

聚合物材料 CO₂激光切割工艺手册

肖磊 编著



华南理工大学出版社



聚合物材料

CO₂ 激光切割工艺手册

●肖磊 编著



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

图书在版编目(CIP)数据

聚合物材料 CO₂激光切割工艺手册/肖磊编著. —广州: 华南理工大学出版社, 2018. 7
ISBN 978 - 7 - 5623 - 5695 - 0

I. ①聚… II. ①肖… III. ①聚合物 - 复合材料 - 激光切割 - 技术手册 IV. ①TB33 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 142953 号

Juhewu Cailiao CO₂ Jiguang Qiege Gongyi Shouce

聚合物材料 CO₂激光切割工艺手册

肖磊 编著

出版人: 卢家明

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

<http://www.scutpress.com.cn> E-mail:scutc13@scut.edu.cn

营销部电话: 020 - 87113487 87111048 (传真)

策划编辑: 蔡亚兰

责任编辑: 蔡亚兰

印刷者: 虎彩印艺股份有限公司

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 8.25 字数: 185 千

版次: 2018 年 7 月第 1 版 2018 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 39.00 元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

序

20世纪60年代诞生的激光技术和光纤技术一起掀起了技术革新，推动了光通信及互联网等行业的巨大发展。另外，激光技术已与多个学科相结合，形成多个应用技术领域，如光电技术、激光医疗与光子生物学、激光加工技术、激光检测、激光化学、激光雷达、激光武器等，这些技术与交叉学科的出现，大大推动了传统产业和新兴产业的发展。

在我国经济快速发展的过程中，工业发展速度明显，而加工技术在行业中的重要性也逐渐体现出来。作为一项较为先进的加工技术，激光切割技术对工业发展具有积极的促进作用。相较于传统的切割方法，激光切割技术的高精度、强适应性以及噪声小、切割质量好等特点不仅提高了加工的工作效率，同时还促使加工的工序更为精简。相较于国外激光加工技术的广泛应用，中国的激光加工技术仍需要在更多的传统制造产业中进行替代和突破。

激光加工技术包括激光切割、激光打孔、激光刻槽、激光打标、激光焊接等，其中激光切割技术广泛应用于金属和非金属材料的加工中，可大大减少加工时间，降低加工成本，提高工件质量。随着激光产业的飞速发展，相关的激光技术与激光产品也日趋成熟。

本书主要介绍CO₂激光切割聚合物材料的工艺。本书具有很强的实用性：直接以工业客户的激光切割要求，给出CO₂激光切割聚合物材料的类型、材料厚度、激光功率、光束直径、透镜焦距、辅助气体、气压、打孔直径、最小线宽、切割速度、切割效果的具体数据，在激光加工工程领域的激光器选型、光学元器件选型、激光切割方案设计、工业客户售前打样支持、售中技术方案交流及售后技术维护等方面有着直接的指导作用和参考价值。

本书对于激光加工技术的推广，以及我国激光产业的发展有着极大的促进作用。未来，随着激光产业开始向智能制造迈进，中国激光产业将在突破中不断前行。希望所有从事激光加工技术研发的工程师，以及热衷于激光行业的同仁们，都能共同推动激光技术的进步，共同推动激光加工产业的发展，为中国装备制造业的发展贡献我们的一分力量。

中国科学院院士 简水生

2018年6月11日

前 言

本书是采用全新研发的高速 CO₂ 激光切割机 (PIL0806C) 对 ABS、PMMA、PET、PC、PE、PP、PU 等聚合物材料进行激光切割工艺测试, 获取了大量的 CO₂ 激光切割工艺参数编制而成的工艺手册。

和其他的激光工艺手册不同, 本书没有提及激光材料加工的基本理论、基本公式、数学模型、光学系统及激光加工整机结构等内容, 而是直接以工业客户的激光切割要求, 给出 CO₂ 激光切割聚合物材料的类型、材料厚度、激光功率、光束直径、透镜焦距、辅助气体、气压、打孔直径、最小线宽、切割速度、切割效果的具体数据, 在激光加工工程领域的激光器选型、光学元器件的选型、激光切割方案的设计、工业客户售前打样支持、售中技术方案交流及售后技术维护等方面有着直接的指导作用和参考价值。

激光加工技术是一门新兴的、快速发展中的高新应用技术, 许多问题仍在研究当中, 技术尚未成熟。此外, 采用的激光器件、光束质量及处理的材料亦千差万别, 不可能给出一个完全适合各种应用环境和条件的工艺规范。同时, 已经或正在实施的工艺尚需不断改进、完善。因此, 本书只能给大家提供一个参考。

