



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

MODIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES Y RESISTENTES EN SOLDADURAS MAG A TOPE DEL ACERO F-1140, CON HILO DE ACERO AL CARBONO, CON Y SIN TRATAMIENTO TÉRMICO.

PROYECTO FINAL DE GRADO, SEPTIEMBRE 2017

Titulación: **Grado en Ingeniería Mecánica.**

Presentado por: **Raúl García Pablo**

Dirigido por: **Don Manuel Pascual Guillamón.**

Contenido

| | |
|--|----|
| OBJETO DEL PROYECTO Y ANTECEDENTES | 2 |
| PALABRAS CLAVE | 2 |
| ACERO..... | 2 |
| SOLDADURA..... | 5 |
| PROCESO DE SOLDADURA | 8 |
| SOLDABILIDAD | 8 |
| SOLDADURA MAG..... | 12 |
| INTRODUCCIÓN | 12 |
| DESCRIPCIÓN | 12 |
| EVOLUCIÓN HISTORICA | 13 |
| PROCEDIMIENTO SOLDADURA MAG..... | 13 |
| EQUIPO SOLDADURA MAG | 15 |
| MATERIAL DE APORTE..... | 18 |
| POLARIDAD | 19 |
| MODOS DE TRANSFERENCIA..... | 20 |
| VARIABLES DE SOLDADURA MAG | 21 |
| SISTEMAS DE PROTECCIÓN | 22 |
| MASCARA DE PROTECCIÓN | 22 |
| GUANTES DE PROTECCION TERMICA..... | 23 |
| DELANTAL DE PROTECCION TERMICA..... | 23 |
| TRATAMIENTOS TÉRMICOS | 24 |
| TIPOS | 24 |
| TRATAMIENTO TÉRMICO UTILIZADO | 27 |
| ENSAYOS | 28 |
| PREPARACIÓN DE PROBETAS | 28 |
| ENSAYO DE TRACCIÓN | 29 |
| ENSAYO DE DOBLADO | 34 |
| ENSAYO MICRODUREZA VICKERS..... | 36 |
| ENSAYO MICROGRAFIAS..... | 39 |
| DESCRIPCIÓN DEL PROCESO | 53 |
| RESULTADOS OBTENIDOS..... | 55 |
| ENSAYO DE TRACCIÓN (CARGA DE ROTURA) | 55 |
| ENSAYO DE TRACCIÓN (DEFORMACIÓN UNITARIA)..... | 56 |
| ENSAYO DE MICRODUREZA VICKERS..... | 59 |
| MICROGRAFIAS..... | 63 |
| PROBETA SIN TRATAMIENTO TÉRMICO | 63 |
| PROBETA CON TRATAMIENTO TÉRMICO | 64 |
| PRESUPUESTO..... | 66 |
| CONCLUSIONES..... | 66 |
| AGRADECIMIENTOS | 67 |

OBJETO DEL PROYECTO Y ANTECEDENTES

El objeto del presente proyecto es conocer las características estructurales del Acero F-1140 y las modificaciones de las mismas, después de realizar soldaduras tipo MAG con hilo de acero al Carbono en probetas normalizadas. Así mismo, se estudia las modificaciones en la micro estructura del acero, expuesto a tratamientos térmicos.

Este estudio, se realiza mediante una serie de ensayos y pruebas normalizadas en el laboratorio del Departamento de Ingeniería de Mecánica y Materiales, tales como: ensayos de tracción, ensayos de doblado, ensayos de dureza y ensayos con técnicas metalográficas.

La finalidad de este proyecto es, además de analizar los cambios estructurales sufridos por el acero F-1140 provocados por la soldadura MAG, es la de reconocer que tipo de tratamiento térmico hace comportarse mejor a las probetas de acero en los distintos ensayos realizados.

El presente trabajo es el Proyecto Final de Grado, realizado en la Universidad Politécnica de Valencia, con la colaboración de la Escuela Técnica Superior de Diseño y la Escuela de Ingeniería de Materiales.

PALABRAS CLAVE

ACERO

Se le llama acero a la aleación de hierro (Fe) y el carbono (C), siempre que el porcentaje de Carbono este comprendido entre 0.05% y 1.7%. La dureza y la resistencia mecánica del acero van directamente relacionada a la cantidad de Carbono que contiene la aleación. A mayor cantidad de carbono, mayor dureza y resistencia mecánica, siempre dentro de la horquilla de porcentajes anteriormente citada. Por otro lado, e al aumentar la cantidad de Carbono disminuye la ductilidad y también aumenta la fragilidad. El acero contiene en menor proporción más componentes como pueden ser el nitrógeno, fósforo y azufre.

Podemos encontrar aceros aleados con otros metales, además del hierro y del Carbono, aunque en menor medida. Cada uno de ellos le confiere a la aleación unas características y propiedades concretas:

-Cromo: es uno de los más utilizados en la fabricación de aceros aleados. Se usa en aceros de construcción, en los de herramientas y en los inoxidables. Ya que aumenta la dureza y la resistencia a la tracción y la tenacidad de los aceros, mejora la templabilidad, aumenta la resistencia al desgaste, la inoxidabilidad. Se utiliza en revestimientos embellecedores o recubrimientos duros de gran resistencia al desgaste, como émbolos, ejes,...

- **Aluminio:** se emplea como desoxidante en la fabricación de muchos aceros.
- **Boro:** aumenta la capacidad de endurecimiento superficial, proporcionando un revestimiento duro y mejorando la templabilidad.
- **Cobalto:** disminuye la templabilidad. Mejora la dureza en caliente. Se usa en los aceros rápidos para herramientas. Se utiliza para aceros refractarios. Aumenta las propiedades magnéticas de los aceros.
- **Estaño:** es el elemento empleado para recubriendo láminas delgadas conformar la hojalata.
- **Manganeso:** se añade para neutralizar la negativa influencia del azufre y del oxígeno, actúa como desoxidante. De no tener manganeso, los aceros no se podrían laminar ni forjar.
- **Molibdeno:** aumenta la profundidad de endurecimiento del acero, y su tenacidad, mejorando la resistencia a la corrosión.
- **Níquel:** produce gran tenacidad, es un elemento de gran importancia en la producción de aceros inoxidable, porque aumenta la resistencia a la corrosión.
- **Plomo:** favorece la mecanización por arranque de viruta, (torneado, cepillado, taladrado,...) ya que el plomo es un buen lubricante de corte, se añade a los aceros porque mejora la maquinabilidad.
- **Silicio:** se usa como elemento desoxidante.
- **Titanio:** se usa para estabilizar y desoxidar el acero.
- **Tungsteno o volframio:** mejora muy significativamente la dureza y la resistencia al desgaste, produce aceros rápidos con los que es posible triplicar la velocidad de corte de las herramientas.
- **Vanadio:** desoxidante, proporcionan al acero una buena resistencia a la fatiga, tracción y poder cortante en los aceros para herramientas.
- **Zinc:** es elemento empleado para producir acero galvanizado.

Dada la gran variedad de aceros existentes, y de fabricantes, han surgido una gran cantidad de normativas y reglamentaciones que varían de un país a otro.

En España, la clasificación de los aceros está regulado por la norma UNE-EN 10020:2001, que sustituye a la anterior norma UNE-36010, mientras que específicamente para los aceros estructurales éstos se designan conforme a las normas europeas EN 10025-2: 2004 y EN-10025-4: 2004.

No obstante, existen otras normas reguladoras del acero, con gran aplicación internacional, como las americanas AISI (American Iron and Steel Institute) y ASTM (American Society for Testing and Materials) y las normas alemanas DIN, o la ISO 3506.

CARACTERISTICAS DEL ACERO F-1140

El F-1140 que es un acero que podemos encontrar con relativa facilidad ya que es bastante usado para la mecanización de piezas tales como manguitos, ejes y elementos de máquinas que requieran buena resistencia mecánica. Es un acero que tiene un buen temple, con lo que después de este tratamiento se puede utilizar para labores más exigentes. Este acero también tiene un uso muy extendido en aplicaciones del ámbito de la construcción.

Según las distintas normativas, se denomina de una u otra forma, estas son las normativas más comunes, equivalentes entre sí:

| NORMAS | DENOMINACIÓN |
|----------|--------------|
| UNE | F-1140 |
| DIN | Ck45 |
| STAND Nº | 11191 |
| AFNOR | XC45 |

La composición química del acero normalizada se comprende entre los siguientes porcentajes:

| COMPONENTE | PORCENTAJE |
|------------|-------------|
| Carbono | 0,42-0,50% |
| Silicio | 0,40 max % |
| Manganeso | 0,50-0,80 % |
| Fósforo | 0,035 max % |
| Manganeso | 0,035 max % |
| Cr+Mo+Ni | 0,63 max % |

Las desviaciones admisibles en los análisis del material post fabricación en colada pueden tener las siguientes desviaciones:

| COMPONENTE | PORCENTAJE |
|------------|------------|
| Carbono | ± 0,02% |
| Silicio | ± 0,03% |
| Manganeso | ± 0,04% |
| Fósforo | ± 0,05% |
| Manganeso | ± 0,05% |
| Cr+Mo+Ni | ± 0,05% |

Si los porcentajes estuvieran fuera de los rangos permitidos no se consideraría acero F-1140.

Los tratamientos térmicos son los que le confieren las características mecánicas finales al acero. Los estándares para este tipo de acero se apuntan en la siguiente tabla:

| Tratamiento | Temperatura | Enfriamiento |
|---------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| Recocido de ablandamiento | 670 °C - 710 °C | Aire |
| Recocido globular | 710 °C / 6 horas 670 °C / 8 horas | 10 °C / hora hasta 650 °C |
| Normalizado | 840 °C - 870 °C | Aire |
| Temple | 830 °C - 850 °C | Agua |
| | 840 °C - 860 °C | Aceite |
| Revenido | 500 °C - 650 °C | Aire |

Las características mecánicas estándar que debe cumplir el del acero F-114 según la norma C45E Normalizado cumple con cargas de rotura mínima a tracción de 700 a 850 Mpa y un límite elástico mínimo de 490 N/mm².

En los ensayos efectuados lo realmente se busca ver las variaciones de estas características en la soldadura concreto la zona de afección del calor (ZAC) al acero y como se reduce dichas características.

SOLDADURA

Soldadura es un procedimiento por el cual dos o más piezas de metal se unen por aplicación de calor, presión, o una combinación de ambos, con o sin aporte de otro metal, llamado metal de aportación, cuya temperatura de fusión es inferior a la de las piezas que han de soldarse. Soldar consiste en reunir las partes integrantes de una construcción asegurando la continuidad de la materia entre ellas, entendiéndose por continuidad no sólo la de carácter geométrico sino la homogeneidad en todo tipo de propiedades.

También se puede considerar soldadura la aportación mediante fusión de material sobre una pieza para modificar las dimensiones iniciales de la misma, o para conseguir características superficiales diferentes a las de origen.

La normativa actual distingue entre soldadura y soldeo, de manera que no se pueden usar indistintamente. Soldadura es el cordón físico que une las piezas y soldeo el método que se ha empleado para conseguir realizar dicha unión o soldadura.

RESEÑA HISTORICA DE LA SOLDADURA

El termino soldadura lo podemos definir como el arte o ciencia de unir mecánicamente, de forma resistente de dos o más piezas metálicas de diferente naturaleza.

La primera manifestación de ello se remonta a los comienzos de la fabricación de armas. Los trozos de hierro por unir eran calentados hasta alcanzar un estado plástico, para ser así fácilmente deformados por la acción de golpes sucesivos, mediante un continuo golpeteo se hacía penetrar parte de una pieza dentro de la otra, repitiendo este método se lograba una unión satisfactoria, este método es denominado caldeado, este método se continuo haciendo hasta no hace mucho tiempo, limitando su uso a piezas de acero forjable, de diseño sencillo y tamaño reducido.

Aunque los metales se han trabajado desde hace siglos, los métodos modernos de trabajo de metales tal y como los conocemos hoy comenzaron por descubrimientos que datan desde principios del siglo XIX.

En 1801, el inglés Sir H. Davy descubrió que se podía generar y mantener un arco eléctrico entre dos terminales.

En 1835, E. Davey, ingles también, descubrió el gas acetileno pero no fue hasta 1895, cuando el francés H.E. Chatelier, descubrió la combustión del oxígeno con el acetileno, poco después en 1900, Los franceses E. Fouch y F. Picard desarrollaron el primer soplete de oxiacetileno.

En 1881, De Meritens, de nacionalidad francesa, logro con éxito soldar diversas piezas metálicas empleando un arco eléctrico entre carbones. En 1885, los rusos S. Olczewski y F. Bernardos, lograron la unión en un punto definido de dos piezas metálicas por fusión.

En 1889, el físico alemán, H.Zerener, genero un arco eléctrico entre dos electrodos de carbón, adicionando un electroimán, ello produjo sobre el arco un efecto de solapado, obteniendo un nuevo sistema de soldadura por arco solapado, su principales aplicaciones fueron procesos automáticos para chapas de poco espesor.

En 1891, el ingeniero ruso N. Slavianoff, sustituyo los electrodos de carbón por electrodos de metal, mejorando el comportamiento de las soldaduras por evitar la inclusión de partículas de carbón. Con alguna mejor el estadounidense C.L. Coffin logró desarrollar el método de soldadura por puntos, método que se usa en la actualidad, denominado soldadura por arco eléctrico.

En 1910 se abandonó el electrodo de carbón a favor del electrodo de hierro sin recubrir, los resultados fueron deficientes por la poca resistencia a tracción y su reducida ductilidad.

Alexander pensó en eliminar la acción perniciosa del oxígeno que rodeaba el arco creando una atmosfera de gas protector, ensayo con gas metanol logrando buenos resultados pero el ensayo resulto poco viable por el complejo equipamiento, esa idea fue la precursora de que O.Kjellberg, en 1907, revistiera los electrodos con una sustancia solida con el punto de fusión igual que el metal que recubrían.

En 1914, los electrodos recubiertos fueron mejorados por su creador, quedando constituidos por una varilla de una aleación metálica para aporte de la soldadura y un recubrimiento especial a base de asbesto.

