

CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



**CRITERIOS DE CALIDAD DE LA SOLDADURA DE PUNTOS POR
RESISTENCIA ELÉCTRICA EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ.**

POR

HÉCTOR OMAR SOTO CARR

MONOGRAFÍA

**EN OPCION COMO ESPECIALISTA EN TECNOLOGÍA
DE LA SOLDADURA INDUSTRIAL**

SALTILLO, COAHUILA, ABRIL DE 2005

Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C.V.
Gerencia de Desarrollo del Factor Humano
División de Estudios de Postgrado

Los miembros del Comité Tutorial recomendamos que la Monografía titulada Criterios de Calidad de Soldadura de Puntos por Resistencia Eléctrica en la Industria Automotriz, realizada por el alumno Héctor Omar Soto Carr, matrícula 03ES-004 sea aceptada para su defensa como Especialista en Tecnología de la Soldadura Industrial.

El Comité Tutorial

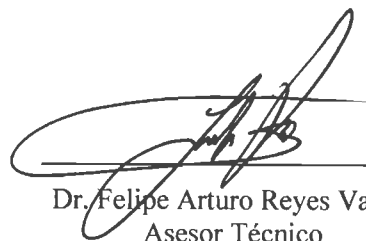


Dr. Alejandro Garza Gómez
Tutor Académico

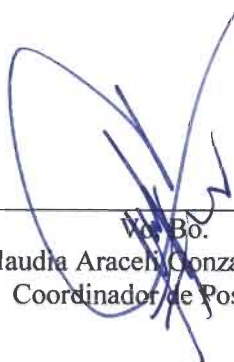
-- Nombre --



Ing. Víctor Hugo López Cortés
Tutor en Planta



Dr. Felipe Arturo Reyes Valdés
Asesor Técnico



Ing. Claudia Araceli González Rodríguez
Coordinador de Postgrado

INDICE

1. Síntesis.
2. Objetivo.
3. Justificación
4. La Soldadura por Resistencia Eléctrica.
5. Principios del Funcionamiento de la Soldadura por Puntos de Resistencia Eléctrica.
 - 5.1 Generación de Calor.
 - 5.2 Efecto de la Corriente Eléctrica en la Soldadura.
 - 5.3 Efecto del tiempo en la Soldadura.
 - 5.4 Efecto de la Presión en la Soldadura.
 - 5.5 Influencia de los Electroodos.
 - 5.6 Influencia de la Condición Superficial.
 - 5.7 Influencia de la Composición del Metal.
6. Balance Calorífico.
7. Ciclo de Soldadura.
 - 7.1 Corriente de Soldadura.
 - 7.2 Programación de la Corriente.
 - 7.3 Tiempo de Soldadura.
 - 7.4 Soldadura de un Impulso.
 - 7.5 Soldadura de Múltiples Impulsos.
 - 7.6 Fuerza de los Electroodos.
8. Equipos de Soldadura de Puntos.
 - 8.1 La Maquina de Balancín.
 - 8.2 Maquina tipo Prensa.
 - 8.3 Maquina Tipo Portátil.
 - 8.4 Transpistola.
9. Consideraciones Metalúrgicas.
 - 9.1 Solidificación.
 - 9.2 Microestructura.
10. Inspección y Pruebas.
 - 10.1 Inspección Visual.
 - 10.2 Prueba de Cincel y Martillo no Destructiva.
 - 10.3 Prueba destructiva de Cincel y Martillo.
 - 10.4 Prueba de Pelado.
 - 10.5 Prueba Métalografica.
 - 10.6 Prueba de Cizallamiento.
11. Criterios de Calidad de la Soldadura de Puntos Por Resistencia Eléctrica.
 - 11.1 Tamaño de la Soldadura (Diámetro de Botón o Pepita).
 - 11.1.1 Penetración.
 - 11.1.2 Indentación.
 - 11.2 Tamaño de la Soldadura para General Motors.

- 11.3 Tamaño de la Soldadura para Chrysler.
- 11.4 Tamaño de la Soldadura para Ford.
- 11.5 Grietas y Hoyos.
- 11.6 Puntos Distorsionados.
- 11.7 Soldadura Faltante.
- 11.8 Puntos al Borde.
- 11.9 Grupos de Soldaduras
- 12 Conclusión.
- 13 Bibliografía.

1.

SINTESIS

El proceso de soldadura de puntos por resistencia eléctrica (RSW), es uno de los más empleados en la industria automotriz y aunque existe literatura y especificaciones es quizás de la que menos conocimientos se tiene fuera del giro de esta industria.

Este documento cuenta con información básica del proceso, iniciando por la clasificación de seis procesos diferentes de la soldadura por resistencia eléctrica, el principio del funcionamiento de la soldadura de puntos por resistencia eléctrica así como la descripción de las principales variables presión, corriente eléctrica y tiempo. El como afectan estas y como interactúan en el proceso de la unión de metales por este proceso de igual forma se menciona el balance calorífico, los factores físicos como la conductividad, derivación transferencia de calor etc. que le afectan. Y lo más importante como se genera el calor a través de un ciclo de soldadura mencionando en forma general los principales pasos a seguir dentro de este.

De igual forma se trata la descripción de los tipos de equipos empleados para soldar, para finalizar, abordando el tema, con la inspección y pruebas requeridas para la determinación de la calidad de un punto de soldadura así como los criterios de calidad y la diferencia de las especificaciones de las industrias automotrices de América, Ford, Chrysler y General Motors así como American Welding Society.

2.

OBJETIVO

Realizar una recopilación del estado del arte acerca de las especificaciones y los criterios de calidad de la soldadura de puntos por resistencia eléctrica (RSW) de la industria automotriz norteamericana como General Motors, Ford y Chrysler así como los criterios de la American Welding Society sobre este mismo tema, y la correlación entre sí para definir sus principales diferencias.

3.

JUSTIFICACIÓN

En la actualidad las políticas y prácticas comerciales de las empresas del género automotriz, marcan cada vez más la necesidad de subcontratar a empresas manufactureras, que maquilen subensambles y componentes para la construcción de automóviles, lo cual ocasiona que se deban de tener conocimientos de la especificaciones y criterios de todas las empresas a las cuales se les manufactura, ya que un fabricante de componentes puede proveer a dos o más empresas automotrices diferentes, y cabe mencionar que aunque son muy parecidos los estándares de calidad, existen algunas diferencias, este trabajo contribuye a dar un paso a la estandarización de los criterios de calidad sobre este tema.

4.

La Soldadura por Resistencia Eléctrica.

La soldadura de resistencia eléctrica lo comprende un grupo de procesos donde la coalescencia es producida por el calor obtenido, por el trabajo de la resistencia al pasar el flujo de la corriente eléctrica bajo la acción de una presión ejercida en los elementos a unir y en función del tiempo. Es un proceso rápido, se adapta para la producción en masa, bajo costo y de gran adaptabilidad para las diferentes formas o geometrías de las piezas a unir en las líneas de producción de la industria automotriz.

La diferencia principal que se tiene en este proceso contra los otros, es que no requiere material de aporte ni fundentes; la especificación SAE J836, Automotive Metalurgical Joining, describe en la carta maestra de procesos de soldadura tomada a su vez de la American Welding Society, AWS A1.1-69, que la soldadura de resistencia se divide en seis procesos diferentes que a continuación se mencionan aquí.

- Soldadura de Resistencia por Puntos (RSW) Resistance Spot Welding.
- Soldadura de Resistencia por Costura (RSEM) Resistance Seam Welding.
- Soldadura de Proyección (RPW) Projection Welding.
- Soldadura de Destello (FW) Flash Welding.
- Soldadura de Vuelco (UW) Upset Welding.
- Soldadura de Percusión (PEW) Percussion Welding.

El propósito de este estudio es referente a la soldadura de puntos, por lo cual se realizará una descripción de este proceso en la industria automotriz.

La soldadura de puntos es un proceso de soldadura de resistencia eléctrica en la que el calor generado por ésta al oponerse al paso de la corriente eléctrica, produce la unión de los metales en las superficies de empalme. Siempre se aplica una fuerza antes, durante y después de la aplicación de la corriente, al fin de confinar el área de

contacto de la soldadura en las superficies de empalme y en algunas aplicaciones de forjar el metal soldado durante el poscalentamiento.

En este proceso se produce una pepita (nugget) de metal de soldadura en el sitio del electrodo, pero es posible crear dos o más pepitas simultáneamente empleando múltiples juegos de electrodos. La soldadura de proyección es similar, excepto que la ubicación de la pepita la determina una proyección o relieve en una de las superficies de empalme o la intersección de componentes. La soldadura de costura es una variación de la soldadura de puntos en la que se produce una serie de pepitas traslapadas para obtener una junta continua a prueba de fugas. En general uno o ambos electrodos son ruedas que giran conforme la corriente pasa entre ellas. Se puede producir una soldadura de costura con equipo para soldadura de puntos pero la operación será mucho más lenta. Se puede producir una serie de soldaduras de puntos individuales con una máquina de soldadura de costura y electrodos de rueda si se ajustan de manera apropiada la velocidad de recorrido y el tiempo entre soldaduras. El movimiento del trabajo puede o no detenerse durante el ciclo de soldadura de puntos. Este procedimiento se conoce como soldadura de punto de rolado.

La soldadura de puntos se emplea para fabricar ensambles con láminas metálicas de espesor máximo aproximado 3.2 mm cuando el diseño permite uniones de traslape ya que este tipo de unión es característico de este proceso y no se requieren juntas a prueba de agua aunque en algunas aplicaciones se emplea un sellador entre las láminas a unir y sobre estas se aplica el proceso de soldadura por puntos. La principal utilización es en la unión de componentes de lámina de acero de bajo carbono para automóviles, gabinetes, muebles y productos similares. El acero inoxidable, aluminio, aleaciones de cobre, se unen también comúnmente por este proceso.

La principal ventaja de este proceso es la rapidez y adaptabilidad para la automatización en la producción de alto volumen de ensamblados de lámina metálica, la soldadura de puntos también resulta económica en muchas operaciones de talleres de trabajo a destajo, por que es más rápida que la soldadura por arco o la soldadura fuerte y requiere menos capacitación.

Las limitaciones de este proceso son:

- 1) El desensamblado para mantenimiento.
- 2) Las uniones de traslape agregan peso en comparación con las que son a tope.
- 3) El equipo cuesta más que el equipo para soldar por arco.
- 4) Los requerimientos de potencia de corta duración y alta corriente producen altas demandas de potencia de líneas, sobre todo si se emplean máquinas monofásicas.
- 5) Las soldaduras de puntos tienen baja resistencia mecánica a la tensión y a la fatiga debido a la muesca alrededor de la pepita entre las láminas.
- 6) La resistencia mecánica total de las láminas no puede prevalecer en una unión soldada por puntos, por que la fusión es intermitente y las cargas son excéntricas debido al traslape.

5

Principios del Funcionamiento de la Soldadura por Puntos de Resistencia Eléctrica.

Las operaciones de la soldadura de puntos implican la aplicación coordinada de corriente eléctrica y presión mecánica con las magnitudes y el tiempo adecuado. La corriente eléctrica debe de pasar entre los electrodos atravesando las láminas a unir (trabajo). Su continuidad se asegura mediante la fuerza aplicada a los electrodos, para proveer la densidad de corriente y presión necesaria. La secuencia de la operación debe de generar el suficiente calor para llevar un volumen confinado de metal al estado líquido o sólido-líquido. En seguida, se permite que este metal se enfríe bajo presión hasta que tenga la fuerza suficiente para mantener unidas las piezas. La densidad de corriente y la presión debe de ser suficientes en magnitud para formar una pepita (nugget), pero no tan altas que el metal fundido sea expulsado de la zona de soldadura. La duración de la corriente debe de ser lo bastante corta para evitar un calentamiento excesivo de las caras de los electrodos, pues esto pudiera pegar los electrodos a las láminas y reducir la vida útil o se presenta otro problema donde tiene desprendimiento del cobre de los electrodos.

El calor requerido para estos procesos de soldadura se produce por la resistencia que oponen las piezas de lámina al paso de una corriente eléctrica por el material. Debido a lo relativamente corto del trayecto de la corriente eléctrica en el material y a lo limitado del tiempo de soldadura, se requieren corrientes relativamente alta para generar el calor necesario para la soldadura.

5.1 Generación de Calor.

En un conductor eléctrico, la cantidad de calor generado depende de tres factores:

- 1) El amperaje.
- 2) La resistencia del conductor, incluyendo la resistencia del material a soldar.
- 3) El tiempo, duración de la corriente eléctrica.

Para expresar estos factores es necesario mencionar la ley de Joule. El calor generado es proporcional al cuadrado de la corriente eléctrica y directamente proporcional a la resistencia eléctrica y al tiempo.

$$Q = I^2 R t$$

Q = calor generado, Joules.

I = corriente eléctrica, Amperes.

t = tiempo de duración de la corriente, segundos.

R = resistencia del material, Ohms.

Una parte del calor generado sirve para efectuar la soldadura y otra parte se cede al metal circundante. La corriente requerida para producir una soldadura dada, en aproximación es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la cantidad de calor requerido entre del tiempo por la resistencia. Si el tiempo es demasiado corto, la corriente requerida será demasiado alta. Una combinación de corriente elevada y tiempo insuficiente puede dar pie a una distribución de calor indeseable en la zona de soldadura, produciendo una fusión excesiva de la superficie y un rápido deterioro de los electrodos.

El circuito secundario de una máquina de soldadura de resistencia y el proceso de soldado constituye una serie de resistencias. La resistencia total del trayecto de la corriente afecta la magnitud de la corriente. La corriente será la misma en todo el circuito, independientemente de la resistencia instantánea en cualquier punto del circuito, pero el calor generado en un punto dado de este es directamente proporcional a la resistencia de ese punto. Una característica importante de este proceso de soldadura es la rapidez con que puede producirse el calor para la soldadura. En la figura 1 se ilustra la distribución de la temperatura en la unión y en los electrodos. De hecho existen por lo menos siete resistencias conectadas en serie que determinan la distribución de la temperatura. En el caso de una unión de dos espesores es la siguiente.

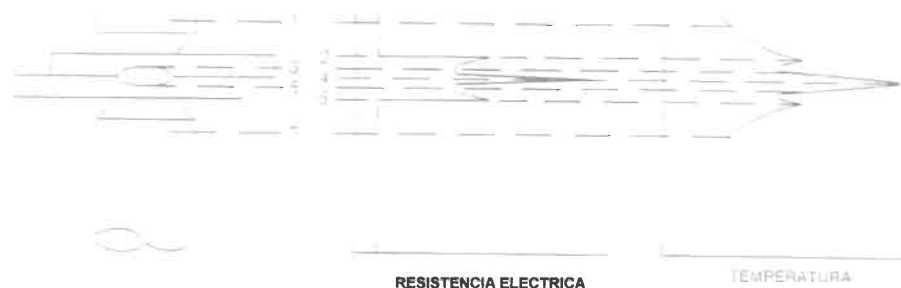


Figura 1

- 1) 1 y 7, son la resistencia del material de los electrodos.
- 2) 2 y 6, la resistencia del contacto entre los electrodos y las láminas a unir.
- 3) 3 y 5, la resistencia total de las láminas a unir.
- 4) 4, la resistencia de las caras internas de las láminas a unir.

