

302917

13
29



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

ESCUELA DE INGENIERIA
con estudios incorporados a la
Universidad Nacional Autónoma de México

SOLDADURA EN ZINALCO

T E S I S

Que para obtener el Título de
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
AREA INGENIERIA MECANICA

presenta

EDUARDO JACOBO ORTEGA CHAVEZ

México, D. F.

... CON
FALLA DE ORIGEN

1988



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TEMARIO

1. INTRODUCCION.

1.1 Principios fundamentales.	1
1.2 Soldadura por puntos.	3
1.3 Soldadura de costura por rodillos.	7
1.4 El Zinalco.	11

2. METODO EXPERIMENTAL.

2.1 Laminado del Zinalco.	14
2.2 Preparado de láminas.	15
2.3 Soldadura por puntos para su observación en el microscopio electrónico.	16
2.4 Preparado de las soldaduras.	18
2.5 Observaciones en el microscopio electrónico.	19
2.6 Soldadura por puntos para pruebas de resistencia mecánica.	27
2.7 Pruebas de resistencia mecánica.	28
2.8 Observaciones en el microscopio electrónico después de las pruebas.	32

3. DISCUSION DE LOS RESULTADOS.

3.1 De las observaciones en el microscopio electrónico.	36
3.2 De las pruebas de resistencia mecánica.	40
3.3 De las observaciones en el microscopio electrónico después de las pruebas de resistencia mecánica.	45

4. CONCLUSIONES.	47
------------------	----

SOLDADURA POR RESISTENCIA.

Principios fundamentales.

- Prácticamente todos los procesos de fabricación por los que pasan las materias primas para convertirse en productos acabados, y que constituyen la tecnología de la producción, pueden dividirse en tres grandes grupos, divididos cada uno a su vez en dos grupos:

Conformación:

- i) Con desprendimiento de viruta.
- ii) Sin desprendimiento de viruta.

Unión:

- i) Desmontable.
- ii) Permanente.

Acabado:

- i) Tratamientos Superficiales.
- ii) Empaquetado y Transporte.

- La conformación es necesariamente previa a la unión, la cual puede ir seguida de la pintura y el empaquetado. Los dos tipos de uniones son complementarios entre sí.

- La sujeción es la unión de materiales por medios metálicos tales como tornillos, espárragos, pasadores, arandelas, chavetas, bulones, ramaches y ganchos. Si el conjunto debe de ser despiezado por cuestiones de mantenimiento u otras razones, es más corriente sujetar que soldar.

- La soldadura, no obstante, es algo más que un proceso de producción. Es también un proceso muy importante de mantenimiento. Algunos de los problemas más difíciles de soldar se presentan en el mantenimiento.

- La soldadura se ha definido comúnmente, como el proceso de unir dos metales por fusión o por efecto del calor. Sin embargo, hemos de recordar que existen procesos de soldadura en los que no se funden los metales, así como procesos de soldadura específicos para materiales no metálicos.

- Por lo anterior, diremos que soldadura "es el proceso de unión de metales y plásticos por métodos que no precisan dispositivos de sujeción".

- Los procesos de soldadura más utilizados se agrupan en cuatro clases generales:

- a) Soldadura por Soplete.
- b) Soldadura por Resistencia Eléctrica.
- c) Soldadura por Arco Eléctrico.
- d) Soldadura por Procedimientos Especiales.

- En el método de soldadura por resistencia se sueldan dos o más piezas de metal por presión y calor, obteniéndose generalmente una soldadura a solape.

- La soldadura por resistencia fue introducida por Thompson en 1887, empleándola en la fabricación en serie de las más diversas piezas de trabajo, siendo ya muy frecuente la construcción de tipos especiales de máquinas para las soldaduras por resistencia.

- Existen cuatro tipos de soldadura por resistencia:

a tope, por puntos, de proyección, y soldadura de costuras (utilizando electrodos en forma de rodillos).

Soldadura por puntos.

- La soldadura por puntos es principalmente adecuada para la unión de chapas decapadas (es decir, sin bataduras). No obstante, la chapa negra (palastro) puede soldarse bien especialmente si su superficie no esta sucia u oxidada. Las chapas sucias deben limpiarse antes de soldarse.

- En general, toda chapa de acero revestida puede ser soldada por puntos (chapas galvanizadas, estañadas, plumadas), y bajo determinadas condiciones pueden puntearse ciertas clases de acero de gran calidad. También pueden puntearse el acero al cromoniquel (acero inoxidable), latón, bronce laminado, zinc y sus aleaciones, aluminio y sus aleaciones, y otros.

- En la práctica, la soldadura por puntos tiene un vastísimo campo de aplicación, realizándose soldaduras de:

- puertas de hornos,
- radiadores,
- celosías,
- muebles metálicos,
- carrocerías,
- juguetes,
- fusibles o cortacircuitos,
- piezas de máquinas de escribir,
- toda clase de objetos de chapa o metálicos.

- Gracias a la suficiente capacidad de regulación, apenas existe un mínimo de grosor a soldar, por lo que no hay ninguna dificultad al soldar las chapas o láminas más delgadas. Sin embargo, si existen límites superiores para la posibilidad de ejecución técnica y para la rentabilidad de la soldadura. Para el acero, el límite máximo es de unos 12 mm de espesor del material (24 mm entre las dos placas), aunque en la práctica este espesor rara vez pasa de 20 mm.

- Para metales no férreos, buenos conductores, el límite máximo viene a ser de unos 3 mm de espesor del material (unos 6 mm de espesor total). Sin embargo, pueden ser punteadas dos planchas de distinto espesor y todo un haz de chapas, siempre que se elijan electrodos e intensidad de corriente eléctrica adecuados.

- El tiempo de soldado significará la mayor o menor emigración de calor y, respectivamente, el mayor o menor alabeo de la plancha. Antes de la construcción de las máquinas punteadoras de gran potencia, el tiempo de soldado era un factor sumamente importante, sin embargo, ahora los tiempos para cada punto son extraordinariamente cortos dadas las altas potencias (alcanzándose valores de hasta 1/200 seg).

- La necesidad de una frecuente conexión da lugar a la formación de cráteres quemados por el arco eléctrico de desconexión en las piezas de contacto. Las planchas decapadas son más fáciles de soldar que las corrientes y sucias. Sin embargo, a causa de la resistencia de transición o de paso, se aconseja dar a las superficies de las planchas (en el lugar donde han de producirse las soldaduras) un aspecto lo más áspero posible, pero a los electrodos una superficie lisa.

- La falta de concentración en los trabajos de soldaduras por puntos, trae consigo consecuencias tales como soldaduras parcialmente quemadas, deficientes, no penetrantes; y hasta la quema de los electrodos. Actualmente existen dispositivos adicionales llamados limitadores de soldaduras, que interrumpen la corriente automáticamente cuando la soldadura, aún tratándose de corto tiempo, queda terminada. Existen básicamente 4 tipos diferentes de limitadores de soldaduras:

limitadores de tiempo. son relevadores que reaccionan a un tiempo fijo determinado. El perfeccionamiento de estos limitadores se logra con un interruptor de tiempos de tubos, (un pequeño rectificador con rejilla).

limitadores diferenciales. son relevadores que actúan influidos por la diferencia entre la tensión secundaria en los bornes del transformador de la máquina punteadora (cuando la alimentación de esta es trifásica) y la de los electrodos.

limitadores de intensidad. son relevadores que reaccionan según la corriente de la soldadura que aumenta en consecuencia.

limitadores de energía. funcionan como un contador.

