

FUNDAMENTOS DE LA ADHESIÓN

Mojabilidad de un sustrato

En el número anterior comenzamos la descripción del fenómeno de la mojabilidad de un sustrato. En este número se relaciona el ángulo de contacto con la resistencia de la unión.

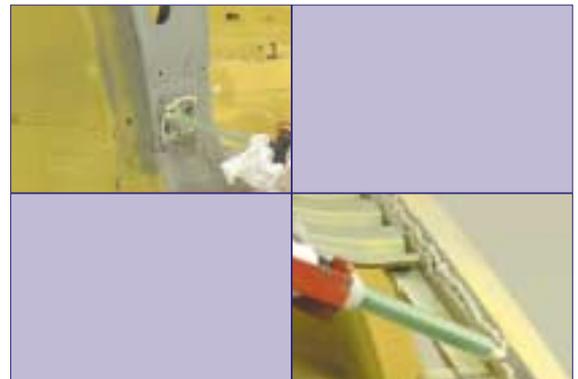
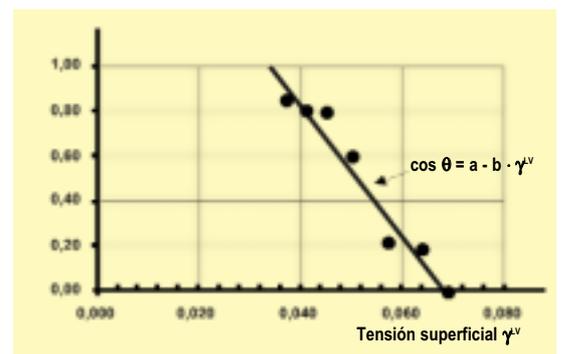


Figura 1: Determinación de la tensión superficial crítica de una superficie sólida.

La ecuación de Young que vimos en el capítulo anterior incluye parámetros que son bastante difíciles de medir, especialmente la tensión superficial de la interfaz sólido-líquido, que impiden su utilización para predecir la mojabilidad de un sustrato.

W. A. Zisman comprobó que mojando una misma superficie con diversos líquidos homólogos, la relación entre el coseno del ángulo de contacto y la tensión superficial del líquido era una recta (ver figura 1).



Zisman introdujo el concepto de tensión superficial crítica, γ^c , que es el resultado de extrapolar los datos obtenidos del ángulo de contacto para $\cos \theta = 1$, como se muestra en la figura 1.

La recta de regresión definida, $\cos \theta = a - b \cdot \gamma^{LV}$, incluye dos constantes desconocidas, a y b. Si la extrapolamos al valor de coseno unidad para la **tensión superficial crítica γ^c** podremos determinar una de ellas:

$$\begin{aligned} 1 &= a - b \cdot \gamma^c \\ a &= 1 + b \cdot \gamma^c \end{aligned}$$

y elaborando un poco la expresión llegamos a:

$$\cos \theta = 1 - b \cdot (\gamma^{LV} - \gamma^c)$$

La condición para que el líquido moje un sustrato es que el coseno del ángulo sea positivo ($\theta < 90^\circ$), de modo que **si la tensión superficial crítica γ^c es mayor que la tensión superficial del líquido γ^{LV} habrá mojado completo** (en ese caso, independiente del valor de la constante b, que será siempre positiva, el término entre paréntesis será negativo).

| Adhesivo | Tensión superficial (N/m) |
|-----------------------|---------------------------|
| Caseína | 0,047 |
| Fenol-resorcina | 0,048 |
| Nitrocelulosa | 0,026 |
| Poliacetato de vinilo | 0,038 |
| Resina epoxi | 0,047 |
| Cianocrilatos | 0,035 |
| Resina fenólica | 0,078 |
| Urea-formaldehído | 0,071 |

Tabla 1: Tensión superficial de algunos adhesivos.

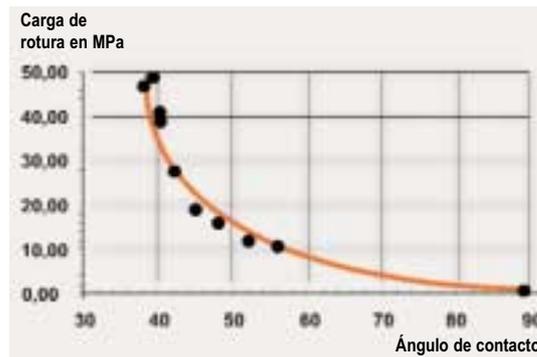
| Disolvente | Tensión superficial (N/m) |
|----------------|---------------------------|
| Hexano | 0,020 |
| Isopropanol | 0,020 |
| Etanol | 0,022 |
| Acetona | 0,022 |
| n-propanol | 0,023 |
| n-butanol | 0,024 |
| Tolueno | 0,028 |
| Xileno (meta) | 0,028 |
| Etilenglicol | 0,048 |
| Propilenglicol | 0,072 |
| Agua | 0,072 |

Tabla 2: Tensión superficial de los disolventes más usados.

| Material | Tensión superficial crítica (N/m) |
|-----------------------|-----------------------------------|
| ABS | 0,035 |
| Aluminio | 0,500 |
| Cobre | 1,000 |
| Hierro | 2,000 |
| Oxido de polifenileno | 0,038 |
| Poliamida | 0,046 |
| Policarbonato | 0,046 |
| Polietileno | 0,031 |
| Polimetilmetacrilato | 0,039 |
| Polipropileno | 0,032 |
| PVC | 0,040 |
| Resina epoxi | 0,047 |
| Silicona | 0,024 |
| Teflón, (PTFE) | 0,018 |

Tabla 3: Tensión superficial crítica de diversos materiales.

