

## **Influencia de las características superficiales de un sustrato en la resistencia de una unión adhesiva**

J.J. Narbón<sup>1</sup>, J.M. Arenas<sup>1</sup>, Juan Carlos del Real<sup>2</sup>, C. Alía<sup>1</sup>, R. Ocaña<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Diseño y Fabricación Industrial (UPM)

<sup>2</sup>Universidad Pontificia de Comillas-ICA<sup>1</sup>

e-mail: jj.narbón@upm.es

### **Resumen**

Uno de los objetivos que se plantean cuando se realiza una unión adhesiva es que su resistencia sea lo más elevada posible para los esfuerzos a los que va a estar solicitada. Además de las propias características del adhesivo empleado, está la resistencia que se genera en la interfase. En trabajos anteriores se ha caracterizado la topografía de la superficie del sustrato. En este trabajo se han realizado ensayos de resistencia de la unión adhesiva sometida a ensayos de tracción pura, buscando la relación con las características de las superficies tratadas con diferentes tratamientos mecánicos y químicos. Se ha comprobado que el valor de la rugosidad influye en la resistencia, pero condicionado por el tratamiento aplicado.

**Palabras clave:** Tratamiento superficial, Rugosidad, ensayos de tracción a tope

### **1. Introducción**

Entre los parámetros que más repercusión van a tener para una buena unión adhesiva se encuentran la energía superficial, que depende de la estructura cristalográfica y molecular, y la rugosidad, que lo hace de la topografía superficial. El primer parámetro produce la unión mediante fuerzas de van der Waals, producidas principalmente por polaridad inducida (mecanismo de unión de adsorción). El segundo da lugar al anclaje mecánico, a la vez que produce un aumento de la superficie de la unión, lo que incide de manera positiva en la componente polar de la unión.

Se sabe que la resistencia de las uniones adhesivas depende de la rugosidad superficial de los sustratos [1, 2, 3, 4]. En diferentes estudios realizados [3, 5, 6], se ha comprobado que la magnitud de este efecto no está clara debido a la elevada complejidad del fenómeno. La forma de obtener esa rugosidad superficial es, igualmente, variada, pero en todos los casos se produce una agresión a la estructura de granos del metal [5, 7]. Los estudios realizados sobre la repercusión que esos ataques producen, en general, sólo se analizan considerando los efectos mecánicos que se producen en la unión. Sin embargo, el estudio de los efectos que ocasionan los tratamientos que modifican la estructura cristalográfica de la superficie es muy escaso.

D.E.Packham[8], en su ponencia “The roughness of Engineering Surfaces and its Influence on Practical Adhesion” manifiesta la diferente naturaleza química que se produce en muestras del mismo material, unas pulidas y las otras rugosas.

Se han realizado numerosos trabajos de investigación que se caracterizan, por plantear tratamientos superficiales, desde la simple limpieza con disolventes orgánicos, hasta tratamientos químicos y térmicos, pasando por diferentes procesos de mecanizado[9, 10, 11]. Por otra parte, el caracterizar el acabado superficial obtenido mediante parámetros geométricos relativos a la rugosidad (Ra, rms o Rq, etc.) [6, 3, 5] permite considerar la interacción mecánica adhesivo-sustrato. Pero la mera indicación de valores de rugosidad lineal son insuficientes para caracterizar de manera adecuada la superficie.

Si la rugosidad produce anclaje mecánico, sería importante en el comportamiento de la unión adhesiva en cortadura, pero menos en tracción, por actuar los esfuerzos normales, perpendiculares a las irregularidades producidas en la superficie. Sin embargo, el hecho es que, tanto en ensayos a cortadura como a tracción, el valor de los esfuerzos soportados es mayor cuando se ha tratado la superficie aumentando el área de contacto adhesivo-adherente, zona donde la principal actuación se deriva de la presencia de las fuerzas de van der Waals y la modificación de su estructura cristalográfica [8, 12]. Hay que tener en cuenta que los otros mecanismos de adhesión, la difusión y la unión electrostática, tienen poca influencia, o ninguna, en los casos en los que la unión se realiza entre un adhesivo (que es un polímero) y un metal.

Cuando la superficie del adherente es tratada con distintos medios, se obtienen rugosidades diferentes, lo que hace que la superficie en contacto con el adhesivo sea distinta. Se ve que el análisis de esa superficie, desde un punto de vista micrométrico, debe de tener una vital importancia en el conocimiento apriorístico del resultado de la unión adhesiva. En este trabajo se ha actuado sobre diferentes tratamientos para observar los efectos en la resistencia a rotura de la unión adhesiva.

## **2. Procedimiento experimental**

### **2.1 Materiales**

Para la realización de los tratamientos, se cogieron probetas de aluminio de dimensiones  $100 \times 40 \text{ mm}^2$  y 8 mm de espesor.

Para el ensayo de tracción pura se ha utilizado un epoxi bicomponente comercial, en concreto el Loctite Hysol 9466 de Henkel Ibérica S.A..

## 2.2. Técnicas empleadas

Una vez limpias las probetas, se las sometió a los distintos tratamientos. La realización de los tratamientos tuvo lugar mediante diferentes métodos.

