

Soldadura ultrasónica

Fernando J. Elizondo G.*
Carlos A. Lara O.,* Jorge A. Cupich G.*

ABSTRACT

The welding technology has obtained such advance that now its possible to join metals or plastics in a fraction of second by using ultrasonic vibrations. In this lecture the basic aspects of ultrasonic welding will be discussed, whit special emphasis to metal welding. Some industrial applications will be shown.

Keywords: Welding, ultrasonic, metals.

INTRODUCCIÓN

Con el desarrollo de la electrónica, la que se hace presente cada vez en más productos, el número de pequeñas piezas a ser soldadas se ha incrementado notablemente y por lo tanto también la necesidad de mejores métodos de soldadura. Una de las nuevas opciones, disponible ya en el mercado de aplicaciones para la industria, es la soldadura ultrasónica, la cual resulta atractiva para unir piezas pequeñas, películas metálicas muy delgadas, cable plano flexible, metales tanto similares como diferentes e incluso plásticos. La soldadura ultrasónica no utiliza productos consumibles, se realiza rápidamente, consume poca energía, no producen gases ni olores nocivos al ambiente y puede ser controlada electrónicamente para asegurar un control de calidad en la línea de producción.

SOLDADURA ULTRASÓNICA

Cuando se unen materiales por medio de soldadura ultrasónica, a las partes a ser unidas se les aplican simultáneamente una fuerza estática, la cual mantiene en posición las piezas y facilita la unión, y una fuerza dinámica (vibración ultrasónica), la cual genera la fricción que produce el calor necesario para “sol-

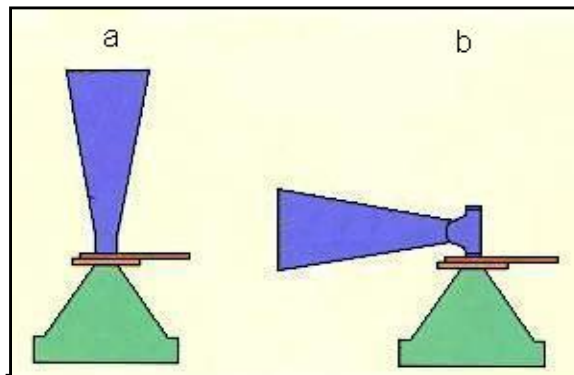


Fig. 1. Diferencias en los procesos de soldadura ultrasónica. (a) para plásticos, (b) para metales.

dar” los materiales a unir.

Este procedimiento es usado en las industrias tanto para unir plásticos como para unir metales.

SOLDADURA ULTRASÓNICA DE PLÁSTICOS

La soldadura ultrasónica de plásticos ha sido usada por muchos años. Cuando se sueldan termoplásticos las vibraciones son introducidas verticalmente. El incremento térmico en el área de unión es producida por la absorción de las vibraciones mecánicas de alta frecuencia (20 a 70kHz), la reflexión de las vibraciones en el área de contacto y la fricción entre las superficies de las partes. En el área de contracción, se produce calor por la fricción de tal manera que el material se plastifica localmente, forjando una conexión entre ambas partes en un corto período de tiempo.

El prerequisite es que ambas piezas de trabajo tengan un punto de fusión cercano. La calidad de la unión es muy uniforme porque la transferencia de energía y el calor interno liberado permanecen constantes y se limitan al área de unión. Para obtener un óptimo resultado las áreas a unir son preparadas para hacerlas adecuadas a la unión ultrasónica. La soldadura ultra-

* Adaptado de la ponencia presentada en el 8° Congreso Internacional Mexicano de Acústica realizado en la ciudad de Oaxtepec, Morelos, México, en Noviembre 2001. 14-16 Nov. 2001.

* Laboratorio de Acústica. FIME-UANL.
E-mail: fjelizon@ccr.dsi.uanl.mx



Fig. 2. Máquina para soldar plásticos ultrasónicamente, marca STAPLA, modelo K1.

sónica puede ser utilizada para unir firmemente o embeber partes de metal con o en plástico.

SOLDADURA ULTRASÓNICA DE METALES ¹

Mientras que en la unión ultrasónica de plásticos las vibraciones de alta frecuencia son usadas para incrementar la temperatura y así lograr la plastificación del material; la unión ultrasónica de metales es un proceso completamente diferente: las vibraciones mecánicas son introducidas horizontalmente, las partes a ser soldadas no son calentadas hasta el punto de fusión, sino que son conectadas gracias a la aplicación de presión y vibraciones mecánicas de alta frecuencia.

