MANUAL DE ESTUDIO · FABRICACIÓN DE CIRCUITOS INTEGRADOS Y PCB

Pruebas eléctricas, montaje SMT y THT e inspección

Capítulo 06 · En el video: **minuto 1:15:57** · Duración 14:59

Objetivo. Describir el ensamble de una placa y verificar un esténcil y un perfil de reflujo con criterios cuantitativos.

Ideas clave

Panelización

Las placas se agrupan en paneles para la línea SMT y se separan después por ranurado en V (cortes rectos) o por pestañas fresadas con perforaciones.

Prueba eléctrica de la placa desnuda

Se compara cada red con la lista del diseño (IPC-D-356): continuidad con baja resistencia y aislamiento a alta tensión. Las sondas voladoras sirven para prototipos; la cama de agujas, para volumen.

Clases IPC

IPC-A-600 juzga la placa desnuda e IPC-A-610 el ensamble. Clase 1: productos de consumo general; clase 2: equipos de servicio dedicado (industria); clase 3: alta confiabilidad (médico, aeroespacial, automotriz de seguridad).

THT frente a SMT

Los componentes pasantes (THT) aguantan esfuerzos mecánicos; los de montaje superficial (SMT) permiten paso fino, ambas caras y montaje automático a gran velocidad.



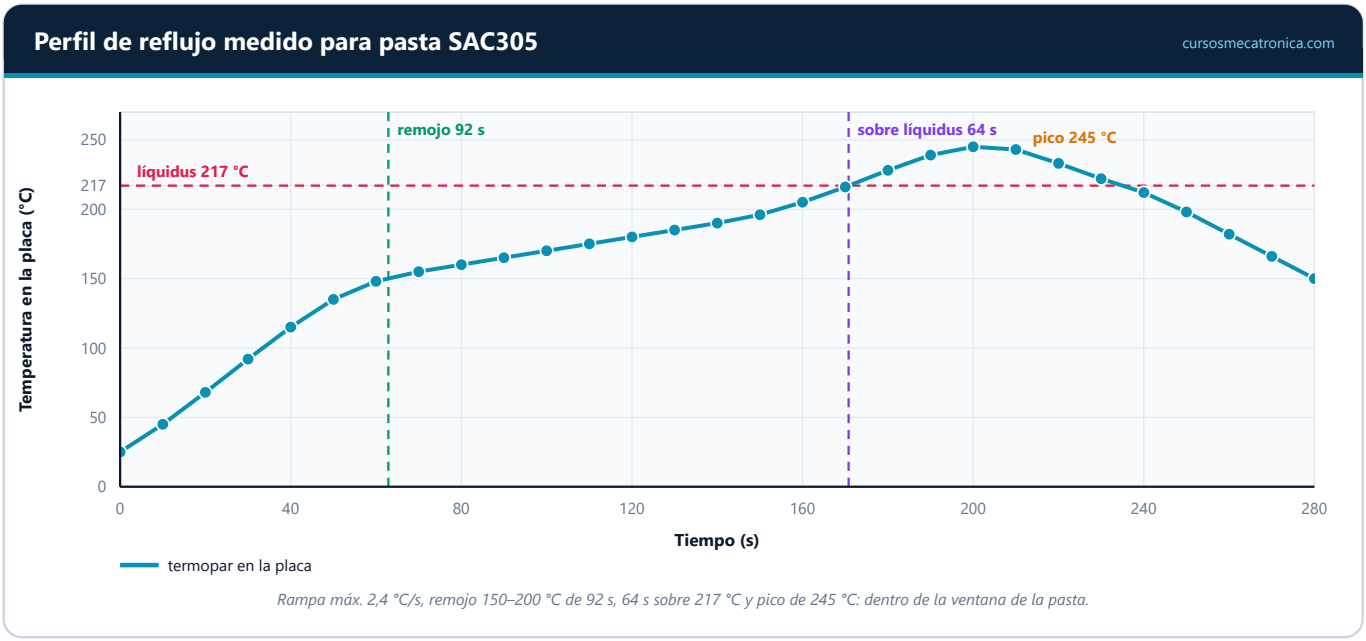
Flujo SMT del capítulo 06.

Pasta y esténcil

La pasta SAC305 (estaño, 3 % de plata, 0,5 % de cobre) se imprime a través de un esténcil cortado con láser. Para que la pasta se suelte, la relación entre el área de la abertura y el área de sus paredes debe ser al menos 0,66. La SPI 3D mide el volumen de cada depósito.

Colocación y reflujo

La máquina lee los fiduciales, toma cada componente con boquillas de vacío y lo centra con visión al vuelo. El horno de convección (a menudo con nitrógeno) aplica precalentamiento, remojo, pico sobre el líquidus y enfriamiento controlado. Pads desiguales en componentes pequeños provocan el efecto lápida (tombstoning).



Salida de perfil_reflujo.py.

Ola e inspección

En placas mixtas los THT se sueldan por ola o por ola selectiva robotizada. La AOI 3D revisa presencia, polaridad y filetes; la AXI (rayos X) mira bajo los BGA y QFN, donde un criterio habitual limita los vacíos a menos de 25–30 % del área de la esfera. Al final, prueba en circuito (ICT) o funcional.

Fórmulas y relaciones

Relación	Expresión	Cómo leerla
Relación de área	$AR = (L \cdot W) \,/\, [2(L + W) \cdot t]$	≥ 0,66 para buena liberación.
Tiempo sobre líquidus	$TAL = t(\text{baja de } 217\ °C) - t(\text{sube de } 217\ °C)$	Típico 45–90 s.
Pendiente	$dT/dt \leq 3\ °C/s$ en la subida	Evita choque térmico y salpicaduras.