- La forma de los electrodos se elige según el material que ha de soldarse y la colocación de los puntos soldados. El material de los electrodos es, por lo general, cobre aleado con muy pequeñas cantidades de berilio, cadmio, circonio, cobalto, cromo, plata, volframio u otros metales. Para aluminio, y generalmente para metales ligeros, deben utilizarse electrodos de

cobre puro no aleados.

- La presión de la soldadura se obtiene por pedal o por fuerza motriz y es regulada de tal manera por un resorte, que su presión previa graduable determina la fuerza de los electrodos y la mantiene siempre constante. La presión de la soldadura depende del espesor y de la clase del material, debiendo aumentar la presión conforme aumente el peso específico del metal. Para metales no féreos buenos conductores como cobre, latón o zinc, puede efectuarse la soldadura con una presión baja, aunque en estos casos se necesitará una mayor cantidad de corriente.

- Si se opera con una presión excesiva, disminuirá la resistencia utilizable en el lugar de la soldadura. Si por el contrario, se opera ejerciendo una presión demasiado pequeña, se originará un aumento de corriente que producirá chispas en el lugar de la soldadura; o bien, se cerrará el circuito de soldar antes de que se haya obtenido el íntimo contacto de los metales, lo que dará lugar a un requemado y a la formación de orificios en ambos lados de las planchas.

- El empleo de planchas grasientas o sucias, son muchas veces causas de perturbaciones, tales como el desprendimiento de partículas quemadas de los cráteres que producen uniones sucias y de escaso valor.

- A su vez, es importante que el metal quede en íntimo contacto durante un corto espacio de tiempo después de la soldadura, para que el metal fundido se solidifique antes de que disminuya la presión de los electrodos. Esto sucede generalmente ya que entre el cierre del circuito y la presión de soldar (accionada

por el pedal) se produce automáticamente una pausa.

- Los puntos de la soldadura pueden disponerse de cualquier manera, según sean las necesidades: en una fila, en dos filas, en zig-zag, en posición paralela, etc. La distancia entre los puntos se determina por la misma forma de las planchas y por los esfuerzos a los que va a estar sometida la soldadura; sin embargo, no es recomendable rebasar una distancia mínima entre puntos dado que la corriente de soldar necesaria para el siguiente punto varía sin poder ser regulada, debido a que una parte de la misma se desviará por los puntos terminados.

Soldadura de costura con rodillos.

- La soldadura de costura deriva directamente de la soldadura con puntos, y el campo de aplicación es prácticamente el mismo, aunque es necesario aclarar que el espesor máximo permitido será para este caso de 5 mm totales (para planchas de acero, 2.5 mm cada una). Para metales no féreos buenos conductores, la soldadura también es posible (máx. 3 mm tot.), gracias en parte a la introducción de de las máquinas gobernadas por rejilla.

- La idea de la soldadura de costura nació de la necesidad de unir los puntos de soldadura de una manera eficaz, y así se substituyeron los electrodos de punta por electrodos rodantes o de forma de disco, pasando entre ellos las chapas o planchas a soldar. De esta manera, sólo es necesario accionar una vez el brazo de la palanca para toda la costura, y no accionarlo una vez para cada punto.

- Existen básicamente tres métodos diferentes de soldar costuras:

i- los rodillos giran uniformemente sin interrupción, estando la corriente siempre conectada (método más antiguo).

ii- los rodillos giran uniformemente sin interrupción, siendo interrumpida la corriente.

iii- los rodillos y la corriente se interrumpen con regularidad.

- El primer método (en desuso prácticamente), tiene tres grandes desventajas: un límite máximo de espesor de las planchas de 1 mm (ya limpias y decapadas), un límite máximo pequeño en la longitud total de las costuras (300 mm), y una velocidad de soldado pequeña (máx. 30 mm/seg). Además, diferencias de tensión incluso muy pequeñas ocasionan soldaduras defectuosas.

- El segundo método es mucho más ventajoso, ya que las diferencias de tensión no ocasionarán deficiencias, las planchas o chapas de acero pueden tener hasta 4 mm de espesor total, no importan las batiduras en el material, y pueden obtenerse costuras mucho más largas que en el método anterior.

- El tercer método surge de los dos primeros, llamado soldadura a paso con rodillos. La esencia de esta soldadura, consiste en dejar que los rodillos continúen bajo presión aún después de haberse efectuado la soldadura, esto es, hasta que el punto soldado haya solidificado. Enseguida se continúa el movimiento de los

rodillos sin corriente hasta el siguiente punto a soldar, se conecta la corriente y se efectúa la soldadura.

- Los rodillos pueden ser movidos manualmente (para costuras cortas), o en forma automática. Pueden estar colocados en forma paralela con respecto a sus brazos (costuras cortas) o en forma transversal. Por regla general, el electrodo superior es accionado automáticamente, y el inferior se mueve por fricción (rodillo arrastrado).

- Cuando se trata de soldaduras de metales ligeros, en cambio, es necesario accionar también el rodillo inferior, porque la fuerza de fricción por sí sola no bastaría para arrastrar este rodillo, y se producirían fugas en la soldadura o quemaduras. Por supuesto, se debe de asegurar el que la velocidad periférica de ambos rodillos sea la misma.

- Generalmente se sueldan placas de igual espesor en las soldaduras de costura; sin embargo, es posible el unir planchas de espesor diferente siempre y cuando tal diferencia de espesores no exceda del 50%.

- Siendo así, se sueldan de manera muy satisfactoria:

- latas de conserva de hojalata,
- artículos esmaltados
- depósitos de líquidos.
- recipientes de acero,
- grifos,
- tubos,
- radiadores,
- cajas de transformadores,

- moldes de hielo,
- llantas para ruedas.
- otros.

- La velocidad de soldar depende de la potencia de la máquina, del espesor de las planchas, del material en si, de su espesor y de la constitución de su superficie. El gasto de corriente oscila normalmente entre 6 y 30 kVA, pero existen máquinas de alto rendimiento con gasto de hasta 200 kVA.

EL ZINALCO

- El Zinalco es una aleación desarrollada en el Instituto de Investigación en Materiales (IIM) de la UNAM, basada en zinc, que combina la alta resistencia mecánica de un acero estructural con la buena resistencia a la corrosión que presenta el aluminio, y con un peso específico intermedio entre ambos. Esta combinación de propiedades, aunado al bajo precio de la aleación, lo hacen apto para competir en el campo de aplicaciones del aluminio 6063.

- El nombre "Zinalco" es una marca registrada a favor de la UNAM, que cubre una variedad de aleaciones basadas en zinc, con propiedades sumamente atractivas y novedosas. Una de estas posibles aplicaciones para esta aleación está en la sustitución de las aleaciones de aluminio en donde la resistencia a la corrosión juega un papel más importante que la ligereza, en donde el aluminio por su bajo costo de mantenimiento se ha convertido en un material imprescindible, aumentando la dependencia de México con las materias primas extranjeras ya que en nuestro país no existe la bauxita, que es la materia prima convencional para la producción de aluminio.

- Por otra parte, el zinc ha sido hasta ahora un material subutilizado y de bajo precio, del cual México es un productor a nivel mundial. Consciente de este problema, el IIM de la UNAM desarrolló una aleación que tiene, entre otras propiedades, las siguientes:

- factibilidad de ser extruida o laminada a nivel industrial, cambiando la idea de que las aleaciones de zinc son útiles para la industria sólo en fundición;

- posibilidad de ser extruida en las mismas instalaciones que las usadas para el aluminio, que aunado a un ahorro de energía del proceso a igual rapidez de producción, dan a esta aleación competitividad con los productos de aluminio;

- posibilidad de laminarse a través de procesos superplásticos, en los cuales se utilizan métodos semejantes a los de conformado de plásticos, con el correspondiente ahorro de troqueles y desgaste de moldes.

