

COMPORTAMIENTO A FATIGA DE NUEVAS TÉCNICAS DE UNIÓN DE CHAPA FINA DE ACEROS DE ALTA RESISTENCIA

M. Cabañas, R. Lezcano

Centro Tecnológico del Acero y Materiales Metálicos – Fundación ITMA
Parque Empresarial Principado de Asturias, c/ Calafates s/n Parc. L3.4, 33417 Avilés (Asturias), España.
E-mail: mariac@itma.es lezcano@itma.es

RESUMEN

La creciente tendencia mundial de los constructores de automóvil de aligeramiento de pesos de las estructuras autoportantes y, al mismo tiempo, el aumento de la rigidez estructural de las mismas, ha tenido como consecuencia la introducción de nuevos aceros de alta resistencia, aceros microaleados *HSLA*, aceros “*dual phase*” *DP* y aceros *TRIP*. Las uniones de estos aceros utilizando las tecnologías convencionales plantean problemas de durabilidad, especialmente desde el punto de vista de su comportamiento a fatiga, que actualmente tratan de soslayarse recurriendo al empleo de nuevas formas de unión.

El desarrollo de nuevas técnicas de unión, aparte de las típicas de soldadura por resistencia eléctrica como son el empleo de adhesivos estructurales, los auto-remaches (*self piercing rivets*), el *clinching* y las combinaciones de estas dos últimas técnicas con adhesivos, pueden aportar soluciones a los problemas planteados. Se ha analizado la resistencia estática y dinámica (fatiga) de este tipo de uniones y se puso de manifiesto que la unión adhesiva proporciona la mayor resistencia estática y dinámica mientras que la unión mediante *piercing* tiene un comportamiento mecánico muy inferior al de los otros dos tipos de unión.

ABSTRACT

New world tendency of automotive light weight structures and increasing rigidity of body structures have raised the introduction of new high strength steels, microalloyed steels *HSLA*, Dual Phase steels and *TRIP* steels. The joints of these steels using conventional techniques have durability problems, especially from the fatigue behaviour point of view, which are normally tried to overcome by means of the introduction of new types of joints.

The development of new joint techniques, apart from the extensively used spot welding technique, which are adhesive bonding, self piercing rivets, clinching and the combinations of the latest two with adhesive bonding, can yield to solve the durability problems. In this paper the static and dynamic behaviour of these joints are analyzed, showing that adhesive bonding gives the best static and dynamic strength, while self piercing rivet joints has lower mechanical behaviour features.

PALABRAS CLAVE: Fatiga, aceros de alta resistencia, uniones adhesivas

1. INTRODUCCIÓN

Las empresas fabricantes de automóviles están sometidas a fuertes presiones en el sentido de disminuir el consumo de combustible, reducir las emisiones ambientalmente tóxicas y aumentar la seguridad pasiva de los vehículos, lo que las lleva a utilizar nuevos materiales más ligeros y resistentes. Estos nuevos materiales deben poder soldarse con facilidad de modo automático utilizando las tecnologías habituales de soldeo por resistencia eléctrica (soldero por puntos) o nuevas tecnologías, como el soldeo láser, las uniones adhesivas, uniones mecánicas (del tipo *clinching* o *self-piercing*, según la

terminología anglosajona al uso) o uniones híbridas, que utilizan de modo simultáneo dos de las técnicas anteriormente mencionadas.

En el presente trabajo se analiza comparativamente la resistencia mecánica y el comportamiento a fatiga de estas nuevas tecnologías de unión aplicadas a chapa de acero de alta resistencia, fundamentalmente utilizadas en la industria del automóvil. En concreto, se analiza el comportamiento resistente en condiciones estáticas y a fatiga de chapas de acero de alta resistencia unidas mediante adhesivos y también utilizando las tecnologías *self-piercing rivets* y *clinching*.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1. Material

Los materiales utilizados en este trabajo han sido aceros de alta resistencia grados TRIP 700 y Dual Phase 450, suministrados en forma de chapas laminadas en frío de 1.4 mm de espesor y con un recubrimiento de galvanizado, tipo Z50/50.

