和钝边刀盘转速 r_1 为

$$v_d = \frac{v \pi D_0}{f z} \quad (12)$$

$$r_1 = \frac{v_d}{\pi D_0} \quad (13)$$

其中, v 为式 (9) 计算的结果, 单个钝边铣刀纵向进给量 f 仍由 (1) 式、(2) 式和 (3) 式确定, 需注意 (3) 式中平均单边板宽余量 \bar{X} 由测宽轮实测的单边余量 X 代替, 该值根据钢板边部尺寸不断变化。

钝边刀盘转速进一步简化过程如下:

$$\begin{aligned} r_1 &= \frac{v_d}{\pi D_0} = \frac{v}{f_1 z} = \frac{v \sin a_1}{dz} \\ &= \frac{v}{dz} \sqrt{1 - \left(\frac{D_0/2 - x_1}{D_0/2} \right)^2} \\ &= \frac{2v \sqrt{x_1}}{dz \sqrt{D_0}} \cdot \sqrt{1 + \frac{x_1}{D_0}} \end{aligned} \quad (14)$$

由于 $x_1 \ll D_0$, 故 (14) 式可简化为

$$r_1 = \frac{2v \sqrt{x_1}}{dz \sqrt{D_0}} = \frac{2v \sqrt{A \tan F + X}}{dz \sqrt{D_0}} \quad (15)$$

而一般钝边角度 F 取 2° 或 4° , $\tan F \approx 0$, 故 (15) 式最终简化为

$$r_1 = \frac{2v \sqrt{X}}{dz \sqrt{D_0}} \quad (16)$$

则钝边刀盘驱动电机转速为

$$\omega_1 = \frac{2vi \sqrt{X}}{dz \sqrt{D_0}} \quad (17)$$

式中: ω_1 ——钝边刀盘驱动电机转速, r/min。

4 计算示例及验证

以 UOE 产线生产的钢板规格为例, 设置参数如下: $A=25.7$ mm, $B=10.7$ mm, $C=7$ mm, $D=8$ mm, $E=40^\circ$, $F=4^\circ$, $G=35^\circ$, $z=33$, $D_0=850$ mm, $v_0=280$ m/min, $d=0.2$ mm, $X=4.1$ mm, $\bar{X}=4.4$ mm。