- Esta aleación, pues, recibió el nombre de "Zinalco", y los usos futuros que se darán a la misma dependerán del ingenio del arquitecto o ingeniero que la use.

- A diferencia de todas las aleaciones Zn-Al logradas hasta la fecha, el Zinalco puede ser extruido con relaciones de área y velocidades semejantes a las del aluminio. Los perfiles de zinalco alcanzan una resistencia máxima a la tensión de 400 MPa, con una ductilidad suficiente para permitir que los perfiles planos se doblen a 180° sin observar agrietamientos en los bordes. La ductibilidad y la resistencia mecánica son variables.

- La resistencia a la corrosión del zinalco es una de sus propiedades más atractivas ya que es superior a la que presentan los productos galvanizados, además de aceptar recubrimientos protectores por anodizado o por inmersión en baños de cromatos. La aleación puede también ser pintada siempre y cuando la superficie esté perfectamente limpia.

- El zinalco, como ya hemos dicho, puede llevarse a condiciones de superplasticidad (lo que no se puede con

las demás aleaciones Zn-Al), lo cual nos permite el obtener formas complicadas sin tener que utilizar herramientas caras.

- Existe, además, la posibilidad de soldar este material con aleaciones a base de zinc que no requieren de alta tecnología para soldarse. Una ventaja de esta soldadura es que se difunde fácilmente en la aleación, dando alta resistencia mecánica a la unión a pesar de que la soldadura sea blanda. Esta propiedad representa una nueva ventaja sobre el aluminio.

- La presente tesis consiste en demostrar lo que vendría a constituirse como una nueva propiedad del zinalco: la posibilidad de soldarse por medio del proceso de soldadura por resistencia eléctrica (por puntos), la misma que se utiliza para la unión de las carrocerías automotrices.

METODO EXPERIMENTAL

Laminado del Zinalco.

- Para poder realizar los experimentos, primero se tendrán que laminar pequeños bloques de zinalco. Para esto, se utilizará una laminadora de marca inglesa ("Miller" de Hille, Sheffield, England), misma que se encuentra en el anexo de la facultad de ingeniería.

- El grosor inicial del bloque de zinalco es 9.8 mm, y se laminará hasta obtener varias placas de zinalco de diferentes grosores: 0.6 mm, 0.7 mm, y 0.8 mm. El paso de laminado es de 0.01 pulgadas, lo cual significa que el bloque se pasará por los rodillos 36 veces. Para llegar a 0.6 mm, el último paso será de 0.012 pulgadas; para 0.7 mm, el último paso será de 0.008 pulgadas; y para 0.8 mm, el último paso será de 0.004 pulgadas.

- Antes de pasar el bloque por los rodillos de la laminadora, éste debe de ser calentado a una temperatura mayor a los 200°C (para darle al material la ductilidad necesaria), sin embargo, no se debe de exceder mucho esta temperatura. A su paso por los rodillos, el bloque pierde mucho calor, por lo que es necesario calentarlo una y otra vez entre cada paso de laminado.

- Para agilizar un poco el proceso, se decide calentar el bloque en el horno hasta alcanzar una temperatura de 250-260°C. De esta manera, se logra pasar el bloque por los rodillos 2 veces entre cada calentado ya que después de la primera pasada el bloque aún está a una temperatura mayor a los 200°C. Por lo tanto, el bloque se deforma 0.02 pulgadas cada vez que se saca del horno.

- Al llegar a un grosor de 1.5 mm aproximadamente, se decide no elevar ya tanto la temperatura dado que el material es ahora muy delgado y demasiado blando a los 250°C, por lo que se calienta únicamente hasta 200--210°C. Al final del proceso (antes de la pasada Núm. 36) se decide no calentar la lámina dado que deseamos que esta última deformación se lleve a cabo en frío. Esto evitará que la lámina quede pandeada una vez fría.

- Se obtienen entonces 2 láminas de 0.6mm de espesor, 2 de 0.7 mm y 2 de 0.8 mm, todas con dimensiones 400 mm por 50 mm (valores aproximados).

Preparado de láminas.

- Antes de hacer las soldaduras, se cortan las láminas de 0.8 mm en laminillas de un ancho aproximado de 7 mm. Las laminillas no serán todas iguales sino que se cambiará la superficie a soldar: unas se soldarán tal y como están (soldadura con superficies a soldar con óxidos), otras se limpiarán (con paño), otras se lijarán muy finamente (con lija de agua No. 600) para presentar una superficie a soldar lo más limpia y suave posible; y otras se lijarán con lija de grano grueso (grano de esmeril mediano) para presentar una superficie a soldar muy áspera.

- En total, se cortan 66 laminillas, mismas que darán lugar a 33 soldaduras, 29 de las cuales se utilizarán para pruebas de resistencia mecánica, y 4 para observación en el microscopio electrónico. Se seleccionarán dos soldaduras de las utilizadas para pruebas de resistencia para su observación en el microscopio electrónico.

- Para preparar las laminillas que habrán de ser lijadas, utilizaremos una máquina de lijado y pulido para asegurarnos de tener una superficie plana, de utilizar las lijas adecuadas y de realizar el proceso en forma óptima.

- Se inicia el lijado con una lija No. 240, posteriormente con una No. 320 y finalmente con una No. 600.- Como a mayor número de lija, menor es el grano de la misma, se obtendrán paulatinamente lijados más finos, hasta dejar a la pieza completamente limpia y suave al tacto.

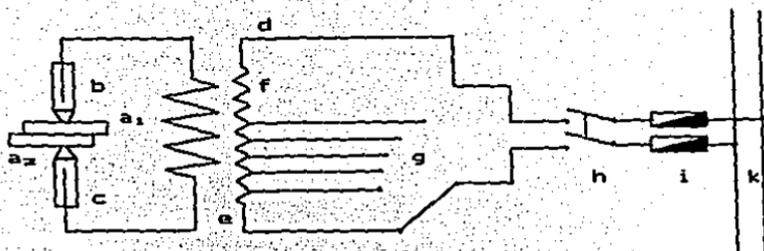
- Para el caso de las laminillas que habrán de presentar una superficie de soldadura áspera, se utiliza la misma máquina pero únicamente una lija de esmeril mediano. El lijado se hará en forma circular para que no se presente el caso de líneas en la superficie en una sola dirección.

Soldadura por puntos para observación en el microscopio electrónico.

- El siguiente paso de la experimentación consiste en el soldar pequeñas láminas de zinalco por el método de soldadura por puntos, con el propósito de examinar las soldaduras en el microscopio electrónico.

- Se utilizará una máquina en la que es posible variar el amperaje de la corriente entre los electrodos (a mayor amperaje, se generará mayor calor entre las láminas, por lo que a mayor amperaje se podrán utilizar laminillas más gruesas).

"Punteadora" (Circuito Eléctrico):



Circuito eléctrico de una máquina para soldar por puntos.

- En la figura, el lado de alta tensión *f* del transformador puede ser regulado por medio de un interruptor escalonado *g*. El interruptor de alta tensión *h*, está construido en forma de interruptor de tubos con distribución por rejilla; *i* son los cortacircuitos o fusibles, y *k* la red de corriente alterna, a la cual está conectada la máquina (el transformador).

- Los dos electrodos *b* y *c* afectan la forma de varilla y están conectados a los extremos de los conductores del circuito de baja tensión *d*. Entre ellos se introducen las laminillas a soldar. Al oprimir las puntas de los electrodos contra las laminillas *a₁* y *a₂*, y conectar la corriente, ésta pasa a través de las planchas y produce un punto de soldadura, cuyo diámetro depende de la forma de los electrodos, de la fuerza de los mismos, de la absorción de energía y del espesor de las laminillas.