Las propiedades mecánicas de estos dos aceros se indican en las tablas 1 y 2 respectivamente.

Tabla 1. Propiedades mecánicas TRIP 700

1.4mm	R _{0.2} [MPa]	R _m [MPa]	A [%]	r	n
TRIP	472	729	36.8	0.77	0.264

Tabla 2. Propiedades mecánicas DP 450

1.4mm	R _{0.2} [MPa]	R _m [MPa]	A [%]	r	n
DP	317	502	26.6	0.93	0.18

2.2. Tipos de uniones

En este trabajo se han analizado los siguientes tipos de uniones y sus combinaciones:

2.2.1. Unión adhesiva

Se ha utilizado el adhesivo estructural BETAMATE 1496, comercializado por DOW AUTOMOTIVE, que uno de los más empleados en el sector de la automoción. Es una resina epoxi de color azulado, cuyas características se exponen en la tabla 3 y se pueden consultar en la página web de DOW CHEMICAL.

Tabla 3. BETAMATE 1496

Densidad	Contenido sólidos	Viscosidad	Resistencia química
1.18g/ml	>99%	500Pas	Muy buena

Resistencia tracción	Alargamiento	Módulo E (MPa)	Resistencia cortadura
32MPa	15%	1600	30MPa

La unión se ha realizado depositando uniformemente una pequeña cantidad de adhesivo (de aproximadamente 1 mm de espesor) sobre las superficies a unir, previamente desengrasadas, para posteriormente aplicar un tratamiento térmico de 170°C durante 30 minutos.

En la figura 1 se muestra una macrografía de esta unión.



Figura 1. Unión adhesiva

2.2.2. Unión clinching

El *clinching* es un engarce mecánico que consiste en un “doblado” circular de la chapa de acero. El diámetro exterior del “clinch” es de 8.23 mm y el interior de 5.24 mm.

En las figuras 2 y 3 se muestran sendas fotografías de una de estas uniones.

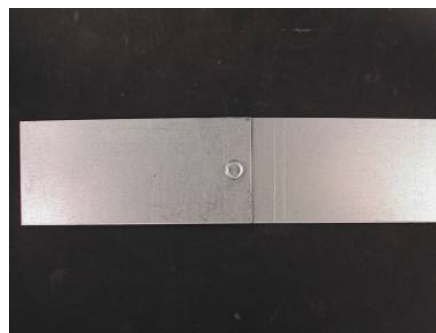


Figura 2. Probeta clinching

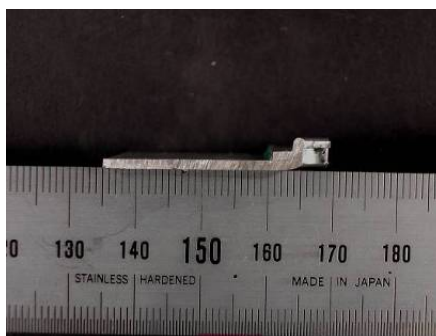


Figura 3. Unión clinching+adhesivo

2.2.3. Unión piercing

El *piercing* o auto-remache consiste en la aplicación bajo presión de un remache de dureza HV555 de 7 mm de diámetro, que atraviesa las dos chapas para formar la unión.

En la figura 4 se muestra una macrografía de una unión mediante auto-remache o *piercing*.

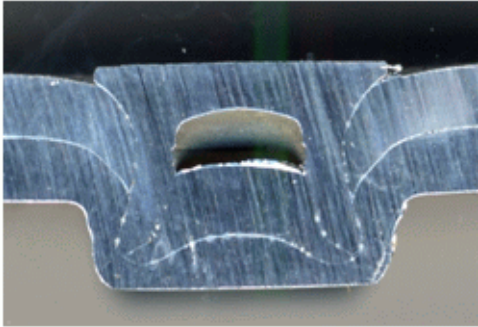


Figura 4. Piercing

2.2.4. Unión clinching+adhesivo

En este trabajo también se estudió la unión combinada de *clinching* + adhesivo. En la figura 5 se muestra una fotografía, donde se puede apreciar una probeta unida según este método.