本书适合有志于激光行业的激光应用工程师、激光技术支持工程师、激光销售工程师、激光项目工程师等读者使用。

本书的出版得到了广东省东莞市第六批创新创业领军人才项目 (东人才办通 [2016] 13 号) 专项资金资助。同时得到广东正业科技股份有限公司激光创新团队成员张善基、龚成万、李斌、赵建涛、张芙蓉、丁黎明、卢相安、李廷春、唐平、李红利、敖荟兰等工程师的大力支持, 全书的前期排版、校稿等工作由激光应用工程师朱莉林完成, 在此, 一并致以诚挚的谢意。

限于水平和能力, 书中疏漏难免, 殷切希望激光行业同仁对本书提出宝贵的修改意见, 以完善本书的内容。

肖 磊

2018 年 5 月于松山湖

目 录

第 1 章 高速 CO ₂ 激光切割机	1
1.1 设备简介	1
1.2 设备技术参数及性能要求	2
第 2 章 丙烯腈 - 丁二烯 - 苯乙烯共聚物	3
2.1 丙烯腈 - 丁二烯 - 苯乙烯共聚物简介	3
2.2 ABS 材料 CO ₂ 激光切割工艺参数	4
第 3 章 聚甲基丙烯酸甲酯	20
3.1 聚甲基丙烯酸甲酯简介	20
3.2 PMMA 材料 CO ₂ 激光切割工艺参数	21
第 4 章 聚对苯二甲酸乙二酯	37
4.1 聚对苯二甲酸乙二酯简介	37
4.2 PET 材料 CO ₂ 激光切割工艺参数	37
第 5 章 聚碳酸酯	54
5.1 聚碳酸酯简介	54
5.2 PC 材料 CO ₂ 激光切割工艺参数	55
第 6 章 聚乙烯	72
6.1 聚乙烯简介	72
6.2 PE 材料 CO ₂ 激光切割工艺参数	73
第 7 章 聚丙烯	89
7.1 聚丙烯简介	89
7.2 PP 材料 CO ₂ 激光切割工艺参数	89
第 8 章 聚氨酯	106
8.1 聚氨酯简介	106
8.2 PU 材料 CO ₂ 激光切割工艺参数	106

第1章 高速 CO₂ 激光切割机

1.1 设备简介

高速 CO₂ 激光切割机采用 CO₂激光器、天然花岗岩底座、高精度伺服电机、高精度双丝杆驱动龙门结构、大幅面工作台面，可对 ABS、PMMA、PET、PC、PE、PP、PU、芳纶、皮革、纸张、木材、橡胶、塑料等非金属材料进行高效率切割。此设备加工效率高、质量好、精度高，性能远高于市面同类产品。

应用领域:

该设备主要应用于消费电子、通信、计算机等行业，可以切割的产品有电子纸、触摸屏、薄膜开关、导电胶、防爆膜、保护膜、商标、背光板等。

设备功能:

具备 ABS、PMMA、PET、PC、PE、PP、PU、纸张、木材、皮革等材料的切割功能。

运行流程:

- (1) 打开设备总电源，等待系统启动;
- (2) 设备加电，启动 PA 系统，打开切割软件，复位，回原点;
- (3) 将加工材料置于工作台面;
- (4) 调整激光焦点到加工面;
- (5) 导入加工图形;
- (6) 按图层设置加工参数;
- (7) 按开始按钮，进行试切割;
- (8) 根据切割效果调整切割参数;
- (9) 将材料置于切割区域，按开始按钮，进行加工;
- (10) 加工完成，收料;
- (11) 重复第九步、第十步;
- (12) 全部加工完成，关闭切割软件;
- (13) 退出 PA 系统;
- (14) 关闭计算机;
- (15) 设备断电;
- (16) 关闭总电源。