Durante la soldadura ultrasónica de metales, un proceso complejo es iniciado el cual involucra fuerzas estáticas, fuerzas cortantes de oscilación y un moderado incremento de temperatura en el área a soldar. La magnitud de estos factores depende del grosor de las piezas a unir, de su estructura superficial y de sus propiedades mecánicas.

Las piezas de trabajo son localizadas entre una pieza fija, esto es, el yunque, y el dispositivo generador de las vibraciones ultrasónicas denominado "Sonotrode" o "horn", el cual oscila horizontalmente

a alta frecuencia (usualmente 20, 35 o 40 kHz) durante el proceso de soldado.

La frecuencia de oscilación más comúnmente usada (frecuencia de trabajo) es 20 kHz. Esta frecuencia está sobre el rango audible del oído humano y permite el mejor uso posible de la energía. Para procesos de soldadura en los que se requiere sólo una pequeña cantidad de energía, puede ser usada una frecuencia de trabajo de 35 ó 40 kHz.

El sonotrode y el yunque tienen superficies ásperas o tienen generalmente superficies fresadas con estrías cruzadas para apretar las piezas que se ensamblarán y prevenir deslizamientos indeseables.

Se aplica presión estática perpendicularmente a la interfaz a soldar. Luego se sobrepone la fuerza cortante oscilante de alta frecuencia (ultrasonido). Las fuerzas dentro de los objetos deben mantenerse por debajo del límite de elasticidad para que las piezas no se deformen. Si las fuerzas sobrepasan un valor de umbral dado, ocurrirá una deformación local en los materiales a unir.

Las piezas se compactan ligeramente en la superficie debido a la fuerza de sujeción antes de conectar

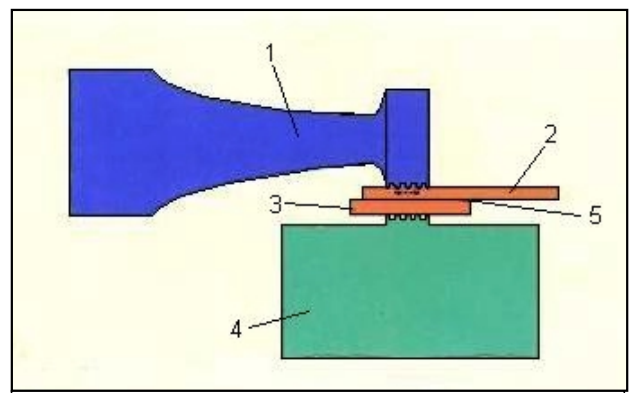


Fig. 3. Esquema de un sistema típico de soldadura ultrasónica para metales. 1.- Sonotrode: transductor piezoeléctrico, fuente de la vibración ultrasónica, 2 y 3.- Partes a ser unidas, 4.- Yunque: plancha de acero, 5.- área a ser soldada

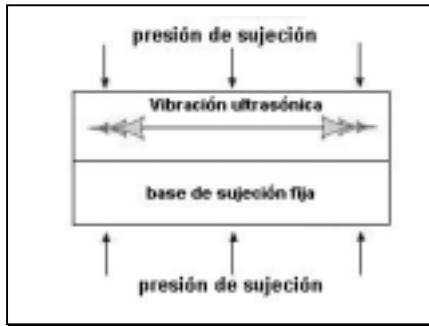


Fig. 4. La vibración mecánica ultrasónica mueve una de las piezas a soldar contra la otra fija, todo esto bajo una fuerza de presión estática.

la energía ultrasónica; el intervalo durante el cual sucede esto se llama tiempo de exprimido. Después de apagar la energía ultrasónica y aflojar la fuerza de sujeción, se aplica una breve ráfaga de la primera para evitar que el ensamble soldado se pegue a la herramienta o al yunque.

Las vibraciones de alta frecuencia inducen fuerzas cortantes que disminuyen la contaminación superficial de los materiales a unir y producen un enlace puro entre los metales en la interfase. La oscilación posterior hace que el área de la soldadura crezca. Al mismo tiempo lleva a cabo una difusión atómica en el área de contacto y el metal se recristaliza en una estructura de grano fino similar al que caracteriza a los metales trabajados en frío.