Los puntos 2 y 6, la magnitud de esta resistencia depende de la condición superficial del metal base y del contorno, tamaño y cara del electrodo así como de la fuerza aplicada por el electrodo. La resistencia es inversamente proporcional a la fuerza de contacto del electrodo. Este es un punto considerable para la generación de calor pero la superficie de las láminas no alcanza la temperatura de fusión. Debido a la elevada conductividad térmica de los electrodos y al hecho que son enfriados por agua.

Para el punto 3 y 5, la resistencia del metal base mismo que es directamente proporcional a su resistividad y espesor, e inversamente proporcional al área de sección transversal del trayecto de la corriente.

La resistencia de las caras internas de las láminas a unir, es el punto donde se forma la soldadura. Siendo el punto de mayor resistencia y por lo tanto el punto donde se genera mayor calor.

En todos estos puntos se genera calor, no solo en las caras internas del metal base o hacia ella esta regido por el gradiente de temperatura establecido por el calentamiento por resistencia de los diferentes componentes del circuito. Esto a su vez promueve o retarda la creación del calor de soldadura localizado que se requiere.

En cada uno de los siete lugares mencionados en la figura anterior se genera calor en proporción a la resistencia eléctrica de cada uno. Sin embargo el calor para la soldadura solo se requiere en las caras internas de los metales base, y el calor generado en los demás sitios se debe de reducir al mínimo. Puesto que la resistencia más alta esta en el punto cuatro, el calor aparece con mayor rapidez en ese lugar. Los puntos que le siguen en resistencia son los puntos 2 y 6. La temperatura también se eleva en esos puntos, pero no tanto como en el punto cuatro. Después de transcurrido el 20% del tiempo de soldadura, el gradiente del calor probablemente se ajuste al perfil de la figura anterior. El calor generado en 2 y 6 se disipa rápidamente a los electrodos enfriados por agua. El calor en el punto cuatro se disipa más lentamente hacia el metal base. Por lo tanto mientras la corriente eléctrica de la soldadura continúe la velocidad de elevación de la temperatura será mayor en este punto que en los otros. En una soldadura bien controlada, la temperatura de soldado se alcanza primero en numerosos contactos puntuales de las caras internas, que se fundirán y en poco tiempo crecerán formando una pepita. Los factores que afectan la cantidad de calor generado en la unión por una corriente dada en una unidad de tiempo de soldadura son:

- 1) la resistencia eléctrica dentro del metal soldado y los electrodos.
- 2) La resistencia eléctrica por el contacto entre las piezas de trabajo y entre los electrodos.
- 3) La pérdida de calor hacia los electrodos y las piezas de trabajo.

5.2 Efecto de la corriente Eléctrica en la Soldadura.

En la formula $Q = I^2 R t$, la corriente I tiene un efecto más grande sobre la generación de calor que la resistencia o el tiempo; por lo tanto, es una variable importante que debe de controlarse. Dos factores que causan variación en la corriente de soldadura son las fluctuaciones en el voltaje de la línea y las variaciones en la impedancia del circuito secundario en las máquinas de corriente alterna. Las variaciones de la impedancia se deben a cambios en la geometría del circuito o a la introducción de masas variables de materiales magnéticos en el lazo secundario de la máquina. Las máquinas de corriente continua no son afectadas significativamente

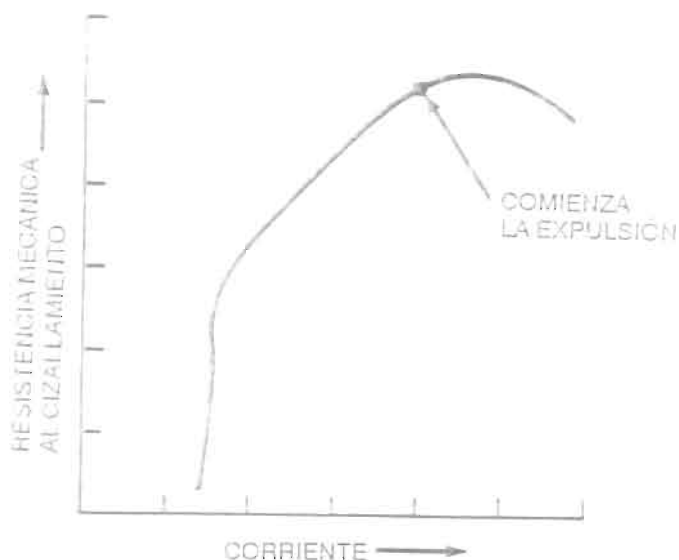


Figura 2

Efecto de la corriente de soldadura sobre la Resistencia Mecánica

5.3 Efecto del tiempo en la Soldadura.

La velocidad de generación de calor debe de ser tal que se produzca soldadura, la resistencia mecánica adecuada, sin un calentamiento excesivo ni un deterioro rápido de los electrodos. El calor total generado es proporcional al tiempo de la soldadura. En esencia, el calor se pierde por conducción hacia el metal base circundante y los electrodos, una cantidad muy pequeña se pierde por radiación y estas pérdidas aumentan al aumentar el tiempo de soldadura y la temperatura del metal pero básicamente es muy difícil controlar. Se requiere un cierto tiempo mínimo para alcanzar la temperatura de fusión con una densidad de corriente adecuada. Si se sigue incrementando la corriente, la temperatura del punto cuatro, según figura uno, en la pepita de la soldadura excederá por mucho la temperatura de fusión, y es posible que la presión interna expulse material liquido de la unión. También puede haber generación de gases o vapor metálico, junto con pequeñas partículas de metal. Si las superficies a soldar tienen incrustaciones o pequeñas depresiones, también pueden salir despedidos gases y partículas de los puntos dos y seis.

Un tiempo de soldadura demasiado largo surtirá el mismo efecto sobre el metal base y los electrodos que un amperaje excesivo. Además, la zona térmicamente afectada de la soldadura se extenderá a mayor distancia en el metal base.

En la mayor parte de los casos, las pérdida de calor en un punto dado durante un intervalo de soldadura prolongado serán iguales que el aporte de calor; las temperaturas se estabilizarán. En la figura 3 se muestra un ejemplo de la relación existente entre el tiempo de soldadura y la resistencia mecánica al cizallamiento de la soldadura de puntos, suponiendo que todas las otras condiciones se mantienen constantes, no se menciona valores de tiempo ni esfuerzo ya que esto puede variar de acuerdo a los espesores del material y otras circunstancias.

Hasta cierto punto el tiempo y el amperaje son complementarios. El calor total puede variarse ajustando ya sea el amperaje o el tiempo de soldadura. La transferencia del calor es función del tiempo y el desarrollo de una pepita del tamaño adecuado requiere un tiempo mínimo, independiente del amperaje.

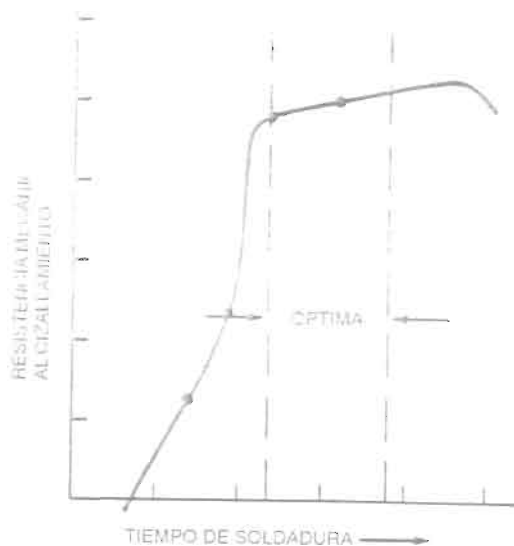


Figura 3

Resistencia mecánica al corte en relación al tiempo de soldadura.

Al soldar con puntos láminas gruesas, lo más común es aplicar la corriente de soldadura en varios pulsos relativamente breves sin dejar de ejercer la fuerza con los electrodos. El objetivo de esta operación es hacer que se acumule gradualmente

calor entre la zona de las piezas a soldar. El amperaje requerido para soldar puede fundir rápidamente el metal si la duración de los pulsos es demasiado larga, produciendo pequeñas explosiones y expulsiones de material.

5.4 Efecto de la presión en la Soldadura.

La resistencia (R) en la fórmula de calor, ley de Joule, cambia con la presión de soldadura debido al efecto de esta sobre la resistencia de contacto en la zona de soldadura entre la pieza. La presión de soldadura se produce por la fuerza de los electrodos sobre la unión. La cual es considerada como la fuerza dinámica neta de los electrodos contra las láminas a unir.

Las piezas que se van a soldar se deben de prensar fuertemente en el sitio de la soldadura para que pueda pasar la corriente. Si todos los demás factores son iguales, al aumentar la fuerza de los electrodos o la presión de soldadura, el amperaje también deberá aumentara hasta algún valor límite. De lo contrario, el efecto sobre el calor total generado puede ser el opuesto. Al aumentar la presión, la resistencia de contacto y el calor generado en la interfaz disminuirán. Para incrementar el calor hasta el nivel previo, es preciso aumentar el amperaje o el tiempo de soldadura para compensar la reducción en la resistencia eléctrica.

Las superficies de los componentes mecánicos, a escala microscópica son una serie de picos y valles. Cuando se someten a presiones leves, el contacto metal – metal ocurrirá solo en los picos que se toquen lo cual representa un porcentaje pequeño del área. La resistencia de contacto será alta. Al aumentar la presión, los puntos altos se aplastan y el área real de contacto metal-metal aumenta, reduciendo el esfuerzo de contacto. Otra explicación física que podemos ofrecer, es la presión afecta el punto de fusión, en la mayoría de los materiales se contraen cuando se solidifican. Por consiguiente, si se ejerce presión sobre ellos, se tiende a disminuirlos de tamaño y requieren mayor temperatura para fundirse. Por ende se requerirá mayor corriente eléctrica o mayor tiempo de soldadura para alcanzar la temperatura de fusión. En la mayor parte de las aplicaciones el material del electrodo es más suave que las piezas de lámina a unir; por ende, la aplicación de una fuerza apropiada producirá un mejor contacto en las zonas de electrodo-lámina que en la zona entre lámina-lámina.

5.5 Influencia de los Electroodos.

Los electrodos juegan un papel importante en la generación de calor por que conducen la corriente de soldadura a las láminas a soldar. El área de contacto de los electrodos controla en gran medida la densidad de corriente de la soldadura y el tamaño de la soldadura resultante. Los electrodos deben de tener buena conductividad térmica y eléctrica pero también deben de tener buena resistencia mecánica para resistir la deformación o aplastamiento de las caras de los electrodos. De lo contrario, incrementa el área de contacto reduciendo la densidad de corriente y la presión de la soldadura. La calidad de la soldadura se deteriorara al incrementarse la deformación de las puntas de contacto por ello es necesario estar rectificando las puntas de contacto o remplazándolas cada cierta cantidad de soldaduras con el fin de mantener una adecuada generación de calor y soldaduras con propiedades satisfactorias.

Cuando los electrodos no compensan con rapidez una reducción repentina en el espesor total de la unión, habrá una disminución momentánea de la presión. Si esto sucede mientras esta pasando la corriente de soldadura, la resistencia de contacto entre las zonas dos, cuatro y seis, y la velocidad de generación de calor aumentaran. Una velocidad excesiva en las tres superficies de contacto tenderán a tener sobrecalentamiento y la expulsión violenta de metal fundido. El metal fundido se retiene en cada zona interna gracias a un anillo de metal no fundido que rodea a la pepita de soldadura. Una reducción momentánea en la fuerza de los electrodos permite a la presión interna del metal romper este anillo circundante, y es posible que se produzcan huecos internos o una depresión excesiva causada por el electrodo. Las propiedades de la soldadura pueden caer por debajo de los niveles aceptables, y el desgaste de los electrodos será mayor que el normal.

5.6 Influencia de la Condición Superficial.

La condición de la superficie de las piezas influye en la generación de calor por que los óxidos, impurezas, aceites y otras sustancias ajenas a la superficie afectan la resistencia de contacto. Las soldaduras con propiedades más uniformes se dan cuando las superficies esta limpias. Además, las incrustaciones gruesas en la superficie de soldado, pueden penetrar en las caras de los electrodos, haciendo que

se deterioren rápidamente. El aceite y la grasa retienen suciedad que también contribuyen al deterioro de los electrodos.

Para el caso de los aceros al carbono recubiertos, con el fin de protegerlos de la corrosión o mejorar su aspecto, se prestan de forma satisfactoria a la soldadura de puntos. En general pueden obtenerse buenos resultados sin necesidad de realizar limpieza previa al proceso de soldadura. La soldadura de acero con recubrimiento aluminizado se efectúa con menos expulsión si se cepilla la superficie con cepillo de alambre, los recubrimientos de fosfato elevan la resistencia eléctrica de la superficie a tal grado que la corriente eléctrica no pueda atravesar la capa si no se aplican presiones altas no se podrá realizar esta operación.

5.7 Influencia de la Composición del Metal.

La resistividad eléctrica de un metal influye directamente sobre el calentamiento durante la soldadura. En metales de alta conductividad como la plata y el cobre, se desarrolla poco calor incluso con densidades de corriente elevadas. El escaso calor generado se trasmite rápidamente al área circundante y a los electrodos.

La composición química de un metal determina su calor específico, temperatura de fusión, calor latente de fusión y conductividad térmica. Estas propiedades controlan la cantidad de calor requerida para fundir el metal y producir una soldadura. Pese a ello, las cantidades de calor necesarias para llevar masas unitarias de la mayor parte de los metales comerciales a las temperaturas de fusión son muy parecidas. Por ejemplo el acero inoxidable y el aluminio requieren la misma cantidad de joules por gramo para alcanzar la temperatura de fusión, a pesar de que difieren mucho en sus características de soldadura de puntos.

Por tanto, las conductividades térmicas y eléctricas se convierten en factores dominantes. Las conductividades del aluminio son unas diez veces mayor que las del acero inoxidable, así que las pérdidas de calor hacia los electrodos y el metal circundante es mayor en el caso del Aluminio. Por ello, la corriente de soldadura para el Aluminio debe de ser bastante mayor que para el acero inoxidable.

5.8 Influencia del equipo de soldar.

El equipo también ejerce una influencia clave en la calidad de la soldadura, una vez que se analiza como un sistema, tenemos que la corriente que envía el transformador no será la que se reciba en la superficie a soldar ya que tendremos perdidas en todo el sistema de diferentes magnitudes iniciando por los cables, los brazos, jumper, shank, cap y las ya descritas en la figura 1 y en el punto 5.1 Generación de Calor.

Por lo que es muy recomendable estar monitoreando la conductividad eléctrica de los diferentes elementos que conforman un equipo de soldadura dentro de los programas de mantenimiento preventivo y predictivo. Esto se explica mejor al ver la figura 4, donde se muestra las principales resistencias del sistema de soldadura por resistencia eléctrica.

