

脉冲 CO₂ 激光对钟表钻石打孔的影响

本文着重讨论谐振腔的模式对打孔质量的影响,首先对影响光束聚焦斑点的因素(D 为斑点直径)分析如下:

$$\text{锩透镜的球差: } \Delta_1 = a \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{a}{4f}\right)^2}} \right]$$

$$\text{衍射: } \Delta_2 = 2 \times 1.22 \frac{f\lambda}{a}$$

$$\text{激光束的发散角: } \Delta_3 = 2\theta f$$

我们工作的实际情况:

光束宽度 $a=9$ 毫米, 锩透镜的焦距 $f=25$ 毫米

发散角 $\theta \approx 5$ 毫弧度 (实测 $3 \sim 5$ 毫弧度), 则 $\Delta_1=0.09$ 毫米, $\Delta_2=0.05$ 毫米, $\Delta_3=0.20$ 毫米可见, 焦点处的斑点尺寸主要取决于光束发散角。影响发散角的因素主要是激光振荡的模式。多模打孔不仅斑点大, 且打孔浅, 孔径锥度大, 孔内熔融物残留多, 质量差, 因此, 要获得好的打孔质量, 必须实现激光单横模或较少模的运转。

对此, 我们采用的措施有:

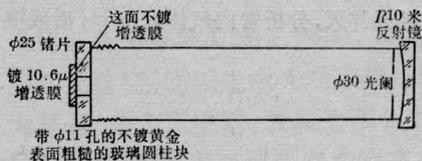
1. 用光阑降低“菲涅尔数” ($N=a^2/L\lambda$, a 为光阑半径, L 为两反射镜距离, λ 为波长) 以增大损耗来抑制高次模的振荡。

我们打 1# 样品 (厚 0.32 毫米, 孔径 0.05~0.07 毫米) 时, 两反射镜前放置 $\phi 24.5$ 毫米的光阑。打 2# 样品 (厚 0.35 毫米, 孔径 0.07~0.10 毫米) 时, 因孔径较大, 需要能量也大, 允许的锥度也较大, 我们在两镜前设置 $\phi 28$ 毫米的光阑。若只在窗口镜前设置光阑, 打孔入口处锥度显著增大, 即激光模式增多。这是因为脉冲 CO₂ 激光器有很高的单程增益之故。为了工作方便, 我们在远离窗口的全反射镜前设置 $\phi 30$ 毫米光阑, 输出窗口镜前的光阑随打孔规格而异, 1#、2# 样品分别是 24.5 毫米、28 毫米。

2. 增大单模体积

模体积和在镜上的光斑大小成正比, 而两反射

镜光斑的大小又和反射镜的曲率半径有关。用平面—平面 ($R_1, R_2 = \infty$) 反射镜固然有最大的单模体积, 但这种结构由于环境的振动, 放电热效应引起激光管的形变足可使腔体失谐, 因此腔体要经常调整, 这将影响打孔效率和合格率。为了克服腔体不稳, 将小孔耦合改为均匀透射输出, 其结构如下图所示。



球面腔结构示意图

图中一端采用 $R=10$ 米全反射镜, 另一端锩片起反射镜作用 (反射率为 36%)。在锩反射镜上, TEM₀₀ 模光斑直径为 8 毫米, 而 TEM₁₀ 模光斑直径为 14 毫米左右, 所以托附锩片的玻璃圆环起了光阑的作用。

这种球面腔体结构比平—平结构打孔生产效率提高一倍, 合格率提高到 99%。首先, 是它有更小的菲涅尔数 (约 0.8) 使模式改善; 其次, 均匀透射输出没有小孔耦合输出的那种不完整性 (在小孔耦合时, 放电管轴线附近增益区的受激辐射将直接从小孔上的锩片透过); 第三, 环境振动影响显著减小。

3. 采用比较低的工作电压, 以抑制高阶模振荡当击穿电压在高压变压器初级电压 120 伏左右时 (变压器升压比约为 250 倍) 打孔质量最好。若加大球隙距离即击穿电压稍增加一点, 例如 5 伏, 虽激光输出能量大了, 但打的孔入口处变大, 甚至不合要求。这是因为提高电压增加泵浦功率使高次模也易振荡之故。

(上海海运学院 蒋梁中)