Capítulo 7

Conclusiones

Conclusiones

En este proyecto fin de carrera se ha estudiado la influencia de varios factores en la medida de la microdureza Vickers, para partículas metálicas de aluminio y aluminio-titanio. Dichos factores han sido:

- Propiedades de la probeta:
 - Tipo de resina en la que se empastillan las partículas para poder ensayarlas.
 - Tiempo de curado de la resina.
 - Absorción de agua por parte de la resina durante el lijado y pulido de la probeta.
 - Tamaño y tipo de partícula.

- Factores referentes a la máquina de ensayo.
 - Velocidad de caída del penetrador.
 - Tiempo de aplicación de la carga.
 - Carga aplicada.
 - Distancia penetrador-probeta antes de la indentación.

Las conclusiones a las que se ha llegado son:

- Las *propiedades mecánicas de la resina* en la que se empastillan las partículas, para las resinas empleadas, no influyen en la medida de la microdureza de las partículas. Dentro de los factores que hacen variar las propiedades de la resina se tienen:
 - El *tiempo de curado* de la resina. La de poliéster tarda 8 días en alcanzar su máxima dureza, mientras que la epoxi y la acrílica tardan 5 días. Considerando los tiempos de curado empleados (1 ÷ 15 días), no se ha observado ninguna tendencia clara en las muchas experiencias que se han realizado para detectar la influencia del tiempo de curado de la resina en la medida de microdureza de las partículas.
 - La *absorción de agua* por parte de la resina durante el lijado y pulido. No se ha detectado ninguna tendencia variando el método de secado de la probeta.
- El *tamaño de la partícula* influye en la medida de la microdureza. Tamaños de partícula poco mayores que el de la huella (< 3:1), harán que el valor medido de microdureza disminuya alrededor de un 20 % (pasa de 53 HV 0.02 a 43 HV 0.02 en partículas de Al-N₂) y la desviación aumente alrededor del 300 % (de ± 4 HV 0.02 a ± 12 HV 0.02 en partículas de Al-N₂), ya que en ese caso lo que se está midiendo es la microdureza del conjunto partícula-resina.
- En cuanto a *la forma de la huella*, solamente aquellas que sean cuadradas podrán ser aceptadas para el cálculo final del valor de microdureza. Cualquier otra forma de huella tendrá un tamaño mayor, fundamentalmente debido a la plastificación de la resina, por lo que deberá ser descartada.
- Las conclusiones anteriores son aplicables a todos los *tipos de partículas* de aluminio y aluminio-titanio que se ensayan en el laboratorio en el que se ha realizado el proyecto.
- La inercia que adquiere el eje de carga (al cual va unido el penetrador) durante el movimiento de aproximación a la probeta, afecta considerablemente al tamaño de la huella (aumentándolo hasta un 100 % sobre el tamaño real) que se genera en la partícula durante el ensayo. Debido a este efecto, en el caso de partículas de Al-N₂, empleando 20 g de carga, el tamaño de huella pasa de 18.50 μm a 35.40 μm. Reduciendo la *velocidad de caída del penetrador* se puede eliminar este efecto.

7. Conclusiones

- Durante el *tiempo en que se aplica la carga* se alcanza un equilibrio de fuerzas entre penetrador, partícula y resina. Esto garantiza que, junto con un adecuado tamaño de partícula, la resina no influya en la medida de la microdureza de la partícula.
- La desviación de los *valores de la carga en torno a 20 g* (debido al balancín, roces, aceite, inercia, etc.), se puede cifrar en 20 ± 0.15 g, que entra dentro del rango permitido por la norma (20 ± 0.30 g). Si por algún motivo, el valor de la carga estuviera fuera de este intervalo, la influencia en los valores de microdureza sería muy baja. En el rango de cargas $15 \div 25$ g, la variación del tamaño de huella es aproximadamente $1.2 \mu\text{m}$, con lo que en el rango de cargas $19.50 \div 20.50$ g, dicha variación se puede cifrar en $0.12 \mu\text{m}$ (1.5 puntos de microdureza para una dureza de 114 HV 0.02).
- La variación de la *distancia entre la carcasa protectora del penetrador y la probeta* no influye en el resultado. Se han ensayado distancias entre 0.5 y 2.5 mm. Aún así, no hay motivos para no tomar la recomendada por el fabricante (0.5 y 1 mm).

Atendiendo a las conclusiones anteriores, a la hora de realizar el ensayo, se aconseja tomar las medidas que se exponen a continuación, quedando los parámetros dentro de los límites establecidos en la norma:

- Se empleará la resina de poliéster, que es la más económica (20 veces más barata que la acrílica o la epoxi).
- Se dejará curar la resina hasta haber solidificado al menos 1 día, ya que es el tiempo de curado mínimo estudiado.
- Para obtener un buen acabado superficial, es aconsejable hacer pasar sucesivamente la probeta por una lija nº 600, un paño de pulido con suspensión de diamante de $9 \mu\text{m}$, un paño de pulido con suspensión de diamante de $3 \mu\text{m}$, y paño de pulido con óxido de magnesio. El tiempo empleado en cada paso ha sido aproximadamente 3-4 minutos.
- Se secará la probeta exponiéndola al aire caliente aportado por un secador durante 4 minutos aproximadamente, cuidando de no someter a la probeta a elevada temperatura.

7. Conclusiones

- Las partículas que se elijan para ser ensayadas tendrán un diámetro equivalente en la superficie a ensayar, de al menos 4 veces el tamaño de la diagonal de la huella. Esta restricción es menos exigente que la que impone la norma (6 veces el tamaño de la huella).
- Solamente las huellas con forma cuadrada podrán ser aceptadas como válidas. Si aun siendo cuadrada, el tamaño es sensiblemente distinto ($\pm 1 \mu\text{m}$) a la media, también será descartada (no más de dos o tres huellas). No deberían aceptarse menos de 15 huellas correctas.
- Se tomará una velocidad de caída del penetrador de 0.12 mm/s (50 s de tiempo de caída), con lo que se elimina el efecto que la inercia provoca en la formación de la huella.
- Se aplicará la carga durante $10 \div 15$ s, con lo que el equilibrio está garantizado.
- El balancín para cargas bajas se colocará centrado, horizontal y evitando rozamientos. Con esto, la carga no debe salirse del rango permitido por la norma.
- El error cometido con el sistema digital es de $0.069 \mu\text{m}$ frente a $0.167 \mu\text{m}$ del sistema tradicional. El sistema digital es más engorroso de utilizar, sobre todo para partículas pequeñas. La decisión de emplear un método u otro, recaerá en la persona que realice el ensayo
- Se ha observado una misma tendencia en los resultados que se han ensayado en un mismo día. No se ha encontrado el factor que explique este hecho.
- No cabe esperar una desviación mayor de $\pm 0.5 \mu\text{m}$ en los valores del tamaño de la huella.

Pensando en una futura línea de investigación, parece interesante profundizar en la simulación del problema estudiado mediante el programa de análisis por elementos finitos ABAQUS 6.0. Para abordar este problema con garantías, es aconsejable tener conocimiento acerca del método numérico empleado.