- La máquina está dispuesta de tal manera, que al accionar un pedal se consigue que un brazo superior, móvil, de la palanca que lleva el electrodo b apriete y sujete las dos laminillas a_1 y a_2 . Continuando la presión sobre el pedal, y consecuentemente el movimiento de la palanca, se cierra el interruptor de corriente. En sentido inverso, una vez terminada la soldadura se interrumpe primero la corriente y después se deja libre la chapa. De esta manera, se asegura el que las dos laminillas continúen en contacto y bajo presión, dando el tiempo necesario al material que fue fundido para que solidifique.

- El interruptor escalonado g, da lugar a 9 valores diferentes de corriente entre electrodos, que se seleccionan a libertad del operario a través de una palanca (la cual ofrece, por lo tanto, nueve posiciones). Utilizando un amperímetro de gancho, y midiendo la corriente entre electrodos, obtenemos los siguientes valores correspondientes a las diferentes posiciones de la palanca:

posición	amperes		posición	amperes
1	75		6	140
2	85		7	150
3	100		8	150
4	120		9	150
5	135			

- Esta máquina fue diseñada para soldar láminas de acero inoxidable, por lo que es de gran potencia. Para zinalco, será suficiente el utilizar los valores de amperajes más bajos.

- Se soldarán 8 laminillas de Zinalco. Cuatro corresponderán a la potencia de 75 A (dos oxidadas, y dos limpias), dos a 85 A (lijadas), y dos a 100 A (las dos lijadas).

- De esta manera se obtendrán 4 soldaduras, mismas que se observarán en el microscopio electrónico para revisar el área de la unión (interfase). Las soldaduras se llevarán a cabo traslapando los puntos, para así asegurarnos de no dejar huecos. Además, haciéndolo así se llegará a demostrar que se pueden llevar a cabo las soldaduras por costura (y no únicamente por puntos).

- Se realizan las soldaduras utilizando la misma presión y el mismo tiempo de paso de corriente para todas (apenas lo suficiente para crear el corto circuito entre los electrodos).

Preparado de las soldaduras.

- Una vez hechas las soldaduras, procedemos a prepararlas para observarlas en el microscopio electrónico. En primer lugar, las cortaremos de manera que obtengamos muestras sumamente pequeñas para poderlas acomodar adecuadamente en el portapiezas del microscopio (se cortarán pequeños cuadros de longitud no mayor a 8 mm).

- Enseguida, deberá ser pulida la superficie a observar, por lo que utilizaremos la máquina de lijado y pulido y lijaremos las muestras primero con una lija no. 320. Al observar la superficie pareja, utilizamos la no. 600 y finalmente la no. 1000. Hasta este punto, las muestras están perfectamente limpias y la superficie presenta un solo plano para su observación.

- Ahora pasamos a la máquina de pulido. Esta máquina consta de dos discos giratorios a los cuales se les adecúa una lija con pasta de diamante; en un disco el grano será más fino que en el otro. Se pulen entonces las muestras comenzando con la lija de grano menos fino hasta lograr una superficie casi como de "espejo". Se lava la muestra perfectamente con alcohol etílico y se pule ahora en el disco de grano más fino, y se vuelve a lavar con alcohol al terminar. Ahora las muestras están perfectamente pulidas, "como espejo".

- Enseguida se atacan las superficies pulidas con ácido fluorhídrico (solución al 1% en alcohol) para que éste penetre en el material y nos permita observar la estructura del mismo. Una vez secas las muestras, las colocamos en diferentes portapiezas adheriéndolas a los mismos con pegamento electroconductor.

- Para ahorrar tiempo de espera, ponemos las piezas en una cámara de vacío, lo cual causará que el pegamento seque en forma casi inmediata. Ahora sí, con las piezas listas en los portapiezas, procedemos a observarlas en el microscopio electrónico.

Observaciones en el microscopio electrónico.

- El microscopio electrónico que se utilizará es un "Jeol-JSM - T20 Scanning Microscope", con un aumento máximo de 10000 X. La pieza es colocada en el portapiezas del microscopio y se acciona el dispositivo que la llevará al alto vacío. Una vez alcanzada esta condición, se acciona el interruptor y comienza el bombardeo de electrones. Al aparecer la imagen en la pantalla, se

fijan el contraste y el brillo, se enfoca la imagen, y se seleccionan tanto la velocidad de barrido como el magnificado de la imagen (esta selección no es fija, es decir, se pueden hacer diferentes selecciones a lo largo de la observación de la pieza).

- El área por donde circuló la corriente a través de las laminillas fué la misma para los casos con 75 A, otra para los casos de 85 A, y otra para los de 100 A, dada la profundidad del cráter producida por los electrodos; es decir:

- el cráter producido por los electrodos al momento de soldar, con la palanca en posición número uno (75 A), tuvo un diámetro de 4.5 mm.

- el cráter producido por los electrodos al momento de soldar, con la palanca en posición número dos (85 A), tuvo un diámetro de 4.7 mm.

- el cráter producido por los electrodos al momento de soldar, con la palanca en posición número tres (100 A), tuvo un diámetro de 5.0 mm.

- Los valores anteriores se deben a que a mayor corriente entre electrodos, mayor calor, y consecuentemente mayor penetración del electrodo en el material. Entonces, para las soldaduras realizadas con corriente entre electrodos de 75 A, obtenemos una corriente por unidad de área igual a 4.72 A/mm^2 ; para las soldaduras realizadas con corriente entre electrodos igual a 85 A, 4.90 A/mm^2 ; y para el caso de las soldaduras con corriente entre electrodos igual a 100 A, una corriente por unidad de área igual a 5.10 A/mm^2 .

- Comenzamos por la soldadura de corriente igual a 4.72 A/mm² con laminillas oxidadas. Se alcanzan a notar un par de líneas a ambos lados de la unión y a lo largo de la misma; sin embargo, no se distingue un cambio de estructura en el material. Presumiblemente se trata de material fundido, pero es improbable porque de ser así existiría un cambio notorio de estructura.

- En lo que correspondería ser el centro del "puntazo", se nota que el material no está realmente unido, ya que se distingue una grieta si bien no muy ancha, si muy profunda. En las regiones alejadas del centro del "puntazo", pero en la interfase, se alcanza a notar una muy leve línea que denota la unión misma, sin embargo la soldadura no es mala.

- La segunda pieza a observar corresponde a la soldadura de dos láminas limpiadas con paño, con la misma potencia (palanca en la posición número uno). En primer lugar observamos que gran parte de la pieza presenta una unión "perfecta", aparentando ser una sola pieza y no la unión de 2 piezas. Sin embargo, existe una región que presenta defectos en la soldadura y otra en la que se ve una línea leve que denota la unión (zinalco plástico).

- La región que presenta la grieta corresponde al lugar en el que se traslaparon los puntos de la soldadura, y dado que se observan estructuras extrañas en el interior de esta grieta, se deduce que seguramente es mugre atrapada lo que ocasionó este defecto. Sin embargo, la grieta es pequeña, angosta y no es profunda (la primer foto que se muestra es de 200 aumentos, la segunda de 1000), por lo que no causaría mayor problema.

- Obsérvese como al final de la grieta no se distingue rasgo alguno de unión (ni aún en la foto de 1000 X).



Foto 1. Pequeña grieta. Obsérvese que a ambos lados de la interfase, se distingue una sola estructura. Aumento foto: 200 X.



Foto 2. Amplificación de la grieta para verse en detalle. Obsérvese como al final de la grieta no se distingue ningún cambio de estructura en la interfase, aparentando ser una sola pieza. Amp. 1000 X.