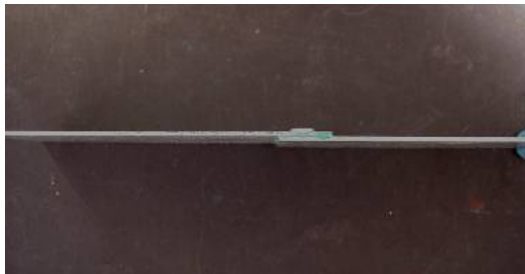


Figura 5. Probeta clinching+adhesivo

2.3. Geometría de las probetas

Las probetas utilizadas para todos los tipos de uniones se muestran en las figuras 6 y 7. Se utilizaron siempre probetas de 45 mm de ancho con una longitud de solape de 15 mm (área de unión de 675 mm²).

2.4. Ensayos mecánicos

Los equipos utilizados para la realización de los ensayos mecánicos estáticos y dinámicos fueron máquinas dinámicas de ensayos universales Instron, modelos 8801 y 8501, de 100 kN de capacidad de carga. En todos los casos se utilizaron mordazas hidráulicas controlando la presión ejercida sobre las probetas de forma que no se influyera en el resultado de ensayo.

Los ensayos de cortadura de las uniones se realizaron tomando como base la Norma UNE-EN ISO 14273 [1]. En todos los casos se utilizó una velocidad de aplicación de la carga de 10 mm/min.

Para la caracterización a fatiga se utilizaron las mismas geometrías de probeta que para la caracterización a cortadura. Los parámetros utilizados en la caracterización a fatiga fueron los siguientes:

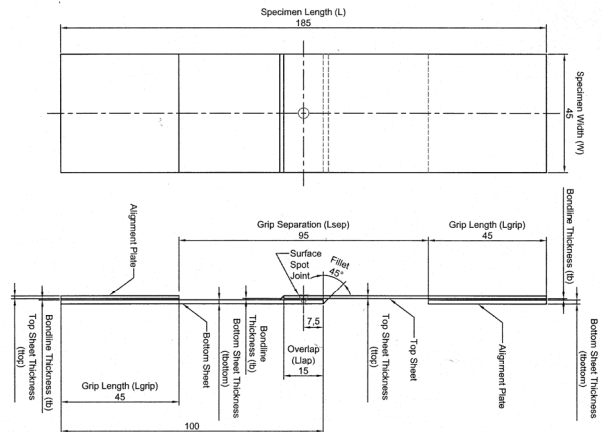


Figura 6. Probeta de cortadura (clinching/piercing)

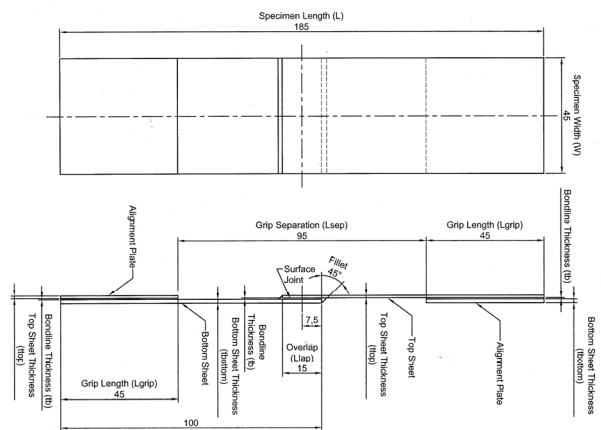


Figura 7. Probeta de cortadura (adhesivo)

- Onda senoidal positiva bajo amplitud de carga constante y control de carga
- Carga mínima constante de 100 N, de forma que la fatiga se aplicó siempre en tracción y con un ratio de carga en torno a 0.1.
- Frecuencia de ensayo de 30 Hz
- Criterio de fin de ensayo: rotura de la probeta o alcanzar 5 millones de ciclos sin rotura

3. RESULTADOS EXPERIMENTALES

3.1. Ensayos de cortadura

Se ensayaron un mínimo de tres probetas de cada tipo puesto que, como se apreciará, se obtuvo una repetibilidad bastante buena en los resultados de los ensayos.

