

T/TMAC

团 体 标 准

T/TMAC XXXX—2025

多振镜头激光刻蚀机及加工技术规范

Technical specification for multi-galvometers laser etching machine and processing

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

已授权的专利证明材料为专利证书复印件或扉页，已公开但尚未授权的专利申请证明材料为专利公开通知书复印件或扉页，未公开的专利申请的证明材料为专利申请号和申请日期。

2025 – XX – XX 发布

2025 – XX – XX 实施

中国技术市场协会 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 设备组成 1

 4.1 激光器系统 1

 4.2 振镜系统 1

 4.3 控制系统 1

 4.4 冷却系统 1

 4.5 加工平台 1

 4.6 光路控制系统 1

5 加工工艺 1

 5.1 环境条件 2

 5.2 设备要求 2

 5.3 加工前准备 2

 5.4 加工过程控制 2

 5.5 加工后处理 3

6 安全防护 3

 6.1 激光辐射防护 3

 6.2 电气安全 3

 6.3 机械防护 3

 6.4 操作安全 4

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由××××提出。

本文件由中国技术市场协会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

多振镜头激光刻蚀机及加工技术规范

1 范围

本文件规定了多振镜头激光刻蚀机的设备组成、技术要求、加工工艺和安全防护。
本文件适用于多振镜头激光刻蚀机的生产、制造及加工应用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 5226.1 机械安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件

GB/T 7247.1 激光产品的安全 第1部分：设备分类和要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

多振镜头激光刻蚀机 **multi-galvometers laser etching machine**

通过分光系统将单束激光分为多束，并利用同步控制的多个振镜扫描头实现并行加工的激光刻蚀设备（以下简称“设备”）。

4 设备组成

4.1 激光器系统

激光器系统应提供稳定激光输出的激光器、光学调制装置等核心组件。

4.2 振镜系统

振镜系统应包含多组高速振镜及驱动模块，支持协同控制与动态校准。

4.3 控制系统

控制系统应集成运动控制、参数设置、振镜控制、视觉检测、故障诊断功能的软硬件模块。

4.4 冷却系统

冷却系统应用于激光源及关键部件的温度调节。

4.5 加工平台

加工平台应承载待加工材料，应具备水平调节、定位夹持功能。

4.6 光路控制系统

应包含光学传输模块、聚焦调节单元和光路切换装置，用于激光束的传输、聚焦及路径调节，应确保光束质量稳定、能量分布均匀，并与振镜系统协同实现高精度加工。

5 加工工艺

5.1 环境条件

- 加工应在下列条件下进行：
- a) 环境温度：5℃～40℃；
 - b) 相对湿度：不大于85%、无凝露；
 - c) 供电电压波动：不大于额定电压±10%；
 - d) 工作场所无强电磁干扰及腐蚀性气体、无明显振动源。

5.2 设备要求

- 设备应具备下列性能：
- a) 刻蚀轨迹连续、无断点，图案边缘清晰无毛刺；
 - b) 多振镜协同控制下，刻蚀区域间衔接平滑，无明显拼接误差；
 - c) 支持不同材料的刻蚀模式切换，工艺参数可调。

5.3 加工前准备

5.3.1 材料预处理

- 待加工材料表面应无油污、灰尘等杂质，清洁度应符合下列规定：
- a) 金属材料：表面氧化层去除后，粗糙度Ra不应大于3.2 μm；
 - b) 陶瓷、玻璃等非金属材料：表面应无可见颗粒杂质、气泡等缺陷，通过压缩空气吹扫或无水乙醇擦拭后，残留颗粒物粒径不应大于50 μm。

5.3.2 参数设置

激光刻蚀工艺参数应根据材料类型、刻蚀深度及精度要求，按表1设置，并通过控制软件同步多振镜的扫描起点与路径偏移量，分区域加工拼接误差不应大于0.05 mm。

表 1 激光刻蚀工艺参数

材料类型	激光功率（W）	频率（kHz）	扫描速度（mm/s）	刻蚀深度（μm）
不锈钢	15～30	40～500	1000～2000	10～50
玻璃	5～15	40～150	50～300	5～20
塑料	8～20	40～500	800～2500	3～15

