



图 1 智能迷你数字镊子

※引言

迷你数字镊子的尖部五金件，其要求极为严苛，需要在高精度、功能性、耐用性和生物相容性之间取得完美平衡。

客户需求：极致精度与尺寸

尖端尺寸：0.3MM，用于夹取微型贴片元件。

形状与对称性：镊子尖两个尖头的对位精度必须极高，在闭合时完全吻合，无错位或缝隙。

表面粗糙度：工作表面（内侧夹持面）需达到镜面级抛光（ $Ra \leq 0.2\mu m$ ），保证测试时镊子尖与元件接触良好，防止刮伤元件引脚或损伤电路板焊盘。

·优异的机械性能

·高强度与硬度：材料需有足够硬度（HRC 45-55 或更高）以保持形状，防止在使用中变形或磨损。

·高弹性与抗疲劳性：镊子臂需要一定的弹性以实现反复开合。尖部是应力集中点，必须能承受数百万次的弯曲疲劳而不断裂。

·刚性：在夹持时，尖端本身变形应极小，确保夹持力精确传递。

•高可靠连接与导电的重要性——客户痛点

滑环刷子（也称为电刷或碳刷/金属刷组件）在 3D 体测设备中扮演着关键的电气信号与电力传输角色，尤其是在设备包含旋转部件（如旋转扫描平台、多角度摄像头臂、360°人体扫描转台等）时。

滑环+刷子组成的导电滑环正是解决“旋转中不断线”问题的核心部件。滑环刷子 = 旋转系统的“神经接口”，确保电力与信号在转动中无缝传输。刷子与滑环配合提供良好接地路径，减少电磁干扰（EMI），保障高精度光学/电子传感器不受噪声影响。

滑环刷子广泛应用于任何需要“在旋转中稳定传输电或信号”的设备中，从工厂机器人到风力发电机，从 CT 机到军用雷达，是实现机电一体化旋转功能的关键桥梁部件。

※成功案例研究



shapescale 是一家专注于 3D 人体扫描与健康/健身数字化解决方案的科技公司，其核心产品是一个高精度、自动化的全身 3D 体测设备，旨在为个人和专业机构提供客观、可量化的身体形态数据追踪。