设备总体结构外观如图 1-1 所示。



图 1-1 高速 CO₂ 激光切割机

1.2 设备技术参数及性能要求

设备关键技术参数及性能要求如表 1-1 所示。

表 1-1 关键技术参数及性能要求

型号		PIL0806C
切割材料		ABS、PMMA、PET、PC、PE、PP、PU、纸张、木材、橡胶、皮革、泡棉等
制作能力	切割产品精度	±0.05mm(正业条件)
	通孔最小孔径	0.1mm
	最大切割速度	500mm/s
	板厚范围	<5mm(视材料而定)
	最大切割尺寸	800mm×600mm
固定方式		真空吸附
驱动系统	驱动系统	伺服电机+丝杆
	X/Y ₁ /Y ₂ 最大行程	X: 800mm, Y ₁ : 600mm, Y ₂ : 600mm(Y轴双驱)
	X/Y ₁ /Y ₂ 最大速度	X: 500mm/s, Y ₁ : 500mm/s, Y ₂ : 500mm/s
	定位精度	±0.01mm
	重复定位精度	±0.005mm
激光系统	激光光束数	单束
	波长	9.4μm
	激光平均功率	60W, 100W, 200W, 400W
	激光脉冲频率	0~25kHz
	激光器保修期	12个月
	激光更换方式	维修充气/整体更换
软件操作系统	电脑系统	Windows XP
	输入文件格式	DXF、PLT
	是否具备自动寻焦功能	否
	是否具备自动定位功能	可选配
	是否具备切割时间计时功能	是
是否具备操作员加密功能	是	
CCD 对位系统	CCD 个数	1个
	CCD 视野范围	12mm×10mm
	CCD 对位精度	±10μm
主体	平台电机类型	伺服电机
	设备尺寸	1470mm×1420mm×1840mm
	设备重量	1380kg
	设备电源	AC 380V 50Hz/3.5kW(不含风机)
	设备气源	0.3~0.8MPa
	是否为花岗岩基座或其他	花岗岩基座
周边配套	是否配备工控电脑及显示器规格	工控电脑, 19寸显示器
	是否配备稳压电源具体规格	是
	是否配备工业吸尘器	是
	是否配备水冷系统	否
使用维护	耗材种类	蜂窝板

第2章 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物

2.1 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物简介

丙烯腈-丁二烯-苯乙烯(acrylonitrile-butadiene-styrene, ABS)树脂具有抗冲击性、耐热性、耐低温性、耐化学药品性,电气性能优良,还具有易加工、制品尺寸稳定、表面光泽性好等特点。容易涂装、着色,还可以进行表面喷镀金属、电镀、焊接、热压和黏接等二次加工,广泛应用于机械、汽车、电子电器、仪器仪表、纺织和建筑等工业领域,是一种用途极广的热塑性工程塑料。

ABS熔点为 170°C 左右,分解温度为 260°C 左右。从ABS材料的红外光谱图(图2-1)中可见,ABS材料在 1450.66cm^{-1} ($9.4\mu\text{m}$)和 703.04cm^{-1} ($10.6\mu\text{m}$)处有较强的吸收峰。

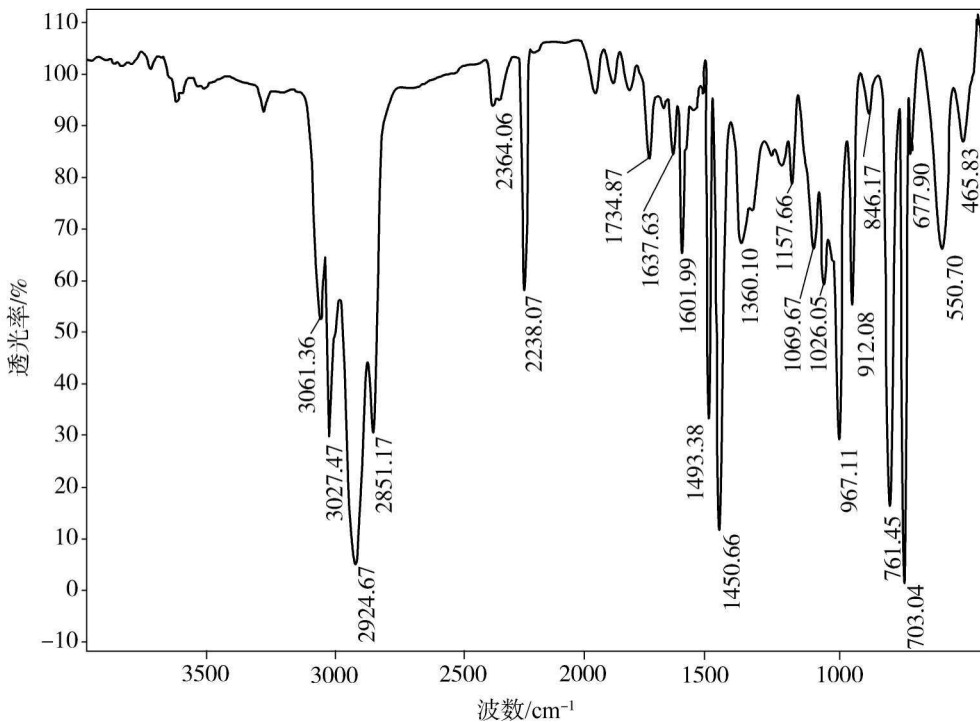


图2-1 ABS材料的红外光谱图

在工业激光应用中,一般使用 CO_2 激光器对ABS材料进行加工,工业级的 CO_2 激光器波长分为 $10.6\mu\text{m}$ (长波长)和 $9.4\mu\text{m}$ (短波长)。利用外光路系统将高能量的 CO_2 激光束聚焦后射到ABS材料表面,ABS材料对 CO_2 波段的光有强烈的吸收作用,焦点处的温度可在短时间内急速上升,ABS材料会发生气化或熔化,气化或熔化后的ABS材料会在激光和