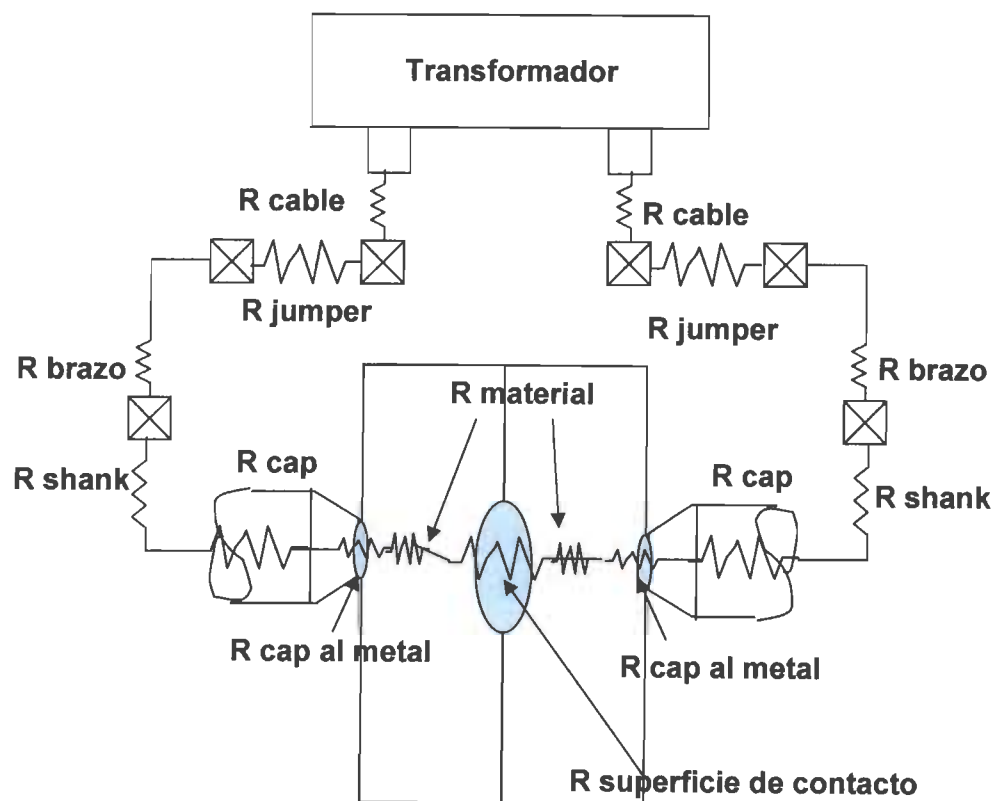


Figura 4

Principales resistencias de un equipo de soldadura por resistencia eléctrica.

6.

Balance Calorífico.

El equilibrio del calor ocurre cuando las profundidades de fusión (penetración) en ambas láminas son aproximadamente iguales. La mayor parte de aplicaciones de soldadura de puntos y de costura se limitan a soldar espesores iguales del mismo metal, con electrodos de la misma aleación, forma y tamaño en estos casos el balance calorífico es automático; sin embargo, en muchas aplicaciones el sistema en el que el calor generado en las piezas no está equilibrado.

El balance calorífico puede ser afectado por lo siguiente:

- 1) Las conductividades térmicas y eléctricas relativas de los materiales a unir.
- 2) La geometría de las piezas a unir.
- 3) Las conductividades térmicas y eléctricas de los electrodos.
- 4) La geometría de los electrodos.

El calentamiento será no uniforme cuando la composición, el espesor o ambos, sean significativamente distintos. En muchos casos el desequilibrio puede minimizarse con el diseño de las piezas, el material y el diseño de los electrodos. También puede mejorarse con los parámetros de soldadura tiempos de soldadura más breves y la corriente más baja que produzcan soldaduras aceptables.

La disipación del calor en la soldadura es por conducción hacia el metal base adyacente y los electrodos, como se muestra en la figura 5, esta disipación continúa con diferentes velocidades durante la aplicación de la corriente y después hasta que la soldadura se ha enfriado a temperatura ambiente.

La disipación puede dividirse en dos fases:

- 1) Durante la aplicación de la corriente.
- 2) Después de interrumpida la corriente.

El grado de disipación en la primera fase depende de la composición y la masa de la pieza de trabajo, del tiempo de soldadura y de los mecanismos de enfriamientos externos.

El diseño determina la composición y la masa de las piezas a soldar. El enfriamiento externo depende de la instalación de los equipos de soldadura y del ciclo de soldadura.

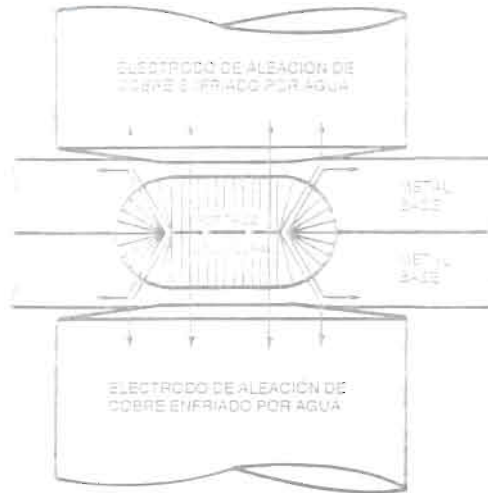


Figura 5

Disipación del calor hacia metal base y electrodos

El calor generado por un amperaje dado es inversamente proporcional a la conductividad eléctrica del metal base. La conductividad térmica y la temperatura del metal base determinan la velocidad con la que el calor se disipa de la zona de soldadura. En la mayor parte de los casos, las conductividades térmicas y eléctricas de un metal son similares. Si los electrodos permanecen en contacto con el trabajo después de interrumpirse la corriente de soldadura, enfrían rápidamente la pepita de soldadura. La velocidad de disipación del calor del metal base disminuye al aumentar el tiempo de soldadura por que se calentó mayor masa de material base. Esto reduce el gradiente de temperatura entre el metal base y la pepita de soldadura. En el caso de láminas gruesas de metal que gradualmente requieren tiempos de soldadura largos, la velocidad de enfriamiento será mas lenta que cuando se sueldan láminas delgadas o se emplean tiempos de soldadura cortos.

Si los electrodos se retiran de la soldadura con demasiada rapidez después de suspender la corriente puede haber problemas. En el caso de láminas delgadas, este procedimiento tiende a dar deformaciones excesivas. En láminas gruesas se requiere de tiempo para enfriar y solidificar la pepita de soldadura de gran tamaño mientras se mantiene la presión. Por tanto, es mejor, en general, dejar los electrodos en contacto con el trabajo hasta que la soldadura se enfrié a una temperatura en la que la resistencia mecánica sea la suficiente para soportar cualquier carga que sea sometida cuando se libere la presión. El tiempo de enfriamiento para una pepita de soldadura por costura es corto cuando los electrodos giran continuamente; por lo tanto, la soldadura normalmente se realiza con agua fluyendo sobre la pieza de trabajo para disipar el calor lo más rápido posible. No siempre es conveniente enfriar la zona de soldadura con rapidez. En el caso de aceros de aleación endurecible por templado, suele ser mejor retraer los electrodos tan pronto como sea posible para minimizar la disipación de calor por ellos, retardando así el tiempo de enfriamiento de la soldadura.

7.

Ciclo de Soldadura.

El ciclo para la soldadura de puntos consiste básicamente en cuatro fases:

- 1) Tiempo de compresión. Es el intervalo entre el arranque del cronómetro y la primera aplicación de corriente; este lapso es para asegurar que los electrodos hagan contacto con las láminas, ejerza la fuerza máxima antes de aplicar la corriente de soldadura.
- 2) Tiempo de soldadura. Es el tiempo durante el cual se aplica la corriente eléctrica a la unión, cuando la soldadura es de un solo impulso.
- 3) Tiempo de retención. Es el tiempo durante el cual se mantiene la fuerza aplicada a las láminas, después del término del último impulso de corriente eléctrica; durante este tiempo, la pepita de soldadura se solidifica y enfría hasta adquirir suficiente resistencia mecánica.
- 4) Tiempo inactivo. El tiempo en el cual los electrodos se despegan de las láminas soldadas y se desplazan hacia la siguiente posición de soldadura; este término se aplica cuando el ciclo de soldadura es repetitivo.

En la figura 6 se muestra una grafica de un ciclo de soldadura básico. Se puede agregar una o más de las siguientes características a este ciclo básico para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de la zona de la soldadura:

- 1) Fuerza de precompresión. Para asentar los electrodos contra las piezas a soldar.
- 2) Precalentamiento. Para reducir el gradiente térmico en el metal al inicio del tiempo de soldadura.
- 3) Fuerza de forjado. para consolidar la pepita de soldadura.
- 4) Tiempos de enfriamiento y templado. Para producir soldaduras con la resistencia mecánica deseada en aceros de aleación endurecible.
- 5) Post-calentamiento. Para eliminar esfuerzos residuales o para revenir el acero en casos de transformación de la estructura metalúrgica.
- 6) Decaimiento de corriente. Para retardar el enfriamiento, para el aluminio.



Figura 6

Ciclo de soldadura básico de un solo impulso para soldadura de puntos.

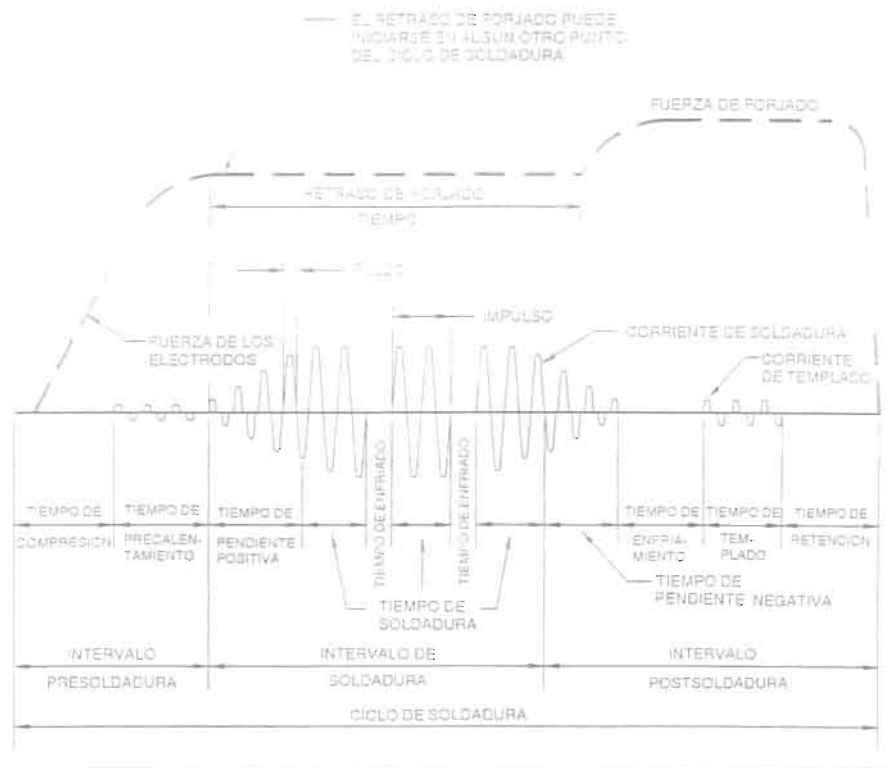


Figura 7

Ciclo de soldadura que incluye, tiempo de precalentamiento, tiempo de pendiente positiva, tiempo de soldadura, tiempo de pendiente negativa, tiempo de enfriamiento y tiempo de tratamiento post-soldadura.

En algunas aplicaciones, la corriente de soldadura se alimenta intermitentemente, durante un intervalo del ciclo de soldadura; esta encendida durante el tiempo de calentamiento y se interrumpe durante el tiempo de enfriamiento. La figura 7 muestra la secuencia de operaciones en un ciclo de soldadura más complejo.

7.1 Corriente de soldadura.

Se utiliza tanto corriente alterna (CA) como corriente continua o directa (CC) para producir soldadura de puntos. La máquina de soldar transforma la potencia de la línea a potencia de soldadura de bajo voltaje y alto amperaje. Algunas aplicaciones emplean corriente alterna monofásica con la misma frecuencia que la línea de alimentación, por lo regular 60 Hz. La corriente continua se emplea en aplicaciones que requieren un amperaje elevado por que la carga puede equilibrarse en una línea de potencia trifásica. Su empleo también reduce las pérdidas de potencia en el circuito secundario. La corriente continua puede ser prácticamente constante durante un periodo o adoptar la forma de un pulso de pico pronunciado. Este último normalmente se produce a partir de energía eléctrica almacenada.

7.2 Programación de la corriente.

En las máquinas de energía continua, la velocidad de ascenso y caída de la corriente se puede programar. El periodo de elevación de la corriente se le llama tiempo de pendiente positiva y el periodo de caída de la corriente se le llama tiempo de pendiente negativa. Ver figura 7 Estas funciones están disponibles en máquinas de control electrónico.

Antes de la soldadura, el metal base puede precalentarse con una corriente baja. Después de la formación de la pepita de soldadura, la corriente de soldadura puede disminuirse a un nivel menor para el post-calentamiento de la zona de soldadura. Esto puede ser parte del intervalo de soldadura, como se muestra en la figura 7, o una aplicación posterior de corriente después de un periodo de enfriamiento.

7.3 Tiempo de Soldadura.

El tiempo de aplicación de la corriente o tiempo de soldadura cuando la potencia no es energía almacenada, se controla mediante mecanismos electrónicos, mecánicos,

manuales o neumáticos. Los tiempos normalmente van desde medio ciclo (1/120 segundos) para láminas delgadas hasta varios segundos para láminas más gruesas. En las máquinas de energía almacenada del tipo de condensador o magnéticas, el tiempo de soldadura lo determina la constante eléctrica del sistema.

7.4 Soldadura de un Impulso.

Es el empleo de una aplicación continua de corriente para producir una soldadura individual se denomina soldadura de un solo impulso, el periodo puede incluir pendiente positiva y pendiente negativa de corriente.

7.5 Soldadura de múltiples impulsos.

Consiste en dos o más pulsos de corriente separados por un tiempo de enfriamiento preestablecido. Esta secuencia sirve para controlar la velocidad de calentamiento en la zona interna de contacto durante la soldadura de puntos de láminas de acero relativamente gruesas.

7.6 Fuerza de los Electroodos.

El cierre del circuito eléctrico a través de los electrodos y las láminas se aseguran mediante la aplicación de una fuerza con los electrodos. Esta fuerza se produce con dispositivos hidráulicos, neumáticos, magnéticos o mecánicos. La presión ejercida en la interfaz depende del área de las caras de los electrodos que están en contacto con las láminas a unir. Las fuerzas pueden aplicarse durante el ciclo de soldadura como sigue:

- 1) Una fuerza de soldadura constante.
- 2) Fuerzas de precomprensión y soldadura. Un nivel inicial alto para reducir la resistencia de contacto inicial y poner las piezas en contacto íntimo, seguido de un nivel menor para soldar.
- 3) Fuerzas de precomprensión de soldadura y forjado. Los dos primeros niveles son iguales que los descritos en el punto dos, seguidos por una fuerza de forjado cerca del final del tiempo de soldadura; el forjado es útil para reducir la porosidad y el agrietamiento en caliente de la pepita de soldadura.
- 4) Fuerzas de soldadura y forjado.

8.

Equipos de Soldadura de Puntos.