- La siguiente foto nos muestra otro aspecto de la soldadura, correspondiente a uno de los extremos de la muestra. Observando primero la parte derecha de la foto (el extremo de la muestra), notamos que las piezas están separadas. Esto se debe ya que ahí no existió arco eléctrico, y esto lo notamos observando la parte superior de la foto: no se ve el cráter formado por el

electrodo; éste comienza en la parte central de la foto y crece a medida que nos alejamos del extremo.

- Exactamente a la altura en la que se nota que inicia el cráter, la grieta se cierra y se distingue una franja muy pequeña que corresponde a zinalco plástico.- Esta franja se hace más tenue a medida que nos alejamos del extremo, y termina por desaparecer dando paso a la soldadura "perfecta" de la que hablábamos en la foto anterior. Es necesario hacer notar que esta zona en la que se distingue zinalco plástico, representa también una soldadura excelente.



Foto 3. Soldadura en el extremo de la muestra.
Nótese como a medida que el cráter crece,
la soldadura es mejor. Aumento: 200 X.

- La siguiente pieza a observar corresponde a la soldadura de 4.90 A/mm^2 con las laminillas lijadas. Se hace un recorrido (barrido) por toda la superficie de la muestra a la altura de la intaerfase, y se observa que no existe una sola grieta. A lo largo de toda la superficie la unión se llevó a cabo de una forma excelente, distinguiéndose los dos tipos de soldadura que observamos en la muestra anterior: soldadura con zinalco plástico (cerca del centro del "puntazo"), y

soldadura en la que aparentemente se está observando una sola pieza ya que no se observan cambios de estructura en la interfase (cerca de los extremos de la muestra).

- La muestra anterior presenta defectos del material mismo en la zona de la interfase, representados por poros. Sin embargo, estos poros no causaron problemas y no se presentó ninguna anomalía en la soldadura.

- Las fotos que aparecen a continuación corresponden a la zona en la que hubo zinalco plástico. Esta zona comienza en donde las estructuras a ambos lados de la interfase es exactamente igual, y se va ampliando. La primer foto se tomó con una amplificación de 200 X y la segunda con una amplificación de 1000 X.

- Nótese en la segunda foto: el cambio de estructuras a ambos lados de la unión es exactamente la misma, pero en la zona de la interfase es diferente ya que corresponde a zinalco plástico. No existe una sola grieta por pequeña que ésta pudiera ser (recuérdese que la foto tiene un aumento de 1000 X).



Foto 4. Soldadura muy buena.
Región de zinalco plástico.
Aumento: 200 X.



Foto 5. Amplificación de la interfase con zincAlco plástico. Aumento: 1000 X.

- La cuarta y última muestra para observación en el microscopio electrónico corresponde a la soldadura con 5.10 A/mm^2 , con ambas laminillas lijadas en su superficie a soldar. Nuevamente se hace un barrido a lo largo de toda la interfase y se observa un solo defecto de la soldadura, pequeñísimo por cierto. El resto de la superficie no presenta ningún defecto. En este caso no se distingue ninguna zona de zincAlco plástico, sino más bien la superficie presenta una sola estructura, aparentando, como en los otros casos, ser una sola pieza.

- La siguiente foto corresponde al defecto ya mencionado. Corresponde a un par de grietas sin importancia. La foto tiene un aumento de 1000 X, por lo que se puede comprobar fácilmente lo anterior: se ve que las grietas son muy pequeñas, muy angostas y completamente superficiales (es decir, no son profundas). Nótese por favor la estructura alrededor del defecto: aparenta ser

una sola pieza y no la unión de dos.

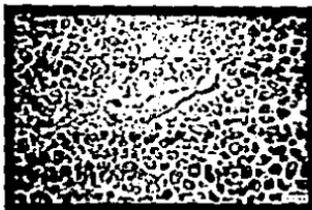


Foto 6. Pequeñísimo defecto de la soldadura.
Aumento: 1000 X.

- Una observación que es importante hacer notar, es el hecho de que la estructura de esta muestra en zonas alejadas a la interfase, es muy diferente a la que se distingue en la zona de la unión.

- La siguiente foto corresponde a una zona cerca del extremo "inferior" (en la pantalla del microscopio electrónico) de la muestra, con una amplificación de 1000 X. Compárese esta foto con la anterior y obsérvense las diferencias sobre todo en tamaño de grano.

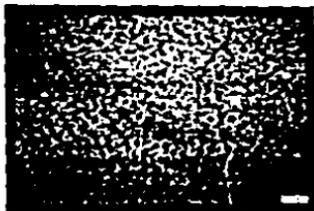


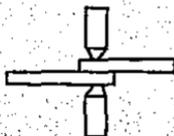
Foto 7. Estructura en una zona alejada a la interfase. Aumento : 1000 X.

- Al igual que la muestra anterior, esta muestra presenta poros a la altura de la interfase, pero sin consecuencias para la soldadura.

- En el siguiente capítulo se discutirán y explicarán estas observaciones. A continuación se realizarán más soldaduras para someterlas a pruebas mecánicas (pruebas de resistencia a tracción).

Soldadura por puntos para pruebas de resistencia mecánica.

- Dado que ya tenemos las laminillas preparadas, procedemos a soldarlas pero ahora con un solo punto y en los extremos de las laminillas, tal como se indica en la figura.



- Así, quedan libres los extremos de las laminillas de manera que pueden ser sujetadas por las mordazas de la máquina de tracción.

- Para poder obtener la mayor información posible, se harán soldaduras en las primeras 3 posiciones de la palanca (75, 85 y 100 amperes), utilizando todas las superficies de soldaduras de las laminillas para cada posición de la palanca. Es decir, 24 laminillas en total que darán lugar a 12 soldaduras (3 oxidadas, 3 limpias, 3 lijadas y 3 ásperas).

- Se realizan las soldaduras utilizando la misma presión y el mismo tiempo de paso de corriente para todas (apenas lo suficiente para crear el corto circuito entre los electrodos). Una vez hechas todas las soldaduras, se hacen las pruebas de resistencia mecánica (resistencia a la tracción).

Pruebas de resistencia mecánica.

- Ahora que están listas las soldaduras, se harán las pruebas de resistencia a la tracción. Para esto se utiliza una máquina marca INSTRON 1125 de 10 toneladas de carga. Se colocan los pares de laminillas uno a la vez.

- Se utiliza una velocidad de deformación de 1 mm por minuto. Para la gráfica se utiliza la escala de 200 kg y un avance con velocidad de 1 mm por minuto. Se obtienen entonces los siguientes resultados (después de medir con calibrador las áreas de las soldaduras y de hacer los cálculos correspondientes):

Valores en kg/mm²

superficie	4.72 A/mm ²	4.90 A/mm ²	5.10 A/mm ²
oxidada	9.31	9.93	9.53
limpia	7.86	8.46	7.72
lijada	6.79	10.1	7.07
áspera	11.2	11.9	7.05

NOTAS: Las soldaduras correspondientes a limpia y lijada para 5.10 A/mm², resultaron en la orilla, por lo que los resultados obtenidos no son confiables (el material se "agrietó" en la zona de la interfase y por ahí cedió).

- Antes de continuar, es necesario hacer algunas observaciones acerca de las soldaduras:

- En las tres pruebas con las laminillas oxidadas, se ve que no fué la soldadura la que cedió, sino más bien una de las laminillas "arrancó" material de la otra laminilla, es decir, fué el material el que cedió. Además se nota una amplia zona de material fundido para el amperaje de 4.90 A/mm^2 .

- En las tres pruebas con las laminillas limpias, se ve que éstas se separaron en la zona de la soldadura. Además no hubo mucha fusión del material en ninguno de los 3 amperajes.