辅助气体的作用下喷射出来。随着 ABS 材料不断被去除，孔的直径和深度会不断增加，最后形成深孔，在通孔形成之后，被加工的 ABS 材料和激光束之间发生相对运动，运动轨迹周围的材料也不断被去除，最终形成切缝，从而实现 CO₂激光切割 ABS 材料。

2.2 ABS 材料 CO₂ 激光切割工艺参数

本章采用美国 Coherent 公司不同输出功率的 CO₂激光器，在不同光学配置下对不同厚度的 ABS 材料进行激光切割，获取切割效率和评估效果，供 CO₂激光切割 ABS 材料时参考，同时对 CO₂激光加工设备的设计和制造提供指导。ABS 材料 CO₂ 激光切割工艺参数见表 2-1~表 2-4。

表 2-1 ABS 材料 60W CO₂激光切割工艺参数

厚度/mm	光束直径/mm	透镜焦距/inch ^①	辅助气体	气压/bar ^②	打孔直径/mm	最小线宽/mm	切割速度/(mm·s ⁻¹)	切割效果 OK/NG ^③
0.5	6	1.5	空气	3.5	0.25	0.11	186	NG
1	6	1.5	空气	3.5	0.27	0.12	71	NG
2	6	1.5	空气	3.5	0.29	0.14	27	NG
3	6	1.5	空气	3.5	0.31	0.15	15	NG
4	6	1.5	空气	3.5	0.33	0.17	10	NG
5	6	1.5	空气	3.5	0.35	0.18	7	NG
0.5	6	1.5	氮气	2.8	0.25	0.11	177	NG
1	6	1.5	氮气	2.8	0.27	0.12	67	NG
2	6	1.5	氮气	2.8	0.29	0.14	25	NG
3	6	1.5	氮气	2.8	0.31	0.15	14	NG
4	6	1.5	氮气	2.8	0.33	0.17	9	NG
5	6	1.5	氮气	2.8	0.35	0.18	6	NG
0.5	6	2.5	空气	3.5	0.36	0.18	124	NG
1	6	2.5	空气	3.5	0.37	0.19	47	NG
2	6	2.5	空气	3.5	0.38	0.21	18	NG
3	6	2.5	空气	3.5	0.39	0.24	10	NG
4	6	2.5	空气	3.5	0.41	0.26	7	NG
5	6	2.5	空气	3.5	0.43	0.27	5	NG
0.5	6	2.5	氮气	2.8	0.36	0.18	118	NG
1	6	2.5	氮气	2.8	0.37	0.19	45	NG
2	6	2.5	氮气	2.8	0.38	0.21	17	NG
3	6	2.5	氮气	2.8	0.39	0.24	9	NG
4	6	2.5	氮气	2.8	0.41	0.26	6	NG
5	6	2.5	氮气	2.8	0.43	0.27	4	NG