客户现研发出来的 3D 体测设备频繁停机维护，需要设计优质刷子（如金合金丝、石墨复合材料）可承受数百万转次，确保设备长期稳定运行。

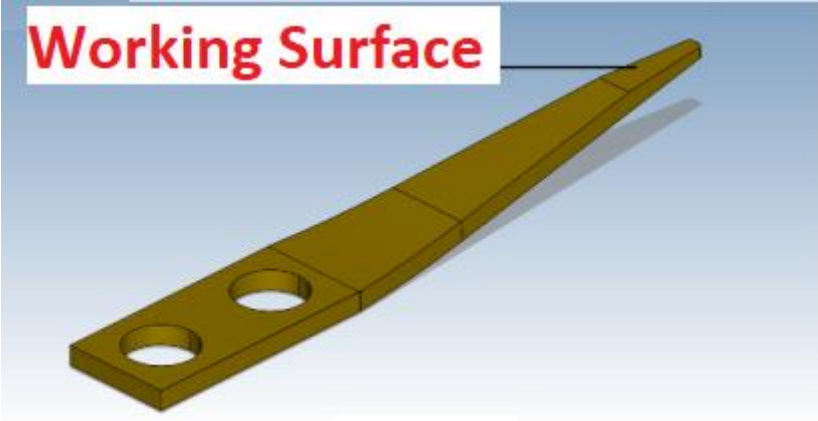


图 2 工作面



图 3 尖端需要重合一起



图 4 镊子尖与元件接触良好

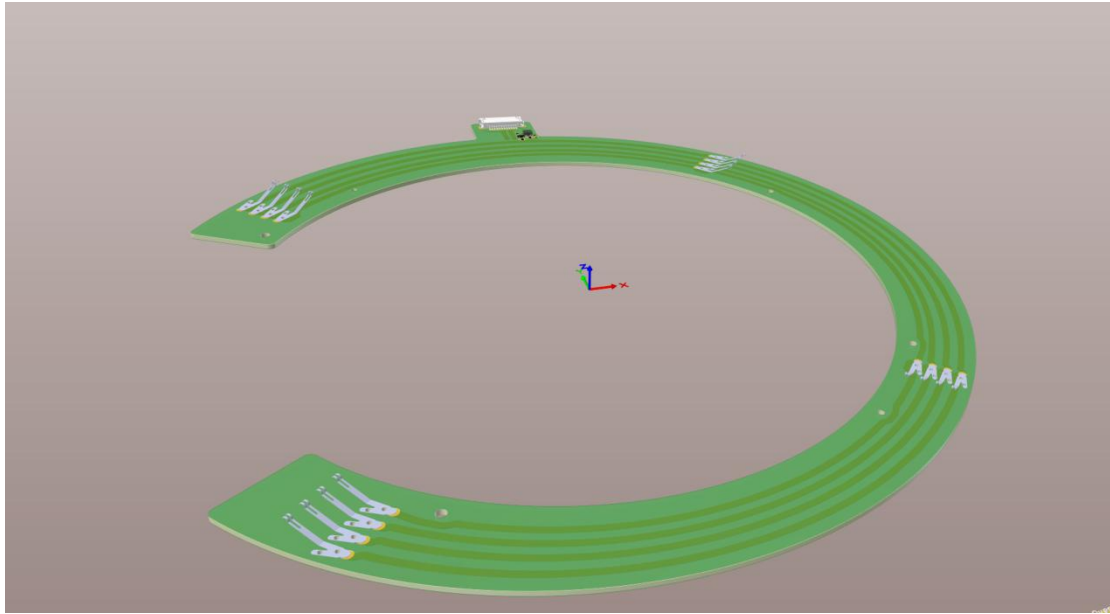


图 3 应用场景

•BOSI 设计策略

在高精度 3D 体测设备中，滑环刷子虽小，却是保障“动中通”（运动中通信）的关键精密元件。其可靠性直接决定了设备能否实现零中断、高精度、全自动的人体三维建模。

一、材料选择策略

1. 刷丝/刷片材料

材料类型	特点	适用场景
石墨/碳基复合材料	自润滑、耐高温、适合大电流	大功率旋转平台（较少用于精密 3D 体测）
铍铜/磷青铜弹性片 + 表面镀层	高弹性、疲劳寿命长	微型滑环、高频插拔场景

✓ 3D 体测设备推荐：镀金铍铜弹片——兼顾低接触电阻、无污染、长寿命。

二、结构设计策略

1. 刷子形式选择

片刷（Leaf/Spring Contact）：铍铜镀金，局部接触，载流能力强，适合电源+信号混合传输。扁平滑环有 4

个信号，2 个是控制（RS485）和 2 个是电源（20v 5A），4 个履带，最大直径 245mm。所以一个组件有 4 个轨道，使用 4 个触点每轨道冗余，每个组件总共有 16 个触点。