El pulido se realizó con una pulidora metalográfica, con cinco discos de distintos granos y materiales. El lijado se realizó a mano, con un papel de lija de grano 40 (L40), realizando diferentes pasadas en todas las direcciones y sentidos. De forma similar se trabajó con el papel de grano 1000 (L1000).

El granallado se realizó mediante impacto de la granalla de corindón artificial de grano 120  $\mu\text{m}$ , realizándose una pasada a una distancia de 10 cm.

El LSP se realizó con el equipo y condiciones expresadas anteriormente: en este caso se programó para que se le suministraran a la probeta 625 pulsos/cm<sup>2</sup>.

El ataque con HCl se realizó por inmersión parcial de las probetas en dos disoluciones de concentraciones 0'5M y 0'6M durante un tiempo de 30h 30min.

Por último, el ataque con NaOH se realizó por inmersión y agitación en concentraciones de 5% durante una hora y del 10% durante 1'5 horas.

Una vez realizado el tratamiento superficial se llevaron al microscopio confocal con objeto de obtener los parámetros de rugosidad superficiales, comprobando que los datos de  $Ra$  inicialmente obtenidos eran bastante aproximados a los valores de la rugosidad superficial.

Para la realización de los ensayos a tope, se diseñó un útil (Figura 1 ) con el fin de que la máquina de ensayos actuase con esfuerzos de tracción pura.



Figura 1: Útil diseñado para el ensayo de tracción

Las probetas de ensayo están formadas por las pletinas de aluminio a las que se les adhiere un tubo hueco que se sitúa perpendicular a la muestra y se introduce adhesivo en el interior hasta unos 2cm de altura. Cuando el adhesivo ha curado y la probeta alcanza la resistencia adecuada, se acopla al útil diseñado al efecto, quedando el montaje como se ve en la Figura 2

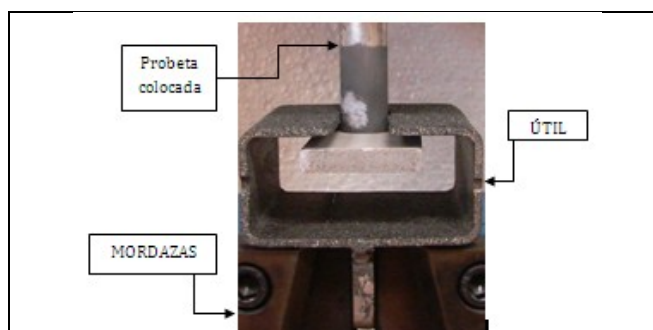


Figura 2: Probeta montada en el útil de tracción

### 3. Resultados y análisis

Los valores Ra obtenidos figuran en la tabla 1:

Tabla 1: Valores de rugosidad según el tratamiento superficial.

Tratamiento Superficial	$R_a (\mu m)$	$\sigma$	$CV = \sigma / R_{a_m}$	$S_a (nm)$
Pulido	0'065	0'5	7'94	70'84
Lijado grano 1000	0'233	5'7	24'48	275'5
Lijado grano 40	1'852	17'	9'33	1604'6
Granallado	1'255	11'	9'79	1294'6
LSP	7'605	72'	11'72	5591'2
HCl 0'6 M	5'188	84'	16'65	2177'3
HCl 0'5 M	1'495	31'	27'75	1332'5
NaOH 5%	1'142	1'2	3'15	1321'7
NaOH 10%	0'907	5'3	55'04	1085'0

Se presentan, a continuación, los resultados obtenidos de los ensayos de tracción pura, realizados con objeto de comprobar el efecto de las fuerzas de van der Waals, ordenados según la rugosidad superficial.

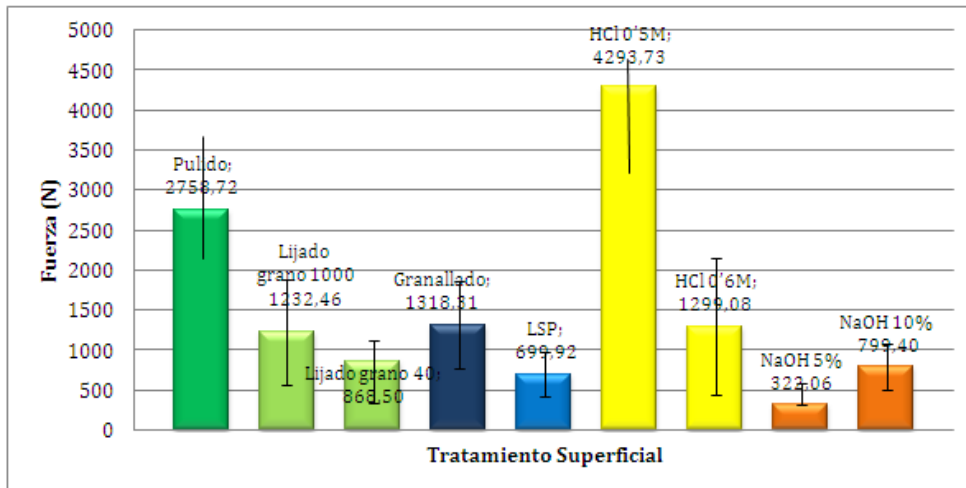


Figura 3: Gráfico de barras de los valores de la resistencia máxima a tracción

Hay que tener en cuenta que la unión producida por fuerzas de van der Waals se manifiestan cuando el contacto es directo entre la superficie y el adhesivo, esto es, en el caso del pulido. Esta unión está condicionada por la relación entre la energía superficial y la tensión superficial del adhesivo, que es igual para todos los tratamientos, pues el adhesivo es único. Así pues, una vez alcanzado el contacto interfacial son las fuerzas de van der Waals las que actúan.