El equipo de soldadura de puntos por resistencia eléctrica consiste básicamente de tres elementos que son. Un circuito eléctrico, el equipo de control, y un sistema mecánico.

- 1) Circuito eléctrico. Que consiste de un transformador de soldadura y un circuito secundario con electrodos que conducen la corriente a las láminas.
- 2) Un sistema mecánico que consiste en un armazón y los mecanismos asociados para sostener el ensamble y aplicar la fuerza de soldadura.
- 3) El equipo de control para iniciar y cronometrar la corriente; también puede controlar la magnitud de la corriente, la secuencia y los otros tiempos del programa de soldadura.

En lo que respecta a la operación eléctrica, las máquinas para soldadura de resistencia se clasifican en dos grupos básicos: de energía directa y de energía almacenada. Las máquinas de ambos grupos pueden estar diseñadas para operar con potencia monofásica o trifásica.

La mayoría parte de las máquinas para soldadura de resistencia son del tipo de energía directa monofásica. Este es el tipo de máquina que más se usa por que es el más simple y el menos costosos en cuanto a instalación y mantenimiento.

Los diseños del sistema mecánico y el circuito secundario son esencialmente los mismos para todos los tipos de máquinas soldadoras, pero los sistemas de transformador y los sistemas de control pueden diferir considerablemente.

Una máquina soldadora monofásica tiene una demanda volt-ampere (kVA) mayor que una máquina trifásica de especificación equivalente. La demanda de una máquina monofásica causa un desequilibrio en una línea de potencia trifásica. Además, su factor de potencia es relativamente bajo debido a la reactancia inductiva inherente al circuito de soldadura de la máquina. La demanda monofásica podría no implicar un problema si la máquina soldadora

representa una pequeña parte de la carga total de la línea o si se conectan varias máquinas monofásicas para equilibrar la carga sobre las tres fases de la línea de potencia.

Una máquina de energía directa trifásica extrae potencia de las tres fases de la línea de potencia. La reactancia inductiva del circuito de soldadura es baja por la razón de usar corriente continua para soldar. La consecuencia de esto es que el voltaje del circuito secundario requerido para una corriente de soldadura dada se reduce; así, la demanda de kVA de una máquina trifásica es menor que la de una monofásica equivalente (de igual corriente). Esto resulta definitivamente ventajoso cuando se requiere una máquina de gran capacidad y la capacidad de la línea de potencia es limitada.

8.1 Máquinas tipo Balancín.

Son las más sencillas y de uso más común para soldar por puntos así llamadas por el movimiento oscilante del asta superior. Que es un brazo o la extensión de un brazo para transmitir la fuerza a los electrodos y estos a su vez a las láminas a unir. Ver Figura 8. Existen tres métodos de operaciones disponibles, neumáticas, por pie y motor. Las más utilizadas en líneas de producción son las neumáticas, el ciclo de soldadura se controla automáticamente con una unidad de control combinada. Las máquinas operadas con el pie son más adecuadas para productos misceláneos de lámina, sobre todo en series de producción corta en las que no se requiere una calidad de soldadura consistente. Las máquinas operadas por motor normalmente se emplean cuando no se dispone de aire comprimido.

Las máquinas de balancín estándar normalmente se construyen con capacidad de garganta de 30 a 90 cm y capacidad de transformador de 50 a 100 kVA. La construcción general de esta máquina es igual para los tres tipos de operación.

El trayecto que sigue el electrodo superior es un arco alrededor del fulcro del brazo superior y deben de colocarse de modo que ambos queden en el plano del eje de las astas. Y estas deberán de quedar paralelas ya que puede haber deslizamiento de los electrodos.

La fuerza ejercida por un pistón es igual al producto de su área superficial por la presión de aire aplicada a esa área. Casi todos los sistemas neumáticos industriales trabajan a 80 PSI como mínimo y el tamaño del cilindro se

determina en base a este valor. La fuerza de los electrodos es el producto de la fuerza del pistón por la razón del brazo de palanca Y/X por lo tanto es directamente proporcional a la presión del aire la cual se controla mediante un regulador de presión.

8.2 Máquina tipo Prensa.

Recomendadas para todas las operaciones de soldadura de proyección y muchas aplicaciones de soldadura de puntos. En este tipo de máquinas, la cabeza de soldadura móvil se desplaza en línea recta sobre cojinetes o rieles guía. Estos cojinetes deben de ser de un tamaño tal que soporten cualquier carga excéntrica sobre la cabeza de soldadura, tienen capacidad entre 5 y 500 kVA y profundidades de garganta de hasta 137 cm, la fuerza puede aplicarse por medios neumáticos, hidráulicos o electromagnéticos. Ver figura 9.

8.3 Máquinas de tipo Portátil.

La pistola portátil consiste en un armazón, un cilindro accionador neumático o hidráulico, asideros para las manos y un interruptor iniciador. La unidad puede depender de una estructura y un columpio ajustable. Ver foto 1.

Tienen cuatro componentes básicos:

- 1) Una pistola o herramienta soldadora portátil.
- 2) Un transformador de soldadura y en algunos casos, un rectificador.
- 3) Un controlador eléctrico y un cronómetro de secuencia.
- 4) Una unidad de cable y manguera para llevar la potencia y agua de enfriamiento del transformador a la pistola de soldar.

Los tipos de pistola son dos, el de tijera y el tipo "C", así llamado por la forma que tiene. Este tipo trabaja en forma similar a una máquina de soldar tipo prensa.

En el diseño de una pistola influye la fuerza de los electrodos requerida. Para reducir el tamaño y el peso de la pistola casi siempre se usa un cilindro hidráulico cuando es necesario producir fuerzas superiores a las 750 libras, pero también se emplean cilindros neumáticos que producen hasta 1500 libras con el fin de simplificar el equipo.

Los transformadores de las pistolas portátiles deben producir voltajes de circuito abierto de dos a cuatro veces mayor que los de máquinas estacionarias. Se requieren voltajes más altos por los cables que se añaden entre el transformador y la pistola.

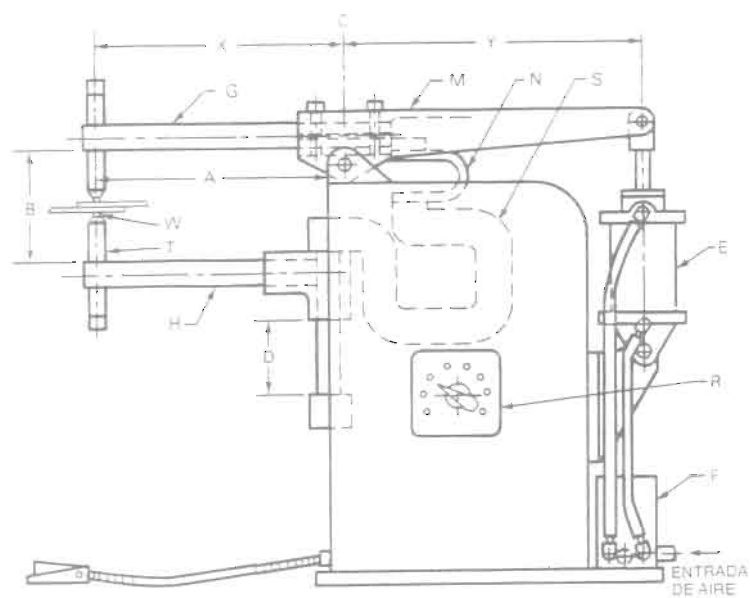
La introducción de este cable en el circuito secundario tiene tres efectos fundamentales:

- 1) Aumentar la impedancia total en un control de corriente alterna o de convertidor de frecuencia; por lo tanto, una soldadura de pistola requiere un voltaje secundario bastante más alto que una soldadora estacionaria para producir la misma corriente secundaria.
- 2) Aumenta el componente de resistencia de la impedancia por lo que el factor de potencia es mucho más alto que en una soldadora estacionaria.
- 3) Minimiza el efecto de la impedancia de las piezas de trabajo tanto sobre la corriente producida por la soldadora como sobre el factor de potencia de la carga. Para los cálculos de potencia puede suponerse que los amperes de soldadura máximos. La demanda de kVA y el factor de potencia son los mismos que en corto circuito.

8.4 Transpistola.

Es otro tipo de pistola que se emplea, cuyo transformador esta directamente montado en un sistemas de fuerzas autoeocalizante y ofrece varias ventajas. Ver figura 10. Es bastante compacto que los transformadores convencionales y tiene un factor de potencia que puede exceder el 85%. Por otro lado, el trabajo es el principal componente de resistencia del circuito de trabajo y debe de tomar siempre en cuenta al emplear las corrientes de cortocircuito especificadas para determinar el tamaño del transformador.

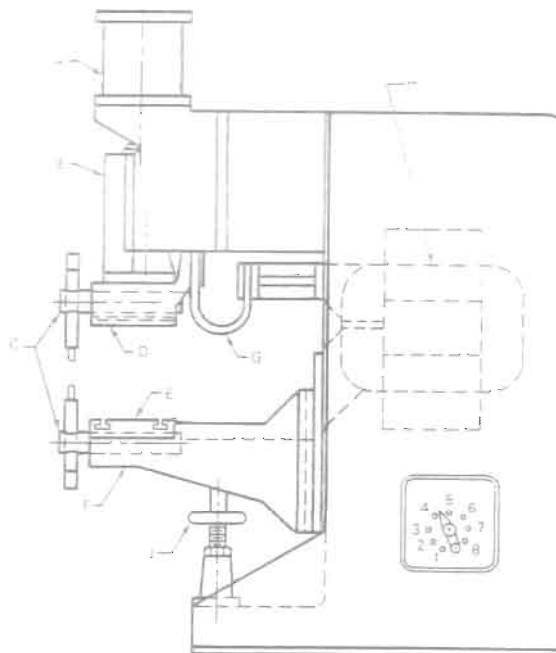
Se requiere un control combinado para operar una pistola portátil. El control consiste en un contactor primario y un cronómetro de secuencia. Si se emplea un contactor de tubo electrónico, el control por lo regular estará montado aparte, pero lo más cercano al transformador que sea posible. Si el contactor es un dispositivo de estado sólido, lo compacto de la unidad permitirá montar el control directamente sobre el transformador.



- | | |
|--------------------------------|---|
| A — PROFUNDIDAD DE LA GARGANTA | M — BALANCIN |
| B — ESPACIADO DE LAS ASTAS | N — CONDUCTOR SECUNDARIO FLEXIBLE |
| C — LINEA CENTRAL DEL BALANCIN | R — REGULADOR DE CORRIENTE (CONMUTADOR DE DERIVACION) |
| D — AJUSTE DEL BRAZO INFERIOR | S — SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR |
| E — CILINDRO DE AIRE | T — PORTAELECTRODOS |
| F — VALVULA DE AIRE | W — ELECTRODO |
| G — ASTA SUPERIOR | |
| H — ASTA INFERIOR | |

Figura 8

Máquina de soldadura de puntos de Balancín.



- | | |
|---|----------------------------------|
| A — CILINDRO NEUMÁTICO O HIDRÁULICO | F — ESCUADRA |
| B — ARISTE | G — CONDUCTOR FLEXIBLE |
| C — ADITAMENTO PARA SOLDADURA DE PUNTOS | H — SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR |
| D — PLATINA SUPERIOR | J — SOPORTE DE LA ESCUADRA |
| E — PLATINA INFERIOR | |

Figura 9

Equipo de Soldadura de Puntos tipo Prensa.

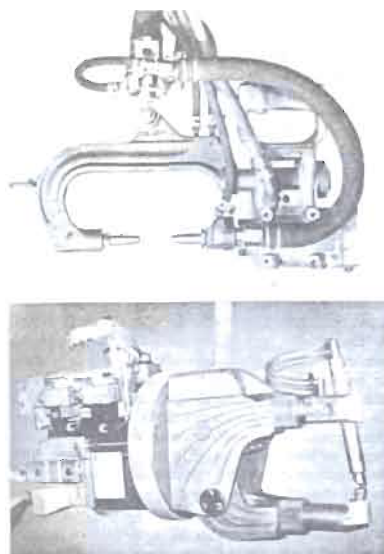


Foto 1

Pistolas de soldadura por puntos Manual

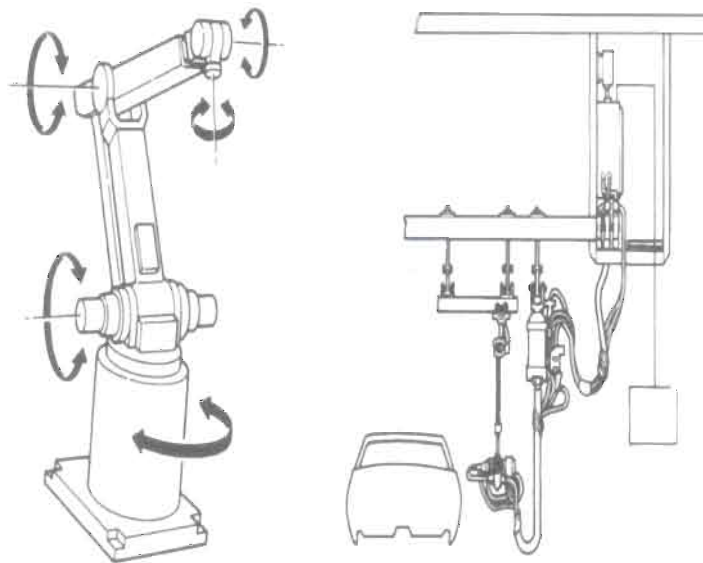


Figura 10

Estación de trabajo con pistola Manual (transpistola) y Robot.



Foto 2

Estación de trabajo con pistola manual (Transpistola)



Foto 3

Estación de trabajo con pistola automática



Foto 4

Estación de trabajo, con pistola manual.



Foto 5
Estación de trabajo con Robots.



Foto 6
Equipo de pedestal para soldadura de puntos y proyección.

9.

Consideraciones Metalúrgicas.

De acuerdo a la presente búsqueda no se encuentra en la literatura técnica la relación, de este tipo de soldadura con respecto a los cambios metalúrgicos, que existen en el acero que se unió por este proceso como es el caso de soldadura con aporte de material por ejemplo GMAW o SMAW, aunado a que su aplicación es básicamente en la industria automotriz en aceros de muy bajo contenido de carbón (0.13% máximo). Es muy importante mencionar que en la actualidad se hace cada vez más popular el uso de aceros con mayor contenido de carbono y de manganeso llamados aceros de ultra alta resistencia que son unidos por este proceso de soldadura, y es con la finalidad de disminuir el peso de los vehículos por la alta resistencia mecánica de estas láminas de acero y de bajo espesor, empleadas principalmente para construir subensambles como refuerzos estructurales. Debido a la pequeña masa que se funde o pasa a un estado sólido-liquido y a la alta velocidad de enfriamiento existe una muy alta probabilidad de obtener otras microestructuras metalúrgicas como Bainita o Martensita.

Este proceso de soldadura como ya se expuso, no lleva material de aporte, solo la unión de dos láminas, la resistencia eléctrica de estas, el paso de una corriente eléctrica y la presión, generan calor, el punto más caliente dentro de esta soldadura es el centro de esta y al igual que cualquier proceso de soldadura tiene una zona de fusión y una zona afectada por el calor que generan una serie de cambios y fenómenos microestructurales que a continuación se mencionan.