- En las tres pruebas con las laminillas lijadas, se ve a primera instancia que el área que se llegó a unir es muy pequeña, con muy poco material fundido. Alrededor de esta reducida área de material fundido, se observa que el material virtualmente no se unió más que por la fuerza de presión ejercida por los electrodos. Aquí es necesario aclarar que en el caso de 5.10 A/mm^2 , la soldadura no se llevó a cabo en el centro de las laminillas, sino en sus orillas, por lo que al comenzar la carga de la máquina se agrietó la orilla de la soldadura y por ahí cedió el material, resistiendo relativamente poca carga.

- En el caso de las laminillas con superficies ásperas, se observa nuevamente como es el material el que cede antes que la soldadura, ya que se ve como una de las laminillas se queda con un pedazo de material que "le arrancó" a la otra laminilla. A su vez, se nota más material fundido que con las laminillas lijadas pero

menos que con las laminillas oxidadas.

- Viendo las soldaduras ahora desde el punto de vista de los amperajes, se observa que para 5.10 A/mm^2 existe mucho "chisporroteo" de material y las laminillas se deforman. La unión no se ve muy buena ya que se queda material alojado entre las laminillas, por lo que las laminillas terminan separadas entre sí (esto se refleja incluso en los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia. Ver capítulo de discusión de resultados).

- En el caso de 4.90 A/mm^2 el chisporroteo es mínimo y no existe deformación de las laminillas. Además se ve a simple vista una unión perfecta.

- Las laminillas soldadas con 4.72 A/mm^2 no presentan deformación alguna y no existe ningún chisporroteo, sin embargo a simple vista no se ve una unión tan buena como las de 4.90 A/mm^2 .

- Los resultados obtenidos hasta el momento no son suficientes, además de que hay que corregir algunos errores en las soldaduras. A continuación, y en base a lo ya realizado, se harán más soldaduras para así tener mejor información. (Se cuida ahora el realizar las soldaduras en los centros de las laminillas).

- Se realiza nuevamente todo el proceso desde el laminado de zinc hasta la preparación de las laminillas, y luego se procede a realizar las soldaduras.

- Entonces, se hacen las siguientes soldaduras:

laminillas oxidadas: 2 con 4.72 A/mm^2 , 3 con 4.90 A/mm^2 , y 3 con 5.10 A/mm^2 .

laminillas limpias: 1 con 4.90 A/mm².
 laminillas lijadas: 2 con 4.90 A/mm² y 3 con 5.10 A/mm².
 laminillas ásperas: 1 con 4.90 A/mm² y 1 con 5.10 A/mm².

- Se llevan las laminillas unidas a la máquina INSTRON y se hacen las pruebas utilizando los mismos parámetros que la vez anterior, con excepción de la escala para la gráfica que en este caso será de 500 kg. Al terminar las pruebas, se miden las áreas de las soldaduras y se realizan los cálculos necesarios, y se obtienen los siguientes resultados:

Valores en kg/mm²

superficie	4.72 A/mm ²	4.90 A/mm ²	5.10 A/mm ²
oxidada	13.2/12.7	14.8/11.5/11.4	10.8/8.9/11.7
limpia		6.05	
lijada		9.21 / 8.83	10.5/14.2/12.2
áspera		12.2	7.52

- Resumiendo los cuadros anteriores, y sacando los promedios de los valores, obtenemos:

Valores en kg/mm²

superficie	4.72 A/mm ²	4.90 A/mm ²	5.10 A/mm ²
oxidada	11.74	12.11	10.24
limpia	7.86	7.26	7.72
lijada	6.79	9.37	12.27
áspera	11.20	12.07	7.29

- Estos valores, así como las observaciones de las soldaduras hechas líneas arriba, serán analizados con más detalle en el siguiente capítulo (discusión de los resultados).

Observaciones de las soldaduras en el microscopio electrónico después de las pruebas.

- Las siguientes observaciones a realizar corresponden a las soldaduras una vez hechas las pruebas de resistencia mecánica. El propósito de esta investigación será el analizar la forma en la que el material cedió a la carga según la superficie de las laminillas antes de soldar.

- Se seleccionan dos soldaduras realizadas con la potencia correspondiente a 5.10 A/mm^2 , una de ellas con un par de laminillas oxidadas y la otra con un par de laminillas lijadas. Esta selección se hace así ya que en las pruebas mecánicas correspondientes a estas muestras, fue el material el que cedió a la carga antes que la soldadura.

- De las laminillas oxidadas, una de ellas contiene material que "le arrancó" a la otra, en tanto que la otra presenta el hoyo correspondiente al material que le fue arrancado. En el caso de las laminillas lijadas, ambas presentan tanto material que "arrancaron" a la otra laminilla, como el hueco correspondiente al material que les fue arrancado.

- Por lo tanto, realizaremos tres observaciones: la primera será la de la laminilla oxidada con el hueco; la segunda, la de la otra laminilla oxidada con el material

que arrancó; y la tercera, la de una de las laminillas lijadas ya que presenta ambos casos.

- Procedemos al procedimiento de preparación de las soldaduras. Se cortan del tamaño adecuado pero no se lijan. Se pegan en los portapiezas con el pegamento electroconductor y se secan al alto vacío. Se coloca entonces la primera muestra en el microscopio electrónico.

- Al hacer un primer recorrido o barrido general de la muestra, distinguimos dos zonas principales que corresponden a la forma en que el material cedió a la carga. La siguiente foto nos muestra estas dos zonas.

- Observando el lado izquierdo de la foto (zona alejada del hueco), notamos que el material fue arrancado de la laminilla; en tanto que la parte derecha de la foto (zona cercana al hueco), revela una fractura espontánea del material.



Foto 8. Sección de fractura. Laminilla oxidada con hueco.
Izq: material arrancado. Der: fractura espontánea.
Amp.: 75 X.

- Observando ahora la otra laminilla, notamos también las dos zonas anteriores, además de la zona en donde se

encuentra el material arrancado. La siguiente foto corresponde a esta muestra.

- El extremo izquierdo de la foto nos muestra el material arrancado. Enseguida se ve la zona de fractura espontánea y más a la derecha la zona en donde el material se desprendió más lentamente. El extremo derecho de la foto corresponde a la parte de la laminilla misma.



Foto 9. Sección de fractura. Laminilla oxidada con material. Izq: material arrancado. Der: laminilla. Centro: zona de fractura. Amp: 75 X.

- Finalmente, realizamos la última observación, más interesante dada la peculiaridad, mencionada líneas arriba, que tiene la muestra. La foto que sigue nos muestra zonas de desprendimiento de material y de fractura espontánea en una forma un poco desordenada.

- En el extremo izquierdo inferior, notamos material arrancado, seguido inmediatamente de fractura espontánea. Luego vemos otra vez zona de material arrancado y nuevamente una zona de fractura espontánea. Obsérvese con cuidado, como lo anterior da lugar a la formación de un escalón. En la parte central de la foto, observamos un pico que es material de la otra laminilla, y a su

alrededor se distingue una zona de material arrancado.

- En el extremo izquierdo superior, vemos parte de la laminilla misma, en tanto que en el extremo derecho inferior observamos la zona del hueco (mas no es hoyo, sino una zona total de fractura espontánea).



Foto 10. Sección de fractura. Laminilla lijada. Observando la foto en dirección <inferior izquierda-superior derecha>, nótese la formación de un escalón, alternándose las zonas de material arrancado y de fractura espontánea. Amp.: 75 X.

- En el capítulo siguiente, se relacionarán todas las observaciones del microscopio electrónico con los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia mecánica, y se discutirán y explicarán los resultados.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS.

De las observaciones en el microscopio electrónico.