La soldadura ultrasónica del metal es local y limitada a las fuerzas de corte y al desplazamiento de las capas intermedias. Sin embargo, una fusión no ocurre si la fuerza de presión, la amplitud y el tiempo de la soldadura son ajustados correctamente. Los análisis microscópicos usando microscopios ópticos y electrónicos hacen evidente la recristalización, la difusión y otros fenómenos metalúrgicos. Sin embargo, no proporcionan ninguna evidencia de fusión (interfaz fundida). El uso de sensores térmicos altamente sensibles en las capas intermedias muestran un aumento inicial de la temperatura con una posterior disminu-



Fig. 5. Máquina marca STAPLA, modelo MINI CONDOR ST30.

ción constante de la misma.

La temperatura máxima obtenida depende de los ajustes que se hagan a los controles del equipo de soldadura. Un aumento en la energía ultrasónica conduce a un aumento de la máxima temperatura posible. Un aumento en la fuerza estática conduce a un aumento de la temperatura inicial, pero al mismo tiempo limita la posible temperatura máxima. Por lo tanto, el perfil de temperatura puede ser manejado, dentro de ciertos límites, haciendo los ajustes apropiados en la máquina.



Fig. 6. Unidad marca STAPLA modelo UTA3000 para soldar terminales.

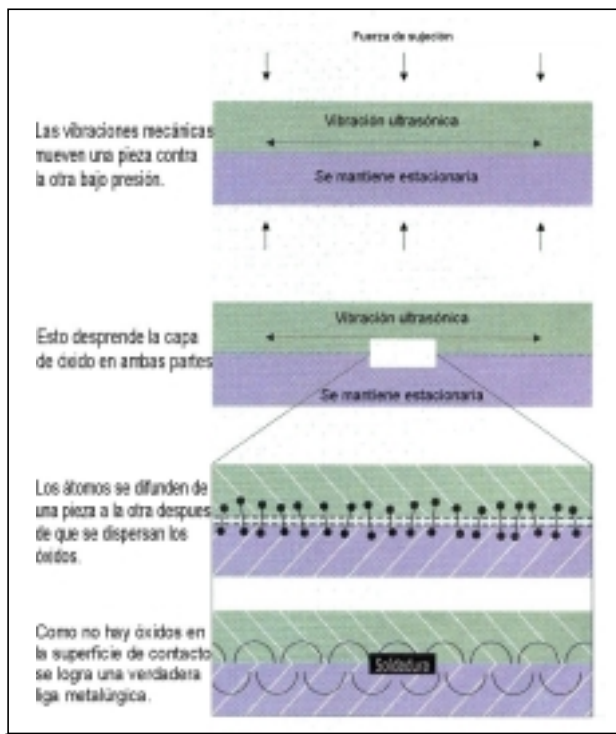


Fig. 7. Proceso de soldadura ultrasónica de metales

La temperatura en la capa intermedia es, por supuesto, también una función de las características del material. La regla básica es que la temperatura obtenida es mayor en los materiales con una conductividad térmica baja, tal como el hierro, y menor para los metales con una conductividad térmica más alta, tal como el cobre y el aluminio.

Las medidas de temperatura efectuadas en diversos materiales, con puntos de fusión que varían ampliamente, han mostrado que la temperatura máxima en la interfase de la soldadura no excede de un 35 a 50% de la temperatura que derrite al metal individual, cuando se han seleccionado los parámetros de la soldadora apropiadamente.

La soldadura ultrasónica de metales no produce una adhesión superficial en los metales. Se ha proba-

do que las uniones son sólidas, homogéneas y duraderas. Si, por ejemplo, una hoja de aluminio fina se suelda ultrasónicamente a una hoja de cobre fina, puede ser observada fácilmente que después de cierto tiempo de soldado, las partículas de cobre aparecen en la cara opuesta a la unión de la hoja de aluminio, al tiempo que las partículas de aluminio aparecen en la cara opuesta a la unión de la hoja de cobre. Esto muestra que los materiales se han penetrado uno a otro, siendo este proceso conocido como difusión. Este proceso ocurre dentro de fracciones de segundo.