5.4 加工过程控制

5.4.1 刻蚀路径

刻蚀路径宜采用多振镜分区域同步扫描模式，减少空程时间。

5.4.2 实时监测

加工过程中应监控激光输出稳定性、振镜偏转精度及材料温度，异常时应自动报警并停机。

5.4.3 工艺调整

当刻蚀效果偏离设计要求时，应按表2调整，调整后应重新验证刻蚀质量，不应重复加工同一区域超过2次。

表 2 刻蚀效果偏差调整规则

偏差类型	单次调整幅度	验证要求
刻蚀过浅	提高功率不大于5%或降低扫描速度不大于10%	补刻区域与原区域重叠不大于0.2 mm
刻蚀过深	降低功率不大于5%或提高扫描速度不大于10%	补刻后深度偏差不得大于10%设计值

5.4.4 单振镜与相邻振镜精度校正

设备调试阶段应校正单振镜与相邻振镜扫描精度，分别达到表3、表4指标要求时应认为精度校正合格。

表 3 单振镜校正指标要求

指标	要求
满幅面线性度误差	$\leq 0.02\% \times \text{幅面尺寸}$
幅面内最大偏差	$\leq 0.005 \text{ mm}$
正交度误差	$\leq 0.05^\circ$

表 4 相邻振镜校正指标要求

指标	要求
线性度误差	$\leq 0.05\% \times \text{轨迹长度}$
拼接位置最大偏差	$\leq 0.01 \text{ mm}$

5.4.5 多振镜协同验证

正式加工前应通过软件模拟多振镜运动轨迹，验证表5的指标合格后方可启动加工。

表 5 验证指标

验证指标	要求
扫描区域拼接误差	$\leq 0.05 \text{ mm}$
振镜同步时间差	$\leq 0.1 \text{ ms}$

5.5 加工后处理

5.5.1 清洁

刻蚀完成后，应采用下列方法清洁材料表面：

- a) 金属材料：使用无水乙醇擦拭，去除金属碎屑；
- b) 非金属材料：使用去离子水冲洗或压缩空气吹扫，去除粉尘；
- c) 清洁后表面应无可见残留物。

5.5.2 检测

- 5.5.2.1 检测时，可在 400 Lx~800 Lx 光照下，目视观察刻蚀图案是否完整，无漏刻、过刻、毛刺等缺陷。
- 5.5.2.2 刻蚀深度及线宽应使用光学显微镜测量。
- 5.5.2.3 功能检测应符合 GB/T 5226.1 的规定，导通性或绝缘性应通过万用表检测。

5.5.3 缺陷处理

刻蚀缺陷应按下列规则处理：

- a) 轻微缺陷：允许通过调整参数局部补刻，补刻后应重新检测；
- b) 严重缺陷：应标记并隔离，不应流入下一工序，应分析原因并优化工艺参数。

6 安全防护

6.1 激光辐射防护

- 6.1.1 设备激光安全等级应符合 GB 7247.1 的规定，4 类激光等高功率设备应设置独立安全防护区域。
- 6.1.2 加工区域应配备可闭合防护装置，防护装置开启时设备应自动停止激光输出。
- 6.1.3 操作区域应设置明显的激光危险警示标识。

6.2 电气安全

- 6.2.1 电气系统设计应符合 GB 5226.1 的规定，应具备过载保护、短路保护及接地保护功能。
- 6.2.2 激光器电源等高压部件应设置绝缘防护。

6.3 机械防护

- 6.3.1 运动部件应设置防护罩。

6.3.2 设备应配备急停装置，触发后 1 s 内停止所有动作。

6.4 操作安全

6.4.1 操作人员应经专业培训，熟悉设备操作流程及应急处理措施。

6.4.2 操作时应佩戴必要防护装备。