1. Soldadura con corriente entre electrodos de 4.72 A/mm² con laminillas oxidadas.

- Se llevó a cabo la soldadura en forma general. En las zonas en las que se distinguen dos líneas paralelas a ambos lados de la unión, aparentemente los óxidos superficiales hicieron las veces de fundente, dado que no se observa un cambio de estructura entre la zona encerrada entre las líneas paralelas y las zonas fuera de estas líneas.

- La presencia de suciedad y bataduras evitó la unión en otras zonas, como lo fue en el centro del cráter; incluso a simple vista se puede observar la línea que denota la unión entre las dos laminillas.

2. Soldadura con corriente entre electrodos de 4.72 A/mm² con laminillas limpias.

- La unión es mejor que la anterior aun cuando existen algunos pequeños defectos de soldadura. Para el caso de soldadura con puntos no existe problema alguno, sin embargo, para el caso de soldadura por costura si, ya que es justamente en la zona del traslape de puntos en donde se presenta la anomalía.

- El haber limpiado las laminillas redujo la cantidad de mugre quemada atrapada entre las mismas, dando paso a una mejor soldadura que la anterior. Además se logró un mayor contacto entre las laminillas antes de realizar la

soldadura.

- La zona que se describe como de soldadura "perfecta", nos indica que la unión entre las dos laminillas se llevó a cabo por un proceso de difusión, y no de fundición del material. El zinalco es una aleación cuyo punto de fusión es muy bajo y cuyo tamaño de grano es muy fino, por lo que al realizar la soldadura con la potencia más baja, se logra un movimiento de átomos en ambas laminillas, lo que da lugar a que antes de que se logre la fundición del material, se de el proceso de difusión (en donde átomos de una laminilla pasan a ocupar el "lugar vacante" que dejan los átomos de la otra laminilla que se están moviendo).

- Muchas veces las uniones debidas al proceso de difusión, son igual o más resistentes que las debidas al proceso de fundición. Más adelante (en este mismo capítulo), se confirmará lo anterior al comparar los valores de resistencia mecánica.

3. Soldadura con corriente entre electrodos de 4.90 A/mm² con laminillas lijadas.

- La soldadura es excelente, incluso en las zonas de traslape de puntos. A todo lo largo de la interfase no se distingue un solo defecto de soldadura.

- Al lijar las laminillas, logramos que el contacto entre ellas antes del paso de corriente entre los electrodos fuera máximo, además de que evitamos por completo el que quedara suciedad atrapada en medio de las laminillas. Todo esto ocasionó que bajo el microscopio, observáramos algunas zonas en las que no se distinguió raso alguno de unión.

- Por otro lado, al presentar superficies de contacto tan limpias y lisas, no se dió el caso de desviaciones de corriente o aumento de resistencia eléctrica en determinado lugar de la unión, por lo que la soldadura en la zona del traslape de puntos se llevó a cabo en forma total.

- Obsérvense con cuidado las fotos correspondientes a esta muestra. Del lado izquierdo de la primer foto, se encuentra el extremo de la muestra, en tanto que del lado derecho, el centro del "puntazo". Observando primero el lado derecho, notamos una zona de Zinalco fundido muy amplia. Siguiendo la observación hacia el lado izquierdo, vemos que esta zona de zinalco se va haciendo paulatinamente más pequeña, hasta que virtualmente desaparece (extremo izquierdo de la foto).

- Lo anterior es debido a lo siguiente: como en el centro del puntazo la temperatura es mucho más elevada que en las regiones alejadas a éste, se funde mucho más material en el centro que en cualquier otra zona. A medida que nos alejamos del centro del cráter, la temperatura va disminuyendo gradualmente, y consecuentemente así sucede con la cantidad de material fundido, hasta que la temperatura no es tan alta como para fundir el zinalco, aunque sí para producir difusión del material. Es por esto que, si observamos muy detalladamente, notamos en el extremo izquierdo de la foto una zona en donde no existe zinalco fundido: la unión se llevó a cabo únicamente por el proceso de difusión.

- Los poros que se formaron a lo largo de la interfase corresponden a defectos propios del material,

probablemente por el laminado, pero no son defectos propios de la soldadura. Aún así, la soldadura es tan buena que la existencia de estos poros no causó problema alguno.

4. Soldadura con corriente entre electrodos de 5.10 A/mm² con laminillas oxidadas.

- Nuevamente, la soldadura es excelente y no presenta grietas a todo lo largo de la interfase. Las laminillas lijadas ofrecieron un íntimo contacto entre sus superficies y la corriente eléctrica se distribuyó uniformemente.

- Un aspecto muy interesante es el tamaño del cráter que presentan las 2 laminillas: es mayor que el que presentan las laminillas de la muestra anterior. A su vez, el de las muestras de las soldaduras con 4.72 A/mm² es menor que la muestra de la soldadura con 4.90 A/mm².

- Es decir, que a medida que aumenta la corriente entre electrodos, el cráter se hace mayor y penetra más en el material. Esto ocasiona además, que para el caso de soldaduras con corrientes elevadas (de 5.10 A/mm² y mayores), las laminillas se doblen a la altura del "puntazo" o cráter.

- La soldadura en la zona del traslape es tan buena como en el centro del cráter. Es decir, que el método de soldadura por costura proporciona también uniones altamente confiables. Sin embargo, como cada vez que se realiza un punto de soldadura se doblan las laminillas, al cabo de varios puntos, la pieza resultado de la unión terminará con una forma muy diferente a la deseada.

De las pruebas de resistencia mecánica.

1. Soldaduras con corriente entre electrodos de 4.72 A/mm².

- Los valores de resistencia a tracción son buenos, sobre todo con las laminillas oxidadas: 13.2 y 12.7 kg/mm². La soldadura "aguantó" bastante, incluso más que para otras pruebas con potencias de máquina mayores. De alguna manera los óxidos, como ya lo hablamos dicho, hicieron las veces de fundente y ayudaron a que la soldadura fuera más resistente.

- Además, como se mencionó líneas arriba, se presentó el caso de soldadura por difusión del material. De ahí que se haya decidido el aumentar el tiempo de soldado para esta potencia (la más baja de la máquina: corriente de 75 A entre electrodos).

- Por lo tanto, después de la primera prueba, el tiempo de soldado para las soldaduras con 4.72 A/mm², fué mayor que para los otros valores de corriente eléctrica. Al aumentar el tiempo buscábamos mejorar la soldadura, lo cual se consiguió exitosamente, al menos para el caso de las laminillas oxidadas: en la primera prueba, con duración de soldadura muy corta, obtuvimos un valor de 9.31 kg/mm², y en las siguientes, con duración mayor, 13.2 y 12.7 kg/mm² como ya se observó con anterioridad. En conclusión: aumentamos el tiempo y logramos mayor difusión del material.

- Respecto a las laminillas limpiadas con paño, como era de esperarse, el valor de la resistencia a la tracción bajó. Y esto se debió a que no hubo mucho

material fundido. Y este valor bajó aún más con las laminillas lijadas, en tanto que aumentó considerablemente con las laminillas ásperas (pero limpias).

- Con las laminillas ásperas, cedió primero el material que la soldadura misma, observándose gran cantidad de material fundido. Con las laminillas lijadas se observó la mínima cantidad de material fundido, y en consecuencia el valor más pequeño de resistencia a la tracción.

2. Soldadura con corriente entre electrodos de 4.90 A/mm².

- En general, los valores de resistencia a la tracción son mejores que los obtenidos con las soldaduras con 4.72 A/mm²; para el caso de las laminillas oxidadas, obtuvimos el valor más alto en la segunda prueba que en ninguna de las otras (14.8 kg/mm²). Y de hecho, el promedio con laminillas oxidadas fué el mejor (12.11 kg/mm²).