(1) 根据钝边铣削量计算夹钳小车速度

$$x_1 = A \tan F + \bar{X} = 6.197 \text{ mm}$$

$$a_1 = \arccos \frac{D_0/2 - x_1}{D_0/2} = 9.796^\circ$$

$$f_1 = d / \sin a_1 = 1.175 \text{ mm}$$

$$v_1 = \frac{v_0}{\pi D_0} f_1 z = 4.07 \text{ m/min}$$

(2) 根据坡口铣削量计算夹钳小车速度

$$x_2 = D \tan G - D \tan F = 5.042 \text{ mm}$$

$$x_3 = B \tan E + B \tan F = 9.727 \text{ mm}$$

$$x_4 = \max \{x_2, x_3\} = 9.727 \text{ mm}$$

$$a_2 = \arccos \frac{D_0/2 - x_4}{D_0/2} = 12.28^\circ$$

$$f_2 = d / \sin a_2 = 0.94 \text{ mm}$$

$$v_2 = \frac{v_0}{\pi D_0} f_2 z = 3.254 \text{ m/min}$$

(3) 夹钳小车速度

$$v = \min \{v_1, v_2\} = 3.254 \text{ m/min}$$

(4) 钝边坡口电机转速

$$\omega_1 = \frac{2vi\sqrt{X}}{dz\sqrt{D_0}} = 852 \text{ r/min}$$

$$\omega_2 = \frac{i(v + v_0)}{\pi D_0} = 1\,321 \text{ r/min}$$

图4为实际运行显示界面, 计算所得夹钳小车速度及钝边坡口电机转速与生产实际基本一致。

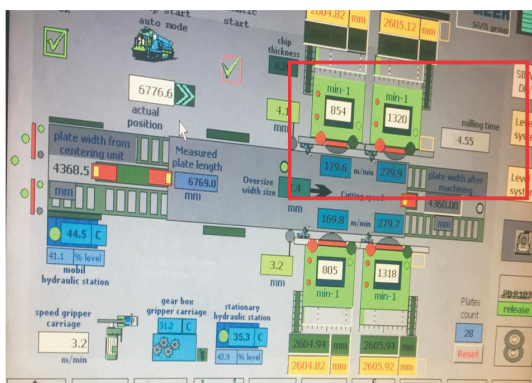


图4 操作面板实时显示画面

5 各参数对夹钳小车速度影响分析

以UOE生产线实际生产的25.7 mm厚度钢板为例, 分析不同铣削线速度和不同铣削厚度对夹钳小车速度的影响。在铣削厚度不变的情况下, 当铣削厚度 $d=0.2 \text{ mm}$ 、铣削线速度 v_0 取200~400 m/min时, 根据前文所述公式, 利用Matlab软件计算夹钳小车速度的变化规律, 结果如图5所示, 铣削线速度与夹钳小车速度呈线性正相关, 随着铣削线速度的增大, 夹钳小车速度也不断增大, 故在一定范围内提高铣削线速度有益于提升铣边机的效率。

在铣削线速度不变的情况下, 设置铣削线速度 $v_0=280 \text{ m/min}$ 、铣削厚度 d 取0.1~0.4 mm时, 利用Matlab计算夹钳小车速度的变化规律, 结果

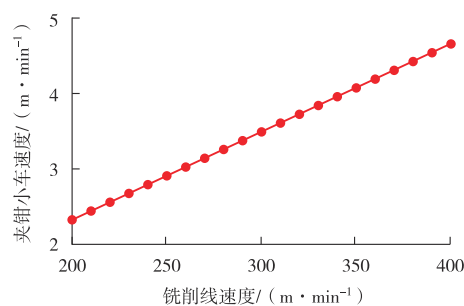


图5 铣削厚度为0.2 mm时夹钳小车速度随铣削线速度的变化规律

如图6所示。铣削厚度与夹钳小车速度也呈线性正相关的关系, 随着铣削厚度的增大, 夹钳小车速度也增大。

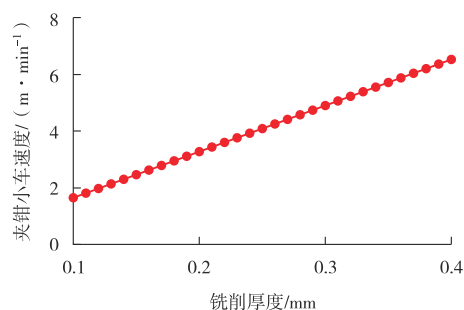


图6 铣削线速度为280 m/min时夹钳小车速度随铣削厚度的变化规律

当铣削线速度 v_0 分别取200~400 m/min、铣削厚度 d 分别取0.1~0.4 mm时, 利用Matlab计算夹钳小车速度的变化云图, 计算结果如图7所示。从图7可以看出, 在铣削线速度取400 m/min, 铣削厚度取0.4 mm时, 夹钳小车速度达到最大值9.29 m/min, 在铣削线速度取200 m/min, 铣削厚度取0.1 mm时, 夹钳小车速度仅为0.58 m/min。

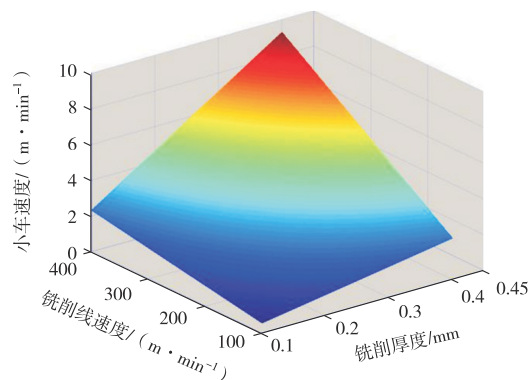


图7 铣削线速度和铣削厚度对夹钳小车速度的影响关系

6 结 论

(1) 根据 UOE 焊管机组铣边机计算程序, 整理出了一套夹钳小车速度及铣边电机转速的计算公式, 并对其中的一些简化的公式进行反推演算。将计算得出的参数与生产实际参数进行对比验证, 结果基本一致。

(2) 给出了铣削厚度、铣削线速度与夹钳小车速度的函数关系, 并利用 Matlab 软件计算, 分析出了其影响规律, 即铣削厚度、铣削线速度与夹钳小车速度均分别呈线性正相关。

参考文献:

- [1] 王宗南, 马彦东. 宝钢 UOE 机组的装备水平与工艺技术[J]. 宝钢技术, 2007(2): 52-56.
- [2] 徐根涛, 孙凤龙, 黄杰. 钢管铣边机右侧主铣头报警和异常后退液电分析[J]. 钢管, 2020, 49(2): 40-44.
- [3] 王啸修. UOE 焊管成型质量水平及技术能力的提升[J]. 宝钢

技术, 2017(1): 67-72.

