

文章编号: 0258-7025(2001)11-1037-04

激光切割中入射角对切割质量的影响*

陈继民 左铁劼

(国家产学研激光技术中心, 北京工业大学激光工程研究院 北京 100022)

摘要 研究了激光入射角对薄板切割质量的影响, 结果表明, 在一定条件下, 激光束不垂直工件表面时, 仍可以获得切缝细、挂渣少的切割效果。同时切割头的运动方向在激光束不垂直于被加工表面时, 对切割质量也有显著影响。给出了在三维激光切割时, 由于干涉等原因无法保证激光束垂直入射时, 为得到好的切割质量应采取的措施。

关键词 激光切割, 入射角, 切割质量

中图分类号 TG 485 **文献标识码** A

Effect of Laser Beam Incident Angle on Laser Cutting Quality

CHEN Ji-min ZUO Tie-chun

(National Center of Laser Technology, Beijing Polytechnic University,
The Institute of Laser Engineering, Beijing 100022)

Abstract In this paper author describes the result of an experiment which illustrates the effect of laser beam incident angle on laser cutting quality. The experimnt shows the possibility to get a satisfying cutting quality with the non-vertical laser beam to work piece surface. This is quite different from the traditional ideas which the laser beam must be vertical to work piece surface for laser cutting. In three dimensional laser cutting author gives the way to obtain good cutting quality when the laser beam is not vertical to work piece surface.

Key words laser cutting, laser beam incident angle, laser cutting quality

1 引言

三维激光切割已越来越多地用于汽车覆盖件的切边和切孔, 以取代修边模和冲孔模^[1]。三维激光切割通常采用多轴联动的运动方式, 为保证入射激光的光束始终垂直于被加工表面必须不断调整激光头的姿态, 以完成自由曲面三维加工轨迹的激光切割^[2,3]。然而, 由于三维工件形状的复杂性, 有时为了避免激光头与三维工件碰撞或干涉, 这一条件并不总能满足^[4]。如图 1 所示(箭头表示工件上该点的法线方向), 要使入射激光束与工件表面垂直, 要求激光头的取向与工件表面的法线方向一致。但在加工 ABC 这一段时, 如果按照工件法线方向运动, 激光头将与工件发生碰撞。在进行三维激光加工时, 这样的部位是常见的。这时激光头只能偏转一定的角度, 才能避免与工件发生碰撞。为此, 有必要

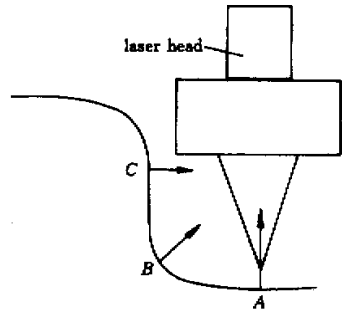


图 1 激光头与工件碰撞

Fig. 1 Interference of laser head and work piece

弄清楚当激光入射角变化时, 对切割质量的影响, 以便采取补偿措施, 使加工能正常进行。

2 实验

本实验是在德国 TRUMPF 公司 TLF6000t 配

* 国家自然科学基金(批准号: 59635170)资助项目。

收稿日期: 2000-09-22; 收到修改稿日期: 2000-11-24

TLC105 型光束五轴联动激光加工机上进行的, 激光器为 6000W Turbo 型射频激励快速轴流 CO_2 激光器。如图 2 所示, 激光入射方向偏离垂直入射方向的角度, 即与工件表面法线的夹角称为入射角 θ 。以三种不同的运动分别进行切割: 推动即激光头的运动方向 V_1 与激光头轴线夹角大于 90° ; 拖动即激光头的运动方向 V_2 与激光头轴夹角小于 90° ; 侧动即激光头的运动方向 V_3 与激光束和工件法线平面垂直。工件为 1 mm A3 薄钢板, 切割采用 5° 聚焦透镜切割头, 离焦量为 1 mm, 喷嘴到工件表面的距离为 1 mm, 每条切缝距板材边缘 10 mm, 长 100 mm。辅助切割气体为 99.95% 的氧气, 气压为 4 bar。实验完毕后, 在日产 PM-10AD 型带刻度标尺的体视显微镜上测量正面的切缝宽度。为避免打孔和收尾部分切缝不均匀的影响, 测量时选距切缝起始处 15 mm 左右每隔约 10 mm 测量一个值, 共测六个位置, 去掉最高和最低值然后取平均值。