Figura 2: Carga de rotura según el ángulo de contacto del agua.



En la tabla 1 de indican las tensiones superficiales de algunos adhesivos, en la tabla 2 de disolventes y en la tabla 3 la tensión superficial crítica de diversos materiales.

En la tabla 4 y 5 pueden encontrarse los espectros de compatibilidad según el criterio de W. A. Zisman entre los materiales, adhesivos y disolventes indicados.

RELACIÓN ENTRE EL ÁNGULO DE CONTACTO Y LA RESISTENCIA DE LA UNIÓN

La figura 2 muestra la relación entre el ángulo de contacto de una gota de agua sobre la superficie del polietileno y la resistencia mecánica de la unión realizada con adhesivo de base epoxi. Para conseguir distintos ángulos de mojado se ataca la superficie del polietileno con una disolución de ácido sulfúrico y dicromato durante distintos periodos de tiempo.

Inicialmente y con el sustrato sin activar el ángulo de contacto es muy alto (90°) y la unión no presenta ninguna resistencia. Sin embargo, según va aumentando el tiempo

de ataque con la disolución, el ángulo de contacto va disminuyendo y la carga de rotura va aumentando. El uso de una gota de agua en lugar del propio adhesivo tan sólo se hace para tener referencia del ángulo de contacto, pero sirve para confirmar la dependencia entre la tensión superficial y la resistencia de la unión.

OTRAS CONSIDERACIONES

En este capítulo se ha descrito la relación existente entre el ángulo de contacto y la mojabilidad de un sustrato, y al final se ha utilizado el criterio de W. A. Zisman para determinar la compatibilidad entre adhesivos y disolventes con los materiales. El concepto de tensión superficial crítica introducido por Zisman no está exento de dificultades teóricas y prácticas, entre ellas la propia dependencia del parámetro con la tensión superficial de la interfaz sólido-líquido. Cuando se utilizan líquidos con diferente carácter polar aparecen diferencias en la tensión superficial crítica de un sustrato, lo que también indica lo empírico del método.

Otro criterio utilizado para determinar la idoneidad entre un adhesivo y un sustrato es el basado en el pará-

metro de solubilidad, d . Este criterio se encuentra especialmente útil en el caso de sustratos orgánicos y no muy polares (ver artículos anteriores). El parámetro de solubilidad está relacionado con la energía de vaporización y el volumen molar mediante la relación:

Su unidad es el Hildebrand, que es el nombre del autor de la teoría.

$$\delta = \sqrt{\frac{\Delta E}{V}}$$

Según este criterio **un adhesivo y un sustrato serán compatibles cuando sus parámetros de solubilidad sean similares** de forma que su diferencia sea nula o casi nula ($\delta^L - \delta^S \approx 0$). Sin embargo, este criterio también presenta dificultades.

Entre el parámetro de solubilidad y la tensión superficial existe una buena correlación para valores pequeños, pero al aumentar éstos, aparecen discrepancias. El criterio basado en la tensión superficial o el ángulo de contacto se muestra válido en un campo más amplio de aplicaciones. ■

| SUBSTRATO | | ADHESIVO | | | | | | |
|-----------------------|-------|---------------|-----------------------|---------|--------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | | Nitrocelulosa | Poliacetato de vinilo | Caseína | Resina epoxi | Fenol-resorcina | Urea-formaldhído | Resina-fenólica |
| | | 0,026 | 0,038 | 0,047 | 0,047 | 0,048 | 0,071 | 0,078 |
| ABS | 0,035 | X | | | | | | |
| Aluminio | 0,500 | X | X | X | X | X | X | X |
| Cobre | 1,000 | X | X | X | X | X | X | X |
| Hierro | 2,000 | X | X | X | X | X | X | X |
| Oxido de polifenileno | 0,038 | X | | | | | | |
| Poliamida | 0,046 | X | X | | | | | |
| Policarbonato | 0,046 | X | X | | | | | |
| Polietileno | 0,031 | X | | | | | | |
| Polimetilmetacrilato | 0,039 | X | X | | | | | |
| Polipropileno | 0,032 | X | | | | | | |
| PVC | 0,040 | X | X | | | | | |
| Resina epoxi | 0,047 | X | X | | | | | |
| Silicona | 0,024 | | | | | | | |
| Teflón, (PTFE) | 0,018 | | | | | | | |

Tabla 4: Espectro de compatibilidad entre adhesivos y materiales según el criterio de la tensión superficial crítica.