等离子切割机在中厚板切割中的应用研究

柳工集团江苏鸿得利机械有限公司　（江苏南通　226236）　傅中明

【摘要】随着国民经济的发展、企业经济实力的提高，等离子技术的不断发展和普及；越来越多的企业采用数控等离子切割机进行中厚板切割下料。但是在实际生产过程中也出现一些问题，比如切割后有熔渣、斜边等现象，本文着重分析了中厚板对数控等离子切割机的工艺要求，并结合某单位生产实际情况，阐述了在满足切割质量条件下如何提高等离子切割机在中厚板的切割效率，并提出相应的解决办法，为降低企业生产成本提供一个有效途径。

1. 概述

国外发达国家切割行业90%为数控切割机下料，10%为手工下料，而我国用数控切割机下料仅占下料总量的10%以下，其中中厚板采用数控切割下料比例更小。绝大多数仍采用手工或半自动切割，不但笨重落后，劳动强度大，生产效率低，质量得不到保证，而且材料浪费严重，因此十分有必要发展并普及数控等离子切割机在中厚板当中的应用，以改变这一落后现状。

2. 等离子切割中厚板的优点

在工业生产中，我们习惯上把板厚在6～25mm的板材称为中厚板，板厚在25mm以上的则称为厚板。金属热切割一般有气割、等离子切割、激光切割等，其中等离子切割（见图1）与气割相比，其切割范围更广、效率更高。而精细等离子切割技术在材料的切割表面质量方面已接近激光切割的质量，但成本却远低于激光切割（见表1）。等离子切割配合不同的工作气体可以切割各种氧气切割难以切割的金属，尤其是对于有色金属（不锈钢、铝、铜、钛、镍）切割效果更佳，其主要优点在于切割厚度中等（≤30mm）的金属时，等离子切割速度快（速度可达氧切割法的5～6倍），切割面光洁，热变形小，几乎没有热影响区。

图　1

表1　中厚板生产中几种切割方式对比

切割方式	切割质量	切割钢板厚度/mm	投资规模	切割效率	切割成本	环境污染
激光	好	≤20	大	较高	高	低
等离子	较好	≤200	较大	较高	较高	大
火焰	较低	基本无限制	低	高	低	一般
人工	低	基本无限制	最低	低	最低	较大

3. 中厚板对等离子切割机的工艺要求

（1）切割电流　是最重要的切割工艺参数，直接决定了切割的厚度和速度，即切割能力。切割电流增大，电弧能量增加，切割能力提高，切割速度

也随之增大，电弧直径增加，电弧变粗使得切口变宽。但是切割电流过大使得喷嘴热负荷增大，喷嘴过早地损伤，切割质量自然也下降，甚至无法进行正常切割。因此，在切割中厚板前要根据材料的厚度正确选用切割电流和相应的喷嘴。

(2)切割速度　最佳切割速度可按照设备说明书选定或用试验来确定，切割速度一般由材料的厚度、材质、熔点、热导率，以及熔化后的表面张力等因素来决定。在实际当中一般采用后拖线方式来确定切割速度（见图2），适度的提高切割速度能改善切口质量。由此可见，良好的切割质量与切割速度是分不开的。

(a) 速度过低

(b) 速度过高

(b) 速度正好

图2　不同的切割速度比较

(3)电弧电压　一般认为电源正常输出电压即为切割电压。等离子弧切割机通常有较高的空载电压和工作电压，在使用电离能高的气体如氮气、氢气或空气时，稳定等离子弧所需的电压会更高。当电流一定时，电压的提高意味着电弧焓值和切割能力的提高。如果在焓值提高的同时，减小射流的直径并加大气体的流速，往往可以获得更快的切割速度和更好的切割质量。

(4)工作气体与流量　工作气体包括切割气体和辅助气体，通常要根据切割材料的种类、厚度和切割方法来选择合适的工作气体。切割气体既要保证等离子射流的形成，又要保证去除切口中的熔融金属和氧化物，因此气体流量一定要与切割电流、切割速度很好相匹配。目前的等离子切割机大多靠气体压力来控制流量，因为当枪体孔径一定时，控制了气体压力也就控制了流量。切割一定板厚材料所使用的气体压力通常按照设备厂商推荐的数据进行选择。

(5)切割功率密度　为了获得高压缩性的等离子切割电弧，切割喷嘴都采用了较小的喷嘴孔径、较长的孔道长度并加强了冷却效果，这样可以使得喷嘴有效断面内通过的电流增加，即电弧的功率密度增大，从而提高切割效果。

4. 提高中厚板等离子切割效率的主要方法

(1) 对板材进行预处理　钢板由于长期堆放在车间，钢板表面难免产生一层氧化皮，另外钢板在轧制过程中也产生一层氧化皮附着在钢板表面，这些氧化皮熔点高，不容易燃烧和熔化，增加了预热时间，降低了切割速度；同时钢板经过切割加热后，氧化皮四处飞溅，极易对割嘴造成堵塞，降低了割嘴的使用寿命，所以在切割前很有必要对钢板表面进行除锈预处理。常用的方法是抛丸除锈，之后喷漆防锈。实践证明，预处理后的钢板比未进行处理的钢板切割效率提升10%以上。