VENTAJAS Y LIMITACIONES

A continuación en la tabla I se presentan las principales ventajas y limitaciones de la soldadura ultrasónica según T. Difizio.²

Tabla I. Ventajas y limitaciones de la soldadura ultrasónica.	
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> · La soldadura ultrasónica de metales une muchas combinaciones de metales disímiles, como cobre con aluminio. · Los tiempos usuales de ciclo son menores de 1 segundo. · La calidad de soldadura es alta y uniforme. Las ligas son normalmente más fuertes que las juntas hechas con soldadura o por resistencia. · No hay efectos adversos al ambiente. · Necesidad moderada de habilidad y entrenamiento del operador para producir uniones de alta calidad uniforme. · La soldadura ultrasónica de metales no utiliza consumibles potencialmente peligrosos, como soldadura o fundente. · No hay acumulación de calentamiento ni fusión, de modo que no se provoca fragilización ni zonas afectadas por el calor. · La conductividad eléctrica es normalmente superior que la obtenida con conexiones trenzadas o soldadas. · Cantidades moderadas de oxidación o contaminación superficial no afectan la cantidad de la conexión.
Limitaciones	<ul style="list-style-type: none"> · La soldadura ultrasónica de metales se restringe a soldadura de solapa; no puede hacer soldaduras de cordón. · Sólo se pueden soldar piezas con espesores menores a 3mm. · Sólo puede unir superficies planas o con curvatura mínima, excepto para unir alambres. · No es adecuada para unir partes estañadas. · El costo de capital es usualmente mayor que para el de soldadura ordinaria.

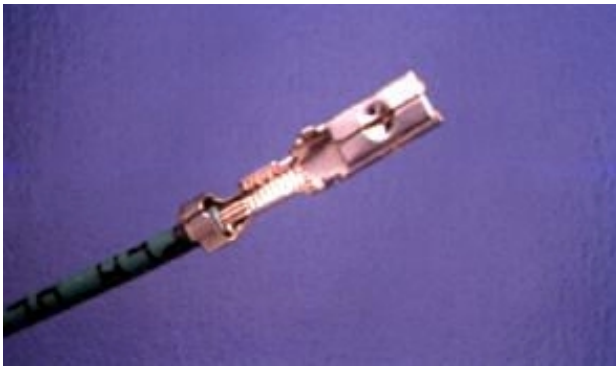
APLICACIONES DE LA SOLDADURA ULTRASÓNICA

Las aplicaciones de la soldadura ultrasónica crecen y la oferta en el mercado de máquinas adecuadas al uso industrial aumenta cada año.

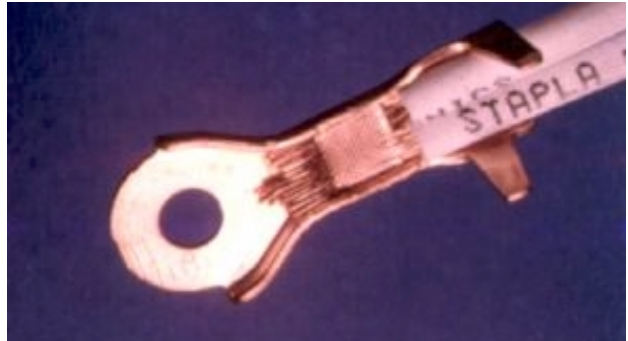
A manera de ejemplo presentamos a continuación una serie de aplicaciones ya consolidadas a nivel industrial de la soldadura ultrasónica de metales.³



Industria: Aparatos domésticos.
Disco de aluminio unido a elemento de calentamiento de aluminio.



Industria: Automotriz.
Cable de cobre 20 AWG unido a una terminal de latón recubierta de níquel.



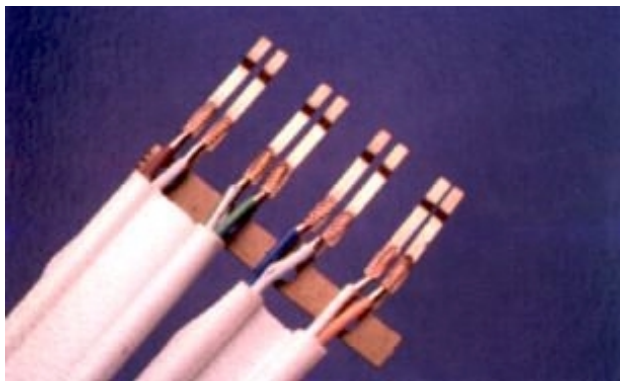
Industria: Automotriz.
Cable de cobre unido a terminal de cobre.



Industria: Automotriz.
Cable de cobre 20 AWG unido a un cable de cinta plana.



Industria: Eléctrica-comunicaciones.
Cable de cobre 12 AWG unido a una placa de latón recubierta de níquel.



Industria: Comunicaciones.
Alambres de cobre 18 AWG unidos a terminales de placas de latón recubiertas de oro.



Industria: Acero/fundición.
Alambre de cobre unido a un anillo de cobre.



Industria: Electrónica-cableado.
Alambre de cobre 10 AWG unidos a terminales de latón.