- [4] 黄卫锋, 李建新, 姚士杰, 等. 宝钢 UOE 大口径直缝埋弧焊管机组的技术特点与优势[J]. 宝钢技术, 2008(5): 11-14.
- [5] 孙凤龙, 戴学余. UOE 钝边铣削单元与钢板综合作用对铣削的影响[J]. 钢管, 2014, 43(6): 53-57.
- [6] 李新文, 郭胜, 谢仕强. BP 神经网络在铣边参数分析及优化中的应用[J]. 冶金自动化, 2017, 41(2): 27-30.
- [7] 冯瑶, 杨明泰, 贾熙等. 螺旋埋弧焊管生产线带钢坡口铣削尺寸稳定性分析[J]. 焊管, 2020, 43(12): 33-38.
- [8] 曾德胜. 埋弧焊钢管生产中钢板铣边坡口参数分析[J]. 焊管, 2020, 43(7): 53-58.
- [9] 韩立坤. 焊管生产线铣边机关键功能的自动控制设计[J]. 焊管, 2022, 45(7): 42-45, 51.
- [10] 刘洪飞. 螺旋焊管带钢铣边机刀块的选择[J]. 钢管, 2008(4): 51-56.

作者简介: 黄 杰 (1986—), 男, 工学硕士, 工程师, 主要从事钢管设备维护及项目管理工作。

收稿日期: 2023-03-13

修改返回日期: 2023-11-08

编辑: 袁雪婷

(上接第 46 页)

- [2] 牛广亮, 孙向阳, 李星橙, 等. 油气管道内表面涡流无损检测系统研究[J]. 仪表技术与传感器, 2021(6): 86-89, 126.
- [3] 许洋, 任尚坤, 张文君, 等. 基于磁导率方法的钢板裂纹检测[J]. 中国测试, 2020, 46(1): 34-38, 70.
- [4] 严宇昂, 胡明慧. 铁磁性材料深层缺陷检测的涡流探头仿真优化与设计[J]. 传感技术学报, 2022, 35(9): 1249-1256.
- [5] VÉRTESY G, TOMÁŠ I, TAKAHASHI S, et al. Inspection of steel degradation by magnetic adaptive testing [J]. NDT & E International, 2008, 41(4): 252-257.
- [6] TOMÁŠ I, VÉRTESY G, KOBAYASHI S, et al. Low - carbon steel samples deformed by cold rolling analysis by the magnetic adaptive testing [J]. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2009, 321(17): 2670-2676.
- [7] TOMÁŠ I, KADLECOVÁ J, VÉRTESY G. Measurement of flat samples with rough surfaces by magnetic adaptive testing [J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2012, 48(4): 1441-1444.
- [8] 石松跃, 田藏韬, 华子先. 高微分磁导率高镍矩磁合金[J]. 上海钢研, 1976(2): 25-33.
- [9] 吴德会, 刘志天, 王晓红, 等. 基于微分磁导率的铁磁性材料无损检测新方法[J]. 仪器仪表学报, 2017, 38(6): 1490-1497.
- [10] 邱忠超, 张瑞蕾, 李立新, 等. 一种检测铁磁材料应力的磁

各向异性方法[J]. 仪表技术与传感器, 2020(4): 94-97.

- [11] 张玉华, 李建增, 孙慧贤, 等. 影响磁导率测试的电磁检测探头设计因素分析[J]. 传感器与微系统, 2013, 32(5): 47-50.
- [12] YAMADA H, UCHIYAMA S, TAKEUCHI K, et al. Noncontact measurement of bending stress using a magnetic anisotropy sensor [J]. IEEE Transactions on Magnetics, 1987, 23(5): 2422-2424.
- [13] 魏明, 马占国, 殷春浩, 等. 对九脚探头磁导率、检测电压与应力相关性研究[J]. 物理实验, 2019, 39(8): 26-30.
- [14] 王瑛, 张璋, 周尚. 基于磁阻抗测量法的应力传感器[J]. 仪表技术与传感器, 2015(3): 3-6.
- [15] 殷春浩, 刘海顺, 张雷, 等. 一种测量钢材残留应力的磁性各向异性方法[J]. 测试技术学报, 2007, 21(1): 28-32.
- [16] 任仙芝, 任尚坤, 樊清泉. 基于磁导率无损检测传感器的试验设计研究[J]. 中国测试, 2018, 44(7): 132-136, 147.

作者简介: 邓文洁 (1999—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为基于磁导率的无损检测技术。

收稿日期: 2023-07-25

修改返回日期: 2023-10-17

编辑: 袁雪婷