9.1 Solidificación.

Como ya se expuso el punto mas caliente de la soldadura, es el centro de esta, por lo tanto será la última parte en solidificar totalmente, los granos nacerán en los granos del acero que rodea al punto, en la interfase soldadura- metal base, suministrando una red cristalina, donde la masa en estado liquido o sólido –liquido puede iniciar formando granos durante la solidificación, en forma epitaxial, cada grano en la zona de la soldadura es una extensión de los granos del metal base y están en dirección al

centro de la soldadura, siendo favorecido este fenómeno por la rápida velocidad de enfriamiento.

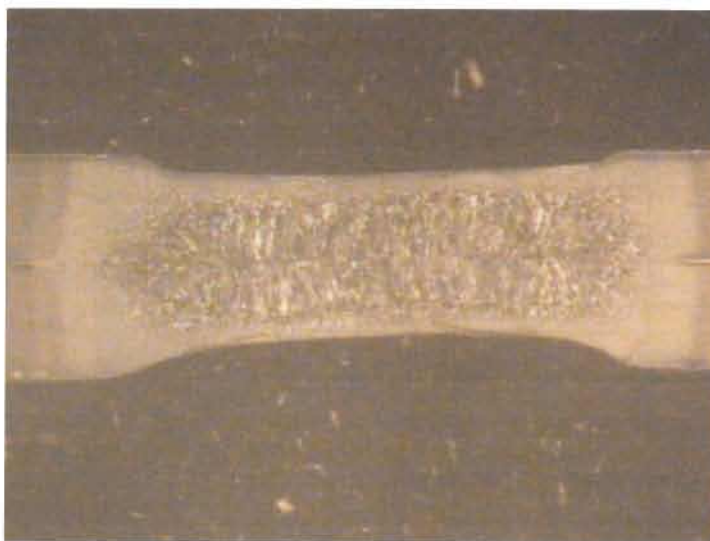


Foto 7

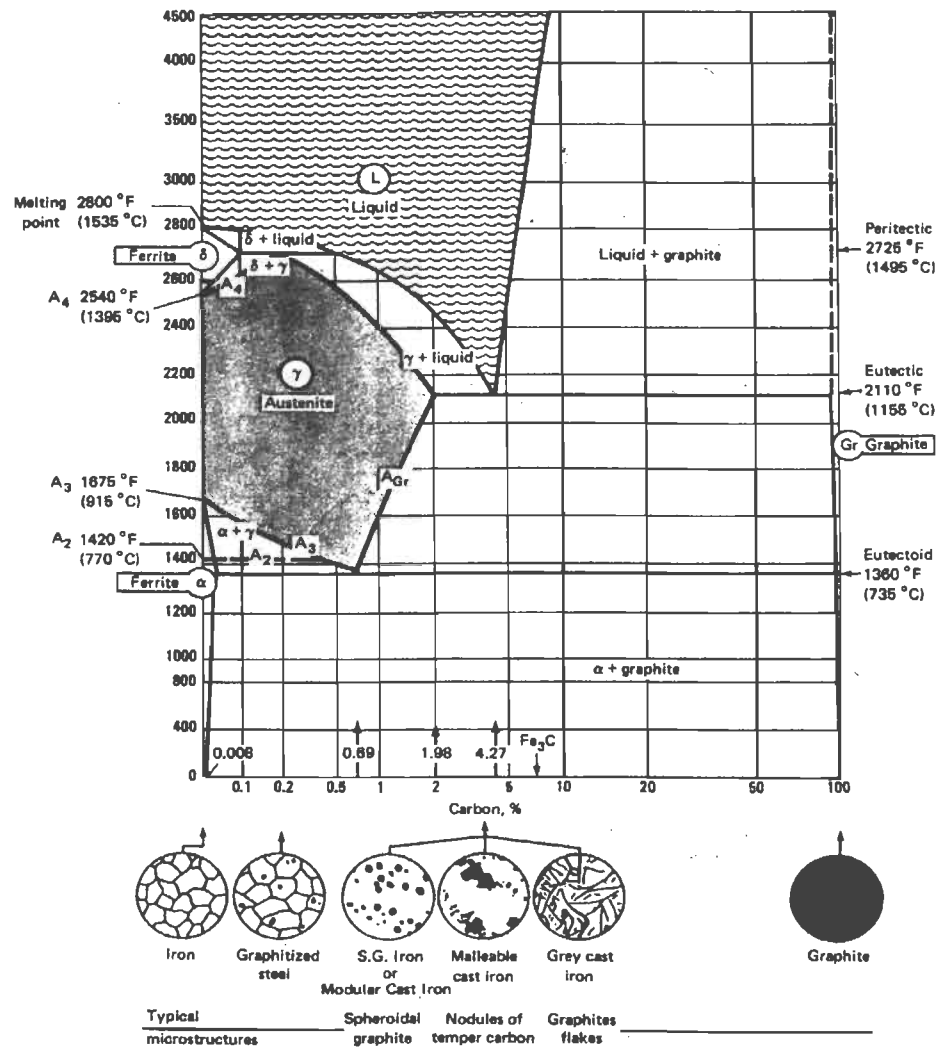
Dirección de granos durante la solidificación, periferia al centro.

9.2 Microestructura.

Como ya se explicó anteriormente, la composición química de las láminas de acero, más comúnmente empleadas en la fabricación de subensambles es de muy bajo contenido de carbono, por lo cual al transformar el metal del punto de soldadura y de la zona afectada por el calor, que fue llevada hasta una temperatura de austenitización, será en ferrita. Cabe mencionar que aunque la velocidad de enfriamiento es muy rápida, no es la suficiente para transformar a otras estructuras como martensita o bainita. Ver grafica 1 y 2.

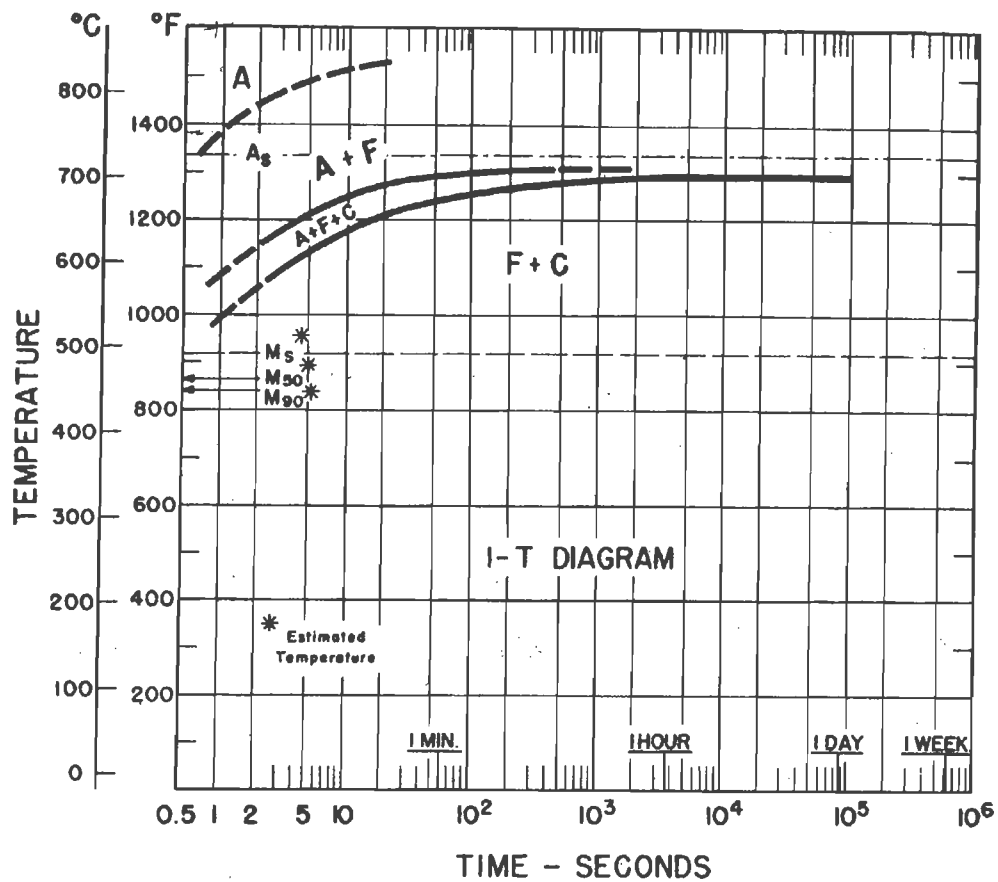
En aceros de ultra alta resistencia si tiene transformación metalúrgica a martensita o bainita. Ver grafica 3.

Es importante mencionar que el tema metalúrgico en la soldadura de puntos por resistencia eléctrica, es un área de oportunidad para futuras investigaciones ya que la información es pobre o no esta publicada en su totalidad.



Grafica 1
Grafica Fe-C

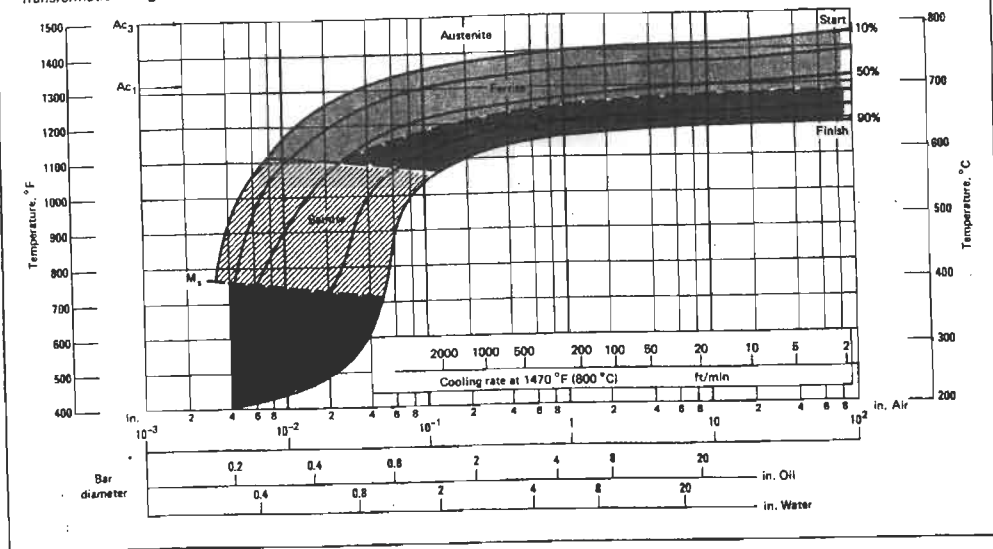
1008



Grafica 2

Diagrama TTT, para el acero 1008

1522: Continuous Cooling Transformation Diagram. A British steel with a chemical composition roughly equivalent to 1522: 0.19 C, 1.20 Mn, 0.020 P, 0.020 S, 0.20 Si. Hot rolled and austenitized at 1600 °F (870 °C). (Source: *Atlas of Continuous Cooling Transformation Diagrams for Engineering Steels*, American Society for Metals, 1980)



Grafica 3

Grafica CTT, para un acero 1522, la química es similar que para un acero de ultra alta resistencia.

10.

Inspección y Pruebas.

La inspección y pruebas para la soldadura de puntos por resistencia eléctrica son pocas y sencillas, aunque la literatura de la American Welding Society menciona algunas otras, para temas de investigación, en la industria automotriz sólo se toma algunas que son sencillas debido a la gran cantidad de puntos a inspeccionar por unidad en la línea de producción y sobre todo que es un volumen considerable de producción, pero en sí, estas se puede decir que cumplen con el objetivo de asegurar la calidad de la unión.

10.1 Inspección Visual.

En primer lugar se menciona la inspección visual, auxiliados de dibujos, fotos apoyos visuales, donde se verifica las siguientes características.

- Cantidad de puntos, en cada unión.
- Apariencia según sea la clase de soldadura.
- Grietas y hoyos. Ver fotos 11 y 12.
- Localización.
- Distorsión en la lámina.
- Puntos al borde. Ver figura 11 y foto 10.
- Indentación. (pérdida de espesor). Ver figura 12 y foto 13.
- Puntos con expulsión de material. Ver figura 13



Figura 11

Puntos al borde.

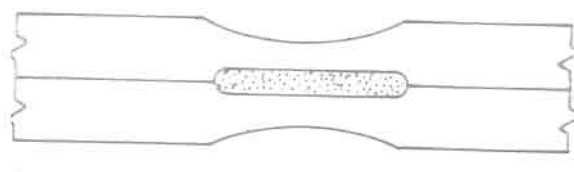


Figura 12

Punto Indentado, pérdida de espesor.

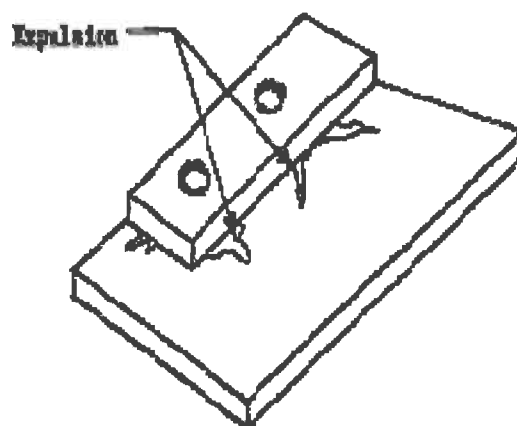


Figura 13

Expulsión de material.

10.2 Prueba de Cincel y Martillo No Destructiva.

Empleada para verificar la coalescencia de la soldadura se emplea una prueba de cincel y martillo, no destructiva, que generalmente se realiza al principio del turno y con un frecuencia durante el turno que cada empresa determina en sus planes de control, basados en su desempeño. Esta prueba no es destructiva, consiste en introducir entre las láminas del ensamble, que es una unión por traslape, un cincel o un desarmador de aproximadamente 20 – 30 cm, a cada uno de los lados de cada punto de soldadura, golpeándolo con un martillo, esto si la soldadura es falsa, en las láminas del ensamble se desprenderá y de esta manera se dan cuenta que aunque el punto este marcado como si existiera la unión, la coalescencia no ocurrió. Generando un plan de reacción que consiste en contener las piezas que se produjeron entre esta prueba y la anterior las cuales serán verificadas en su totalidad y se realizaran ajustes en los parámetros o los cambios de elementos de desgaste del proceso. En el caso de comprobar que la soldadura este bien, la parte deformada por el efecto de esta prueba se realiza una operación llamada de planchado y se realiza generalmente con el mismo martillo y herramientas de hojalatería. Ver figura 14.

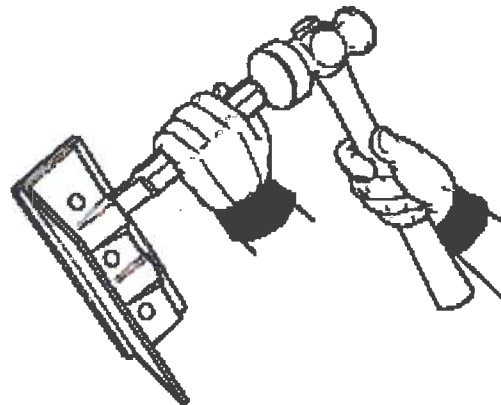


Figura 14

Prueba de cincel y martillo, no destructiva.