En 1930, los estadounidenses H. M. Hobart y P. K. Devers desarrollaron el sistema de soldadura con gas inerte, y basado en ello, el doctor Orving Langmuir, ideó la soldadura atómica de hidrógeno.

En 1942 por el norteamericano R. Meredith fue el creador del soplete para TIG y en 1948 por diversos ingenieros desarrollaron el sistema MIG, incluyen las soldaduras por arco en atmósfera de helio o argón, ambos gases inertes que alejan el oxígeno de la zona por soldar. En estos casos, el gas rodea al electrodo de tungsteno, mientras un electrodo o varilla provee el metal de aporte o de relleno.

La variedad de aplicaciones industriales de los sistemas de soldadura sustituyeron en la mayoría de los casos al tradicional forjado y remachado. No solamente significaba una operación más sencilla y rápida, sino que la eliminación del remachado permitió reducir el peso de las construcciones metálicas, al simplificar sus estructuras.

La soldadura asegura una reducción de costos apreciable con respecto a los métodos de construcción y reparación empleados antiguamente. Se han resuelto problemas de estanqueidad y rigidez, eliminándose las vibraciones, de difícil resolución en uniones remachadas.

La soldadura eléctrica usada en la actualidad, era desconocida a fines del siglo pasado. Muchas circunstancias influyeron en el extraordinario desarrollo adquirido por la misma. La carrera armamentista, potencializó el desarrollo en los centros de investigación científicos y técnicos, estudios que se cristalizaron en las novedades utilizadas por los distintos países durante la Segunda Guerra Mundial.

PROCESO DE SOLDADURA

En un sentido amplio y generalizado, la soldadura puede definirse como la realización de una unión entre dos piezas de metal haciendo uso de las fuerzas de cohesión que derivan de un "enlace metálico". Todo proceso de soldadura debe esencialmente lograr el acercamiento de las superficies a unir a distancias del orden interatómico con el propósito de crear las condiciones propicias para que se desarrollen las fuerzas de cohesión inherentes a los enlaces metálicos. Para lo que normalmente se emplea alguna fuente de energía.

Si esta energía es el calor, se pueden llegar a fundir los bordes de los metales, los cuales se mezclan en estado líquido acercándose los átomos lo suficiente para que durante la solidificación se atraigan formando una nueva red cristalina; si en vez de calor se aplica presión se produce, en primer término, la ruptura de la capa de óxido y luego se nivelan las crestas y valles por deformación plástica, permitiendo el contacto íntimo entre las dos superficies y, por lo tanto la unión metalúrgica.

En nuestro proyecto se abarcará la soldadura en fase líquida, esto es, los materiales involucrados en la unión llegan a fundirse a través de una fuente de calor generada por un arco eléctrico, además de un gas activo que protege la soldadura de la contaminación atmosférica (Soldadura MAG).

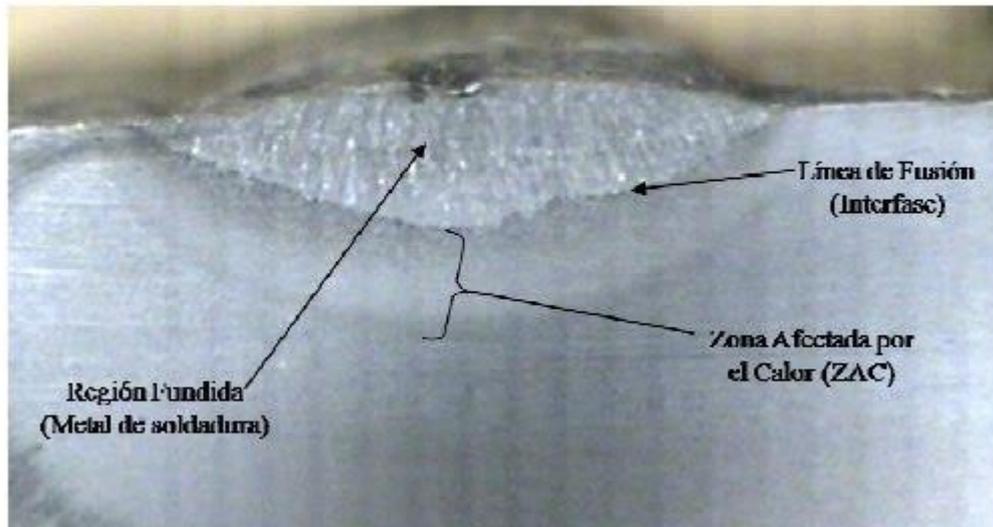
SOLDABILIDAD

La Soldabilidad es la capacidad que tienen los materiales, de la misma o diferente naturaleza para ser unidos de manera permanente mediante procesos de soldadura, sin presentar transformaciones estructurales perjudiciales, tensiones o deformaciones que puedan ocasionar alabeos

La Soldabilidad de un material constituye una propiedad del mismo muy compleja y en muchas ocasiones queda condicionada a variaciones metalúrgicas y sus propiedades.

Esto significa que un material puede tener buena soldabilidad, cuando se puede lograr una unión soldada con propiedades mecánicas y físico-químicas adecuadas, por cualquiera de los procesos de soldadura y sin necesidad de utilizar técnicas auxiliares.

La siguiente foto muestra las zonas más diferenciadas se generan tras un proceso de soldadura.



A continuación explicamos las dos zonas más importantes diferenciadas:

- **La Región Fundida:** es aquella adonde se produce la fusión y posterior solidificación del metal de aporte, el cual se “mezcla” con el metal base y genera el “metal de soldadura”
- **Zona Afectada por el Calor (ZAC):** es la región del metal base que sufre ciclos de calentamiento y enfriamiento debido al aporte térmico de la soldadura.

Por lo tanto, la unión soldada se divide en dos regiones: La región fundida o metal de soldadura aportado y la zona afectada por el calor (ZAC) en el material base.

El metal de soldadura es la región que corresponde a la pileta líquida de la soldadura o la que alcanza la fusión completa. Desde el punto de vista metalúrgico en esta región ocurre un proceso de solidificación de relativa complejidad con la presencia de una micro-estructura primaria de granos columnares cuya morfología dependerá del modo de solidificación.

A partir de la estructura primaria y como consecuencia de las subsiguientes transformaciones de estado sólido aparece una micro-estructura secundaria que confiere buena parte de las propiedades mecánicas del metal de soldadura y consecuentemente de la unión soldada. El metal de soldadura por su parte es resultado de un proceso de dilución entre el material o metal de aporte (en nuestro caso hilo de acero al carbono) y el metal base (el acero F-114).

En nuestro acero en concreto, es decir, acero al carbono, el metal de soldadura presenta una micro-estructura secundaria de ferrita o ferrita y perlita. Dependiendo del tipo de morfología de la ferrita resultante serán sus propiedades mecánicas, particularmente la relación entre resistencia y tenacidad.

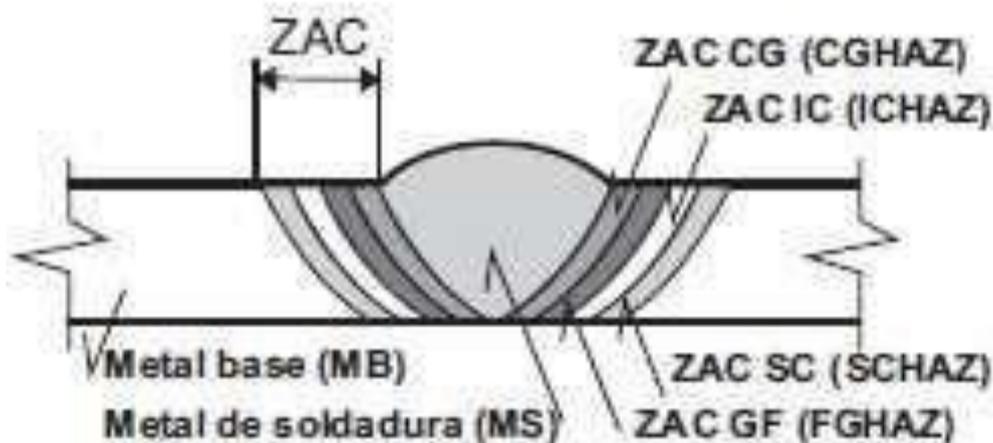
En general un alto contenido de ferrita resulta en un metal de soldadura con un buen nivel de tenacidad. Es necesario señalar que en pasadas múltiples se produce un efecto de refinamiento de la micro estructura de la pasada o el cordón como consecuencia de un calentamiento por encima de la temperatura de transformación, por la acción de la pasada siguiente. Este efecto de tratamiento térmico produce una re-cristalización con refinamiento de grano, mejorando notablemente la tenacidad del metal de soldadura.

El metal de soldadura tiene una composición resultante que es consecuencia del aporte de metal base fundido en los bordes de la junta y el metal de aporte propiamente dicho. En consecuencia el metal de soldadura es producto de la dilución entre ambos materiales; esta última se define en % como una relación, en la sección de la junta, entre el área de metal diferente al de aporte y el área total de la sección de la junta.

Por su parte la ZAC es una región del metal base adyacente a la línea de fusión cuyo tamaño dependerá del aporte térmico de la soldadura.

En la ZAC se producen transformaciones metalúrgicas de estado sólido, similares a las que ocurren en los tratamientos térmicos. La ZAC se puede subdividir en zonas diferenciadas desde el punto de vista micro-estructural en función del tipo de transformación que se produce en el acero.

En la siguiente imagen se muestran las subdivisiones del ZAC para soldaduras de una sola pasada, son las siguientes:



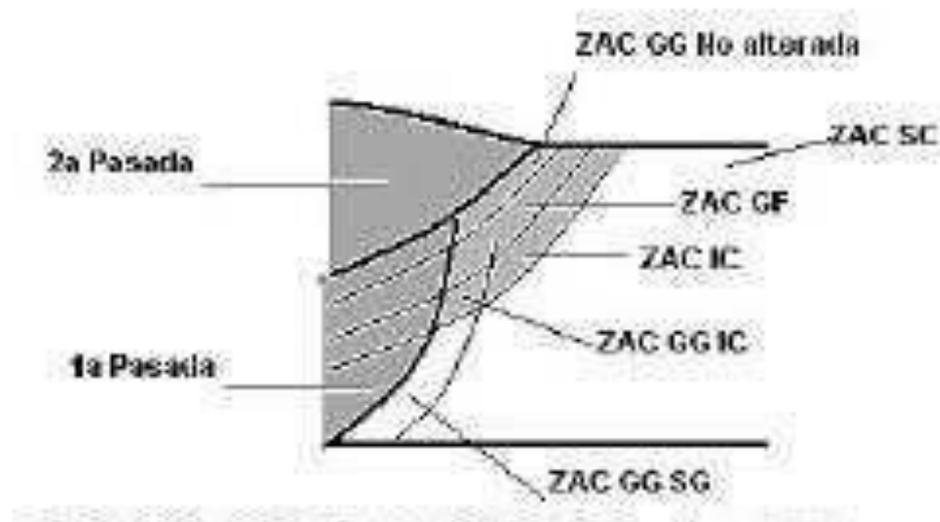
ZAC CG (CGHAZ): Región de grano grueso o crecimiento de grano.

ZAC GF (FGHAZ): Región de grano fino o de recristalización

ZAC IC (ICHAZ): Región de grano intercrítica o parcialmente transformada

ZAC SC (SCHAZ): Región subcrítica o de recocido subcrítico.

En la imagen de a continuación, se muestran las subdivisiones del ZAC para soldaduras multipasada:



ZAC CG IC (IC GHAZ o IRC GHAZ): Región ZAC de grano grueso (1ª pasada) recalentada intercríticamente (2º pasada).

ZAC CG SC (SC GHAZ o SRC GHAZ): Región ZAC de grano grueso (1ª pasada) recalentada subcríticamente (2º pasada)

La zona adyacente a la línea de fusión está caracterizada por una micro-estructura de granos gruesos donde se alcanza una temperatura por encima del punto crítico superior del acero produciendo austenitización con crecimiento de grano. El efecto del grano grueso deteriora la tenacidad haciendo que la ZAC, en esa región, sea más susceptible a la propagación de una fisura.

Además, dependiendo del aporte térmico, la velocidad de enfriamiento y la composición del acero pueden originarse, por transformación, fases duras o frágiles sensibles a la aparición de fisuras.

A la región de grano grueso le sigue una región de transformación de fase que determina una micro-estructura de grano fino, en general, de buenas propiedades mecánicas.

Finalmente tiene lugar una región sub-crítica con transformaciones parciales, similares a las del recocido sub-crítico de un acero, cuyo límite es la aparición de material base no afectado.

SOLDADURA MAG

INTRODUCCIÓN

Mediante la soldadura MAG se establece un arco eléctrico entre el electrodo, que tiene forma de hilo continuo, y la pieza a soldar. En esta ocasión la protección tanto del arco como del baño de soldadura se lleva a cabo mediante un gas activo (MAG)

La soldadura MAG tiene ventajas respecto al procedimiento de electrodo revestido. Entre ellas cabe destacar la mayor productividad que se obtiene, debido a que se eliminan los tiempos muertos empleados en reponer los electrodos consumidos. Se estima que para el procedimiento usando electrodo revestido, el hecho de desechar la última parte del electrodo antes de reponerlo por otro, más el consiguiente proceso de cebado del arco, hace que sólo el 65% del material es depositado en el baño, el resto son pérdidas. Sin embargo, el empleo de hilos continuos en forma de bobinas, tanto del tipo sólidos como tubulares, como material de aportación para el procedimiento MAG aumenta el porcentaje de eficiencia hasta el 80-90%. Además, al disminuir el número de paradas se reduce las veces del corte y posterior cebado del arco, por lo que se generan menos discontinuidades en el cordón como son los famosos "cráteres".

DESCRIPCIÓN

La soldadura MIG/MAG (Metal Inert Gas o Metal Active Gas, dependiendo del gas que se inyecte) también denominada GMAW (Gas Metal Arc Welding o «soldadura a gas y arco metálico») es un proceso de soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible. El arco se produce mediante un electrodo formado por un hilo continuo y las piezas a unir, quedando este protegido de la atmósfera circundante por un gas inerte (soldadura MIG) o por un gas activo (soldadura MAG).