Los resultados de los ensayos de cortadura de las uniones adhesivas se muestran en la figura 8.

La figura 9 muestra los resultados de los ensayos de cortadura realizados sobre las uniones híbridas clinching+adhesivo.

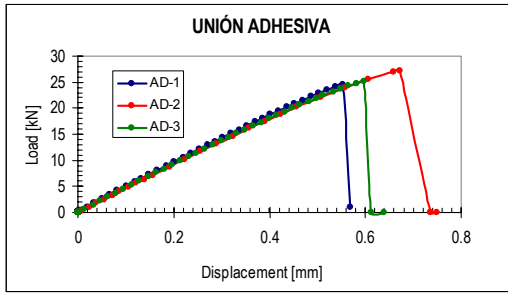


Figura 8. Resultados de cortadura de la unión mediante adhesivo

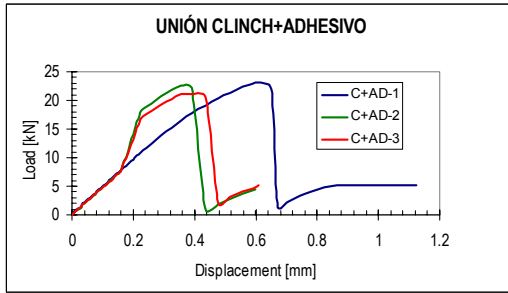


Figura 9. Resultados de cortadura de la unión clinching+adhesivo

No se han podido realizar las uniones mediante piercing sobre las chapas de acero TRIP 700 ya que, debido al alto límite elástico de este acero, no fue posible atravesar las dos chapas con el remache, por lo que se optó por utilizar en este caso el acero Dual Phase DP450 en una de las dos chapas sobre las que se ejecuta la unión. Los resultados de los ensayos de cortadura ejecutados sobre estas uniones se muestran en la figura 10.

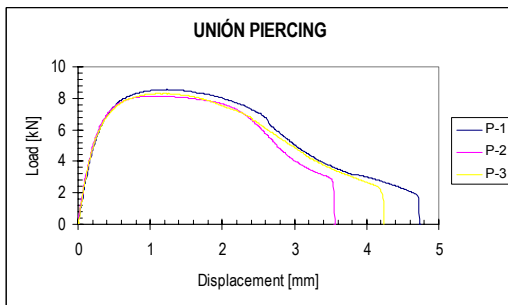


Figura 10. Resultados de cortadura de la unión mediante piercing

Finalmente, la tabla 4 y la figura 11 resumen y comparan las propiedades mecánicas de las tres uniones evaluadas.

Tabla 4. Resultados del ensayo de cortadura

Método	Resistencia cortadura [kN]	Rigidez [N/mm ²]
Adhesivo	26.65	47160
Clinching+adhesivo	22.31	48460
Piercing	8.32	24333

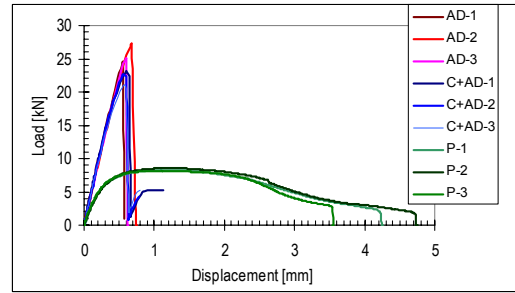


Figura 11. Resultados de cortadura

La unión adhesiva y la unión híbrida piercing+adhesivo proporcionan resultados parecidos, aunque resulta interesante destacar que la mayor resistencia a la cortadura se ha obtenido directamente sobre la unión adhesiva. Por su lado, la unión mediante “piercing”, aunque se ha utilizado un acero de menor resistencia en una de sus chapas, resulta mucho más débil, con una resistencia tres veces inferior y una rigidez mitad que las otras uniones.