Otro método no destructivo que se emplea en la línea de producción es la técnica de ultrasonido que aproximadamente en la última década se ha mejorado con el desarrollo de la computación para facilitar la inspección, pero requiere personal altamente entrenado y capacitado y aun se encuentra cierta resistencia en el medio para el empleo de esta técnica. Pero la ventaja principal, es la de detectar defectos

interno que aunque no estén mencionados en las especificaciones, pueden ayudar a mejorar el proceso al corregirlos estos defectos son grietas y poros internos. Ver foto 8 A y B. Y sobre todo la economía por no tener que destruir piezas y además la seguridad y salud del personal que realiza las pruebas destructivas.

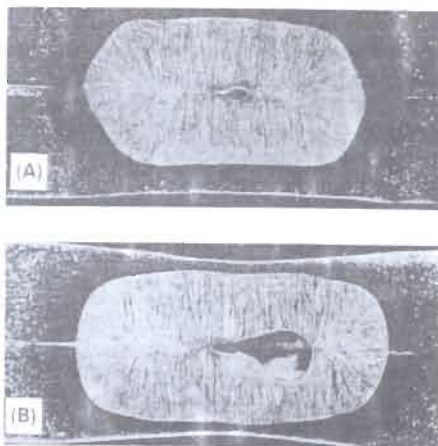


Foto 8, A y B.

Poros en soldadura de puntos, corte transversal.

10.3 Prueba Destructiva Cincel y Martillo.

La prueba destructiva más empleada para verificar la integridad de la soldadura es la prueba de cincel y martillo que al igual que la no destructiva esta si se lleva hasta el desprendimiento de una de las láminas la cual generara un botón en una de las láminas y un hoyo en la contraparte este botón será medido y se verificara el cumplimiento con la especificación en cuanto al tamaño promedio.

10.4 Prueba de Pelado.

En ensambles grandes y con gran cantidad de puntos también se corta con soplete o equipo de corte por plasma tiras del ensamble que contengan varias soldaduras. Un extremo de una de las láminas se sujeta en un tornillo de banco y con pinzas de presión se estira la otra lámina con el objetivo de separarlas, en una de las láminas se quedara el botón, a esta prueba se le llama prueba de pelado (Peel Test). Ver figura 15 y 16.

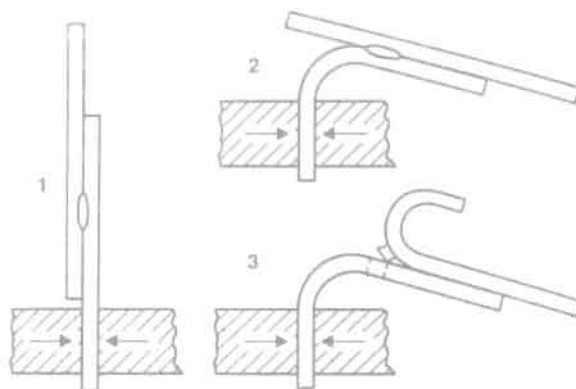


Figura 15
Prueba de pelado.

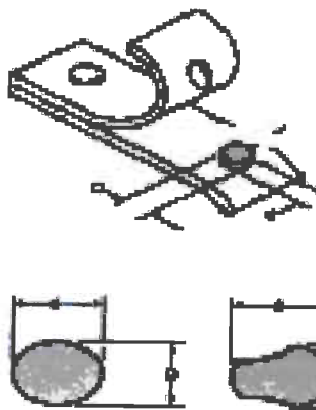


Figura 16.
Medida de Botón de soldadura de punto.

10.5 Prueba Metalográfica.

Es empleada también para medir el área fusionada, pero lleva más tiempo por la preparación del espécimen el cual consiste en realizar corte transversal, con disco abrasivo, al punto de soldadura, al centro, posteriormente se pulirá por diferentes lijas, de mayor a menor tamaño de grano, y atacarla con Nital para posteriormente medir la zona fusionada, la cual deberá de cumplir con el diámetro mínimo del botón especificado, no para evaluar la microestructura.

De esta última prueba, no muy común que se solicite, se puede generar la evaluación metalográfica y Microdureza por escala Knoop o Vickers. Ver figura 17.

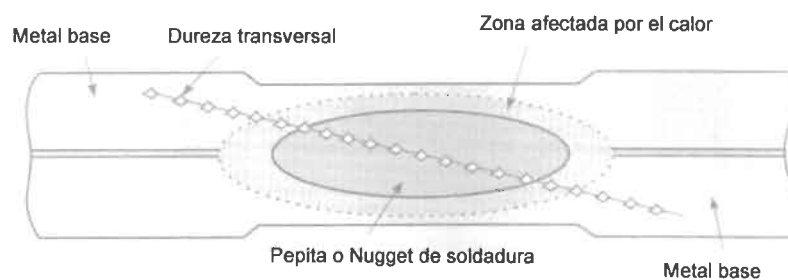


Figura 17

Prueba de Microdureza en espécimen Metalográfico.

10.6 Prueba de Cizallamiento.

Otra prueba que se realiza es la de tensión al cizallamiento para evaluar la carga de corte de la soldadura de puntos, pero es necesario aclarar que los resultados no son criterios de liberación en las especificaciones. Ver figura 18.

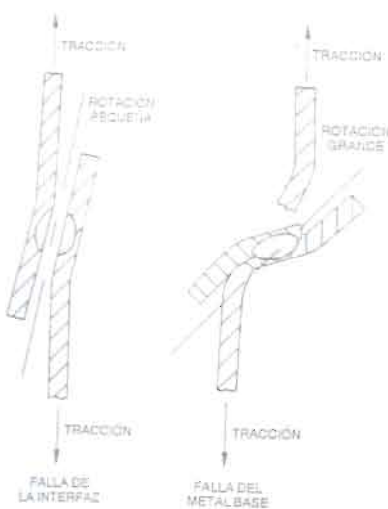


Figura 18

Prueba de Tensión o Cizallamiento, se recomienda ancho de probeta de 25 mm.



Foto 9

Puntos de soldadura de resistencia eléctrica, con exceso de calor e indentados.



Foto 10

Puntos de soldadura al borde y con exceso de calor.



Foto 11

Punto de soldadura con grieta al centro.



Foto 12

Punto de soldadura con grieta perimetral.



Foto 13

Punto de soldadura con indentación superior al 50% del espesor de la lámina.



Foto 14

Punto de soldadura falso.

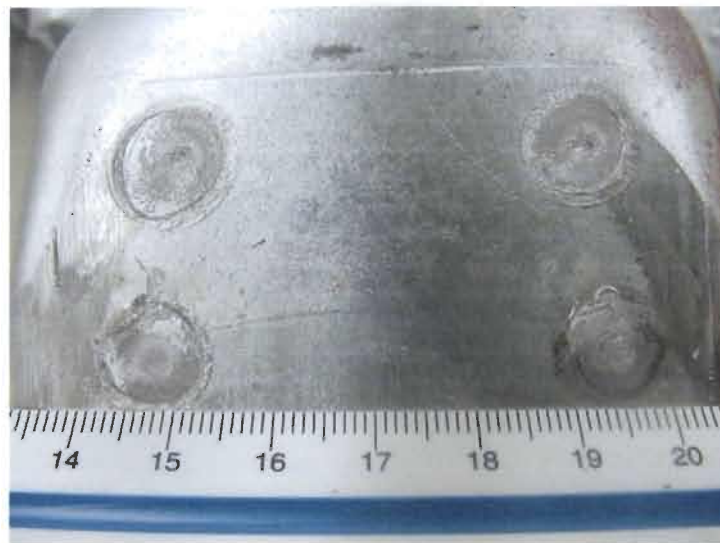


Foto 15

Stick Weld, defecto de soldadura por falta de calor.



Foto 16

Fractura interfacial (Faying Surface), presenta una deformación en lámina de ensamble.

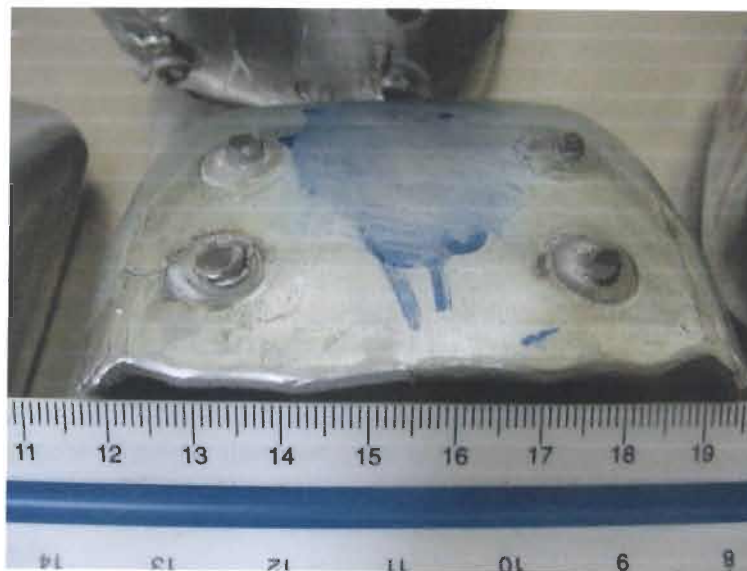


Foto 17

Botón de soldadura, obtenido por prueba destructiva.

11.

Criterios de Calidad de la Soldadura de Puntos por Resistencia Eléctrica.

En este capítulo se explicaran los diferentes criterios existentes en la industria automotriz referente a la calidad de la soldadura de puntos por resistencia eléctrica.

11.1 Tamaño de la Soldadura.

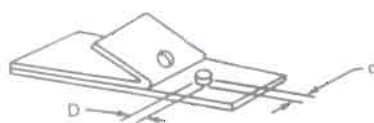
La principal característica de la Soldadura de Puntos, para lo cual es necesario realizar una prueba destructiva que puede ser una prueba de cincel y martillo (chisel test) o una prueba de pelado (peel test), con el objetivo de determinar principalmente si hubo una coalescencia entre los elementos a unir y si el tamaño de la soldadura es el especificado.

La American Welding Society (AWS) en su documento D8.7-88, Recommended Practices for Automotive Weld Quality- Resistance Spot Welding. Menciona en la tabla 2 la relación del espesor de la lámina a unir y el criterio del tamaño mínimo de la soldadura. cabe mencionar que solo se puede considerar con esta tabla espesores iguales de lámina a soldar ya que en este artículo no menciona que criterios debemos seguir si los espesores de las láminas son diferentes o si son de tres láminas, la unión que realizaremos con un punto de soldadura, por lo cual es necesario complementar con otros documentos de esta misma organización para tener este criterio.

En el documento AWS C1.1M/C1.1:2000 Recommended Practices for Resistance Welding, se menciona el término espesor de metal gobernante (governing metal thickness) y se refiere como el espesor de la lámina en que el requerimiento del tamaño de la pepita (nugget) y la profundidad de fusión en una soldadura, esta basada y se toma el espesor de lámina más delgada de la unión así mismo quiero destacar que en esta misma publicación en la tabla 9 de la página 11, en las notas generales, la nota 4 indica que en caso de láminas de diferentes espesores que son soldadas se tomara como criterio, para establecer los parámetros de soldadura el espesor más pequeño así mismo en otro documento de esta misma asociación el AWS C1.4M/C1.4:1999 en la página dos, punto tres define Espesor de material (Material thickness) como el espesor más delgado de dos miembros, es el que será mandatario o gobernará para los requerimientos, cuando son basados en los

espesores. y aun más en el Manual de Soldadura de AWS , octava edición en español menciona el capítulo 17 dedicado a la soldadura de puntos, costura y proyección en la página 573 con el tema de calidad de soldadura, que si no se determina una especificación en cuanto al diámetro de la pepita esta deberá de tener un diámetro de 3.5 a 4 veces el espesor de la lámina exterior más delgada, quiere decir que si tengo una unión de tres láminas debo de tomar en cuenta las láminas exteriores de esa unión, determinar cual es la más delgada y en base a eso deberá calcular el diámetro de la pepita (nugget) o bien determinarlo en la tabla 2 ya mencionada y que se reproduce aquí. Como tabla 1.

Table 2
Minimum Weld Diameter for
Automotive Resistance Spot Welds



Material Thickness		Weld Diameter	
in.	mm	in.	mm
0.015 - 0.024	0.38 - 0.62	0.12	3.0
0.025 - 0.034	0.63 - 0.87	0.15	3.8
0.035 - 0.044	0.88 - 1.13	0.17	4.3
0.045 - 0.054	1.14 - 1.38	0.20	5.1
0.055 - 0.064	1.39 - 1.64	0.21	5.3
0.065 - 0.074	1.65 - 1.89	0.22	5.6
0.075 - 0.084	1.90 - 2.14	0.24	6.1
0.085 - 0.099	2.15 - 2.52	0.26	6.6
0.100 - 0.114	2.53 - 2.91	0.28	7.1
0.115 - 0.129	2.92 - 3.29	0.29	7.4
0.130 - 0.144	3.30 - 3.67	0.30	7.6
0.145 - 0.159	3.68 - 4.05	0.32	8.1
0.160 - 0.174	4.06 - 4.22	0.33	8.4

Notes:

1. Average diameter = $\frac{D + d}{2}$ as obtained from a peel test.
2. The minimum weld diameter is intended as a point to initiate maintenance. There can be useful engineering properties below this point.

Tabla 1

Indica el tamaño mínimo de la soldadura en relación al espesor de la lámina. Es muy importante mencionar que después de una prueba destructiva para la evaluación de este tipo de soldadura se espera obtener un botón el cual debemos de

medir según procedimiento con un vernier tomar dos medidas una horizontal y otra vertical, obtener el promedio y compararlo con la tabla ya mencionada, el botón en si es el resultado de la fractura perimetral en un punto de soldadura de una de las láminas, y es en si la evidencia física de la existencia de una unión o fusión de las dos o tres láminas según sea el caso, pero también se define el tamaño mínimo de la soldadura, en el punto 2.4 de AWS D8.7-88.

Como el tamaño del botón es producto de la prueba destructiva de cincel y el tamaño de la pepita (nugget), producto de la prueba metalográfica, y que esta debe de ser igual o mayor a los valores de la tabla 1 mostrada en este documento. Cabe aclarar que en la prueba destructiva, como resultado, no siempre obtendremos el botón para medir, ya que existe otro modo de falla donde se fracturara la soldadura en forma horizontal y se confunde con la no existencia de coalescencia, es muy importante distinguir que esta soldadura esta fracturada y se le llama fractura interfacial y que es evidente que existió una área fusionada que debe de medirse y compararse con los valores mínimos del tamaño del botón, también puede ocurrir una fractura interfacial con la formación de un pequeño botón y que al igual que la anterior es evidencia de un área fusionada por lo que se recomienda realizar una prueba, mediante el análisis metalográfico, para determinar si existió la coalescencia y la medida del diámetro de la pepita (nugget). Podemos agregar que al presentar esta tipo de fractura interfacial en la soldadura, se acompaña por una deformación en las láminas unidas por este proceso y esto es evidencia de que si presento unión.