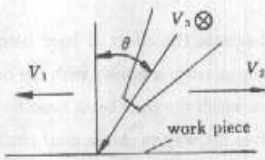


图 2 激光入射角与运动方向

Fig. 2 Angle between laser incidence and moving direction

3 实验结果与分析

目前我国尚无有关激光切割质量的标准, 通常采用切口粗糙度和切口宽度衡量切割质量^[5,6]。本实验中, 主要是比较激光入射角与垂直入射的差别, 因此评判切割质量也以激光光束垂直入射切割为参照, 激光垂直入射切割的正反面切缝细, 且无挂渣。每偏转 5° 切割一条切缝。图 3 (a), (b) 分别是拖动方式下切缝的正、反面的照片。激光功率为 1200 W; 速度为 7 m/min (该工艺规范是切割 1 mm 碳钢最小速度)。由图可见, 所有切缝正面均很平整, 不受入射角的影响, 激光束偏转 $5^\circ, 10^\circ$ (2#, 3#), 几乎对切缝没有太大影响; 当入射角为 $15^\circ, 20^\circ$ 时, 反面挂渣明显增加, 但仍能切断 (图 3 (a) 正面切缝 4#, 5# 透光仍呈白色), 超过这个角度, 切割无法切透 (图 3 (a) 正面切缝 6#, 7# 不透光呈黑色部分)。图 4 为切缝宽度的变化情况。随入射角的增大, 切口宽度变化并不显著。因为切口宽度主要受激光功率、焦斑直径和焦点位置及工件吸收能量的综合影

响。随着入射角度增大, 反射加大, 吸收率减小, 实际输入钢板的激光能量减少, 用于切割的有效能量越小使切口变窄, 但离焦、焦斑直径的增大, 又使切口变宽, 两者综合作用决定了最终的切口宽度。

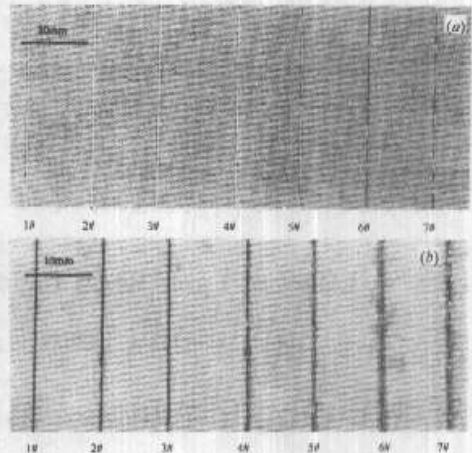


图 3 正面切缝 (a) 和反面切缝 (b)

Fig. 3 Kerfs of front side (a) and back side (b) for different incident angles

(1# $\theta = 0^\circ, 2\#\theta = 5^\circ, 3\#\theta = 10^\circ, 4\#\theta = 15^\circ,$
5# $\theta = 20^\circ, 6\#\theta = 25^\circ, 7\#\theta = 30^\circ$)

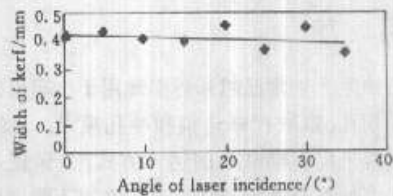


图 4 切缝宽度与偏转角

Fig. 4 Width of kerf and angle of laser incidence
($P = 1200 \text{ W}, V = 7 \text{ m/min}$)

在一定入射角下, 当降低切割速度时, 仍有可能进行满意切割。图 5 为入射角为 35° 时, 切割速度从 7 m/min 降到 3 m/min 切缝反面的变化情况 (正面无影响)。切割速度及入射角度见表 1。

由图可见, 在入射角为 35° 时, 正常的切割速度根本无法切割, 但当速度降为 4 m/min (11# 切缝), 切割质量明显好转。虽比不上垂直入射情况的切缝 (无挂渣), 但仍算是比较满意的 (挂渣较少)。然而速度太低, 反而会使切缝质量恶化 (12# 切缝挂渣增多)。这种现象与切缝宽度的变化 (表 1), 可以用工

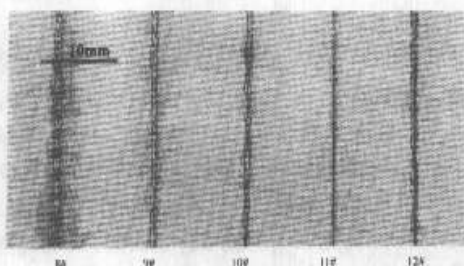


图5 偏转角 35°, 速度减小时切缝反面的变化

Fig.5 Angle of laser incidence is 35°, the kerf of back side varies with decreasing speed

表 1

Table 1

No.	Width of kerf (mm)	Velocity (m/min)	θ (°)
1#	0.410	7	0
2#	0.433	7	5
3#	0.405	7	10
4#	0.398	7	15
5#	0.455	7	20
6#	0.365	7	25
7#	0.440	7	30
8#	0.353	7	35
9#	0.395	6	35
10#	0.498	5	35
11#	0.410	4	35
12#	0.445	3	35
16#	0.415	6	15
17#	0.420	5.5	15
19#	0.475	6	-15
21#	0.423	7	-15
23#	0.438	8	-15
24#	0.783	9	-15
28#	0.370	7	10
29#	0.478	7	-10
30#	0.463	7	* 10

件吸收的能量的变化加以解释,入射角过大,照射到工件上的光斑加大,功率密度降低,工件吸收的能量降低,自然切不透,速度降下来后,工件吸收的能量增加了,但不足以切透时,热聚集效应明显加强,切缝宽度增加,当完全切透时,熔融金属被吹走,带走一部分能量,切缝的宽度会有所减小。速度过慢,其他条件不变,又使吸收的能量增加,使得融化的金属增多,切缝加宽,切割嘴偏转下的气流发散增大,压力下降,不足以吹走熔融金属,挂渣增多。图6为入