① inch 为非法定计量单位，1inch = 25.4mm，后同。

② bar 为非法定计量单位，1bar = 10⁵Pa，后同。

③ OK: 效果理想，NG: 效果不理想，后同。

续表 2-1

厚度/mm	光束直径/mm	透镜焦距/inch	辅助气体	气压/bar	打孔直径/mm	最小线宽/mm	切割速度/ ($\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$)	切割效果 OK/NG
0.5	6	4	空气	3.5	0.42	0.28	68	NG
1	6	4	空气	3.5	0.44	0.29	26	NG
2	6	4	空气	3.5	0.47	0.32	10	NG
3	6	4	空气	3.5	0.51	0.34	6	NG
4	6	4	空气	3.5	0.53	0.37	4	NG
5	6	4	空气	3.5	0.54	0.38	3	NG
0.5	6	4	氮气	2.8	0.42	0.28	64	NG
1	6	4	氮气	2.8	0.44	0.29	24	NG
2	6	4	氮气	2.8	0.47	0.32	9	NG
3	6	4	氮气	2.8	0.51	0.34	5	NG
4	6	4	氮气	2.8	0.53	0.37	3.5	NG
5	6	4	氮气	2.8	0.54	0.38	2	NG
0.5	8	1.5	空气	3.5	0.23	0.08	217	NG
1	8	1.5	空气	3.5	0.27	0.11	82	NG
2	8	1.5	空气	3.5	0.29	0.13	31	NG
3	8	1.5	空气	3.5	0.33	0.16	18	NG
4	8	1.5	空气	— ^①	—	—	—	—
5	8	1.5	空气	—	—	—	—	—
0.5	8	1.5	氮气	2.8	0.23	0.08	206	NG
1	8	1.5	氮气	2.8	0.27	0.11	78	NG
2	8	1.5	氮气	2.8	0.29	0.13	30	NG
3	8	1.5	氮气	2.8	0.33	0.16	17	NG
4	8	1.5	氮气	—	—	—	—	—
5	8	1.5	氮气	—	—	—	—	—
0.5	8	2.5	空气	3.5	0.27	0.13	160	NG
1	8	2.5	空气	3.5	0.29	0.15	61	NG
2	8	2.5	空气	3.5	0.32	0.18	23	NG
3	8	2.5	空气	3.5	0.34	0.19	13	NG
4	8	2.5	空气	3.5	0.36	0.21	9	NG
5	8	2.5	空气	3.5	0.38	0.22	6	NG
0.5	8	2.5	氮气	2.8	0.27	0.13	152	NG
1	8	2.5	氮气	2.8	0.29	0.15	58	NG
2	8	2.5	氮气	2.8	0.32	0.18	22	NG
3	8	2.5	氮气	2.8	0.34	0.19	12	NG
4	8	2.5	氮气	2.8	0.36	0.21	8	NG
5	8	2.5	氮气	2.8	0.38	0.22	5	NG
0.5	8	4	空气	3.5	0.36	0.21	101	NG
1	8	4	空气	3.5	0.38	0.22	38	NG
2	8	4	空气	3.5	0.41	0.24	15	NG
3	8	4	空气	3.5	0.44	0.27	8	NG
4	8	4	空气	3.5	0.47	0.29	6	NG
5	8	4	空气	3.5	0.51	0.30	4	NG

① —: 在该工艺参数下, 材料不能被激光完全切断, 后同。

续表 2-1

厚度/mm	光束直径/mm	透镜焦距/inch	辅助气体	气压/bar	打孔直径/mm	最小线宽/mm	切割速度/(mm·s ⁻¹)	切割效果 OK/NG
0.5	8	4	氮气	2.8	0.36	0.21	96	NG
1	8	4	氮气	2.8	0.38	0.22	37	NG
2	8	4	氮气	2.8	0.41	0.24	14	NG
3	8	4	氮气	2.8	0.44	0.27	7	NG
4	8	4	氮气	2.8	0.47	0.29	5	NG
5	8	4	氮气	2.8	0.51	0.30	3	NG
0.5	10	1.5	空气	3.5	0.22	0.06	237	NG
1	10	1.5	空气	3.5	0.25	0.08	90	NG
2	10	1.5	空气	3.5	0.27	0.11	34	NG
3	10	1.5	空气	—	—	—	—	—
4	10	1.5	空气	—	—	—	—	—
5	10	1.5	空气	—	—	—	—	—
0.5	10	1.5	氮气	2.8	0.22	0.06	225	NG
1	10	1.5	氮气	2.8	0.25	0.08	85	NG
2	10	1.5	氮气	2.8	0.27	0.11	32	NG
3	10	1.5	氮气	—	—	—	—	—
4	10	1.5	氮气	—	—	—	—	—
5	10	1.5	氮气	—	—	—	—	—
0.5	10	2.5	空气	3.5	0.28	0.11	186	NG
1	10	2.5	空气	3.5	0.29	0.13	71	NG
2	10	2.5	空气	3.5	0.33	0.15	27	NG
3	10	2.5	空气	3.5	0.35	0.17	15	NG
4	10	2.5	空气	3.5	0.37	0.19	10	NG
5	10	2.5	空气	3.5	0.40	0.21	7	NG
0.5	10	2.5	氮气	2.8	0.28	0.11	177	NG
1	10	2.5	氮气	2.8	0.29	0.13	67	NG
2	10	2.5	氮气	2.8	0.33	0.15	25	NG
3	10	2.5	氮气	2.8	0.35	0.17	14	NG
4	10	2.5	氮气	2.8	0.37	0.19	9	NG
5	10	2.5	氮气	2.8	0.40	0.21	6	NG
0.5	10	4	空气	3.5	0.35	0.17	129	NG
1	10	4	空气	3.5	0.37	0.19	49	NG
2	10	4	空气	3.5	0.40	0.22	19	NG
3	10	4	空气	3.5	0.45	0.24	11	NG
4	10	4	空气	3.5	0.47	0.26	7	NG
5	10	4	空气	3.5	0.50	0.27	5	NG
0.5	10	4	氮气	2.8	0.35	0.17	123	NG
1	10	4	氮气	2.8	0.37	0.19	47	NG
2	10	4	氮气	2.8	0.40	0.22	18	NG
3	10	4	氮气	2.8	0.45	0.24	10	NG
4	10	4	氮气	2.8	0.47	0.26	6	NG
5	10	4	氮气	2.8	0.50	0.27	4	NG

