Matriz de Recocido Negro por Láser MOPA

Protocolo de Marcado en Acero Inoxidable y Calificación ISO/IEC 15415 Grado A

Documentación Técnica Meenjet
Ref: MAT-ES-004

1. MATRIZ DE PARÁMETROS SEGÚN SUSTRATO (LÁSER MOPA)

Tipo de Acero	Ancho de Pulso	Frecuencia	Velocidad	Potencia	Espaciado de línea (Hatch)	Acabado y Calidad Esp.
AISI 304	20 – 30 ns	80 – 120 kHz	100 – 150 mm/s	40 – 55 %	0,003–0,005 mm	Negro mate profundo, resistente a pasivación. **Grado A**
AISI 316L	20 – 30 ns	80 – 120 kHz	100 – 150 mm/s	45 – 60 %	0,003–0,004 mm	Negro mate profundo quirúrgico. **Grado A**
AISI 430	10 – 20 ns	100 – 150 kHz	80 – 120 mm/s	35 – 50 %	0,005–0,008 mm	Gris oscuro a negro (óxido moderado). **Grado A/B**
17-4 PH	20 – 40 ns	60 – 100 kHz	80 – 120 mm/s	40 – 50 %	0,004–0,006 mm	Negro profundo, requiere prueba en rejilla. **Grado A**

** Configuración base con lente f-theta de 100 mm y módulo láser MOPA de 30W. Desenfoque el haz en +2,0 mm a +3,0 mm para mejorar el contraste.*

2. FÍSICA DEL RECOCIDO NEGRO Y PARÁMETROS CLAVE

Control de Ancho de Pulso (ns)

- **10 – 20 ns:** Capa de óxido delgada. Indicado para aceros ferríticos (430) o tonos claros.
- **20 – 40 ns:** Ventana óptima para el crecimiento térmico de una capa densa de óxido de hierro (Fe_3O_4) sin vaporizar material.
- **>50 ns:** Exceso térmico → Fusión, decoloración a gris y expansión de la ZAT (Zona Afectada por el Calor).

Frecuencia (kHz) y Espaciado de Línea

- **Alta Frecuencia (50–150 kHz):** Mantiene baja la energía de pulso individual acumulando calor continuo para un oscurecimiento homogéneo.
- **Espaciado de línea denso (0,003–0,005 mm):** Asegura el solapamiento total de micro-puntos evitando dispersión de luz en verificadores 2D.

3. CALIFICACIÓN ISO/IEC 15415 GRADO A EN DATAMATRIX

Ajustes Técnicos para Evaluación de Verificación

- **Contraste de Símbolo (SC ≥ 70%):** Reduzca la velocidad a 80–120 mm/s o disminuya la frecuencia a 60–100 kHz para aumentar la potencia de pico y obtener un negro más profundo.
- **Modulación (MOD ≥ 0,60):** Desenfoque el haz (+2,0 mm a +3,0 mm alejando el cabezal del plano) para suavizar la superposición de puntos y eliminar micro-puntos calientes.
- **No uniformidad axial (AN ≤ 0,06) y de cuadrícula (GNU ≤ 0,38):** Calibre la corrección de campo del escáner galvo y garantice el montaje ortogonal respecto al flujo de piezas.

4. PASIVACIÓN ASTM A967 Y CASO DE ÉXITO EN DISPOSITIVOS MÉDICOS

Resistencia a la Pasivación y Pruebas en Autoclave

El recocido negro genera una capa de óxido interna intacta conservando la película pasiva de cromo (Cr_2O_3). En pruebas reales con el modelo **Meenjet MFF-30 MOPA** (25 ns, 100 kHz, 120 mm/s) sobre acero 316, la tasa de aprobación de