#### 4. Conclusiones

- Se ha visto que el valor de la rugosidad tiene una influencia directa en la resistencia a la rotura de la unión adhesiva, de manera que una rugosidad en torno a  $Sa\ 1\sim 2\mu m$  es la que mayor resistencia ofrece a la decohesión.
- Una rugosidad elevada, en lugar de mejorar la resistencia de la unión por anclaje mecánico, produce mayor cantidad de entallas que propician la formación de grietas, iniciadoras de la fractura.

- Una rugosidad fina con una energía superficial elevada, facilita la formación de fuerzas de van der Waals y, por tanto, mejor resistencia de rotura de la unión
- Es definitiva la combinación de valor de rugosidad y su tipo para que la unión adhesiva presente una buena resistencia
- Se puede decir que los efectos que producen los diferentes tipos de tratamientos tienen una cierta similitud en los resultados, si se exceptúa el HCl, con dos comportamientos muy diferentes.
- La energía superficial generada en la superficie del aluminio por cada uno de los tratamientos, al tener repercusión en el mojado y en el esparcimiento del adhesivo en la superficie del sustrato muestran relación con la resistencia de la unión, siempre que no influyan de manera importante otros factores, como una rugosidad muy elevada,
- Lo contrario se podría decir de los ataques básicos, pues con unos valores moderadamente bajos de rugosidad ( $R_a$  1'085 y 1'321 $\mu\text{m}$ , respectivamente para NaOH 10% y 5%) presentan las resistencias más bajas, junto con el LSP.

## 5.- Agradecimientos

Los autores agradecen a Antonio Conesa de Henkel el suministro del adhesivo utilizado en el presente trabajo, así como a Carlos Rodríguez, de la Universidad Carlos III, por su ayuda para la medida de la energía superficial.

## 6. Referencias

- [1] Shahid M., Hashim S.A. , «Effect of surface roughness on the strength of cleavage joints,» I. J. of Adhesion & Adhesives , nº 22, pp. 235-244, 2002.
- [2] Kunio Uehara, Mitsuru Sakurai., «Bonding strength of adhesives and surfaces roughness of joined parts,» Journal of Materials Processing Technology , nº 127, pp. 178-181, 2002.
- [3] Pocius A.V., Adhesion Science and Engineering - 1 and 2., U.S.A.: M. Chaudhury, 2002.
- [4] Arenas J.M., Narbón J.J, Alía C., «Influence of the surface finish on the shear strength of Structural Adhesives Joints and Application Criteria in Manufacturing Processes,» The Journal of Adhesion, nº 85, pp. 324-340, 2009.
- [5] Narbón J.J., Paz E., del Real J.C., Moreno C., Alía C., «Estudio de las modificaciones superficiales producidas en muestras de aluminio sometidas a distintos tratamientos superficiales,» de Tendencias en

Adhesión y Adhesivos. XII Congreso de Adhesión y Adhesivos., San Sebastián, Tecnalia, 2011.

[6] Packham, D.E., «Surface energy, surface topography and adhesion,» *International Journal of Adhesion & Adhesives*, nº 23, p. 437–448, 2003.

[7] Cooper K., Gupta A., Beaudoi, S., «Implications in Chemical Mechanical Polishing and Post Chemical,» *Journal of The Electrochemical Society*, vol. 148, nº 11, pp. 662-667, 2001.

[8] D. E. Packham, «The Roughness of Engineering Surfaces and its Influence on Practical Adhesion,» de 2nd International Conference on Advanced Computational Engineering and Experimenting, Barcelona, 2008.

[9] Navaneetha Pandiyaraj, K.; Selvarajan, V.; Deshmukh, R. R.; Gao, Changyou. , «Modification of surface properties of polypropylene (PP) film using DC glow discharge air plasma,» *Applied Surface Science* , nº 255 , p. 3965–3971, 2009.

[10] BjØrgum A., Lapique F., Walmsley J., Redford K. , «Anodising as pre-treatment for structural bonding,» *International Journal of Adhesion & Adhesives* , vol. 23, p. 401–412, (2003).

[11] Harris A.F., Beevers A., «The effects of grit-blasting on surface properties for adhesion,» *International Journal of Adhesion and Adhesives*, vol. 19, pp. 44-452, 1999.

[12] Vitos L., Ruban A.V.,Skriver H.L., Kollár J., «The surface energy of metals,» *Surface Science*, vol. 411, pp. 186-202, 1998.