续表 2-1

厚度/mm	光束直径/mm	透镜焦距/inch	辅助气体	气压/bar	打孔直径/mm	最小线宽/mm	切割速度/ ($\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$)	切割效果 OK/NG
0.5	12	1.5	空气	3.5	0.21	0.06	252	NG
1	12	1.5	空气	3.5	0.25	0.09	96	NG
2	12	1.5	空气	—	—	—	—	—
3	12	1.5	空气	—	—	—	—	—
4	12	1.5	空气	—	—	—	—	—
5	12	1.5	空气	—	—	—	—	—
0.5	12	1.5	氮气	2.8	0.21	0.06	240	NG
1	12	1.5	氮气	2.8	0.25	0.09	91	NG
2	12	1.5	氮气	—	—	—	—	—
3	12	1.5	氮气	—	—	—	—	—
4	12	1.5	氮气	—	—	—	—	—
5	12	1.5	氮气	—	—	—	—	—
0.5	12	2.5	空气	3.5	0.27	0.09	206	NG
1	12	2.5	空气	3.5	0.30	0.11	78	NG
2	12	2.5	空气	3.5	0.32	0.14	30	NG
3	12	2.5	空气	3.5	0.35	0.16	17	NG
4	12	2.5	空气	3.5	0.38	0.19	11	NG
5	12	2.5	空气	—	—	—	—	—
0.5	12	2.5	氮气	2.8	0.27	0.09	196	NG
1	12	2.5	氮气	2.8	0.30	0.11	74	NG
2	12	2.5	氮气	2.8	0.32	0.14	28	NG
3	12	2.5	氮气	2.8	0.35	0.16	16	NG
4	12	2.5	氮气	2.8	0.38	0.19	10	NG
5	12	2.5	氮气	—	—	—	—	—
0.5	12	4	空气	3.5	0.33	0.14	152	NG
1	12	4	空气	3.5	0.36	0.16	58	NG
2	12	4	空气	3.5	0.38	0.19	22	NG
3	12	4	空气	3.5	0.40	0.21	12	NG
4	12	4	空气	3.5	0.42	0.23	8	NG
5	12	4	空气	3.5	0.45	0.25	6	NG
0.5	12	4	氮气	2.8	0.33	0.14	144	NG
1	12	4	氮气	2.8	0.36	0.16	55	NG
2	12	4	氮气	2.8	0.38	0.19	21	NG
3	12	4	氮气	2.8	0.40	0.21	11	NG
4	12	4	氮气	2.8	0.42	0.23	7	NG
5	12	4	氮气	2.8	0.45	0.25	5	NG

表 2-2 ABS 材料 100W CO₂激光切割工艺参数

厚度/mm	光束直径/mm	透镜焦距/inch	辅助气体	气压/bar	打孔直径/mm	最小线宽/mm	切割速度/(mm·s ⁻¹)	切割效果 OK/NG
0.5	6	1.5	空气	3.5	0.26	0.12	310	NG
1	6	1.5	空气	3.5	0.28	0.13	118	NG
2	6	1.5	空气	3.5	0.30	0.15	45	NG
3	6	1.5	空气	3.5	0.32	0.16	25	NG
4	6	1.5	空气	3.5	0.34	0.18	17	NG
5	6	1.5	空气	3.5	0.36	0.19	12	NG
0.5	6	1.5	氮气	2.8	0.26	0.12	295	NG
1	6	1.5	氮气	2.8	0.28	0.13	112	NG
2	6	1.5	氮气	2.8	0.30	0.15	42	NG
3	6	1.5	氮气	2.8	0.32	0.16	24	NG
4	6	1.5	氮气	2.8	0.34	0.18	16	NG
5	6	1.5	氮气	2.8	0.36	0.19	11	NG
0.5	6	2.5	空气	3.5	0.37	0.19	207	NG
1	6	2.5	空气	3.5	0.39	0.20	78	NG
2	6	2.5	空气	3.5	0.41	0.22	30	NG
3	6	2.5	空气	3.5	0.43	0.24	17	NG
4	6	2.5	空气	3.5	0.45	0.27	11	NG
5	6	2.5	空气	3.5	0.47	0.28	8	NG
0.5	6	2.5	氮气	2.8	0.37	0.19	197	NG
1	6	2.5	氮气	2.8	0.39	0.20	74	NG
2	6	2.5	氮气	2.8	0.41	0.22	28	NG
3	6	2.5	氮气	2.8	0.43	0.24	16	NG
4	6	2.5	氮气	2.8	0.45	0.27	10	NG
5	6	2.5	氮气	2.8	0.47	0.28	7	NG
0.5	6	4	空气	3.5	0.46	0.29	113	NG
1	6	4	空气	3.5	0.48	0.30	43	NG
2	6	4	空气	3.5	0.49	0.33	16	NG
3	6	4	空气	3.5	0.52	0.35	9	NG
4	6	4	空气	3.5	0.54	0.38	6	NG
5	6	4	空气	3.5	0.56	0.39	4	NG
0.5	6	4	氮气	2.8	0.46	0.29	107	NG
1	6	4	氮气	2.8	0.48	0.30	41	NG
2	6	4	氮气	2.8	0.49	0.33	15	NG
3	6	4	氮气	2.8	0.52	0.35	8	NG
4	6	4	氮气	2.8	0.54	0.38	5	NG
5	6	4	氮气	2.8	0.56	0.39	3	NG