11.1.1 Penetración.

Es un termino no muy usual en este proceso de soldadura y aunque la resistencia mecánica depende tanto del tamaño de la soldadura como de la penetración de esta, se le da más importancia al tamaño y en los documentos revisados de esta asociación no se encontró un tema referente a este criterio de calidad solo en el manual de soldadura en el capítulo 17 dedicado a este proceso se menciona que la penetración es la profundidad hasta la que se extiende la pepita (nugget) de soldadura en las que se están soldando. En general, se considera como aceptable un mínimo de 20% de penetración del espesor de la pieza más delgada si no lo alcanza se considera con el término de soldadura fría ya que el calor generado en la zona interna de la unión fue

insuficiente. Normalmente también se pide un máximo de penetración siendo este un 80% del espesor de la pieza más delgada una penetración excesiva produce expulsión de material y algunos otros defectos que más adelante se mencionaran. Ver foto 18 A, B y C de ejemplos de penetración.

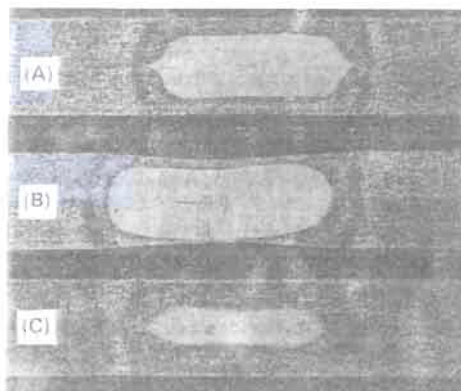


Foto 18

Ejemplos de Penetración.

11.1.2 Indentación.

Otro punto importante que refleja la resistencia del material es la indentación, definida como la pérdida de espesor y depresión, causada por el electrodo en el proceso de soldadura de puntos por resistencia eléctrica. Y el cual no deberá de exceder del 25% del espesor de la lámina más pequeña, según AWS D8.7-88. Ver figura 19.

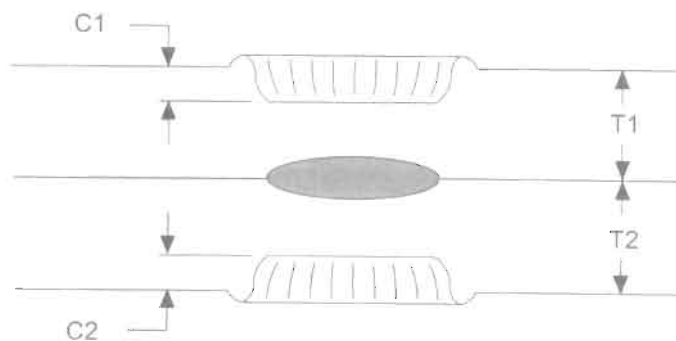


Figura 19

Indentación mostrada con la indicación C1 y C2

Es conveniente mencionar que esta característica, es más estricta según la posición del ensamble en un vehículo, ya que mencionan tres tipos de clases de acabados para puntos de soldadura que a continuación se mencionan.

Clase I. Son puntos que están localizados en láminas que son expuestas a la vista del cliente y no deben de llevar ningún tipo de marca, indentaciones o imperfecciones.

Clase II. Estos son los puntos que eventualmente son visibles, y por lo general son localizados en los interiores de las puertas, cajuela o cofres de los vehículos es decir solo cuando abrimos una puerta estos se pueden ver.

Clase III. Estos puntos no están al alcance de la vista y pueden aplicar ampliamente todos los criterios de calidad que aquí se exponen.

Esta clasificación es igual para todas las organizaciones que se mencionan aquí sus especificaciones.

11.2 Tamaño de Soldadura para General Motors.

Para este caso se aplica la especificación GM 4488M -1998 donde menciona en cuanto a estos criterios, tamaño de soldadura e indentación, ya que no contempla con ningún criterio la penetración. Por lo que solo nos enfocaremos a estos tópicos.

Se presenta una tabla que enseguida se reproduce como tabla 2, esta de acuerdo al espesor más delgado de la unión en un juego de dos láminas a unir y en caso de más de esta cantidad de láminas se deberá de tomar como el espesor de lámina gobernante para parámetros y criterios de tamaño de soldadura el segundo más delgado. Cualquier tamaño de soldadura, diámetro de botón o área fundida menor a las cantidades mostradas en la tabla será considerada como discrepante, por lo que reconoce que no siempre se puede formar un botón y que en ocasiones será necesario realizar un examen metalográfico para determinar el área fusionada si esta cumple con los valores de la tabla será considerada como una soldadura satisfactoria. Ver tabla 2. Los métodos para realizar esta prueba destructiva de evaluación de la soldadura son iguales a los mencionados por la American Welding Society y que se describen detalladamente en el capítulo correspondiente a Inspección y pruebas de soldadura de puntos por resistencia eléctrica

**TABLE 1 - MINIMUM WELD SIZE FOR
RESISTANCE SPOT WELDS**

Metal Thickness Thinnest Sheet	Dia of Button or Fused Area
mm	mm
0.40 – 0.59	3.0
0.60 – 0.79	3.5
0.80 – 1.39	4.0
1.40 – 1.99	4.5
2.00 – 2.49	5.0
2.50 – 2.99	5.5
3.00 – 3.49	6.0
3.50 – 3.99	6.5
4.00 – 4.50	7.0

NOTE 1: To determine the minimum weld size for a two metal

Tabla 2

Criterios del tamaño de soldadura relacionados con el espesor de las láminas. Para el caso de la indentación General Motors, considera que no debe de exceder de un 50% del espesor individual de cada lámina, podemos notar que existe una diferencia significativa contra el criterio de AWS, aplica los mismos criterios en cuanto a la clasificación de la soldadura por su apariencia y localización. Es decir este concepto prácticamente no aplicaría para puntos Clase I, en el lado que esta expuesto a la vista.

11.3 Tamaño de Soldadura para Chrysler.

Chrysler, aplica la especificación número PS-9471, donde menciona como uno de los principales criterios de aceptación el tamaño de la soldadura concordando con las anteriores especificaciones, la prueba destructiva Peel Test , chisel Test son reconocidas para evaluar el tamaño de la soldadura a través de medir un botón o a través de medir el área fusionada, tamaño de la soldadura por una prueba metalográfica, y si el tamaño cumple con los valores expuestos en la tabla uno, dos, tres y cuatro de esta especificación. Se considera como aceptable, lo que si es muy clara al no aceptar las fracturas interfaciales de la soldadura y además complementa con una penetración no menor del 20 % del espesor de las láminas a unir pero no

especifica el máximo como referencia la AWS recomienda como máximo no más del 80%.

El tamaño de la soldadura satisfactoria, para la unión de láminas de dos espesores se toma el espesor menor y para tres láminas se obtiene del espesor del medio, de los dos más delgados y en las tablas, según el acero, se obtiene el diámetro mínimo del tamaño de soldadura o del botón.

1.- Espesor de lámina mm	2.- Diámetro min. Pepita(nugget) en mm	3.- Diámetro min. Pepita(nugget) en mm
0.64	3.1	3.1
0.76	3.6	3.6
0.89	4.1	4.1
1.02	4.3	4.3
1.14	5.1	5.1
1.27	5.2	5.2
1.40	5.3	5.3
1.52	5.4	5.4
1.78	5.6	5.6
1.98	6.1	6.1
2.29	6.6	-
2.67	7.1	-
3.05	7.4	-

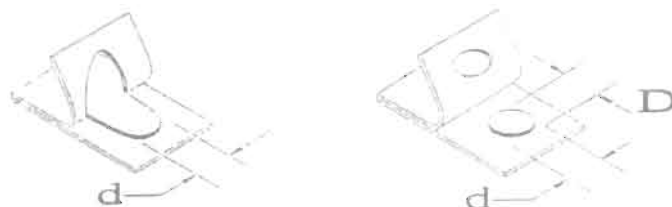
Tabla 3

Relación de espesor de las láminas contra diámetro de pepita (nugget) mínimo aceptable, para la columna dos se emplea, para lámina de acero sin recubrimiento y con recubrimiento Galvanneal. Para la columna tres es usada en el caso de aceros bajo carbono o HSLA con recubrimiento Galvanizado.

11.4 Tamaño de Soldadura para Ford.

Para el caso de Ford, en la especificación ES-5G13-1N 261-AC menciona puntos similares a los anteriores en cuanto a el diámetro del botón espesores gobernantes de la láminas en caso de ser uniones de tres láminas para establecer el criterio del diámetro promedio del botón o del tamaño de la soldadura, pero menciona algo muy importante en cuanto a este criterio y es que en espesores mayores de 2.4 mm es posible que no se forme un botón y que pueda fracturar la soldadura, fractura interfacial, pero sin embargo puede dejar evidencia de la coalescencia, si esta acompañada de deformación y libre de poros, esto sólo para uniones de láminas de acero, por que para uniones de aluminio rotundamente debe de dejar un botón el cual deberá de ser medido según procedimientos ya descritos con anterioridad, otro punto importante que deberá de mencionarse, es que establece en los criterios, términos como son, diámetro mínimo satisfactorio y diámetro mínimo bajo tamaño este último se explica que si por alguna razón una soldadura queda por debajo del diámetro mínimo satisfactorio, pudiera pasarla si cumple estando con el diámetro por encima del diámetro mínimo subestandar, bajo tamaño, siempre que cumpla con el criterio del grupo de soldadura, de un 20% con está condición. En cuanto a la penetración no se encontró algún dato como criterio que deberá de cumplir la soldadura en la especificación ya mencionada. Ver tabla 4.

ALUM. WELD BUTTON SIZE FOR MILD, LAMINATED, AND HSLA STEELS LESS THAN 4
MINIMUM ULTIMATE TENSILE STRENGTH AND FOR ALUMINUM



Min. per ES-YC15-1N260-AA		Required Diameter		
Governing Metal Thickness (mm)	Thickness Approx. (in.)	Setup Reference (mm)	Minimum Satisfactory (mm)	Minimum Undersize (mm)
0.60	0.024	3.9	3.1	1.5
0.75	0.030	4.3	3.5	1.7
0.90	0.035	4.7	3.8	1.9
1.10	0.043	5.2	4.2	2.1
1.40	0.055	5.9	4.7	2.4
1.60	0.063	6.3	5.1	2.5
1.90	0.075	6.9	5.5	2.8
2.40	0.094	7.7	6.2	3.1
Fused Nugget Diameter for Steels				
2.80	0.110	8.4	6.7	3.3
3.20	0.126	8.9	7.2	3.6
3.60	0.142	9.5	7.6	3.8
4.00	0.157	10.0	8.0	4.0
4.40	0.174	10.5	8.4	4.2

Tabla 4

La indentación para Ford, indica un máximo de 25% para puntos de soldadura clase 3, 15% para clase 2 y no más del 10% para clase 1. Estas cantidades son iguales que las que menciona la American Welding Society.

11.5 Grietas y hoyos.

Para el caso de las grietas en la soldadura por resistencia eléctrica se presentan de dos tipos en el centro del punto y circunferenciales o perimetrales en el borde del punto. Ninguna organización que de las que aquí se menciona permite estos defectos en la soldadura a excepción de General Motors que solo permite las grietas en el centro de la soldadura, ya que una grieta en el perímetro de la soldadura permitirá que esta se fracture dejando un botón, el cual puede ser evaluado como una

soldadura buena. Los hoyos en la soldadura no están permitidos bajo ninguna circunstancia por ninguna organización.

11.6 Puntos distorsionados.

Los puntos distorsionados se deben principalmente a una mala alineación de los electrodos o en operaciones manuales debido a una mala ergonomía de los equipos y que le permite al operador del equipo de soldar, en cierto momento, durante el ciclo de soldadura mover la pistola ocasionando un cambio en la planicidad de la superficie del ensamble.

La American Welding Society, menciona que la distorsión no debe de ser más de 30°, General Motors pide no más de 25° y Chrysler pide no mas de dos veces el espesor gobernante. La distorsión se muestra en la figura 20.

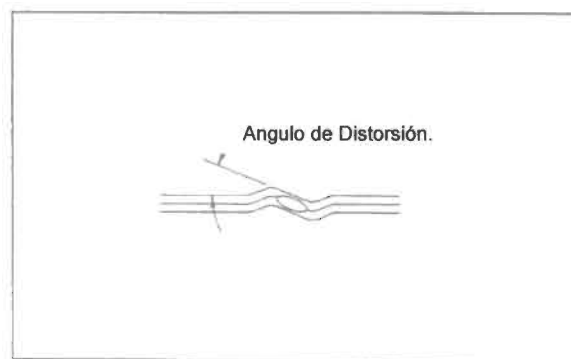


Figura 20

Angulo de distorsión en soldadura de Puntos.

En este punto es muy importante mencionar que se relaciona con la apariencia de los ensambles, generando que exista, las clases de soldadura en cuanto al acabado, ya que para la Clase I y Clase II no se permiten marcas de soldadura ni alrededor de estas que den mala apariencia y por consiguiente solo lo estaríamos permitiendo para la Clase III, para el caso de Ford no permite distorsión para los dos primeras Clases de soldadura de acuerdo a su apariencia a excepción del tipo III que mientras no afecte la integridad de la soldadura permite la distorsión de la soldadura. Sin mencionar ningún grado o medida de este defecto.

11.7 Soldadura Faltante. Esta no conformidad en un ensamble es considerado como defecto y las especificaciones de todas las organizaciones no lo permiten.

11.8 Puntos al Borde. Debido a la unión de traslape y en procesos manuales donde se emplea este tipo de soldadura, es muy común encontrar puntos que una parte de estos quedan fuera de la unión, llamando a estos puntos de soldadura al borde. Existen diferentes criterios en cuanto a este defecto. Para General Motors, considera como defecto si el punto de soldadura al borde se abre y pierde la figura tal como se muestra en la figura 21.

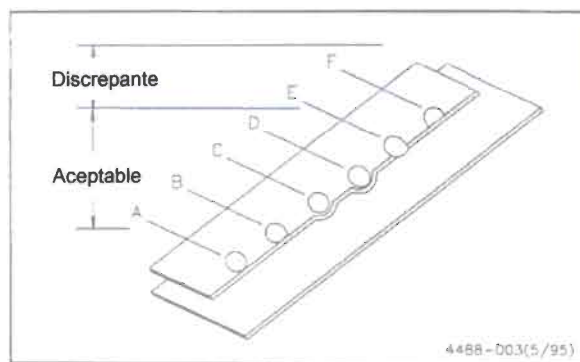


Figura 21

Criterios sobre soldadura al borde, para GM.

Los puntos de soldadura aceptables son los que no se han abierto o perdido su figura como se muestra en la figura de la letra A a la D, y los discrepantes son los de las letras E y F. En el caso de Ford permite el 20% del diámetro de la soldadura fuera o al borde como se muestra en figura 22, este criterio es para el caso de las soldaduras clase III, y para el caso de Chrysler como para el caso de la American Welding Society, lo consideran como insatisfactorio cualquier punto que se encuentre en la orilla y que deforme esta, ver figura 23.

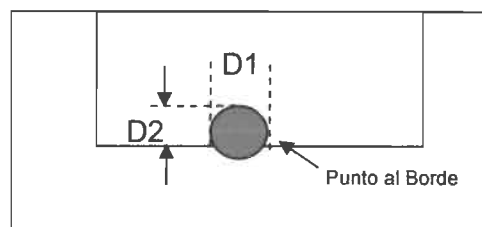


Figura 22

Criterio de aceptación para Ford, no más del 20% del diámetro del punto.