La soldadura MIG/MAG es intrínsecamente más productiva que la soldadura MMA donde se pierde productividad cada vez que se produce una parada para reponer el electrodo consumido. El uso de hilos sólidos y tubulares han aumentado la eficiencia de este tipo de soldadura hasta el 80%-95%.

La soldadura MIG/MAG es un proceso versátil, pudiendo depositar el metal a una gran velocidad y en todas las posiciones. Este procedimiento es muy utilizado en espesores pequeños y medios en estructuras de acero y aleaciones de aluminio, especialmente donde se requiere un gran trabajo manual.

La introducción de hilos tubulares es particularmente favorable para la producción de estructuras pesadas donde se necesita de una gran resistencia de soldadura.

EVOLUCIÓN HISTORICA

A continuación se resume aquellos hitos que fueron concluyentes en el avance, en general de la técnica de soldar bajo gas protector, hasta nuestros días:

-En 1.919 se llevan a cabo las primeras investigaciones sobre el uso de gases de protección en los procesos de soldeo. Estas investigaciones versaron principalmente sobre los dos grandes grupos de gases, a saber, inertes (caso del Helio y Argón) o activos (CO₂). No obstante, el empleo de este último tipo inducía a la aparición de proyecciones y poros en el cordón una vez solidificado; pero por otro lado, el poder calorífico alcanzado por el arco bajo un gas activo es muy superior al alcanzado empleando un gas noble.

EL 1.924 es el año donde aparece la primera patente TIG registrada por los americanos Devers y Hobard.

En 1.948 comienza a emplearse gas inerte con electrodo consumible, dando lugar a lo que más tarde será conocido como procedimiento MIG. Este tipo de procedimiento tenía el inconveniente que era poco el grado de penetración que se alcanzaba en los aceros;

El 1.952 es el año donde comienza a emplearse gas activo con electrodo consumible, dando lugar a lo que más tarde será conocido como procedimiento MAG;

En 1.950 se van desarrollando procedimientos de automatización de los procesos de soldeo, gracias a las mejoras conseguidas en los equipos de soldeo y en la fabricación de los materiales de aporte. Por ejemplo, para disminuir las proyecciones se empezaron a emplear como material de aporte hilos huecos rellenos en su interior de revestimiento, o el empleo de mezclas de gases nobles y activos.

PROCEDIMIENTO SOLDADURA MAG

En este procedimiento se establece el arco eléctrico entre el electrodo consumible protegido y la pieza a soldar. La protección del proceso recae sobre un gas, que puede ser inerte, o sea que no participa en la reacción de la soldadura, dando lugar al llamado procedimiento de soldadura MAG (Metal Active Gas).

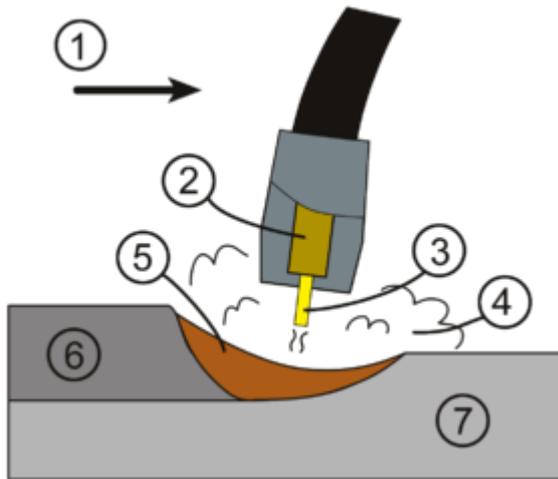
El empleo del procedimiento MAG se hace cada vez más frecuente en el sector industrial, debido a su alta productividad y facilidad de automatización. La flexibilidad es otro aspecto importante que hace que este procedimiento sea muy empleado, dado que permite soldar aceros de baja aleación, aceros inoxidable, aluminio y cobre, en espesores a partir de los 0,5 mm y en todas las posiciones. La protección por gas garantiza un cordón de soldadura continuo y uniforme, además de libre de impurezas y escorias. Además, la soldadura MIG / MAG es un método limpio y compatible con todas las medidas de protección para el medio ambiente.

A continuación se define los parámetros que caracterizan a este tipo de procedimiento:

- Fuente de calor: por arco eléctrico.
- Tipo de electrodo: consumible.
- Tipo de protección: por gas activo (MAG).
- Material de aportación: externa mediante el mismo electrodo que se va consumiendo.
- Aplicaciones: el procedimiento MAG se aplica a los aceros.

La soldadura mediante procedimiento MIG-MAG tiene ciertas ventajas frente al método del electrodo revestido, entre ellas que el soldador no tiene que cambiar de electrodo usando el procedimiento MAG, por lo que se elimina la formación de cráteres a lo largo del cordón, muy típicos en los puntos donde se cambia de electrodos y hay que cebar de nuevo el arco.

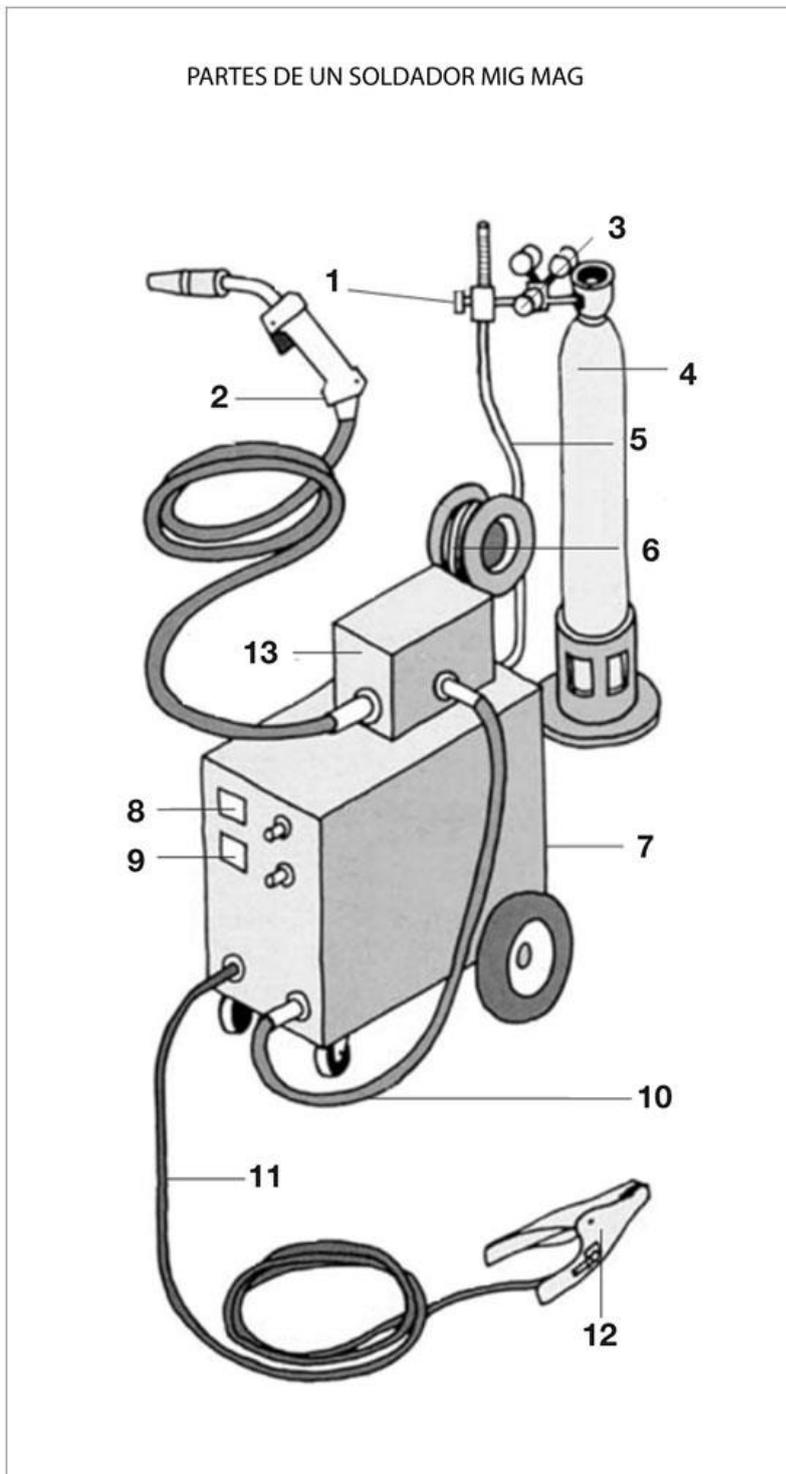
Por otro lado, como inconveniente está que son más los parámetros a regular mediante el procedimiento MAG, que son, entre otros, la velocidad de alimentación del hilo, su diámetro, el voltaje, el caudal de salida del gas, mientras que para el caso de uso de electrodos revestidos eran sólo la intensidad de corriente y el diámetro del electrodo.



1. Dirección de la soldadura
2. Tubo de contacto
3. Hilo
4. Atmósfera de gas protector
5. Baño de fusión
6. Cordón de soldadura
7. Metal de base.

EQUIPO SOLDADURA MAG

Vamos a repasar brevemente los componentes de un equipo de soldadura MIG/MAG, a fin de tener en claro sus principales partes. La siguiente imagen muestra estos componentes:



1 Caudalímetro: instrumento de medición de caudal.

2 Antorcha o pistola de soldadura: consta de un mango y un gatillo, y dirige el alambre, el gas protector y la corriente hacia la zona de soldadura. En su extremo contiene una boquilla o tubo de contacto (intercambiable para cada tipo de alambre) rodeada de una tobera.

3 Regulador de presión: los reguladores de presión son los instrumentos que nos permiten trabajar en una determinada presión, regulando la presión de salida (los reguladores de presión en este caso no nos permiten aumentar la presión, sino que siempre servirán para disminuir la presión de entrada a la válvula).

4 Cilindro de gas protector: contiene el gas a alta presión y está provisto de un regulador que permite medir el flujo gaseoso. Dependiendo del método (MIG o MAG) y del metal a soldar, el gas más económico y usado es el dióxido de carbono (MAG) y luego le siguen argón (MIG), helio (MIG). También son comunes las mezclas de CO₂ con gases inertes para soldaduras MAG.

5 Manguera de suministro de gas.

6 Electrodo (hilo): la soldadura MIG/MAG tampoco necesita que nos detengamos para cambiar los electrodos, así que podemos concentrarnos muy bien en lo que estamos haciendo.

7 Fuente de energía: aporta la energía suficiente para fundir el alambre en la pieza de trabajo.

8 Amperímetro: nos permite medir la intensidad de la corriente.

9 Voltímetro: la escala es graduada en voltios.

10 Cable de potencia

11 Cable de retorno

12 Pinza de masa

3 Alimentador del alambre consumible: consta de un motor y rodillos impulsores, y permite el desplazamiento continuo del alambre a través de la pistola para llegar a la zona donde se produce el arco de soldadura. En algunos equipos, el alimentador del alambre viene incorporado directamente en la pistola.

EQUIPO UTILIZADO

El equipo de soldeo utilizado para la realización de este proyecto, se ha proporcionado por el laboratorio de la escuela de Ingeniería de los Materiales. Para poder garantizar la seguridad al utilizar estos equipos, han de ser utilizados de forma correcta con los equipos de protección necesarios.

En la siguiente fotografía se muestra el equipo utilizado en las soldaduras realizadas en las probetas de control, que se han utilizado con objeto de estudio en este proyecto:



GASES PROTECCIÓN SOLDADURA MAG

a) Anhídrido carbónico (CO₂)

Para este tipo de soldadura se utilizan 2 modalidades de un gas activo de protección:

1-Con Anhídrido Carbónico (CO₂).

Es un gas que es más barato que otros empleados en soldadura como el argón. No obstante origina peligro de formación de hielo, por lo que requiere el uso de calentadores en algunos casos.

Genera un arco muy enérgico, que consigue mayor penetración, a la vez que origina mayor cantidad de proyecciones y salpicaduras. El aspecto final del cordón suele ser rugoso.

Como material de aporte se utiliza con hilos que contienen composición alta de Si y Mn, realizándose la transferencia de material en cortocircuito. Su uso se restringe al acero, consiguiéndose mejorar la penetración.

Especial atención y cuidado requiere la atmósfera con alto contenido en CO (gas tóxico) que genera, por lo que se requiere disponer de extractores en los lugares de soldeos para renovar el aire.

2-Mezcla de argón y anhídrido carbónico (Ar al 80% + CO₂ al 20%).

Cuando se utiliza esta mezcla en soldadura MAG se generan pocas proyecciones en el cordón y mayor tasa de productividad. El aspecto final de los cordones es muy bueno, siendo buenas las características mecánicas del metal depositado.

Este tipo de gas permite una mayor facilidad de reglaje de los parámetros de soldeo.

Por otro lado, este gas es de precio más caro, a la vez que hay que cuidar que no se produzca estratificación en las botellas de suministro.