续表2-2

厚度/mm	光束直径/mm	透镜焦距/inch	辅助气体	气压/bar	打孔直径/mm	最小线宽/mm	切割速度/ (mm·s ⁻¹)	切割效果 OK/NG
0.5	8	1.5	空气	3.5	0.23	0.08	361	NG
1	8	1.5	空气	3.5	0.27	0.11	137	NG
2	8	1.5	空气	3.5	0.29	0.13	52	NG
3	8	1.5	空气	3.5	0.33	0.16	29	NG
4	8	1.5	空气	—	—	—	—	—
5	8	1.5	空气	—	—	—	—	—
0.5	8	1.5	氮气	2.8	0.23	0.08	343	NG
1	8	1.5	氮气	2.8	0.27	0.11	130	NG
2	8	1.5	氮气	2.8	0.29	0.13	49	NG
3	8	1.5	氮气	2.8	0.33	0.16	28	NG
4	8	1.5	氮气	—	—	—	—	—
5	8	1.5	氮气	—	—	—	—	—
0.5	8	2.5	空气	3.5	0.27	0.13	267	NG
1	8	2.5	空气	3.5	0.29	0.15	101	NG
2	8	2.5	空气	3.5	0.32	0.18	38	NG
3	8	2.5	空气	3.5	0.34	0.19	22	NG
4	8	2.5	空气	3.5	0.36	0.21	15	NG
5	8	2.5	空气	3.5	0.38	0.22	11	NG
0.5	8	2.5	氮气	2.8	0.27	0.13	253	NG
1	8	2.5	氮气	2.8	0.29	0.15	96	NG
2	8	2.5	氮气	2.8	0.32	0.18	36	NG
3	8	2.5	氮气	2.8	0.34	0.19	21	NG
4	8	2.5	氮气	2.8	0.36	0.21	14	NG
5	8	2.5	氮气	2.8	0.38	0.22	10	NG
0.5	8	4	空气	3.5	0.36	0.21	169	NG
1	8	4	空气	3.5	0.38	0.22	64	NG
2	8	4	空气	3.5	0.41	0.24	24	NG
3	8	4	空气	3.5	0.44	0.27	14	NG
4	8	4	空气	3.5	0.47	0.29	9	NG
5	8	4	空气	3.5	0.51	0.30	7	NG
0.5	8	4	氮气	2.8	0.36	0.21	161	NG
1	8	4	氮气	2.8	0.38	0.22	61	NG
2	8	4	氮气	2.8	0.41	0.24	23	NG
3	8	4	氮气	2.8	0.44	0.27	13	NG
4	8	4	氮气	2.8	0.47	0.29	8	NG
5	8	4	氮气	2.8	0.51	0.30	6	NG