3.2. Caracterización a fatiga

En todos los casos se utilizaron las mismas probetas que las que se usaron para caracterizar la resistencia a la cortadura. Los resultados obtenidos sobre las uniones adhesivas se muestran en la figura 12.

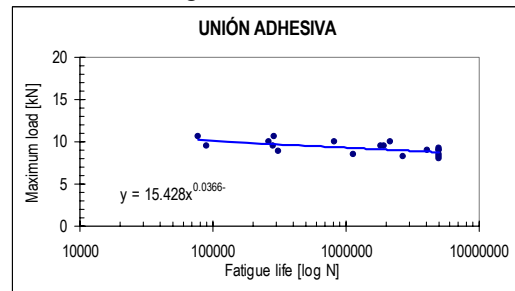


Figura 12. Curva de Wöhler de la unión adhesiva

Por su parte, las figuras 13 y 14 muestran los resultados de fatiga obtenidos sobre la unión híbrida clinching+adhesivo y la unión mediante piercing.

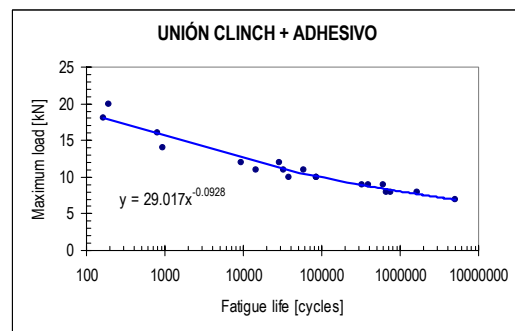


Figura 13. Curva de Wöhler de la unión clinching+adhesivo

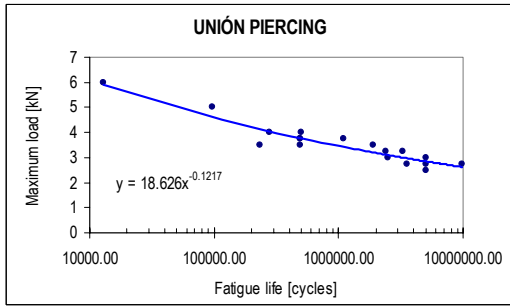


Figura 14. Curva de Wöhler de la unión piercing

La figura 15 finalmente compara la resistencia a la fatiga de las tres uniones evaluadas.

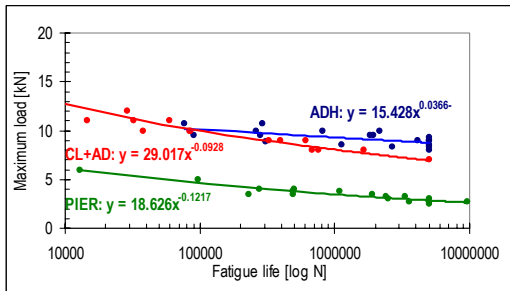


Figura 15. Resultados de fatiga

Del mismo modo que ocurre con la resistencia a cortadura, la curva de fatiga de la unión mediante “piercing” se sitúa muy por debajo de las correspondientes a los otros dos métodos de unión. Por otro lado, e igualmente corroborando los resultados estáticos, la unión adhesiva es la que tiene el mejor comportamiento a fatiga, especialmente para un gran número de ciclos.

El límite de fatiga se calculó como el valor de la amplitud de la carga para el que la unión soporta 5 millones de ciclos sin romperse ni presentar deformación visible o caída de carga alguna. En la tabla 5 se resumen los límites de fatiga de los tres métodos de unión analizados.

Tabla 5. Límites de fatiga

Método	Límite de fatiga [kN]
Adhesivo	9
Clinching+adhesivo	7
Piercing	2.5

3.3. Modos de fallo

3.3.1. Unión adhesiva

En este caso se produce un tipo de fallo, de carácter frágil, que conduce al despegue total de las dos chapas (ver figura 16).