(2) 选用适当的等离子切割电源　等离子电源是等离子切割机重要组成部分。工件的切割厚度与等离子电源的电流有着直接的关系。等离子电源分为接触式起弧和非接触式起弧，其中接触式起弧方式因为对数控系统存在干扰，所以不适宜用于数控等离子切割。通常12mm左右的钢板，机用等离子电源通常用80A的电流来切割，中厚板的切割应该选用电源为100A以上的机用等离子电源。

(3) 选择正确的工艺参数　钢板、等离子电源是提高效率的硬件基础，选择合适的工艺参数（见图3）则是提升效率最重要的内部因素。提高弧柱电压，能明显地增加等离子弧的功率，因而能提高切割速度和切割更大厚度的金属板材；增加切割电流同样能提高等离子弧的功率，但它受到最大允许电流的限制，否则会使等离子弧柱变粗、割缝宽度增加、电极寿命下降；增加气体流量既能提高弧柱电压，又能增强对弧柱的压缩作用而使等离子弧能量更加集中、喷射力更强，因而可提高切割速度和质量，但气体流量过大，反而会使弧柱变短，损失热量增加，使切割能力减弱，直至使切割过程不能正常进行。缩短电极内缩量（电极到割嘴端面的距离）距离可以使电弧在割嘴内得到良好的压缩，获得能量集中、温度高的等离子弧而进行有效的切割。为此，在保证切割质量的前提下，应适当提高弧柱电压、切割速度、气体流量、缩短电极内缩量，这样不仅提高生产率，而且能减少被割零件

的变形量和割缝区的热影响区域。

图3 工艺参数的设置界面

（4）使用专用的编程软件进行编程 在等离子切割机结构和硬件配置基本相当的情况下，其切割效率和切割质量主要由优化套料软件和切割控制软件所决定。通过应用自动穿孔和自动切割工艺技术，可提高切割机的切割效率和切割质量，以FastCAM为例（见图4），使用FastCAM套料软件和数控系统中的共边、连割、借边、桥接等的高效切割工艺，可以有效减少预热穿孔（减少穿孔70%以上）；经过预处理技术优化的CNC切割程序，可以清除多余实体，避免乱跑空程和重复切割，压缩拟合切割程序，保证切割机平稳高速切割，避免机床抖动，保证切割零件的闭合不变形，有效提高钢材套料利用率，减少边角余料，使剩余板材得到重复利用，有效节省钢材和耗材。

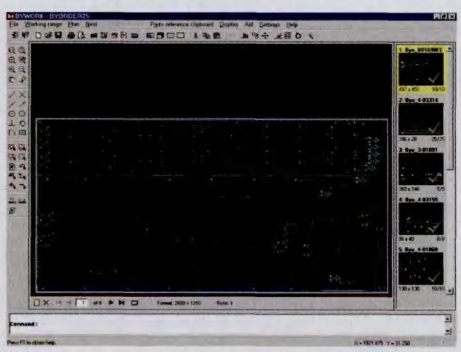

图4 FastCAM套料软件的应用

5. 中厚板等离子切割实际应用

用LG－100K型空气等离子切割机切割6mm和10mm两种不同厚度钢板的结果如表2所示。

从表2结果可看出，当在切割功率一定时，切割速度过高、工作气压过低时，切割面的倾斜度就大，切割质量得不到保证。这是因为速度过快，弧柱严重后倾，割缝下半部熔化速度跟不上。如果切

表2 LG－100K型空气等离子切割机试验结果

钢板厚度/mm	工作气压/MPa	项目名称	切割速度/m.min^{-1}					
			0.8	1.2	1.6	2	2.4	2.8
6	0.15	倾斜度（°）	4	4.3	4.5	4.8	5.2	5.5
		表面粗糙度 R_z/μm	50	50	50	50	50	50
	0.2	倾斜度（°）	3.2	3.7	4.1	4.7	5	5.3
		表面粗糙度 R_z/μm	50	50	50	50	25	25
	0.25	倾斜度（°）	3.2	3	3.2	3	3.4	4
		表面粗糙度 R_z/μm	50	50	25	25	25	50
	0.3	倾斜度（°）	2.8	2.8	2.7	2.8	3.1	3.4
		表面粗糙度 R_z/μm	50	50	50	25	25	25
10	0.15	倾斜度（°）	4.3	4.6	5	5.4	5.8	6
		表面粗糙度 R_z/μm	50	50	50	50	50	50
	0.2	倾斜度（°）	4.2	4.4	4.7	4.9	5.5	5.7
		表面粗糙度 R_z/μm	50	50	50	50	25	25
	0.25	倾斜度（°）	3	3	3.1	3.5	3.4	5
		表面粗糙度 R_z/μm	50	50	25	25	25	50
	0.3	倾斜度（°）	2.8	2.6	2.7	3	3.8	4.2
		表面粗糙度 R_z/μm	50	50	25	25	25	50