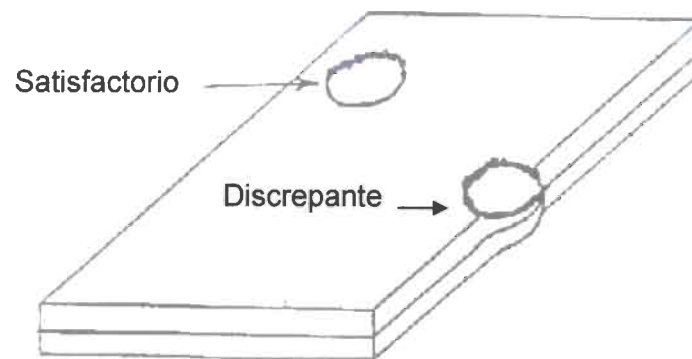


Figura 23

Criterio de aceptación o rechazo de Chrysler.

11.9 Grupos de Soldadura.

Existe un criterio general en el que se puede permitir, según sea el caso y esto de común acuerdo entre el cliente y proveedor, puntos de soldadura discrepantes por el criterio de grupos de soldadura. Se define grupo de soldadura al conjunto de puntos que unen dos piezas y que son colocados en un lado dado del ensamble no interrumpidos por un espacio y que generalmente respetan los mismos espesores ya que un cambio en el espesor o en el número de láminas a unir cambian el criterio de grupo, y en algunas ocasiones según negociación puede cambiar, si cambia la posición de la pistola o la pistola de soldar. Por eso es muy importante que quede establecido por el diseñador en el dibujo de soldadura.

Para la American Welding Society y para Chrysler no lo mencionan en sus especificaciones y solo se refieren a que debe de ser una negociación entre el diseñador o ingeniero de producto y el fabricante. Pero para el caso de General Motors y de Ford, el criterio queda establecido en tablas de referencia según sea la cantidad de puntos considerados en cada grupo y la cantidad de grupos definidos en un ensamble. Ver tabla 6, donde se muestra el criterio de General Motors. Y que este criterio aplicara a menos que se diga lo contrario en el dibujo de soldadura del ensamble de GM.

Tamaño del grupo De soldadura	Número de soldaduras aceptables.
2	1
3	2
4	3
5	4
6	4
7	5
8	6
9	7
10	8

Tabla 5

Número de soldaduras aceptables por grupo según GM.

Si dos soldaduras adyacentes del mismo grupo presentan un defecto, el grupo de soldadura no es conforme. Para grupos de soldadura mayor a 10 se emplean múltiplos de 10, siguiendo la misma tabla. Por ejemplo si tengo un grupo de 25 soldaduras de puntos me aceptarían 20 soldaduras satisfactorias, siempre que las cinco discrepantes no estén adyacentes una de otra.

Ford presenta una tabla similar para grupos de soldaduras, pero incluye una columna, donde especifica las soldaduras aceptables de bajo tamaño, en cuanto al botón, por grupo.

Tamaño del grupo De soldadura.	Número de soldaduras aceptables.	Soldaduras de bajo tamaño aceptables.
1	0	0
2	1	1
3	2	2
4	3	3
5	4	4
6	4	5
7	5	6
8	6	6
9	6	7
10	8	8
11	9	9
n	0.7 x n	0.8 x n

Tabla 6

Criterios de aceptación por grupo de soldadura para Ford.

Cabe aclarar que las especificaciones de las industrias del ramo automotriz, cuentan con un apartado para la reparación de los puntos discrepantes por métodos autorizados por ellos mismos y que van desde agregar un punto extra hasta realizarlo con soldadura GMAW, según sea el caso.

Tabla 7. Referencia cruzada de defectos en soldadura de puntos por resistencia eléctrica.

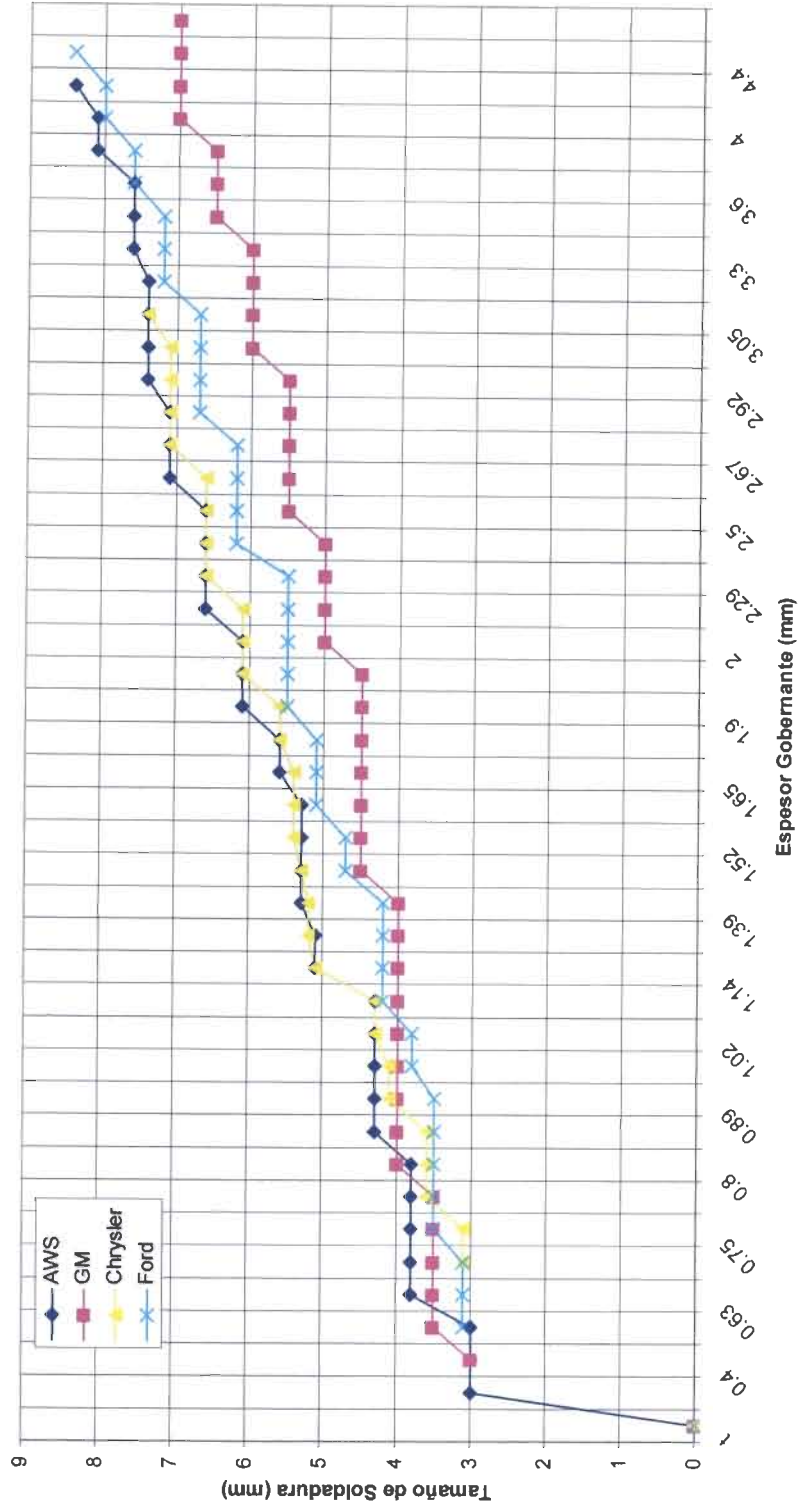
Defecto	AWS	GM	Chrysler	Ford
Grietas.	No se permiten.	No se permite la perimetral, solo en el centro	No se permiten.	No se permiten.
Hoyos.	No se permiten.	No se permiten.	No se permiten.	No se permiten.
Soldadura al borde.	No se permite.	No debe de perder la forma del borde del punto.	No se permiten.	80% del área del punto debe de estar dentro.
Distorsión.	No más de 30°.	No más de 25°	No mas de dos veces el espesor gobernante.	Se permite mientras no afecte, la integridad de la soldadura.
Indentación.	No más del 25%.	No más del 50%.	No más del 30%.	No más del 25%.
Localización.	No menciona.	10 a 20 mm de lo que se señale en dibujo.	6.4 mm de lo que se señale en dibujo.	15 mm máximo de lo que se señale en dibujo.
Cantidad.	No menciona.	No debe de faltar, ni tener puntos extras.	No debe de faltar, ni tener puntos extras.	No debe de faltar, ni tener puntos extras.

Tabla 8. Referencia cruzada de Tamaño de soldadura de puntos por resistencia eléctrica.

AWS D8.7-88		GM		Chrysler		Ford	
GMT (mm)	Diámetro mm	GMT (mm)	Diámetro mm	GMT (mm)	Diámetro mm	GMT (mm)	Diámetro mm
0.38-0.62	3.0	0.40-0.59	3.0	0.64	3.1	0.60	3.1
0.63-0.87	3.8	0.60-0.79	3.5	0.76	3.6	0.75	3.5
0.88-1.13	4.3	0.80-1.39	4.0	0.89	4.1	0.90	3.8
1.14-1.38	5.1	1.40-1.99	4.5	1.02	4.3	1.10	4.2
1.39-1.64	5.3	2.00-2.49	5.0	1.14	5.1	1.40	4.7
1.65-1.89	5.6	2.50-2.99	5.5	1.27	5.2	1.60	5.1
1.90-2.14	6.1	3.00-3.49	6.0	1.40	5.3	1.90	5.5
2.15-2.52	6.6	3.50-3.99	6.5	1.52	5.4	2.40	6.2
2.53-2.91	7.1	4.00-4.50	7.0	1.78	5.6	2.80	6.7
2.92-3.29	7.4			1.98	6.1	3.20	7.2
3.30-3.67	7.6			2.29	6.6	3.60	7.6
3.68-4.05	8.1			2.67	7.1	4.00	8.0
4.06-4.22	8.4			3.05	7.4	4.40	8.4

GMT = Espesor de Metal Gobernante (Gobernal Metal Thickness)

Soldadura de Puntos por Resistencia Eléctrica



12.

Conclusión.

Los criterios como el tamaño de soldadura, indentación y penetración son los más importantes desde el punto de vista de resistencia mecánica del material que fue unido bajo este proceso, podemos observar que existen diferentes criterios referente a estos puntos, si pensamos solamente en el tamaño del botón o de la pepita (nugget) la diferencia entre el diámetro promedio que no es muy significativa, pero se pudieran establecer rangos y especificaciones internas de un empresa que manufactura y que cumplan con las especificaciones de estas empresas automotrices, en el caso de la indentación hay variación del 25% en la pérdida de espesor, que es significativo entre el criterio de General Motors y el resto de las organizaciones, esta característica es muy importante ya que la pérdida de espesor por el proceso de soldadura esta directamente relacionado con la cantidad de material que se puede probar en el ensayo de cizallamiento, es decir que podemos esperar menor fuerza en un material que esta siendo soldado con una especificación de General Motors, además de no tener un criterio en cuanto a la penetración de la soldadura en la especificación aquí mencionada como en mínimo 20% y máximo 80% que si lo presentan en las especificaciones del resto de las organizaciones.

Existen otros defectos que ninguna especificación contempla como son los poros internos, y esto es debido a que aun así al realizar la prueba de cincel y martillo, se espera que fracture perimetralmente en la soldadura generando un botón, pero en algunos aceros tales como los de alta resistencia y de espesores mayores a 2.4 mm según menciona Ford, es posible que el botón no aparezca, rompiéndose la soldadura llamando a esto fractura interfacial y en la cual es permitido medir la zona donde exista evidencia de fusión y distorsión en el material, al igual que las demás organizaciones mencionan lo mismo pero sin especificar en que tipo de aceros o en que condiciones, aquí la evidencia clave para determinar si existió o no coalescencia entre los materiales a unir, será la deformación que presenta el material al ser jalado

o al forzar la soldadura para desprenderla, con esto se demuestra que la soldadura aunque no rompa generando un botón, quiere decir que al menos presenta mayor resistencia mecánica que el esfuerzo de cedencia del material base.

La cantidad de puntos, los puntos al borde y los puntos pequeños son muy importantes ya que representa la magnitud del área fusionada y que en dado momento es en esta donde estarán los esfuerzos y que saliendo de este concepto incurrimos en el no cumplimiento de la especificación y en el incumplimiento del diseño.

Los defectos como grietas y hoyos son una parte de la soldadura que no esta unida o se perdió material, además de que pudiesen ser entradas de agua al interior del vehículo o puntos donde inicie la corrosión o dependiendo de la clase de la soldadura, resultaría en una mala apariencia entrando en este concepto también los puntos distorsionados.

Existen en el medio otro concepto que al igual que los poros internos no están dentro de las especificaciones y se refiere a los puntos con exceso de calor, en este caso tendríamos mayor crecimiento de grano y área mas débil mecánicamente, aunque, no está especificado ningún criterio dentro de la normativa. En la actualidad con la introducción de los aceros de ultralta resistencia, a la línea de producción, con el objetivo de aligerar el peso del vehículo y disminuir el consumo de combustible, se deberá de revisar las especificaciones referente a este tema, y tomar en cuenta las pruebas mecánicas y metalografías, ya que son aceros de más alto contenido de carbón y Manganeso por lo cual tendremos transformaciones a otras estructuras metalúrgicas como por ejemplo martensita, bainita y perlita, para el caso de martensita que no alcance a revenir por la velocidad de enfriamiento, se tendrá una zona de alto riesgo por la dureza y fragilidad propia de esta estructura.

Lo anterior puede ser demostrado con una investigación, cuyos resultados impactarían sobre la calidad y las especificaciones de este proceso de soldadura en la industria automotriz.

En cuanto al tamaño de la soldadura, al analizar la grafica 4 que se muestra en el capitulo anterior se puede concluir mencionando que la especificación de la AWS sobre el tema, es la más estricta, ya que pide la soldadura más grande y por lo tanto

si nos regimos bajo esta, podemos cumplir en la mayoría de los rangos, en cuanto a espesor, de las especificaciones que aquí se mencionan.

13.

BIBLIOGRAFÍA.

1. ANSI/AWS D8.7-88
SAE J-1188
An American Nacional Standard
Recommended Practices for
Automotive Weld Quality – Resistance
Spot Welding.
2. Ford – Engineering Specification
ES-5G13-1N 261-AC
Rev. 5/22/2003
Specification – Spot Weld Resistance.
3. General Motors Engineering Standard
GM 4488M
Rev. August 1995
Automotive Resistance Spot Welds.
4. Chrysler Corporation Process Standard
PS-9471
Change A
Resistance Spot Welding Automotive
Components.
5. ANSI/AWS/SAE/D8.9-97
American Nacional Standard
And Recocmmended Practices for Test
Methods for Evaluating the Resistance
Spot Welding Behavior of Automotive
Sheet Steel Materials
6. American Welding Society.
Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A.
Segunda Edicion.
Manual de Soldadura Moderna.
Tomo II
Howard B. Cary