- Nuevamente el valor para el caso de las laminillas limpiadas con paño bajó, sin embargo para el caso de las laminillas lijadas subió con respecto a este último. Como se aclaró en su momento, el área de material fundido que se observa es muy pequeña, pero dados los resultados de resistencias, y dado el hecho de que en dos de las tres pruebas cedió el material antes que la soldadura (primera y segunda prueba, 10.1 kg/mm² y 9.21 kg/mm²), deducimos que hubo mucha penetración de material fundido en ambas laminillas. Esto se confirma con las observaciones en el microscopio electrónico, en donde las fotos muestran la gran cantidad de zinc fundido (explicado líneas arriba, en este mismo capítulo).

- Como quiera que sea, se obtuvieron mejores resultados con las laminillas con superficies ásperas que con las limpias o lijadas. El área de material fundido es mayor en las ásperas que en las limpias o lijadas, pero un poco menor que en las oxidadas, aunque por otro lado, sucede que también hubo una mayor "penetración" de material fundido en las laminillas ásperas que en las oxidadas.

3. Soldadura con corriente entre electrodos de 5.10 A/mm².

- En general, los valores de resistencia a la tracción son menores que para las soldaduras con 4.90 A/mm² (promedio: 9.4 kg/mm² contra 10.2 kg/mm²), y similares a los obtenidos con 4.72 A/mm² (promedio: 9.4 kg/mm²). Pero analizando los casos uno a uno observamos varias diferencias.

- Para el caso de las laminillas oxidadas, los valores son los más bajos en referencia a las otras potencias (10.24 kg/mm² en contra de 11.74 y 12.11-kg/mm²). Aquí observamos, como ya hemos dicho, un "chisporroteo" del material que no se había presentado anteriormente, lo que da lugar a mucho material fundido pero superficialmente y por lo tanto, parte del zinalco fundido no logra unirse con ninguna de las laminillas; es decir, "queda atrapado" entre ambas laminillas pero no contribuye en nada a la unión.

- En lo que respecta a las laminillas limpiadas con paño, el comportamiento fué muy similar al de las otras potencias: un valor muy bajo de resistencia.

- Pero en el caso de las laminillas lijadas la situación ya es diferente. Siguiendo un patrón similar al de las soldaduras con 4.90 A/mm^2 , el valor de la resistencia aumentó con respecto al de las laminillas limpiadas con paño. Pero no solo eso, sino que en este caso, el promedio de este valor fué el mayor de todos (12.27 kg/mm^2). Por otro lado, en todas las muestras de este tipo cedió primero el material que la soldadura misma, ya que en todas se observó material arrancado de una a otra laminilla, llegándose a dar el caso de que, en la cuarta prueba, las dos laminillas terminaron con un hoyo, cayendo todo el material que conformaba la soldadura al piso. Es decir, la soldadura nunca cedió.

- Esto, sin duda alguna, comprueba el hecho de que a pesar de que el área de material fundido a simple vista es muy pequeña, existe mucha "penetración" de material fundido en ambas laminillas. Esta característica nos invitó a observar bajo el microscopio electrónico, la forma en que se llevó a cabo la fractura.

- Los resultados obtenidos con la máquina INSTRON, nos dicen que la muestra no cedió por fractura espontánea: el material se fue arrancando poco a poco y la máquina se detuvo al obtener una lectura de prácticamente cero.

- De manera un poco extraña, el valor de resistencia a la tracción de la soldadura con las laminillas ásperas, no fué mayor al de las soldaduras con laminillas limpiadas o lijadas; de hecho, fué el menor de todos. No sólo el área de material fundido no fué muy grande, sino que tampoco hubo "penetración" de material fundido en las laminillas.

- Lo anterior se debe a que, dado que la temperatura que se alcanza al momento de hacerse el contacto entre los electrodos es muy alta, se llega al punto de fusión antes de que se logre un poco de difusión del material, por lo que no existe para este caso soldadura por difusión; y por otro lado, la cantidad de material fundido no es tanta como para el caso de las laminillas lijadas, ya que no existe un contacto tan íntimo como en el caso de aquellas.

De las observaciones en el microscopio electrónico después de las pruebas de resistencia mecánica.

- Las zonas de desprendimiento de material como arrancado y las de fractura espontánea era algo de esperarse: al aumentar la carga, el material comienza a ceder y se va "despegando", por lo que el área de contacto es cada vez menor, hasta llegar a un punto en donde el área es tan pequeña para la carga, que se fractura en forma espontánea.

- Sin embargo, el comportamiento material arrancado - fractura espontánea - material arrancado es más interesante, y se debió a la resistencia que paulatinamente fué ofreciendo la muestra a la carga. En general, el material comienza a arrancarse según la carga; luego, en algunos momentos, cierta parte del material o de la soldadura ceden, y se produce una fractura espontánea muy pequeña, pero la soldadura es tan buena que no cede completamente. Al seguir la carga, también sigue el desprendimiento lento del material y posteriormente una nueva fractura espontánea (hasta que ésta se convierte en definitiva).

- A continuación, se conjuntarán todas estas observaciones y se citarán las conclusiones.

CONCLUSIONES

- La primer conclusión a la que se llega, y que constituye la demostración a la hipótesis principal de este trabajo, es la de que es posible el soldar zinalco por el método de soldadura por resistencia eléctrica, tanto por soldadura por puntos como por soldadura por costura (con rodillos), de una manera ciento por ciento satisfactoria.

- Como conclusiones adicionales se citan:

1. A valores bajos de corriente por unidad de área (4.70 A/mm^2 en nuestra experimentación, o corriente entre electrodos de 75 amperes en la máquina utilizada), se obtiene una soldadura de zinalco por medio del proceso de difusión, más que por medio de fundición del material, dándole a la soldadura una alta resistencia mecánica. Así mismo, este proceso nos proporciona una soldadura totalmente hermética, por lo que obtienen uniones altamente confiables.

Sin embargo, se debe tener mucho cuidado con el factor tiempo, ya que si el tiempo de soldado es muy corto, no se logra suficiente difusión del material como para lograr una unión satisfactoria, en tanto que si el tiempo de soldado es muy largo, se puede producir un quemado del material, lo cual daría origen a defectos en la soldadura.

2. A valores altos de corriente por unidad de área (5.10 A/mm^2 en nuestra experimentación, o corriente eléctrica entre electrodos de 100 amperes en la máquina utilizada), la temperatura es excesiva, y funde mucho zinalco, incluso produce "chisporroteo" de material;

además de que se deforman las placas o láminas que se están soldando. Las dos razones anteriores no justifican el utilizar altas potencias, ya que a pesar de que se logra una soldadura satisfactoria y que se alcanzan valores de resistencia mecánica aceptables, se obtendrían virtualmente los mismos resultados utilizando potencias bajas con tiempos de soldado mayores.

3. A valores de corriente por unidad de área de 4.90 A/mm^2 (o bien, corriente entre electrodos de 85 amperes en la máquina utilizada), se obtiene una soldadura óptima. Los valores de resistencia mecánica que se obtuvieron fueron los más altos, y prácticamente se reducen al máximo los riesgos de defectos de soldadura, dado que el tiempo de soldado no es factor importante ya que no existe un rango de tiempo a utilizar: se utiliza el mínimo tiempo requerido (basta unas cuantas fracciones de segundo para lograr la soldadura). Obviamente, se deberá ejercer la presión adecuada, que a final de cuentas, fué la misma para todos los casos.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Bibliografía.

TRATADO GENERAL DE SOLDADURA.

P. Schimpke.

SOLDADURA.

Sahling.

CIENCIA Y TECNICA DE LA SOLDADURA.

Patton.

LAS SOLDADURAS: TECNICA-CONTROL. SOLDABILIDAD DE LOS
METALES.

Sefkrian, Daniel.