射角为 15°时,速度减小对切缝的影响与入射角为 35°的情况相同,但由于入射角小,速度降到 5.5 m/min(17#)即可。

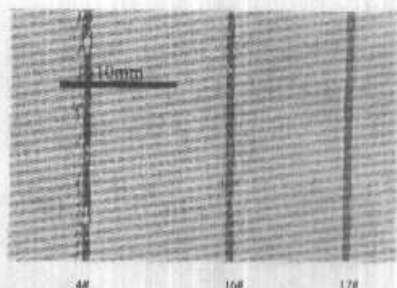


图6 偏转角 15°, 速度减小时切缝反面的变化

Fig.6 Angle of laser incidence is 15°, the kerf of back side varies with decreasing speed

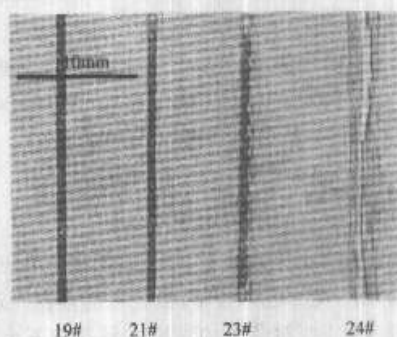


图7 以 -15°推动时,速度对切缝反面的影响

Fig.7 Angle of laser incidence is -15°, the kerf of back side varies with decreasing speed

同样是偏转 15°,推动比拖动更容易切割(这里推动的入射角度以负数表示)。图7为以 -15°推动时,切割速度对切缝质量的影响。把 21# 切缝与前面 15°拖动的 4# 切缝比较,切割质量明显要好,几乎和垂直入射的 1# 切缝相同。甚至速度达到 8 m/min 时的切缝 23# 都比 4# 好。这是因为推动时,切缝的前沿被预热了,能量的损失少,因此容易切割。当速度进一步提高(24#: 9 m/min)时,激光作用的时间太短,工件吸收的能量主要用于融化金属表面,熔融金属在气流的作用下,从表面吹走,导致表面切缝加宽,无法进行切透。进行三维切割时,应尽量使光束垂直工件表面,否则应尽量用推动的运动方式切割。如要完成图 1 ABC 部分的切割,运动方向最好从 A → B 和 C → B 分两次切,或者在切割

过程中适当降低切割速度,以保证获得满意的切割质量。

图 8 为激光入射角为 10° 时,拖动(28#),推动(29#),侧动(30#)三种运动方式下,速度为 7 m/min ,功率 1200 W 的切缝反面照片。在这三种运动中,侧动切割质量最差。主要因为这时切割气流方向均比前两种差的缘故,气流方向与切缝成一定角度,不是一个方向,影响了熔融金属的去除效率。

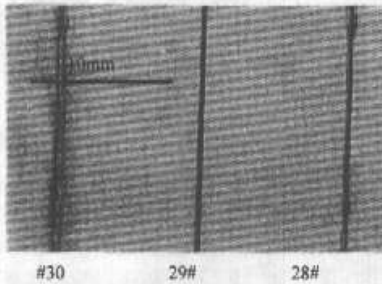


图 8 偏转角 10° 时,不同运动方式的切缝反面情况
Fig. 8 Angle of laser incidence is 10° , the back side kerf difference at different movement

4 结 论

通过以上的切割实验,可以得出以下几点结论:

1) 在一定工艺条件下,激光入射角在一定的角度范围变化时,对薄板的切割质量影响不大。超过

某一角度,将无法完成切割,即存在一个临界角度。入射角越大,用于切割的有效能量越小。2) 在一定的入射角度下,可以通过降低切割速度,达到满意的切割要求,但速度过低,无助于切割质量的改善,即存在一个临界速度。3) 在同样入射角的切割条件下,运动方式会影响切割质量,推动切割比拖动切割更容易获得较好的切割质量,侧动的切割效果最差。4) 在入射激光光束不垂直工件表面时,切缝的宽度变化随倾斜角度变化不明显,宽度值取决于工件吸收的能量和入射点的光斑直径。

参 考 文 献

- 1 Huang Kaijin, Xie Changsheng. The status and prospect of laser cutting research. *Laser & Optronics Progress* (激光与光电子学进展), 1998, (4): 1~7 (in Chinese)
- 2 Shi Xiaoqiang. Laser cutting of low carbon steel sheets. *Laser Technology* (激光技术), 1998, 22(6): 345~353 (in Chinese)
- 3 Huang Kaijin, Xie Changsheng. Development of three-dimensional (3D) laser cutting. *Laser Technology* (激光技术), 1998, 22(6): 352~356 (in Chinese)
- 4 C. R. Olivier. 3D laser processing. *SPIE*, 1986, : 275~281
- 5 Yan Shuhe, Zhong Minlin. High Power Laser Processing and Application. Tianjin: Tianjin Science and Technology Press, 1994. 189~193 (in Chinese)
- 6 Liang Guifang. Laser Cutting Handbook. Beijing: Mechanical Industry Press, 1997. 572~579 (in Chinese)