

# REDUCCIÓN DE POROSIDAD EN MOLDES DE ACERO H13 DESPUÉS DE RECUPERACIÓN POR SOLDADURA GTAW

B. Morales Castro<sup>1</sup>, G. Pérez Medina<sup>2</sup>, A. Miranda Pérez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C.V., (52 1) 844 879 76 89, yuvisela.89@gmail.com,

---

## Resumen

El objetivo de este trabajo es determinar la causa principal de formación de porosidad durante la reparación de moldes de acero H13 utilizados en la producción de piezas de aluminio en el sector automotriz, con la finalidad de reducir la porosidad en zonas soldadas. El proceso aplicado para la reparación de los moldes es la soldadura por arco de tungsteno con gas (GTAW, por sus siglas en inglés), se utilizó un material de aporte del tipo Eureka 31, el cual es compatible con el acero H13 en propiedades mecánicas. A los insertos soldados se les realizó una inspección mediante ensayos no destructivos que corresponden a inspección visual con líquidos penetrantes y ultrasonido para determinar la cantidad de poros en la superficie después de maquinarlos, encontrando que los insertos que presentaban mayor número de poros fueron soldados con amperaje arriba de 200 A y velocidad de avance mayor a 1.8 mm/s.

**Palabras clave:** Porosidad; Reparación de moldes; Acero H13; GTAW

## Abstract

The objective of this work is to determine the main cause of porosity creation during the H13 steel dies repairing with the purpose of reducing this discontinuity distributed on weld zones. The molds are used for aluminum parts casting for the automotive industry. The process applied for the dies refurbishment is the gas tungsten arc welding, GTAW, and a filler metal of Eureka 31 was used, due to its compatibility with H13 steel regarding its mechanical properties. The inserts were weld considering some parameters as key, as voltage, amperage, flow gas, etc., and were analyzed by non-destructive studies as visual inspection with penetrant liquids and ultrasound to determine the number of pores in the shallow after machining, the results show that working with amperage above 200 A and welding speed above 1.8 mm/s the pores appear frequently.

**Keywords:** Porosity; Welding repairing; H13 steel; GTAW

---

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente los aceros grado herramienta son utilizados ampliamente en el campo de la manufactura de moldes, los cuales son sometidos a trabajo en caliente para la fabricación de piezas metálicas o plásticas, esto debido a la estabilidad de propiedades mecánicas como dureza,

resistencia a la tensión y tenacidad a altas temperaturas, resultado de su composición química, centrada en la combinación de medio carbono y moderado contenido de elementos de aleación que permiten la formación de carburos [1].

Durante el proceso de fabricación de piezas los moldes son expuestos a diferentes condiciones o medios en los que pueden sufrir daños como golpes o agrietamiento y erosiones o desgaste producto del continuo trabajo, que resultan en la pérdida de dimensiones, morfología y generación de defectos en piezas [2], debido a ello, es vital la regeneración o reemplazo de la zona dañada para no poner en riesgo la calidad de la producción, siendo la opción más factible dado al costo y tiempo, la regeneración o reparación [2].

Para reparar un molde la industria utiliza diferentes procesos de soldadura, siendo uno de los más comunes, el proceso GTAW, ya que ofrece alta estabilidad estructural, además de que permite la deposición de pequeñas cantidades de metal sin salpicaduras, lo que asegura la perfecta obtención de la geometría del molde después de este proceso [2].

## 2. METODOLOGÍA

La microestructura del material base se presenta en la Figura 1a, tomada mediante microscopía óptica, la muestra fue revelada usando Nital al 2.0% por 3 minutos y Beraha's por 5 minutos como reactivos, donde se observan los carburos dispersos característicos del acero H13 en una matriz martensítica. Una vez aplicado el proceso GTAW en el acero H13 los moldes son llevados a maquinado para blindarle un acabado a la superficie con el objetivo de obtener las mismas características de rugosidad del resto del herramental, ya que, en la mayoría de los casos, estas zonas serán la figura de la pieza a vaciar y por lo tanto debe de cumplir con ciertas especificaciones dimensionales. Es de alta relevancia evitar la generación o formación de porosidad durante el proceso de soldado, ya que, al ser maquinado el molde, estos defectos serán descubiertos, generando mal acabado y en el peor de los casos se convierten en iniciadores de grietas, que a su vez ocasionan arranques y agrietamiento de material durante el desmoldeo de la pieza. Debido a ello, si este tipo de defectos aparecen en los moldes, las partes deberán ser llevadas nuevamente a proceso de soldadura, generando reprocesamiento y por ende tiempos muertos para la operación. En la figura 1b tenemos un ejemplo de un inserto de molde reparado por soldadura.

En la Tabla 1 se puede observar la composición química del acero H13 a reparar, mientras que en la Tabla 2 encontramos las propiedades mecánicas de dicho acero, dentro de las cuales podemos destacar la resistencia al desgaste y la dureza, que le permiten al acero soportar la abrasión del aluminio durante el trabajo en caliente.