MATERIAL DE APORTE

Como material de aporte, este procedimiento utiliza hilos que pueden ser macizos o tubulares. Estos se suministran enrollados en bobinas y recubiertos de cobre:

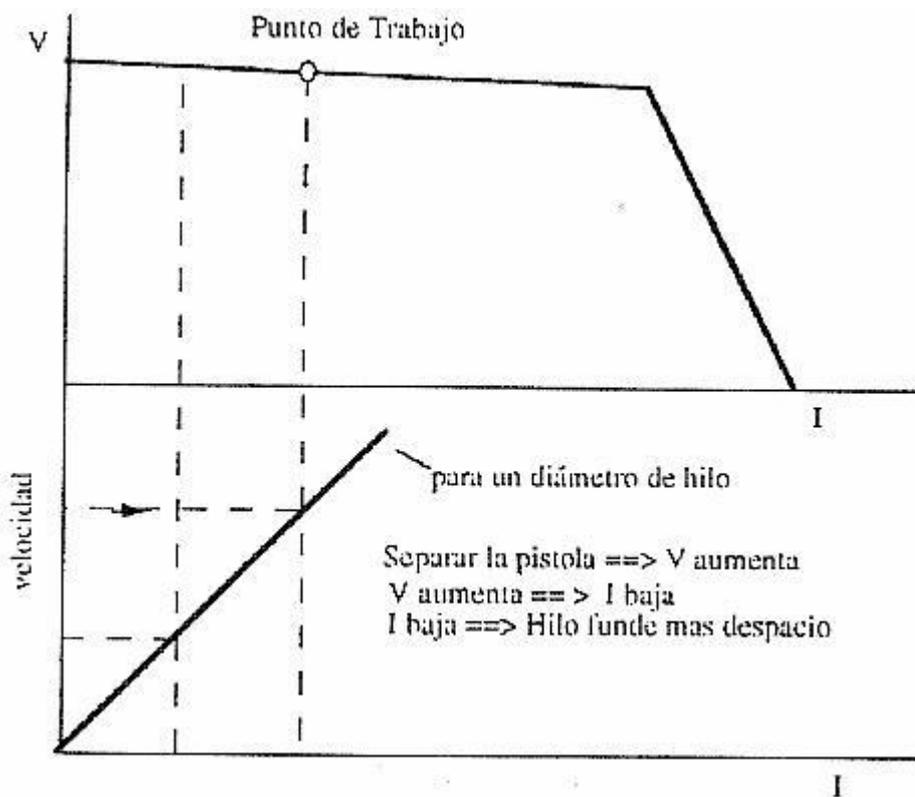
El hecho de recubrir los hilos de electrodos con cobre se realiza para conseguir los siguientes objetivos, favorecer el contacto eléctrico; disminuir los rozamientos y obtener protección contra la corrosión.

En este caso concreto de soldadura MAG con gas activo CO₂ se emplea hilo tubular.

POLARIDAD

Para la soldadura MAG siempre habrá que emplear la corriente continua (CC). No se recomienda emplear la polaridad directa, debido a que origina un arco poco estable que favorece el rechazo de la gota fundida.

Las fuentes de corrientes que se empleen deben presentar una característica estática ligeramente descendente. En estos equipos el voltaje (V) que se establece en el arco es prácticamente constante, gracias al proceso de autorregulación que van equipados. Esto supone que la velocidad de alimentación del hilo, que es un parámetro a regular, será proporcional a la intensidad de corriente que se precisa para fundirlo, de manera que la distancia electrodo pieza se mantenga constante y así también el voltaje aplicado.



Según se deduce de la figura anterior, la velocidad del hilo va a ser un parámetro que tendrá que ser regulado por el operario. De esta forma, dependiendo de la velocidad de alimentación del hilo, para un voltaje establecido, el equipo regulará la intensidad de corriente para que el consumo de hilo coincida con su velocidad de salida.

MODOS DE TRANSFERENCIA

Los modos de transferencia del material de aporte, según los parámetros y tipos de gas de la soldadura, son los siguientes:

-POR SPRAY ("SPRAY TRANSFER"):

Mediante este modo de transferencia de material, las gotas, que generalmente serán de pequeño diámetro, se depositan en el baño siguiendo la dirección del hilo. Es un modo de transferencia típico de los arcos estables y baños de fusión muy calientes. El resultado que deja es un cordón de aspecto liso y con escasas proyecciones, estando caracterizado por una penetración muy marcada en el centro.

Cuando se produce este tipo de transferencia resulta difícil el control del baño, salvo cuando se suelda en posición horizontal. El modo de transferencia por spray normalmente se produce cuando se utiliza como gas argón (Ar), puro o en mezclas ricas en argón. Para que se produzca este tipo de transferencia es necesario emplear tensiones elevadas (>28 V), originándose en el proceso un zumbido característico. Tensión de 27 a 40 Voltios.

-POR CORTOCIRCUITO ("SHORT ARC" O "DIP TRANSFER"):

Este modo de transferencia se genera cuando se producen frecuentes cortocircuitos que hacen extinguir el arco (entre 40 y 200 veces/seg.) Es típico de los baños relativamente fríos y con pequeño poder de penetración. Se genera un arco ruidoso con muchas proyecciones y de aspecto ancho y rugoso. Tensión entre 14 a 22 Voltios;

-GLOBULAR ("GLOBULAR TRANSFER"):

Para este modo de transferencia las gotas que se transfieren al baño son de tamaño relativamente grandes. Transferencia de material de tipo globular en soldadura MIG-MAG, Se genera con arcos menos estables, originándose abundantes proyecciones a lo largo del cordón. Así mismo, se produce poca penetración de soldeo, y la tensión necesaria se encuentra entre 22-28 V.

VARIABLES DE SOLDADURA MAG

Hay diferentes variables que entran en juego a la hora de efectuar una soldadura tipo MAG. Unas depende de la regulación del equipo, pero otras dependen de la destreza del operario que realiza la soldadura.

- **Tensión de corriente:** El valor de la tensión de corriente tiene una influencia notoria sobre el modo de transferencia: cortocircuitos: tensión de 14 a 22 Voltios; globular: tensión de 22 a 26 Voltios; spray: tensión de 27 a 40 Voltios.

En general, aumentar el voltaje supondrá que se obtenga un cordón más ancho.

- **Velocidad de arrastre de hilo:** La velocidad de arrastre del hilo va a ser siempre proporcional a la intensidad de corriente. Es un valor que se fija en el equipo de soldeo, lo que va a fijar la intensidad de corriente.

- **Velocidad de arrastre de pistola:** La velocidad de arrastre de la pistola de soldeo va a depender de posición de soldadura que se practique, del aspecto del cordón que se requiera; de la penetración que se desee conseguir; forma del cordón y del saber hacer del oficial que practique la soldadura.

- **Caudal de gas:** El valor del caudal de gas de salida dependerá del tipo de gas empleado. Como valores normales de referencia oscila entre los 14 a 16 litros/minuto si se emplea CO₂ y de 10 a 12 litros/minuto para mezclas.

SISTEMAS DE PROTECCIÓN

MASCARA DE PROTECCIÓN

Este sistema de protección es indispensable a la hora de efectuar cualquier tipo de soldadura de arco, las posibles lesiones en los ojos por mirar directamente mientras se suelda pueden ser irreversibles y muy graves.

Los materiales más utilizados para fabricar el cuerpo de la careta son triplex, fibra o madera y con los lados bien anchos. Para poder ver, está equipada con un vidrio claro transparente por el lado de trabajo y otro inactivo o de color apropiado por el lado de la cara.

El vidrio claro transparente debe de reemplazarse cuando está lo bastante picado por salpicaduras, pues dificulta la visibilidad del baño de fusión. Hay muchas tonalidades de vidrios de color, tanto más fuertes cuanto mayor sea la intensidad de corriente con la que se trabaja.

Para trabajos especiales en los que se requiera tener una mano libre, se dispondrá de una careta de tipo casco que permite levantar el vidrio. En general, la utilización del casco es mucho más segura, pues permite una mayor autonomía de trabajo.

En el mercado actual existen caretas con un sensor de iluminación que permiten disponer del cristal claro para posicionar el electrodo, y cuando se inicia el contacto del electrodo con la pieza, automáticamente éste se oscurece.



GUANTES DE PROTECCION TERMICA

Los guantes de protección térmica también son indispensables a la hora de realizar cualquier tipo de soldadura, puesto que en el proceso de soldadura las piezas de acero sufren grandes incrementos de temperatura. Al manipular la pieza en cuestión sin esta protección podría ocasionar quemaduras de hasta primer grado.

El material más utilizado para este tipo de guantes es el cuero. Además, estos guantes entran provistos de mangas para proteger también los antebrazos frente a chispas que pudiera ocasionar la soldadura.



DELANTAL DE PROTECCION TERMICA

Este tipo de delantales suelen ser de cuero grueso, están preparador para aguantar salpicaduras del material fundente. Sin esta protección una chispa podría acabar traspasando la ropa y ocasionar al operario quemaduras serias.



TRATAMIENTOS TÉRMICOS

El Tratamiento Térmico involucra varios procesos de calentamiento y enfriamiento para efectuar cambios estructurales en un material, los cuales modifican sus propiedades mecánicas. El objetivo de los tratamientos térmicos es proporcionar a los materiales unas propiedades específicas adecuadas para su conformación o uso final. No modifican la composición química de los materiales, pero si otros factores tales como los constituyentes estructurales y la granulometría, y como consecuencia las propiedades mecánicas. Se pueden realizar Tratamientos Térmicos sobre una parte o la totalidad de la pieza, de uno o varios pasos de la secuencia de manufactura. En algunos casos, el tratamiento se aplica antes del proceso de formación (recocido para ablandar el metal y ayudar a formarlo más fácilmente mientras se encuentra caliente). En otros casos, se usa para aliviar los efectos del endurecimiento por deformación. Finalmente, se puede realizar al final de la secuencia de manufactura para lograr resistencia y dureza. Se conoce como tratamiento térmico al conjunto de operaciones de calentamiento y enfriamiento, bajo condiciones controladas de temperatura, tiempo de permanencia, velocidad, presión, de los metales o las aleaciones en estado sólido, con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas, especialmente la dureza, la resistencia y la elasticidad. Los materiales a los que se aplica el tratamiento térmico son, básicamente, el acero y la fundición, formados por hierro y carbono.

TIPOS

Existen varios tipos de Tratamientos Térmicos, pero en ésta práctica solo se trabajarán tres de estos: Recocido, Temple y Revenido. A continuación se presentan las principales características de cada uno de estos tipos de Tratamientos Térmicos.

RECOCIDO

Es un tratamiento térmico que normalmente consiste en calentar un material metálico a temperatura elevada durante largo tiempo, con objeto de bajar la densidad de dislocaciones y, de esta manera, impartir ductilidad. El Recocido se realiza principalmente para:

- Alterar la estructura del material para obtener las propiedades mecánicas deseadas, ablandando el metal y mejorando su manipulación.
- Recristalizar los metales trabajados en frío.
- Para aliviar los esfuerzos residuales.

Ya que el recocido ha sido el tratamiento térmico utilizado en los ensayos realizados para este proyecto, vamos explicarlo con mayor detalle.

El recocido se realiza en tres etapas: primero se calienta el material hasta la temperatura de recocido, después se mantiene la temperatura durante un tiempo determinado. Por último se deja enfriar el material lentamente. Se deben preparar debidamente las piezas que se vayan a recocer. Se debe eliminar la herrumbre y el óxido.

Hay diferentes tipos de recocido según su finalidad, con diferencias en temperaturas de calentamiento y enfriamiento.

RECOCIDO DE ELIMINACIÓN DE TENSIONES

Por medio de la deformación en frío se presentan tensiones en el material. Dichas tensiones pueden provocar deformaciones en las piezas, pero pueden eliminarse mediante un recocido calentando el metal entre 550 y 650°C y manteniendo la temperatura durante 30-120 minutos. Después se refrigera de forma lenta.

RECOCIDO DE ABLANDAMIENTO

Los materiales templados o ricos en carbono (sobre 0,9%) son difíciles de trabajar mediante arranque de viruta (torneado, fresado, etc.) o mediante deformación en frío. Para ablandar el material puede hacerse un recocido. Se calienta la pieza entre 650 y 750°C tras lo cual se mantiene la temperatura durante 3-4 horas antes de disminuir lentamente su temperatura. Es habitual mantener una subida y bajada alternativa de la temperatura en torno a los 723°C.

RECOCIDO NORMAL

Mediante el recocido normal se afina el grano de la estructura y se compensan las irregularidades de las piezas producidas por deformaciones, ya sea en caliente o en frío, tales como doblado, fundición, soldadura, etc. El procedimiento consiste en calentar a temperaturas entre 750 y 980°C, conforme al contenido de carbono del material, tras lo que se mantiene la temperatura para después dejar enfriar lentamente al aire.

TEMPLE

El Temple es un tratamiento térmico que tiene por objetivo aumentar la dureza y resistencia mecánica del material, transformando toda la masa en Austenita con el calentamiento y después, por medio de un enfriamiento brusco (con aceites, agua o salmuera), se convierte en Martensita, que es el constituyente duro típico de los ceros templados.

En el temple, es muy importante la fase de enfriamiento y la velocidad alta del mismo, además, la temperatura para el calentamiento óptimo debe ser siempre superior a la crítica para poder obtener de esta forma la Martensita. Existen varios tipos de Temple, clasificados en función del resultado que se quiera obtener y en función de la propiedad que presentan casi todos los aceros, llamada Templabilidad (capacidad a la penetración del temple), que a su vez depende, fundamentalmente, del diámetro o espesor de la pieza y de la calidad del acero.

REVENIDO

El Revenido es un tratamiento complementario del Temple, que generalmente prosigue a éste. Después del Temple, los aceros suelen quedar demasiados duros y frágiles para los usos a los cuales están destinados. Lo anterior se puede corregir con el proceso de Revenido, que disminuye la dureza y la fragilidad excesiva, sin perder demasiada tenacidad.

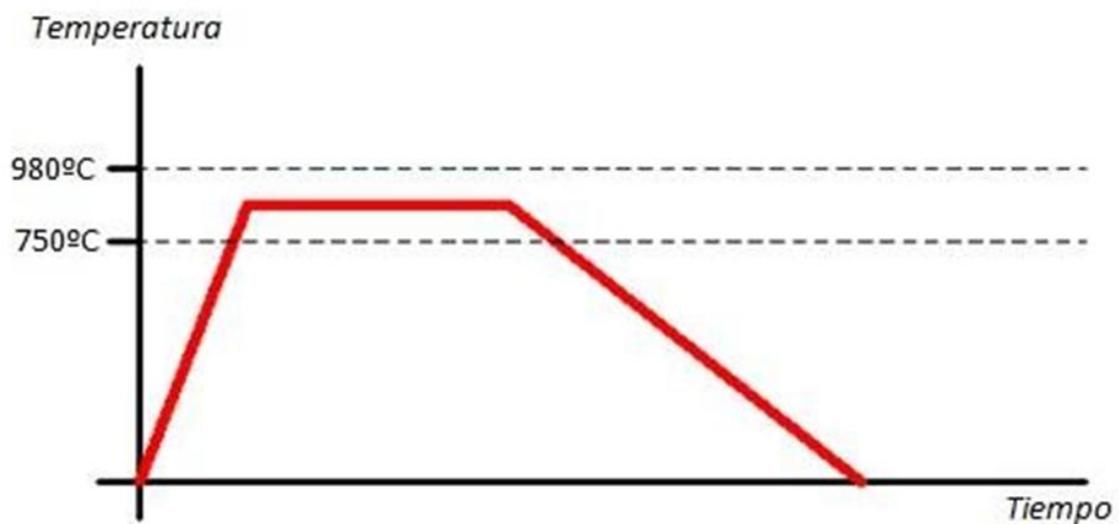
Por ejemplo, se han utilizado estos tratamientos térmicos para la fabricación del acero de Damasco (Siglo X a.C.) y de las espadas de los samuráis japoneses (Siglo XII d.C.). Es posible obtener una dispersión excepcionalmente fina de Fe_3C (conocida como martensita revenida) si primero se temple la austenita para producir martensita, y después se realiza el revenido. Durante el revenido, se forma una mezcla íntima de ferrita y cementita a partir de la martensita. El tratamiento de revenido controla las propiedades físicas del acero.