2. 接触压力控制

压力过小 → 接触不良、信号跳变；压力过大 → 磨损加剧、转矩增大、发热。设计目标：通常控制在 5–30 gf（克力）/点，通过有限元仿真优化弹臂刚度。

3. 多点冗余接触

单通道采用双刷或三刷并联设计，即使一根磨损，其余仍可维持通路，提升可靠性。

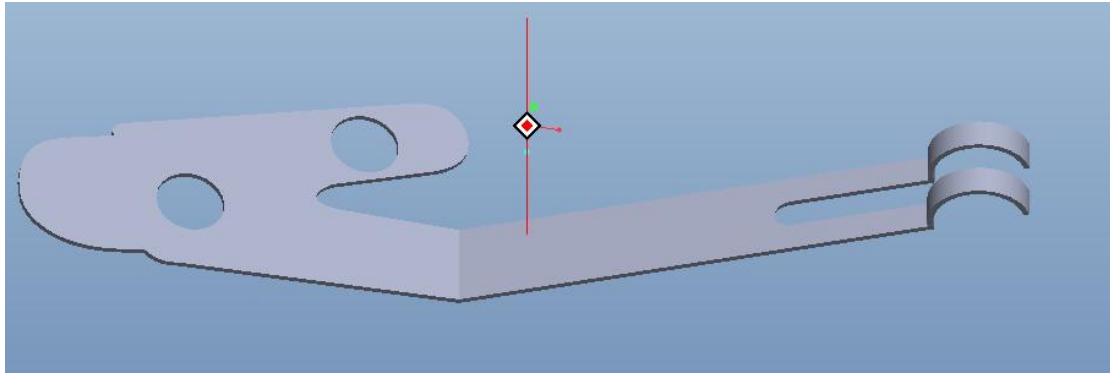


图 4 设计场景

三、电气性能优化策略

注意：普通刷子难以传输 >100 MHz 信号，高频应用需采用光纤滑环或射频专用滑环。

目标	设计手段
降低接触电阻	选用高导电材料 + 表面超精抛光 + 惰性气体保护装配
抑制信号串扰/噪声	刷子与滑环走线正交布局；信号/电源通道物理隔离；加屏蔽环
支持高频信号（如 USB 3.0、以太网）	采用阻抗匹配设计，刷子-滑环构成同轴或差分对结构（高端滑环）

四、寿命与可靠性设计策略

1. 磨损控制

控制线速度 ($v = \pi \cdot D \cdot n$) < 10 m/s（精密设备建议 <5 m/s），优化滑环表面粗糙度 ($Ra \leq 0.05 \mu m$)，使用自润滑镀层（如 Au-Ni、Au-Co）

2. 环境适应性

五、制造与装配策略

环境因素	对策
汗液/湿气（人体接触场景）	全密封结构 + 抗腐蚀材料（避免镍暴露）
灰尘/纤维（健身房、服装店）	IP54 以上防护 + 刷子自清洁微动设计
温度变化	选用热膨胀系数匹配的材料，避免冷焊或间隙过大

洁净室装配：避免微粒污染接触面（尤其医疗/半导体场景）；

预磨合处理：出厂前进行数千转磨合，稳定接触电阻；

在线测试：每通道动态电阻波动 $< \pm 5 \text{ m}\Omega$ 。

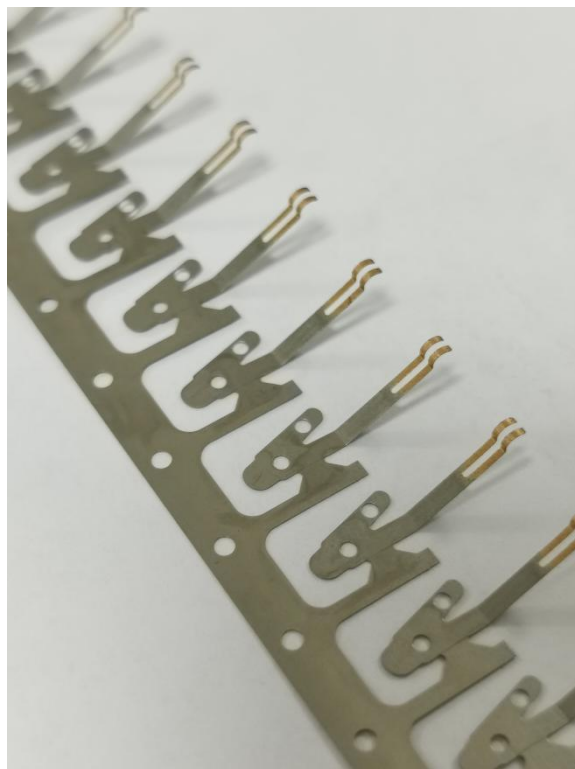


图 5 3D 体测设备片刷

※实施步骤与最佳实践

李斯特约日本碍子 (NGK)、日本原田 (HARADA)、德国代傲 (DIEHL)、瑞典山特维克 (Sandvik)、日本同和 (DOWA)、JX (日矿) 等国内外材料厂商，协同客户进行产品设计；依托德国进口 CNC 微型打样机，实现样品微米级精度的 24 小时快速打样，通过精密模具和高速冲床实现批量生产与打样的一致性，利用视觉检测系统实现了对关键尺寸（如平面度、孔径、位置度）的 100% 在线全检，通过非标自动化包装线为精密的引脚和表面提供最佳保护；李斯通过温度、湿度、振动、腐蚀等一系列量化的可靠性保障测试模拟产品整个生命周期，提供屏蔽效能、电气性能等测试报告；通过 IATF 16949 和 ISO13485 流程管控，实现 PPAP 一次性 100% 通过，实现李斯的敏捷交付。

※总结与展望

建议在设计早期就进行 EMC 预兼容测试和快速打样验证，并利用李斯的材料库进行材料与密封设计，并进行可靠性测试，通过温度、振动等加速老化测试，模拟刷子数百万转次的生命周期，确保数据不间断传输。