续表 2-2

厚度/mm	光束直径/mm	透镜焦距/inch	辅助气体	气压/bar	打孔直径/mm	最小线宽/mm	切割速度/ (mm·s ⁻¹)	切割效果 OK/NG
0.5	10	1.5	空气	3.5	0.22	0.06	396	NG
1	10	1.5	空气	3.5	0.25	0.08	150	NG
2	10	1.5	空气	3.5	0.27	0.11	57	NG
3	10	1.5	空气	—	—	—	—	—
4	10	1.5	空气	—	—	—	—	—
5	10	1.5	空气	—	—	—	—	—
0.5	10	1.5	氮气	2.8	0.22	0.06	376	NG
1	10	1.5	氮气	2.8	0.25	0.08	142	NG
2	10	1.5	氮气	2.8	0.27	0.11	54	NG
3	10	1.5	氮气	—	—	—	—	—
4	10	1.5	氮气	—	—	—	—	—
5	10	1.5	氮气	—	—	—	—	—
0.5	10	2.5	空气	3.5	0.28	0.11	310	NG
1	10	2.5	空气	3.5	0.29	0.13	118	NG
2	10	2.5	空气	3.5	0.33	0.15	45	NG
3	10	2.5	空气	3.5	0.35	0.17	25	NG
4	10	2.5	空气	3.5	0.37	0.19	17	NG
5	10	2.5	空气	3.5	0.40	0.21	12	NG
0.5	10	2.5	氮气	2.8	0.28	0.11	295	NG
1	10	2.5	氮气	2.8	0.29	0.13	112	NG
2	10	2.5	氮气	2.8	0.33	0.15	42	NG
3	10	2.5	氮气	2.8	0.35	0.17	24	NG
4	10	2.5	氮气	2.8	0.37	0.19	16	NG
5	10	2.5	氮气	2.8	0.40	0.21	11	NG
0.5	10	4	空气	3.5	0.35	0.17	216	NG
1	10	4	空气	3.5	0.37	0.19	82	NG
2	10	4	空气	3.5	0.40	0.22	31	NG
3	10	4	空气	3.5	0.45	0.24	18	NG
4	10	4	空气	3.5	0.47	0.26	12	NG
5	10	4	空气	3.5	0.50	0.27	9	NG
0.5	10	4	氮气	2.8	0.35	0.17	205	NG
1	10	4	氮气	2.8	0.37	0.19	78	NG
2	10	4	氮气	2.8	0.40	0.22	29	NG
3	10	4	氮气	2.8	0.45	0.24	17	NG
4	10	4	氮气	2.8	0.47	0.26	11	NG
5	10	4	氮气	2.8	0.50	0.27	8	NG

续表 2-2

厚度/mm	光束直径/mm	透镜焦距/inch	辅助气体	气压/bar	打孔直径/mm	最小线宽/mm	切割速度/ (mm·s ⁻¹)	切割效果 OK/NG
0.5	12	1.5	空气	3.5	0.21	0.06	420	NG
1	12	1.5	空气	3.5	0.25	0.09	159	NG
2	12	1.5	空气	—	—	—	—	—
3	12	1.5	空气	—	—	—	—	—
4	12	1.5	空气	—	—	—	—	—
5	12	1.5	空气	—	—	—	—	—
0.5	12	1.5	氮气	2.8	0.21	0.06	399	NG
1	12	1.5	氮气	2.8	0.25	0.09	151	NG
2	12	1.5	氮气	—	—	—	—	—
3	12	1.5	氮气	—	—	—	—	—
4	12	1.5	氮气	—	—	—	—	—
5	12	1.5	氮气	—	—	—	—	—
0.5	12	2.5	空气	3.5	0.27	0.09	343	NG
1	12	2.5	空气	3.5	0.30	0.11	130	NG
2	12	2.5	空气	3.5	0.32	0.14	49	NG
3	12	2.5	空气	3.5	0.35	0.16	28	NG
4	12	2.5	空气	3.5	0.38	0.19	19	NG
5	12	2.5	空气	—	—	—	—	—
0.5	12	2.5	氮气	2.8	0.27	0.09	326	NG
1	12	2.5	氮气	2.8	0.30	0.11	124	NG
2	12	2.5	氮气	2.8	0.32	0.14	47	NG
3	12	2.5	氮气	2.8	0.35	0.16	27	NG
4	12	2.5	氮气	2.8	0.38	0.19	18	NG
5	12	2.5	氮气	—	—	—	—	—
0.5	12	4	空气	3.5	0.33	0.14	253	NG
1	12	4	空气	3.5	0.36	0.16	96	NG
2	12	4	空气	3.5	0.38	0.19	36	NG
3	12	4	空气	3.5	0.40	0.21	21	NG
4	12	4	空气	3.5	0.42	0.23	14	NG
5	12	4	空气	3.5	0.45	0.25	10	NG
0.5	12	4	氮气	2.8	0.33	0.14	241	NG
1	12	4	氮气	2.8	0.36	0.16	91	NG
2	12	4	氮气	2.8	0.38	0.19	35	NG
3	12	4	氮气	2.8	0.40	0.21	20	NG
4	12	4	氮气	2.8	0.42	0.23	13	NG
5	12	4	氮气	2.8	0.45	0.25	9	NG