Este tratamiento térmico consiste en calentar el acero, (después de haberle realizado un Temple o un Normalizado) a una temperatura inferior al punto crítico (o temperatura de recristalización), seguido de un enfriamiento controlado que puede ser rápido cuando se pretende resultados altos en tenacidad, o lentos, cuando se pretende reducir al máximo las tensiones térmicas que pueden generar deformaciones.

Es muy importante aclarar que con la realización del proceso de Revenido no se eliminan los efectos del Temple, solo se modifican, ya que se consigue disminuir la dureza y tensiones internas para lograr de ésta manera aumentar la tenacidad.

TRATAMIENTO TÉRMICO UTILIZADO

En nuestro caso hemos optado por un recocido NORMAL. Hemos calentado el horno a 900°C, colocamos la pieza en él durante una hora y dejamos enfriar dentro del horno hasta temperatura ambiente (aproximadamente un día). De esta forma hacemos que las tensiones provocadas en la fase de soldeo desaparezcan y hacemos que la micro estructura del acero cambie drásticamente homogeneizando la estructura y haciéndola más estable que en el de enfriamiento al aire, puesto que en este supuesto debido a la velocidad de enfriamiento se generan estructuras metal estables, tipo MARTENSITICO o BAINITICO dependiendo de la velocidad de enfriamiento.



El horno utilizado para el calentamiento de nuestras probetas ha sido el del laboratorio del Departamento de Ingeniería de Materiales.



ENSAYOS

PREPARACIÓN DE PROBETAS

En primer lugar, e independiente del procedimiento de soldadura elegido, es fundamental preparar de la forma más adecuada la pieza moldeada para efectuar la soldadura, así como eliminar de la zona destinada a la soldadura materias extrañas, tales como aceites, grasas, marcas de pintura, óxidos y arena.

Cualquier impureza que hubiere en el área de soldadura desembocaría en una soldadura de mala calidad, con lo de la unión perdería propiedades mecánicas considerablemente. Por ello, se ha hecho una preparación exhaustiva de las probetas a ensayar, para evitar que los resultados den datos erróneos.

En este trabajo, se ha partido de chapas de acero F- 1140, cuyas dimensiones son 300 mm de longitud, 100 mm de anchura y 3 mm de espesor.

Cuando tenemos correctamente preparadas las probetas para soldar, se procede a realizar el cordón de soldadura. La soldadura MAG suele hacer unos cordones bastantes regulares y limpios, aun así el material aportado en la soldadura provoca el aumento de sección en la zona de la soldadura. Justo en el cordón de soldadura podemos encontrar espesores de más de 6mm, con lo que procederemos a amolar la zona soldada para recuperar el espesor de 3mm de la plancha de acero inicial y posteriormente lijarla, para poder hacer los ensayos correctamente.

Todas las probetas, deberán ser revisadas visualmente para comprobar que no tengan grietas, ni zonas con grosores mayores a lo esperado. Descartando así las probetas con defecto, pues los datos obtenidos en los ensayos no serían válidos.

Parte de las probetas a utilizar, concretamente las utilizadas en el ensayo de tracción y de doblado, deben estar mecanizadas con una geometría específica según la UNE-EN 895, para que los cálculos sean los correctos. Esta normativa corresponde a los "Ensayos Destructivos de uniones soldadas en materiales metálicos. Ensayo de Tracción Transversal".

Partiendo de los bloques de dimensiones 300x100x3 mm ya soldados, el primer paso el proceso de mecanizado será el diseño de las probetas. En la figura siguiente se muestran las dimensiones de las probetas que se han sometido a tracción transversal.



PROBETAS PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN

ENSAYO DE TRACCIÓN

El ensayo de tracción o ensayo a la tensión de un material consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la probeta. Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente. Las velocidades de deformación en un ensayo de tensión suelen ser muy pequeñas ($\epsilon = 10^{-4}$ a 10^{-2} s $^{-1}$).

En un ensayo de tracción pueden determinarse diversas características de los materiales elásticos:

-Módulo de elasticidad o Módulo de Young, que cuantifica la proporcionalidad anterior. Es el resultado de dividir la tensión por la deformación unitaria, dentro de la región elástica de un diagrama esfuerzo-deformación.

-Coeficiente de Poisson, que cuantifica la razón entre el alargamiento longitudinal y el acortamiento de las longitudes transversales a la dirección de la fuerza.

-Límite de proporcionalidad: valor de la tensión por debajo de la cual el alargamiento es proporcional a la carga aplicada.

-Límite de fluencia o límite elástico aparente: valor de la tensión que soporta la probeta en el momento de producirse el fenómeno de la cedencia o fluencia. Este fenómeno tiene lugar en la zona de transición entre las deformaciones elásticas y plásticas y se caracteriza por un rápido incremento de la deformación sin aumento apreciable de la carga aplicada.

Límite elástico (límite elástico convencional o práctico): valor de la tensión a la que se produce un alargamiento prefijado de antemano (0,2%, 0,1%, etc.) en función del extensómetro empleado. Es la máxima tensión aplicable sin que se produzcan deformaciones permanentes en el material.

Carga de rotura o resistencia a tracción: carga máxima resistida por la probeta dividida por la sección inicial de la probeta.

Alargamiento de rotura: incremento de longitud que ha sufrido la probeta. Se mide entre dos puntos cuya posición está normalizada y se expresa en tanto por ciento.

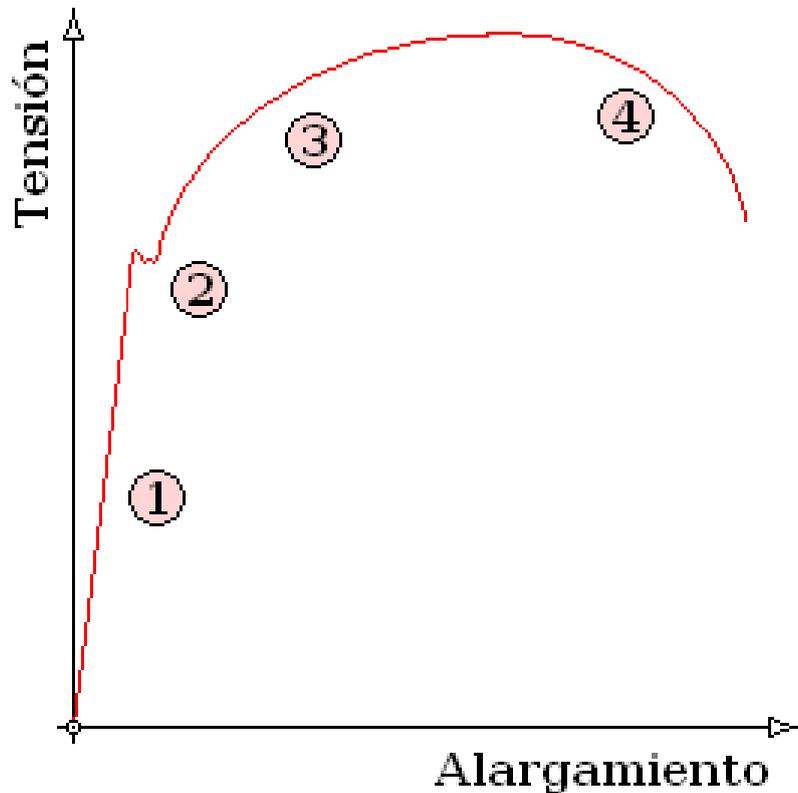
Estricción: es la reducción de la sección que se produce en la zona de la rotura.

Normalmente, el límite de proporcionalidad no suele determinarse ya que carece de interés para los cálculos. Tampoco se calcula el Módulo de Young, ya que éste es característico del material; así, todos los aceros tienen el mismo módulo de elasticidad aunque sus resistencias puedan ser muy diferentes.

Este ensayo mide la deformación (alargamiento) de la probeta entre dos puntos fijos de la misma a medida que se incrementa la carga aplicada, y se representa gráficamente en función de la

tensión (carga aplicada dividida por la sección de la probeta). En general, la curva tensión-deformación así obtenida presenta cuatro zonas diferenciadas:

CURVA TENSIÓN-DEFORMACIÓN



1.- Deformaciones elásticas: Las deformaciones se reparten a lo largo de la probeta, son de pequeña magnitud y, si se retirara la carga aplicada, la probeta recuperaría su forma inicial.

2.- Fluencia o cedencia: Es la deformación brusca de la probeta sin incremento de la carga aplicada.

3.- Deformaciones plásticas: Si se retira la carga aplicada en dicha zona, la probeta recupera sólo parcialmente su forma quedando deformada permanentemente

4.- Estricción: las deformaciones se concentran en la parte central de la probeta apreciándose una acusada reducción de la sección

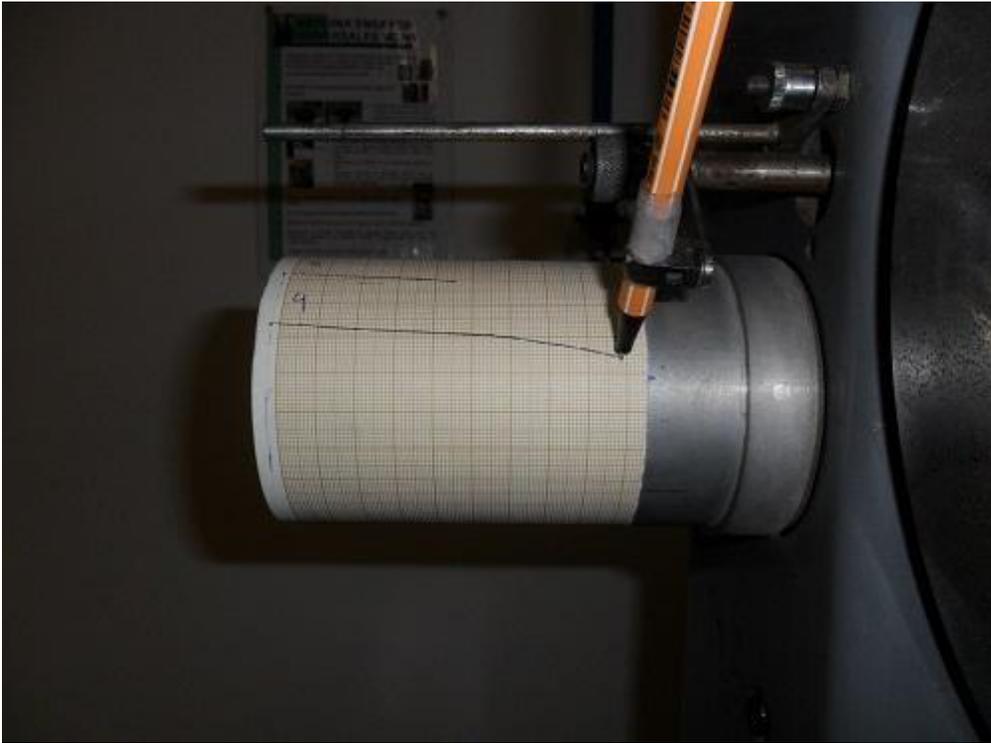
MECANIZACIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYO DE TRACCION



FOTOS DE ENSAYO DE TRACCIÓN







ESTADO DE PROBETA DESPUES DE FINALIZAR EL ENSAYO



ENSAYO DE DOBLADO

El ensayo de doblado se aplica en frío o en caliente para chapas, cintas, alambres y tubos, con objeto de determinar la capacidad del metal de soportar el doblado hasta un ángulo requerido, hasta que los dos planos sean paralelos, o hasta la coincidencia de las caras. Después de pasar el ensayo las probetas no han de tener grietas.

Este método nos permite conocer la plasticidad de los diferentes materiales metálicos y como consecuencia conocer la forma en que se puede trabajar con ellos.

Plasticidad: Es la propiedad del material donde aun así después de retirar la fuerza que está siendo aplicada sobre el material este no regresa a su estado original, sino que por el contrario sigue deformándose permanentemente. Un material completamente plástico es aquel que no regresa a sus dimensiones originales al suprimir la carga como se mencionó antes y adicional a esto posee un límite elástico muy pequeño.

MAQUINA DE ENSAYOS DE PLEGADO



Nuestro ensayo, ha sido realizado en la máquina universal de ensayos de la figura, comprobando la distribución de los apoyos, la aplicación de las cargas y siendo las características del ensayo:

- Diámetro rodillos de 20mm.
- Diámetro punzón de 20mm.
- Distancia entre los centros de los rodillos de 65mm.

Para determinar el ángulo de doblado de las soldaduras, se han cortado y preparado cuatro probetas (dos con tratamiento térmico y dos sin tratamiento).

Para mecanizar las probetas que se van a ensayar por doblado, también se parte de los bloques de dimensiones 300x100x3 mm ya soldados, y como antes, el primer paso el proceso de mecanizado será el diseño de las probetas.

Los bloques se cortarán en piezas de la anchura adecuada. Todo el proceso de preparación se ha llevado a cabo según la norma UNE-EN 910, correspondiente a "Ensayos Destructivos de uniones soldadas en materiales metálicos. Ensayos de doblado".

Se han mecanizado cuatro probetas de 120x20x3mm.

Para cortar, tanto las probetas utilizadas para tracción como las empleadas para doblado a sus dimensiones adecuadas, se ha utilizado una sierra de cinta del taller de DIMM.