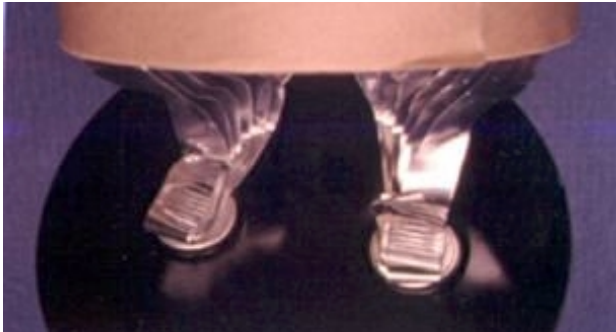
Industria: Eléctrica.
Cable trenzado de cobre unido a brazo de contacto de latón.



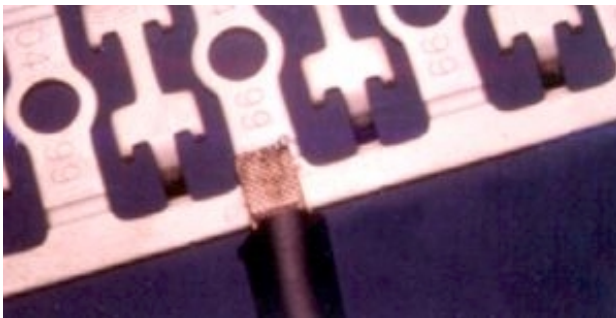
Industria: Electrónica-cableado.
Alambre de cobre 14 AWG unido a terminal de cobre.



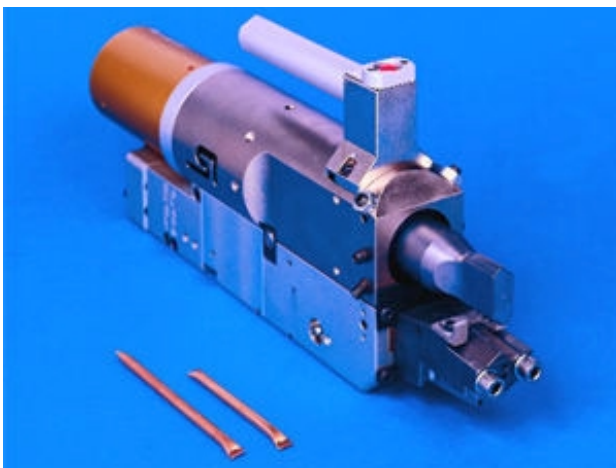
Industria: Solar.
Intercambiador de calor.
Aletas de cobre unidas a tubos de cobre.



Industria: Electrónica-capacitores.
Hojas múltiples de aluminio unidas a remache de aluminio.



Industria: Eléctica.
Cable de cobre 6 AWG unido a barra de latón recubierta de níquel.



Industria: Refrigeración.
Corte y soldado de tubos de cobre.

COMENTARIOS FINALES

Como los sistemas de soldadura ultrasónica tienen bajas demandas de energía, no utilizan productos consumibles, no necesitan agua de enfriamiento y ocupan poco espacio, pueden ofrecer soluciones rentables y ecológicamente inocuas para aquellas aplicaciones que están dentro de sus rangos de aplicabilidad.

Que la soldadura ultrasónica de metales sea apropiada para una aplicación específica depende de los materiales, la tasa de producción, el tiempo de proceso, el tamaño de las piezas, las demandas energéticas y el costo del equipo, el cual deberá descender durante los próximos años.

Dado que ésta es una tecnología emergente, en el futuro veremos aparecer nuevas aplicaciones, mayores rangos de aplicación tanto en materiales como en tamaño, máquinas más portátiles, mayor facilidad de operación, más fabricantes y proveedores de equipos y costos más bajos.

BIBLIOGRAFÍA

1. "Ultrasonic metal Welding: Principles and application of high-grade bonding technology", Libro electrónico editado por STAPLA Ultrasonics Corporation.
2. Tony Difinizio. "Soldadura: Uniones ultrasónicas", Manufactura, año 7, número 67, enero 2001, México, D.F.
3. Homepage de STAPLA Ultrasonics Corporation <http://staplautrasonics.com/company.htm>
4. Homepage de SONITEK. Sonic & Thermal Technologies, Inc. <http://www.sonitek.com/home.htm>
5. Homepage de Branson Ultrasonic Corporation, Applied Technologies Group <http://www.branson-plasticsjoin.com/bpj/index.html>