3.3.2. Unión clinching+adhesivo

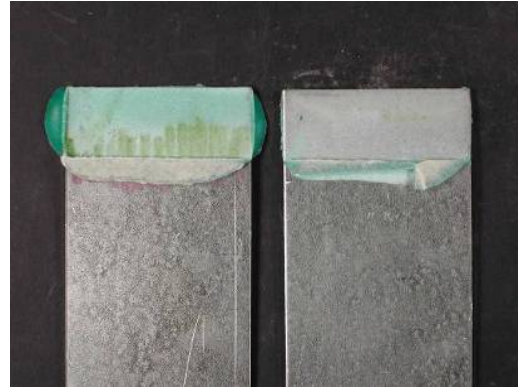


Figura 16. Modo de fallo de la unión adhesiva

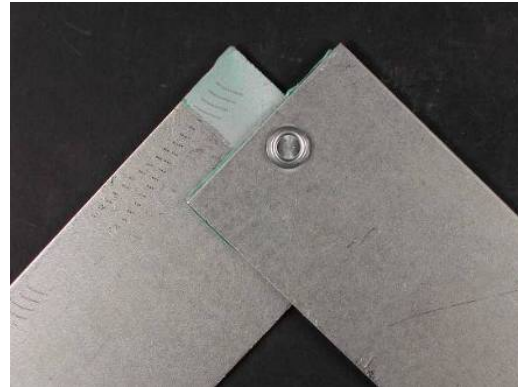


Figura 17. Modo de fallo de la unión clinching+adhesivo

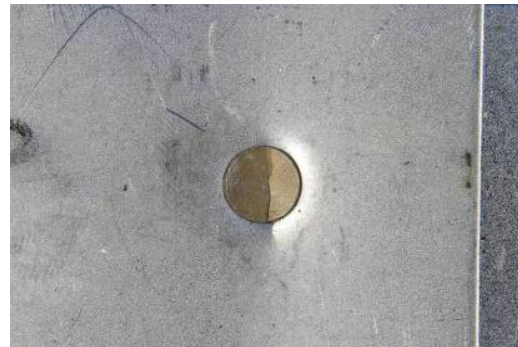


Figura 18. Modo de fallo de la unión piercing

En este caso, el fallo se produce en dos etapas: primero falla el adhesivo, como se puede observar en la figura 17, y posteriormente ya ocurre el fallo del engarce.

3.3.3. Unión piercing

En este tipo de unión se produjeron los modos de fallo siguientes: agrietamiento, rotura o desprendimiento del “piercing” (ver figuras 18, 19 y 20 respectivamente).



Figura 19. Modo de fallo de la unión piercing



Figura 20. Modo de fallo de la unión piercing

4. CONCLUSIONES

La unión de chapas de acero de alta resistencia mediante el uso de un adhesivo estructural es la que ha proporcionado la mayor resistencia estática y la mayor resistencia a la fatiga de los tres métodos de unión evaluados en este trabajo. La unión híbrida clinching+adhesivo no solo no mejora las características resistentes de la unión adhesiva sino que da lugar a una resistencia mecánica algo inferior y a una resistencia a la fatiga más baja, especialmente para un número grande de ciclos. Finalmente la unión mediante piercing proporciona una resistencia estática y a fatiga mucho más baja que las otras dos.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean expresar su agradecimiento a la Comisión Europea a través del programa ECSC por la ayuda recibida para la financiación del proyecto de referencia R654.

6. REFERENCIAS

[1] UNE-EN-ISO 14273:2002 “Medidas de probetas y procedimiento del ensayo de cizallamiento para soldaduras por resistencias por puntos, por costuras y por protuberancias”

[2] Scholting M. E. “Fatigue Guidelines for Thin High Strength Steel Joint Structures – Technical Report No.5” Technical Steel Research, Technical Report 5. ESCS Agreement No. 7210-PA, 2004.

[3] Lewis C. “Fatigue performance of fusion welded automotive high strength steels” Welding and Metal Fabrication. July 1996.

[4] Fermer M, Svensson H. “Industrial experiences of FE based fatigue life predictions of welded automotive structures” Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures. Vol. 24 No. 7, 2001.

[5] “FE Fatigue Release 6 On-line Documentation” nCODE International Limited, March 2004