El ensayo de doblado nos determinará si la soldadura está bien ejecutada para las sollicitaciones de doblado.

En el caso de nuestro ensayo, se ha comprobado que nuestras probetas no se rompen o fisuran y que por lo tanto la soldadura resiste las sollicitaciones requeridas.



ROBETA CON TRATAMIENTO TÉRMICO

ROBETA CON TRATAMIENTO TÉRMICO

ENSAYO MICRODUREZA VICKERS

El Ensayo de Micro dureza Vickers según la norma UNE 112–029, consiste en medir el tamaño de la huella provocada en la superficie de un material mediante un penetrador normalizado.

El penetrador es una pirámide de diamante con base cuadrada, cuyo ángulo en el vértice es de 136°. El ensayo consiste en imprimir la marca de un penetrador en una muestra y medir con el microscopio las diagonales de la huella dejada en la superficie después de levantar el penetrador.

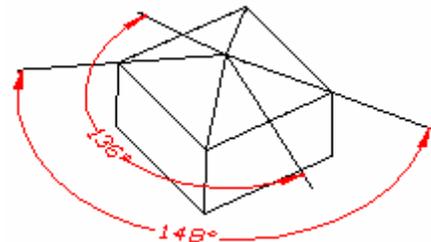
Por consiguiente, la dureza de Vickers se define como la relación

$$HV = \frac{P}{S}$$

P: Es la carga aplicada sobre el penetrador, representada en kg fuerza.

S: Es la superficie lateral de la huella. La podemos calcular con la siguiente ecuación:

$$S = \frac{d^2}{2 \cdot \sin 68^\circ}$$

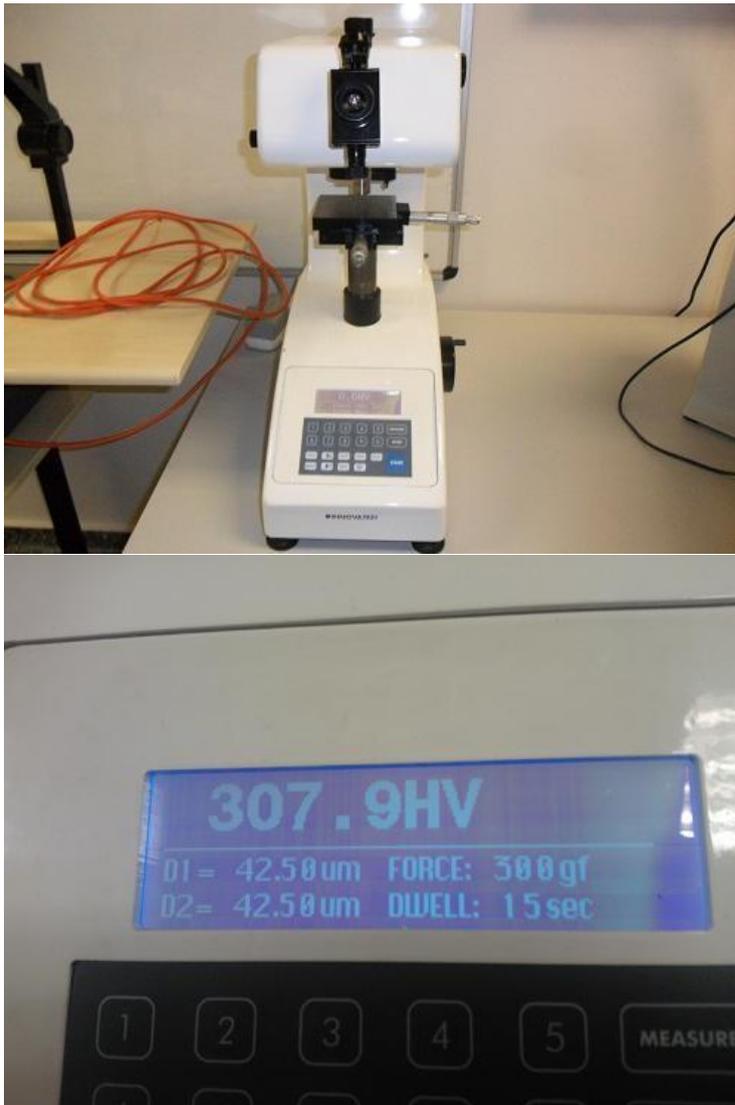


Donde “**d**” es la media aritmética de las diagonales de la huella.

Unificando las 2 ecuaciones se puede expresar la ecuación de la dureza de Vickers como:

$$HV = \frac{2 \cdot P \cdot \sin 68^\circ}{d^2} = 1.8544 \cdot \frac{P}{d^2}$$

EQUIPO MEDICIÓN MICRO DUREZAS DE VICKERS



Estas micrográficas se han realizado desde el microscopio, muestras la huella producida por el penetrador.

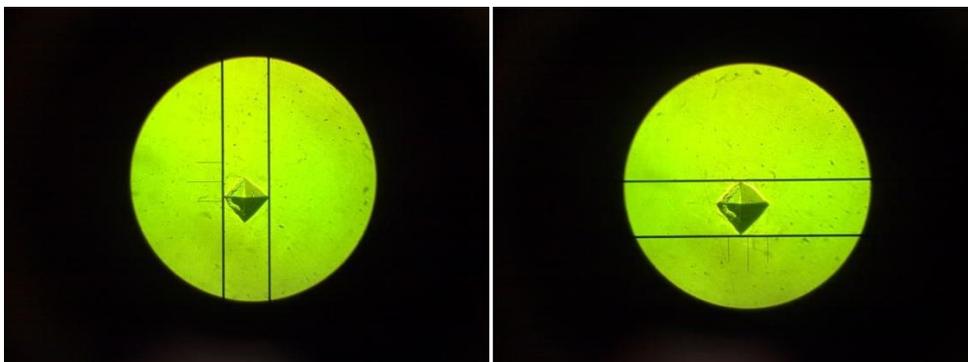


TABLA CORRELACIÓN DUREZAS

| Resistencia a la tracción (N/mm ²) | Dureza Vickers (F>98N) | Dureza Brinell (1) (0,102F/D 2=30N/mm ²) | DUREZA ROCKWELL | | | | | | | |
|--|------------------------|--|-----------------|-----|------|------|------|--------|--------|--------|
| | | | HRB | HRF | HRC | HRA | HRD | HR 15N | HR 30N | HR 45N |
| 1255 | 390 | 371 | | | 39,8 | 70,3 | 55,3 | 80,3 | 59,3 | 42,9 |
| 1290 | 400 | 380 | | | 40,8 | 70,8 | 56 | 80,8 | 60,2 | 44,1 |
| 1320 | 410 | 390 | | | 41,8 | 71,4 | 56,8 | 81,4 | 61,1 | 45,3 |
| 1350 | 420 | 399 | | | 42,7 | 71,8 | 57,5 | 81,8 | 61,9 | 46,4 |
| 1385 | 430 | 409 | | | 43,6 | 72,3 | 58,2 | 82,3 | 62,7 | 47,4 |
| 1420 | 440 | 418 | | | 44,5 | 72,8 | 58,8 | 82,8 | 63,5 | 48,4 |
| 1455 | 450 | 428 | | | 45,3 | 73,3 | 59,4 | 83,2 | 64,3 | 49,4 |
| 1485 | 460 | 437 | | | 46,1 | 73,6 | 60,1 | 83,6 | 64,9 | 50,4 |
| 1520 | 470 | 447 | | | 46,9 | 74,1 | 60,7 | 83,9 | 65,7 | 51,3 |
| 1555 | 480 | -456 | | | 47,7 | 74,5 | 61,3 | 84,3 | 66,4 | 52,2 |
| 1595 | 490 | -466 | | | 48,4 | 74,9 | 61,6 | 84,7 | 67,1 | 53,1 |
| 1630 | 500 | -475 | | | 49,1 | 75,3 | 62,2 | 85 | 67,7 | 53,9 |
| 1665 | 510 | -485 | | | 49,8 | 75,7 | 62,9 | 85,4 | 68,3 | 54,7 |
| 1700 | 520 | -494 | | | 50,5 | 76,1 | 63,5 | 85,7 | 69 | 55,6 |
| 1740 | 530 | -504 | | | 51,1 | 76,4 | 63,9 | 86 | 69,5 | 56,2 |
| 1775 | 540 | -513 | | | 51,7 | 76,7 | 64,4 | 86,3 | 70 | 57 |
| 1810 | 550 | -523 | | | 52,3 | 77 | 64,8 | 86,6 | 70,5 | 57,8 |
| 1845 | 560 | -532 | | | 53 | 77,4 | 65,4 | 86,9 | 71,2 | 58,6 |
| 1880 | 570 | -542 | | | 53,6 | 77,8 | 65,8 | 87,2 | 71,7 | 59,3 |
| 1920 | 580 | -551 | | | 54,1 | 78 | 66,2 | 87,5 | 72,1 | 59,9 |
| 1955 | 590 | -561 | | | 54,7 | 78,4 | 66,7 | 87,8 | 72,7 | 60,5 |
| 1995 | 600 | -570 | | | 55,2 | 78,6 | 67 | 88 | 73,2 | 61,2 |
| 2030 | 610 | -580 | | | 55,7 | 78,9 | 67,5 | 88,2 | 73,7 | 61,7 |
| 2070 | 620 | -589 | | | 56,3 | 79,2 | 67,9 | 88,5 | 74,2 | 62,4 |
| 2105 | 630 | -599 | | | 56,8 | 79,5 | 68,3 | 88,8 | 74,6 | 63 |
| 2145 | 640 | -608 | | | 57,3 | 79,8 | 68,7 | 89 | 75,1 | 63,5 |
| 2180 | 650 | -618 | | | 57,8 | 80 | 69 | 89,2 | 75,5 | 64,1 |
| | 660 | | | | 58,3 | 80,3 | 69,4 | 89,5 | 75,9 | 64,7 |
| | 670 | | | | 58,8 | 80,6 | 69,8 | 89,7 | 76,4 | 65,3 |
| | 680 | | | | 59,2 | 80,8 | 70,1 | 89,8 | 76,8 | 65,7 |
| | 690 | | | | 59,7 | 81,1 | 70,5 | 90,1 | 77,2 | 66,2 |
| | 700 | | | | 60,1 | 81,3 | 70,8 | 90,3 | 77,6 | 66,7 |
| | 720 | | | | 61 | 81,8 | 71,5 | 90,7 | 78,4 | 67,7 |
| | 740 | | | | 61,8 | 82,2 | 72,1 | 91 | 79,1 | 68,6 |
| | 760 | | | | 62,5 | 82,6 | 72,6 | 91,2 | 79,7 | 69,4 |
| | 780 | | | | 63,3 | 83 | 73,3 | 91,5 | 80,4 | 70,2 |
| | 800 | | | | 64 | 83,4 | 73,8 | 91,8 | 81,1 | 71 |
| | 820 | | | | 64,7 | 83,8 | 74,3 | 92,1 | 81,7 | 71,8 |
| | 840 | | | | 65,3 | 84,1 | 74,8 | 92,3 | 82,2 | 72,2 |
| | 860 | | | | 65,9 | 84,4 | 75,3 | 92,5 | 82,7 | 73,1 |
| | 880 | | | | 66,4 | 84,7 | 75,7 | 92,7 | 83,1 | 73,6 |
| | 900 | | | | 67 | 85 | 76,1 | 92,9 | 83,6 | 74,2 |
| | 920 | | | | 67,5 | 85,3 | 76,5 | 93 | 84 | 74,8 |
| | 940 | | | | 68 | 85,6 | 76,9 | 93,2 | 84,4 | 75,4 |

Los números entre paréntesis indican valores de dureza que se hallan fuera de la zona definida del procedimiento del ensayo de dureza normalizado (solo se utilizan como aproximación)

(1) Calculada según: HB = 0,95 – HV

Con esta tabla podemos buscar la dureza equivalentes expresadas en otras unidades.

ENSAYO MICROGRAFIAS

Han sido realizados unos ensayos de micrografía a dos muestras de material compuesto de los ensayos dureza de Vickers.

Para ello, se han tomado dos trozos pequeños de las probetas utilizadas en el ensayo anterior. Cortaremos unas piezas de 15mm, en las cuales se albergue parte de la soldadura. Estas piezas, se introducen en la embutidora junto con resina, para fabricar los discos de la imagen.



Embutidora

Resina en Polvo



Discos embutidos de resina

La fabricación de las probetas nos servirá tanto para este ensayo como para micrografías posteriores.

A continuación, para poder ver correctamente la superficie de la probeta del estudio, debemos eliminar cualquier marca superficial generada por el corte de la probeta en la sierra, o por la misma resina.

Para conseguir el acabado superficial deseado, los discos han sido pasados por la pulidora, aplicando diferentes granulometrías, hasta conseguir un acabado liso y pulido de la superficie.



Disco de lija grano grueso de 220.



Disco de lija grano medio de 500.



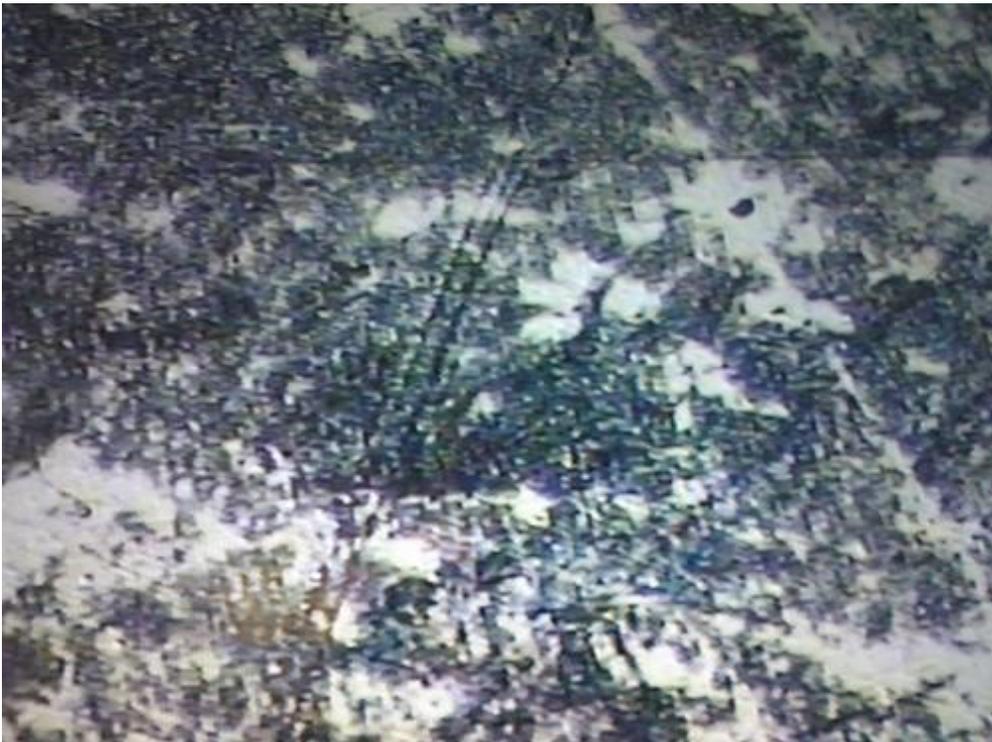
Disco de pulido con pasta de diamante.