Ejemplo resuelto: esténcil para un 0201

1. Abertura de 0,25 × 0,30 mm con esténcil de 100 µm: $AR = 0{,}075/(2 \cdot 0{,}55 \cdot 0{,}10) = 0{,}68$ → libera bien.
2. Con esténcil de 125 µm: AR = 0,55 → la pasta queda pegada en la abertura.
3. Para un 0402 (0,50 × 0,55 mm) en 100 µm: AR = 1,31.
4. Solución habitual: esténcil escalonado o de 100 µm para toda la placa.

El perfil medido de la figura cumple: rampa 2,4 °C/s, remojo de 92 s, 64 s sobre líquidus y pico de 245 °C (perfil_reflujo.py).

Ventana de un perfil SAC305 (referencia)

Parámetro	Ventana	Perfil medido
Rampa de subida	≤ 3 °C/s	2,4 °C/s
Remojo 150–200 °C	60–120 s	92 s
Tiempo sobre 217 °C	45–90 s	64 s
Pico	235–250 °C	245 °C
Enfriamiento	≤ 6 °C/s	1,6 °C/s

Código del capítulo

Los archivos completos vienen en el paquete ZIP del capítulo (carpeta `codigo/`).

perfil_reflujo.py — relación de área del esténcil y análisis de un perfil de reflujo medido.

```
"""
perfil_reflujo.py — Capítulo 06: relación de área del esténcil y validación de un perfil
de reflujo sin plomo (SAC305, líquidus 217 °C) medido con un termopar en la placa.
"""

LIQUIDUS = 217.0

# Perfil medido: (tiempo s, temperatura °C), un punto cada 10 s
PERFIL = [(0, 25), (10, 45), (20, 68), (30, 92), (40, 115), (50, 135), (60, 148),
          (70, 155), (80, 160), (90, 165), (100, 170), (110, 175), (120, 180),
          (130, 185), (140, 190), (150, 196), (160, 205), (170, 216), (180, 228),
          (190, 239), (200, 245), (210, 243), (220, 233), (230, 222), (240, 212),
          (250, 198), (260, 182), (270, 166), (280, 150)]

LIMITES = {'pendiente_max': 3.0, 'remojo': (60, 120), 'tal': (45, 90),
           'pico': (235, 250), 'enfriamiento_max': 6.0}


def area_ratio(largo_mm, ancho_mm, espesor_mm):
    """Área de la abertura / área de las paredes; debe ser ≥ 0,66."""
    return (largo_mm * ancho_mm) / (2 * (largo_mm + ancho_mm) * espesor_mm)


def cruce(perfil, nivel, subiendo=True):
    """Instante (interpolado) en que el perfil cruza un nivel."""
    for (t0, y0), (t1, y1) in zip(perfil, perfil[1:]):
        if (subiendo and y0 < nivel <= y1) or (not subiendo and y0 >= nivel > y1):
            return t0 + (nivel - y0) * (t1 - t0) / (y1 - y0)
    return None


def analizar(perfil):
    pend = [(y1 - y0) / (t1 - t0) for (t0, y0), (t1, y1) in zip(perfil, perfil[1:])]
    remojo = cruce(perfil, 200) - cruce(perfil, 150)
    tal = cruce(perfil, LIQUIDUS, False) - cruce(perfil, LIQUIDUS)
    pico = max(y for _, y in perfil)
    return dict(pendiente_max=max(pend), enfriamiento_max=-min(pend), remojo=remojo, tal=tal, pico=pico)


if __name__ == '__main__':
    aberturas = [('0402 con esténcil de 100 µm', 0.50, 0.55, 0.10),
                 ('0201 con esténcil de 100 µm', 0.25, 0.30, 0.10),
                 ('0201 con esténcil de 125 µm', 0.25, 0.30, 0.125)]
    for nombre, l, w, e in aberturas:
```

```
        ar = area_ratio(l, w, e)
        print(f'{nombre}: relación de área {ar:.2f} {"OK" if ar >= 0.66 else "insuficiente"}')

    r = analizar(PERFIL)
    print('\nPerfil de reflujo SAC305')
    print(f'  Pendiente máxima de subida : {r["pendiente_max"]:.1f} °C/s (máx 3)')
    print(f'  Remojo 150–200 °C          : {r["remojo"]:.0f} s (60–120)')
    print(f'  Tiempo sobre líquidus      : {r["tal"]:.0f} s (45–90)')
    print(f'  Pico                       : {r["pico"]:.0f} °C (235–250)')
    print(f'  Enfriamiento máximo        : {r["enfriamiento_max"]:.1f} °C/s (máx 6)')
    ok = (r['pendiente_max'] <= 3 and 60 <= r['remojo'] <= 120 and 45 <= r['tal'] <= 90
          and 235 <= r['pico'] <= 250 and r['enfriamiento_max'] <= 6)
    print(f'  Dictamen: {"perfil dentro de la ventana" if ok else "ajustar el horno"}')
```

Errores frecuentes

- Usar un esténcil grueso con componentes 0201 o BGA de paso fino.
- Ajustar el horno con un termopar sobre el transportador en vez de sobre la placa.
- Aceptar un BGA sin inspección por rayos X.

Autoevaluación

1. ¿Qué relación de área mínima se recomienda?
2. ¿Cuál es el líquidus de la SAC305?
3. ¿Qué clase IPC corresponde a un equipo médico de soporte vital?

Respuestas. 1. 0,66. **2.** 217 °C. **3.** Clase 3.