割速度过低、工作气压过高则挂渣严重，不易清除，表面粗糙度较差。如果切割速度合适，工作气压过高，弧柱的挺度和圆滑度受到破坏，切割能力下降，切割表面粗糙度差。所以，切割不同厚度的钢板，需要合理地选择不同的切割速度和工作气压，才能得到最佳的切割效果。

另外，不同的钢板厚度有不同的最佳切割速度和工作气压。我们根据切割试验数据进行分析和整理，绘制出了用不同功率的等离子切割机切割不

同厚度钢板的最佳切割速度与工作气压参数曲线图，如图5所示。

根据四种不同功率的试验结果，得出的最佳切割参数如表3所示。根据这些数据我们在生产中进行了实际应用切割，效果很好，切割质量大大提高。

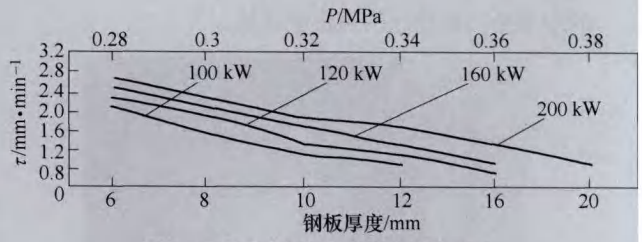

图5 不同功率切割机的最佳参数曲线

表3 中厚板最佳切割参数

切割电流/A	切割钢板厚度/mm											
	6		8		10		12		16		20	
	v/mm·min^{-1}	P/MPa	v/mm·min^{-1}	P/MPa	v/mm·min^{-1}	P/MPa	v/mm·min^{-1}	P/MPa	v/mm·min^{-1}	P/MPa	v/mm·min^{-1}	P/MPa
100	2000	0.28	1300	0.3	1000	0.32	800	0.34	—	—	—	—
120	2200	0.28	1800	0.3	1400	0.32	1200	0.34	800	0.35	—	—
160	2400	0.28	2000	0.3	1800	0.32	1400	0.34	900	0.35	—	—
200	2600	0.28	2200	0.3	2000	0.32	1800	0.34	1200	0.35	800	0.38

6. 结语

利用等离子切割中厚板材料在许多工业领域中有良好的应用前景，通过工作气体和切割速度的优化、等离子电源的选择等，可以使中厚度板成功实现了高效切割，切割速度与以前相比可以提升20%。应用结果表明，采用等离子技术切割中厚板可实现高速、变形小、切割质量好，其热影响区优于其他数控切割的冲击韧性。

随着等离子切割的优越性逐渐得到业内的认可，等离子切割工艺必将在重大装备的中厚板切割甚至厚板切割中得到更为广泛的应用。**MW**

（20121103）

（上接第18页）

量是稳定的。而人工焊接时，焊接速度、焊丝伸长等都是变化的，很容易受到外界因素的影响。

机器人焊接时，动臂主焊缝的每道焊缝只存在一个接头（搭接口、收弧处），而且接头形式标准，能够承受较大的载荷。人工焊接时共三层八道焊缝，每一道焊缝有2~4个接头，共有16~32个接头，这些接头比焊缝其他位置更容易产生应力集中，一旦某个接头有问题，焊缝就会存在质量隐患，容易在受到重载荷的情况下出现开裂。

第二，生产效率：以ZL50C系列产品单丝、双丝焊接时间为例（见表1、表2）来说明双丝焊接生产效率优于单丝焊接。

表1 单丝焊接时间

焊缝尺寸/mm	焊缝面积/mm^2	焊缝长度/mm	焊缝重量/g	熔敷率/g·min^{-1}	焊接时间/min	总焊接时间/min
20	200	1600	2500	78	32.05	64.1

（3）成本分析 以一台动臂焊接机器人为例进行简要的单丝与双丝焊接成本分析。双丝焊的增加费用为焊接机器人价格200万元，使用期限为14年，年均14.29万元，维修费为2万元。降低的成本为：动臂单件焊接工时减少0.66h，按构件缴费60.00元/h计算，一台机器人平均一年产出动臂7200件，省28.51万元；年人工成本减少8万元；一台机器人平均一年可产出动臂7200件，人工焊接返修率3.5%，机器人焊接返修率0.7%，每台平均返修0.5h，年节省6.06万元，总计年成本节约26.28万元。

表2 双丝焊接时间

焊缝尺寸/mm	焊缝面积/mm^2	焊缝长度/mm	焊缝重量/g	熔敷率/g·min^{-1}	焊接时间/min	总焊接时间/min
20	200	1600	2500	2100	11.9	23.81

注：动臂焊缝焊接时间5min(机器人寻位时间、动臂翻身时等)+纯焊接时间，因此，单丝焊接时间≈60min；双丝焊接时间≈30min。

四、结语

综上所述，双丝焊接技术在装载机动臂上的应用，不但能大大提高动臂焊机生产效率，而且改善了焊缝质量，减少了焊接飞溅物。对于结构件实施焊接自动化生产，具有较大的指导作用和推广价值。**MW**

（20121106）