El siguiente paso, es atacar químicamente la superficie con NITAL3 (97% de alcohol etílico y 3% de ácido nítrico) para conseguir diferenciar la estructura que alberga la probeta.





Microscopio



Microscopio

Observadas al microscopio se pueden ver imágenes que amplían el tamaño cincuenta veces
Con respecto al tamaño real, donde se pueden ver la soldadura y reconocer micro fisuras en el
caso que se hubieran producido.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

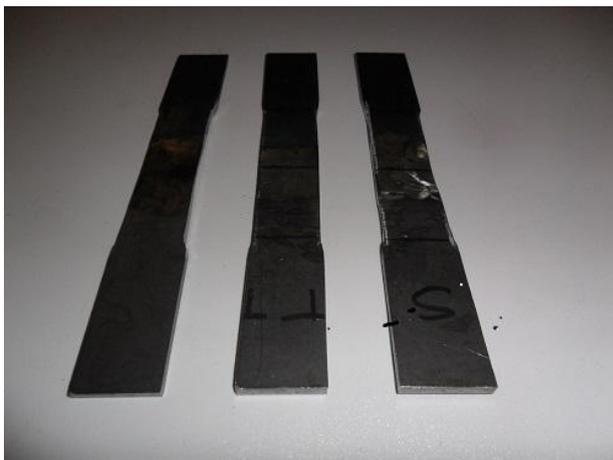
En primer lugar, procedemos a preparar las probetas para el soldado. Para eso cortaremos las probetas a las medidas requeridas. Antes de proceder con el proceso de soldeo limpiaremos y preparemos la superficie para la soldadura.

El paso siguiente es proceder a la soldadura MAG de todas las probetas.



A continuación, prepararemos las probetas a las medidas deseadas para cada uno de los ensayos, primero pasaremos por la amoladora para desbastar el material de sobra aportado en la soldadura y luego lijaremos para dejar la superficie lo más uniforme posible.

En el caso de las probetas utilizadas en el ensayo de tracción y de plegado, las probetas se mecanizan en una geometría normalizada.



Para finalizar con la preparación de las probetas, realizaremos un tratamiento térmico (revenido) a la mitad de las probetas, para poder comprobar la diferencia de resultados obtenidos, con y sin

tratamiento térmico. Para eso utilizaremos el horno, controlando la temperatura y los tiempo de calentado y de enfriado del material.



Ya preparadas todas las probetas necesaria para los ensayos procederemos a comenzar los mismos.

Realizaremos una serie de ensayos para conocer las características del acero F-1140 sometido a soldadura, con y sin tratamiento térmico. Se efectuará ensayo de tracción, ensayo de doblado, ensayo de dureza de Vicker y ensayo de micrografías.

Por último, y utilizando todos los datos y resultados de los ensayos anteriores, se han interpretado y se han realizado gráficas para comparar las diferencias al utilizar o no tratamientos térmicos.

RESULTADOS OBTENIDOS

ENSAYO DE TRACCIÓN (CARGA DE ROTURA)

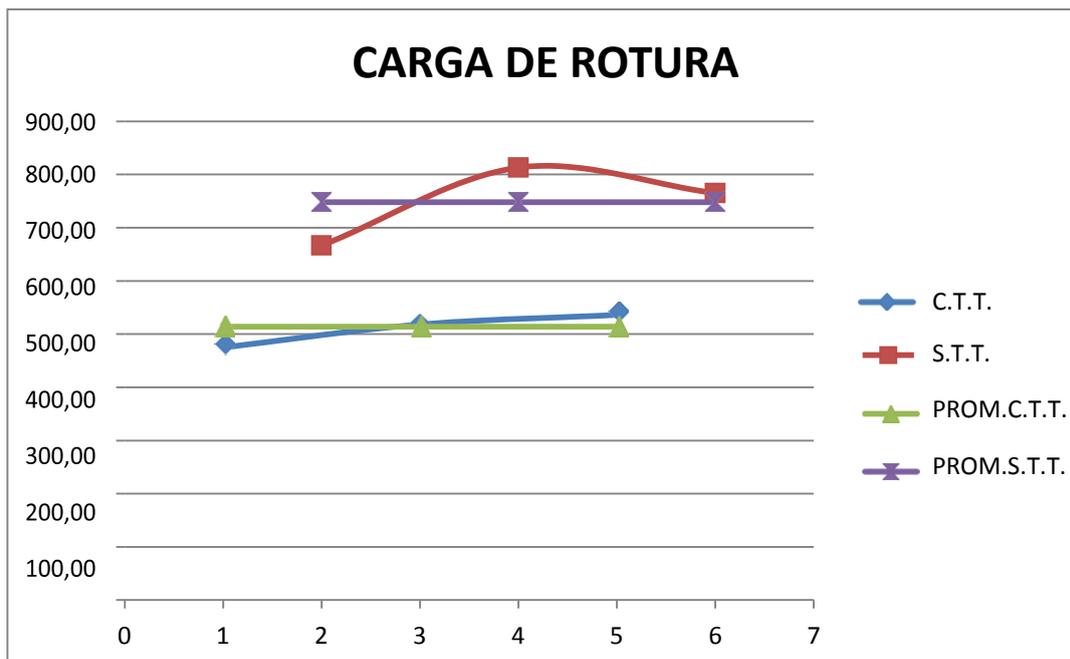
PROBETA SIN TRATAMIENTO TÉRMICO

| PROBETA | Kg | ancho (mm) | espesor (mm) | Kg/mm ² | Mpa |
|-----------------|------|------------|--------------|--------------------|--------|
| 2 | 3140 | 20,5 | 2,1 | 67,86 | 665,50 |
| 4 | 4560 | 21 | 2,5 | 79,69 | 781,52 |
| 6 | 3120 | 20 | 2 | 76,25 | 747,78 |
| PROMEDIO | | | | | 731,60 |

PROBETA CON TRATAMIENTO TÉRMICO

| PROBETA | Kg | ancho (mm) | espesor (mm) | Kg/mm ² | Mpa |
|-----------------|------|------------|--------------|--------------------|--------|
| 1 | 1840 | 19 | 2 | 50,39 | 494,17 |
| 3 | 2220 | 21 | 2,2 | 52,88 | 518,59 |
| 5 | 3200 | 19,5 | 2,5 | 55,49 | 544,19 |
| PROMEDIO | | | | | 518,99 |

GRÁFICAS



ENSAYO DE TRACCIÓN (DEFORMACIÓN UNITARIA)

PROBETA SIN TRATAMIENTO TÉRMICO, ALARGAMIENTO

| PROBETA | inicial(mm) | final (mm) | inc. (mm) | alargamiento % |
|---------|-------------|------------|-----------|----------------|
| 2 | 70 | 73 | 3 | 4,20% |
| 4 | 70 | 75,5 | 5,5 | 7,24% |
| 6 | 70 | 7,4 | 4 | 5,51% |
| | | | PROMEDIO% | 5,65% |

PROBETA CON TRATAMIENTO TÉRMICO, ALARGAMIENTO

| PROBETA | inicial(mm) | final (mm) | inc. (mm) | alargamiento % |
|---------|-------------|------------|-----------|----------------|
| 1 | 70 | 72,5 | 2,5 | 3,45% |
| 3 | 70 | 72,9 | 2,9 | 3,98% |
| 5 | 70 | 74,1 | 4,1 | 5,53% |
| | | | PROMEDIO% | 4,32% |

RESULTADOS ENSAYO TRACCIÓN

En los resultados obtenidos se observar, que las probetas sin tratamiento térmico tienen mayor carga de rotura, resisten más los esfuerzos de tracción.

En el caso del alargamiento, los resultados del ensayo no son concluyente, puesto que la soldadura de nuestras de las probetas objeto del estudio se ha efectuado transversalmente, con lo que aporta ningún dato significativo en este estudio.

FOTOGRAFIAS ENSAYO TRACCIÓN

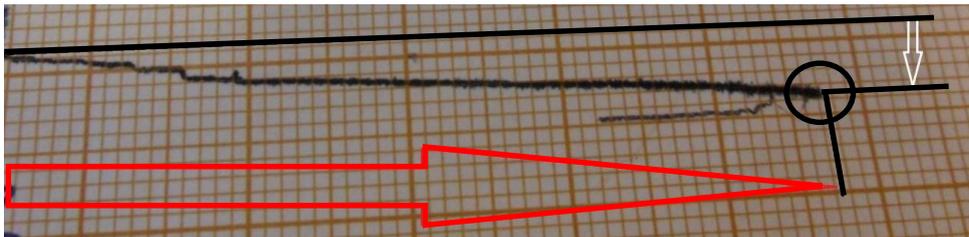
La máquina en la que realizamos los ensayos a tracción, nos facilita graficos en cada uno de los ensayos, donde en el eje "X" muestra la Fuerza aplicada y en el eje "Y" nos indica la deformación sufrida por la probeta.

Estos son los resultados obtenidos por las probetas del estudio.

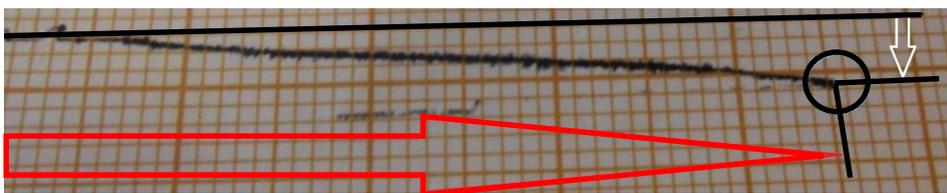
PROBETA 1



PROBETA 2



PROBETA 3



PROBETA 4

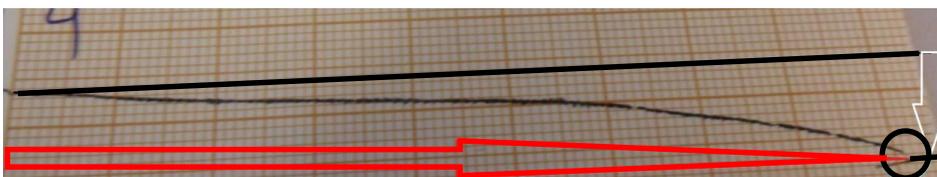


DIAGRAMA TENSIÓN DEFORMACIÓN



Podemos observar en la graficas de resultados, las diferenciaciones de las zonas que componen la curva tensión-deformación para el acero.

La primera parte de la curva, zona inferior, se puede observar la zona de deformación elástica. Con lo que podemos decir, que la tensión más elevada que se alcanza en esta región se denomina límite de fluencia y es el que marca la aparición de este fenómeno. Así, podemos determinar la fuerza máxima a tracción que se puede aplicar, aplicada a un material se puede ejercer sobre este material sin que se deforme el material.

En la parte superior de la gráfica tenemos un cambio claro en la pendiente de la curva, esta zona se denomina zona plástica. Cuando pasamos el límite elástico, la probeta comienza de deformarse permanentemente, dentro de esta zona el material no recupera su forma inicial. La deformación en este caso también se distribuye uniformemente a lo largo de la probeta pero concentrándose en las zonas en las que se ha logrado liberar las dislocaciones.

Por último, la zona más elevada de la curva, vemos un retroceso, esto nos delimita donde se rompe la probeta.

Terminado el ensayo se determina la carga de rotura, carga última o resistencia a la tracción: la máxima resistida por la probeta dividida por su sección inicial.

ENSAYO DE MICRODUREZA VICKERS

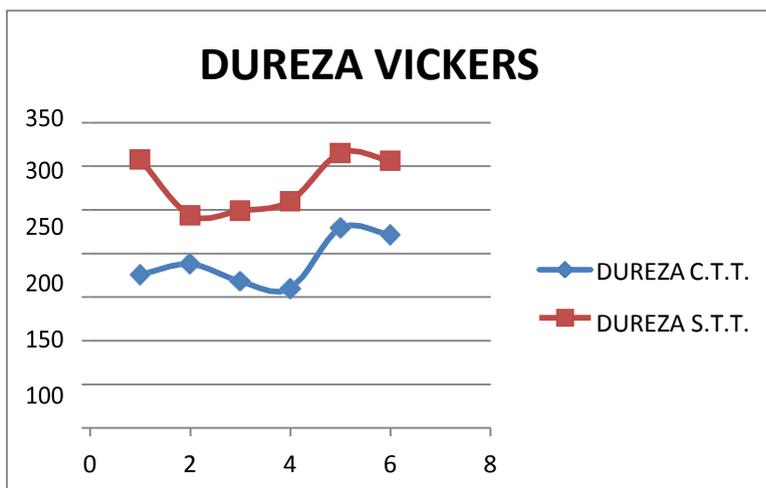
PROBETA SIN TRATAMIENTO TÉRMICO, DUREZA VICKERS

| PROBETA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5,00 | 6,00 |
|---------|-------|-------|-----|-------|--------|--------|
| DUREZA | 306,8 | 245,6 | 250 | 261,9 | 313,30 | 302,70 |

PROBETA CON TRATAMIENTO TÉRMICO, DUREZA VICKERS

| PROBETA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5,00 | 6,00 |
|---------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| DUREZA | 174,7 | 189,9 | 166,6 | 162,9 | 230,20 | 221,20 |

GRÁFICA



CORRELACIÓN PROPIEDADES MECANICAS

Se puede decir que existe una relación directa entre estas dos propiedades de las propiedades mecánicas del acero, la resistencia a la tracción y la dureza. La siguiente tabla nos muestra la correlación teórica de los distintos valores de dureza y resistencia.

Con esta tabla se puede comprobar si los resultados de los ensayos realizados se aproximan los resultados teóricos.

De cada probeta escogemos el valor menor de dureza, de la tabla, interpolamos el valor de la resistencia a la tracción y lo comparamos con el valor obtenido en el ensayo de tracción.

Teóricamente estos valores tendrían que coincidir. Es conveniente observar que al tratarse de materiales soldados, y por causa de fallos o inclusiones en la soldadura, el valor de la tabla tendría que estar por encima del obtenido en el ensayo.

| TRATAMIENTOS TÉRMICOS | Resistencia a Tracción | Dureza Vickers | Dureza Brinell | Dureza Rockwell | | Resistencia a Tracción | Dureza Vickers | Dureza Brinell | Dureza Rockwell | |
|-----------------------|------------------------|----------------|----------------|-----------------|-----|------------------------|----------------|----------------|-----------------|-----|
| | N/mm ² | HV | HB | HRB | HRC | N/mm ² | HV | HB | HRB | HRC |
| | 200 | 63 | 60 | | | 575 | 180 | 171 | 87 | |
| | 210 | 65 | 62 | | | 580 | 181 | 172 | | |
| | 220 | 69 | 66 | | | 590 | 184 | 175 | 88 | |
| | 225 | 70 | 67 | | | 595 | 185 | 176 | | |
| | 230 | 72 | 68 | | | 600 | 187 | 178 | 89 | |
| | 240 | 75 | 71 | | | 610 | 190 | 181 | 89,5 | |
| | 250 | 79 | 75 | | | 620 | 193 | 184 | 90 | |
| | 255 | 80 | 76 | | | 625 | 195 | 185 | | |
| | 260 | 82 | 78 | | | 630 | 197 | 187 | 91 | |
| | 270 | 85 | 81 | 41 | | 640 | 200 | 190 | 91,5 | |
| | 280 | 88 | 84 | 45 | | 650 | 203 | 193 | 92 | |
| | 285 | 90 | 86 | 48 | | 660 | 205 | 195 | 92,5 | |
| | 290 | 91 | 87 | 49 | | 670 | 208 | 198 | 93 | |
| | 300 | 94 | 89 | 51 | | 675 | 210 | 199 | 93,5 | |
| | 305 | 95 | 90 | 52 | | 680 | 212 | 201 | | |
| | 310 | 97 | 92 | 54 | | 690 | 215 | 204 | 94 | |
| | 320 | 100 | 95 | 56 | | 700 | 219 | 208 | | |
| | 330 | 103 | 98 | 58 | | 705 | 220 | 209 | 95 | |
| | 335 | 105 | 100 | 59 | | 710 | 222 | 211 | 95,5 | |
| | 340 | 107 | 102 | 60 | | 720 | 225 | 214 | 96 | |
| | 350 | 110 | 105 | 62 | | 730 | 228 | 216 | | |
| | 360 | 113 | 107 | 63,5 | | 740 | 230 | 219 | 96,5 | |
| | 370 | 115 | 109 | 64,5 | | 750 | 233 | 221 | 97 | |
| | 380 | 119 | 113 | 66 | | 755 | 235 | 223 | | |
| | 385 | 120 | 114 | 67 | | 760 | 237 | 225 | 97,5 | |
| | 390 | 122 | 116 | 67,5 | | 770 | 240 | 228 | 98 | |
| | 400 | 125 | 119 | 69 | | 780 | 243 | 231 | | 21 |
| | 410 | 128 | 122 | 70 | | 785 | 245 | 233 | | |
| | 415 | 130 | 124 | 71 | | 790 | 247 | 235 | 99 | |
| | 420 | 132 | 125 | 72 | | 800 | 250 | 238 | 99,5 | 22 |
| | 430 | 135 | 128 | 73 | | 810 | 253 | 240 | | |
| | 440 | 138 | 131 | 74 | | 820 | 255 | 242 | | 23 |
| | 450 | 140 | 133 | 75 | | 830 | 258 | 245 | | |
| | 460 | 143 | 136 | 76,5 | | 835 | 260 | 247 | | 24 |
| | 465 | 145 | 138 | 77 | | 840 | 262 | 249 | | |
| | 470 | 147 | 140 | 77,5 | | 850 | 265 | 252 | | |
| | 480 | 150 | 143 | 78,5 | | 860 | 268 | 255 | | 25 |
| | 490 | 153 | 145 | 79,5 | | 865 | 270 | 257 | | |
| | 495 | 155 | 147 | 80 | | 870 | 272 | 258 | | 26 |
| | 500 | 157 | 149 | 81 | | 880 | 275 | 261 | | |
| | 510 | 160 | 152 | 81,5 | | 890 | 278 | 264 | | |
| | 520 | 163 | 155 | 82,5 | | 900 | 280 | 266 | | 27 |
| | 530 | 165 | 157 | 83 | | 910 | 283 | 269 | | |
| | 540 | 168 | 160 | 84,5 | | 915 | 285 | 271 | | |
| | 545 | 170 | 162 | 85 | | 920 | 287 | 273 | | 28 |
| | 550 | 172 | 163 | 85,5 | | 930 | 290 | 276 | | |
| | 560 | 175 | 166 | 86 | | 940 | 293 | 278 | | 29 |
| | 570 | 178 | 169 | 86,5 | | 950 | 295 | 280 | | |

| | | | | | | |
|---------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| PROBETA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5,00 | 6,00 |
| DUREZA | 174,7 | 189,9 | 166,6 | 162,9 | 230,20 | 221,20 |

| | | | | | | |
|---------|-------|-------|-----|-------|--------|--------|
| PROBETA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5,00 | 6,00 |
| DUREZA | 306,8 | 245,6 | 250 | 261,9 | 313,30 | 302,70 |

TABLA COMPARATIVA

| | CON TRATAMIENTO TERMICO | SIN TRATAMIENTO TERMICO |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
| MICRODUREZA VICKERS | 192,9 | 245,6 |
| RESISTENCIA A TRACCION | 509,88 MPa | 748,16 MPa |
| VALOR TEORICO DE LA TABLA | 520 MPa | 785 MPa |
| RESISTENCIA A TRACCION | 518,99 MPa | 731,6 MPa |
| DESVIACIÓN | 0,19% | 6,8% |

Viendo esta tabla podemos decir que los resultados son muy parecidos a los de la tabla, con lo daremos por buenos los datos obtenidos en los ensayos

CONCLUSIONES ENSAYO MICRODUREZA VICKERS

Las probetas sin tratamiento térmico son más duras que las probetas tratadas térmicamente. También se observan partes más duras que otras, este aspecto lo interesante es observar que la varilla de aporte tiene menor cantidad de carbono tanto normal como equivalente, por lo tanto da como resultado una menor dureza.

También observamos que existe una relación directa entre la resistencia a atracción y dureza y que en nuestro caso, esta relación es casi exacta, lo que quiere decir es que los resultados de los ensayos son perfectos y que las soldaduras están bien ejecutadas.

TABLA VICKERS – ROCKWELL

CONVERSION CHART OF VICKERS HARDNESS (HV) TO ROCKWELL C (HRC)

| Vickers Hardness Number HV | Rockwell C Scale Hardness HRC | Vickers Hardness Number HV | Rockwell C Scale Hardness HRC | Vickers Hardness Number HV | Rockwell C Scale Hardness HRC | Vickers Hardness Number HV | Rockwell C Scale Hardness HRC |
|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| 900 | 66.5 | 720 | 59.3 | 540 | 52.1 | 360 | 37.8 |
| 890 | 66.1 | 710 | 58.9 | 530 | 51.7 | 350 | 36.8 |
| 880 | 65.7 | 700 | 58.5 | 520 | 51.3 | 340 | 35.7 |
| 870 | 65.3 | 690 | 58.1 | 510 | 50.4 | 330 | 34.5 |
| 860 | 64.9 | 680 | 57.7 | 500 | 49.7 | 320 | 33.4 |
| 850 | 64.5 | 670 | 57.3 | 490 | 49.0 | 310 | 32.2 |
| 840 | 64.1 | 660 | 56.9 | 480 | 48.2 | 300 | 30.9 |
| 830 | 63.7 | 650 | 56.5 | 470 | 47.5 | 290 | 29.6 |
| 820 | 63.3 | 640 | 56.1 | 460 | 46.7 | 280 | 28.2 |
| 810 | 62.9 | 630 | 55.7 | 450 | 45.9 | 270 | 26.7 |
| 800 | 62.5 | 620 | 55.3 | 440 | 45.1 | 260 | 25.1 |
| 790 | 62.1 | 610 | 54.9 | 430 | 44.3 | 250 | 23.5 |
| 780 | 61.7 | 600 | 54.5 | 420 | 43.5 | 245 | 22.7 |
| 770 | 61.3 | 590 | 54.1 | 410 | 42.6 | 240 | 21.8 |
| 760 | 60.9 | 580 | 53.7 | 400 | 41.7 | 235 | 20.9 |
| 750 | 60.5 | 570 | 53.3 | 390 | 40.8 | 230 | 20.0 |
| 740 | 60.1 | 560 | 52.9 | 380 | 39.8 | | |
| 730 | 59.7 | 550 | 52.5 | 370 | 38.8 | | |

BAINITA
PERLITA FINA

BACK

FOTOGRAFIAS



MICROGRAFIAS

PROBETA SIN TRATAMIENTO TÉRMICO

En la siguiente micrografía se puede observar que la estructura del material base tiene formas como de agujas, esta característica pertenece a la fase de bainítica del acero.

Esta estructura tiene una dureza de unos 32 HRC lo que en dureza Vickers son unos 310 HV, que es el valor aproximado de dureza de nuestros resultados.



SOLDADURA

En la siguiente micrografía se puede observar que la estructura del material base tiene formas de puntitos pequeños, esta característica pertenece a la fase de la perlita fina del acero.

Esta estructura da tiene un valor de dureza de entre 20 a 22 HRC, que son unos 240 a 250 HV, que coinciden con los valores medidos en el ensayo de dureza.



INTERFASE SOLDADURA ZAC

En esta micrografía se observa en la interfase bainita junto con perlita fina. Observamos las dos fases. En este caso la bainita en vez de estar formada por agujas, se observa que tiene forma de placas. Esto es debido al calor aportado en el proceso de soldadura y al tipo de enfriamiento tras el aporte de calor. Es una estructura más blanda que la bainita en forma de aguja pero más dura que la perlita fina.



PROBETA CON TRATAMIENTO TÉRMICO

En la siguiente micrografía se puede observar que la estructura del material base tiene formas de escamas, esta característica pertenece a la fase de la perlita y las blancas ferrita.

Estas estructuras dan como resultado un material relativamente menos duro y más dúctil. Sabemos que el revenido hace que el material sea más dúctil, por lo que tendrá menos dureza.



SOLDADURA

En esta micrografía donde vemos el área soldada de la probeta que ha recibido tratamiento térmico, se puede observar perlita tamaño grano fino. El grano fino le confiere más resistencia al material.



INTERFASE SOLDADURA ZAC

Se observan las dos fases, perlita y ferrita de tamaño más fino que en las dos estructuras anteriores. En este tipo de configuración la soldadura suele quebrarse por la zona de unión de ambas fases.



PRESUPUESTO

| Descripción | Unidades | Cantidad | Precio | Total € |
|--|--------------|----------|---------|-------------------|
| Pletina de acero F 1140 100x3 mm | Metro lineal | 1 | 1,25 € | 0,85 € |
| Electrodo AWS E 7016 | Unidad | 10 | 0,30 € | 3,00 € |
| Mano de obra de soldador | Horas | 2,5 | 45,00 € | 112,50 € |
| Mecanizado | Horas | 7 | 45,00 € | 315,00 € |
| Ensayo de tracción | Horas | 2,5 | 50,00 € | 125,00 € |
| Análisis de la microestructura | Horas | 4 | 50,00 € | 200,00 € |
| Varios (materiales, equipos, energía...) | Varios | | | 75,00 € |
| Total | | | | 831,35 € |
| 21 %IVA | | | | 174,58 € |
| Total C\IVA | | | | 1.005,93 € |

TOTAL: MIL CINCO EUROS, CON NOVENTA Y TRES CENTIMOS.

CONCLUSIONES

Después de la realización de todos los ensayos podemos concluir que las que las probetas que no han recibido tratamiento térmico tienen mayor carga de rotura y resisten mejor los esfuerzos de tracción. Con lo que tienen mayor dureza y mayor fragilidad.

Por el contrario las probetas tratadas térmicamente tienen una menor dureza, pero su ductilidad aumenta respecto a las que no están tratadas.

Existe una relación directa entre la resistencia a tracción y la dureza.

En nuestro caso, esta relación es muy próxima a los datos teóricos de las tablas, con lo que los resultados de los ensayos se ajustan a lo esperado y se puede decir, por consiguiente, las soldaduras están bien ejecutadas.

Por último, vemos que las diferencias de alargamiento en los ensayos de tracción, la soldadura no afecta a los resultados, puesto que se han realizado transversalmente. Este ensayo no aporta ningún dato significativo para este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento al director de este Proyecto Fin de Grado, D. Manuel Pascual Guillamón, por su gran paciencia y atención mostrada en la ejecución de este proyecto, así como la adaptación a mis horarios de trabajo.

La realización de este proyecto lo dedico a mi familia, en especial a mi padre Román y a mi madre M^a Luisa, ya que han soportados mis ausencias laborales en el negocio familiar, durante estos años para realizar mis estudios.

También se lo dedico a mi mujer Beatriz y a mi futuro hijo Enzo.

Le agradezco también a todos los profesores y compañeros que hemos pasados juntos estos años, aprendiendo y compartiendo buenos ratos.

Gracias a todos.