**Figura 1. a) Microestructura de material base, b) Inserto de acero H13 dañado**

**Tabla 1 Composición química de acero grado herramienta H13**

<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>V</b>
0.32-0.45	0.20-0.50	0.80-1.20	4.75-5.50	1.10-1.75	0.8-1.20

**Tabla 2 Propiedades mecánicas de acero H13**

<b>Resistencia a la tensión</b>	<b>Elongación (%)</b>	<b>Energía de impacto</b>	<b>Dureza HRC</b>
<b>MPa-Ksi</b>		<b>Joule</b>	
1969-284	13	16	52

En esta experimentación se llevó a cabo un estudio de las condiciones normales de trabajo monitoreando los parámetros de flujo de gas, amperaje, voltaje, velocidad de avance y temperatura al soldar sobre el material base, datos expuestos en la Tabla 3, con la finalidad de validar el comportamiento de los parámetros, se consideraron como constantes el método de limpieza con esmeril y el tipo de corriente, ya que no mostraban variación durante la soldadura. Bajo estas condiciones se soldaron 16 insertos que fueron llevados a maquinado para obtener una superficie regular sobre la que se realizó el conteo de poros dispersos en la superficie mediante el ensayo no destructivo por líquidos penetrantes utilizando un kit de Spotcheck SKD-S2, SKL-SP2, SKC-S de la marca Magnaflux con tiempo de revelado de 5 minutos como recomendación del proveedor, así como también una inspección volumétrica mediante ultrasonido con equipo marca Omniscan mx2 con sonda de 5 MHz, con 60° de inclinación sobre plano medido. Los insertos de acero H13 sobre los que se realizaron las pruebas y análisis, presentan dimensiones de 22 mm X 12 mm. En la figura 1c encontramos un corte transversal de un inserto soldado, donde pueden observarse los cordones de soldadura y el material base (MB).

**Tabla 3 Parámetros de soldadura usados en la experimentación de las 16 muestras**

<b>#PIEZA</b>	<b>FLUJO DE GAS (lt/min)</b>	<b>AMPERAJE (A)</b>	<b>TEMPERATURA AL SOLDAR (°C)</b>	<b>VOLTAJE (V)</b>	<b>VELOCIDAD AVANCE (mm/seg)</b>
1	25	160	155	14.2	0.80
2	25	170	182	14.2	0.77
3	25	160	175	12.75	1.48
4	25	160	192	13.95	1.25
5	25	235	185	18.75	0.62
6	25	235	195	18.5	0.76
7	25	153	185	13.5	1.06
8	25	153	195	13.9	1.40
9	20	130	180	15.6	0.67

10	20	130	112	14.85	0.36
12	25	180	180	16.5	0.63
13	25	180	210	17	0.69
14	25	180	190	17.5	0.82
15	25	180	189	17.5	0.71
16	20	210	210	18.25	1.86

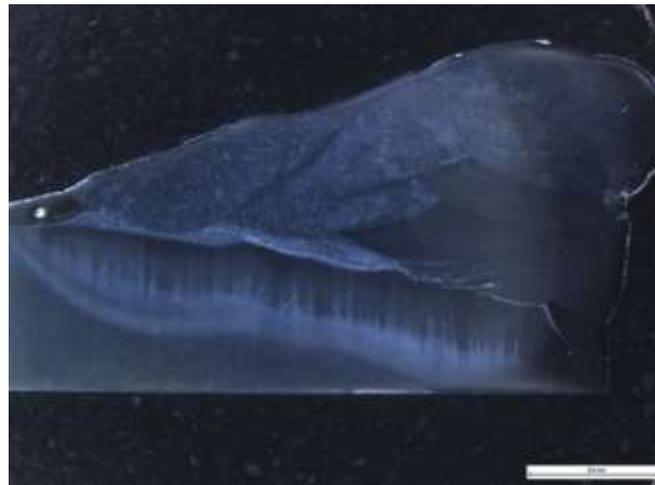


Figura 1c. Corte transversal de inserto soldado

### 3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se realizó inspección de dureza a 2 insertos del metal base y zona soldada de un parámetro seleccionado correspondiente a las muestras 7 y 10 para verificar su condición después de aplicar la soldadura, esto para determinar si se tenía alguna afectación en las propiedades mecánicas, los resultados se muestran en la Tabla 4, en donde se observa que existe una mayor disminución de dureza en la zona soldada y en el metal base del inserto soldado con mayor amperaje y con mayor aporte de calor al soldar, muestra 7, en comparación a la muestra 10, soldada con menor amperaje, esto es atribuido al tamaño de grano, en la zona de fusión o soldadura, se observa un grano más grande (figura 2) respecto a un grano más fino en el metal base (figura 1a).

**Tabla 4 Comparativo de durezas en inserto H13 en metal base y en zona soldada entre 2 muestras soldadas variando el amperaje**

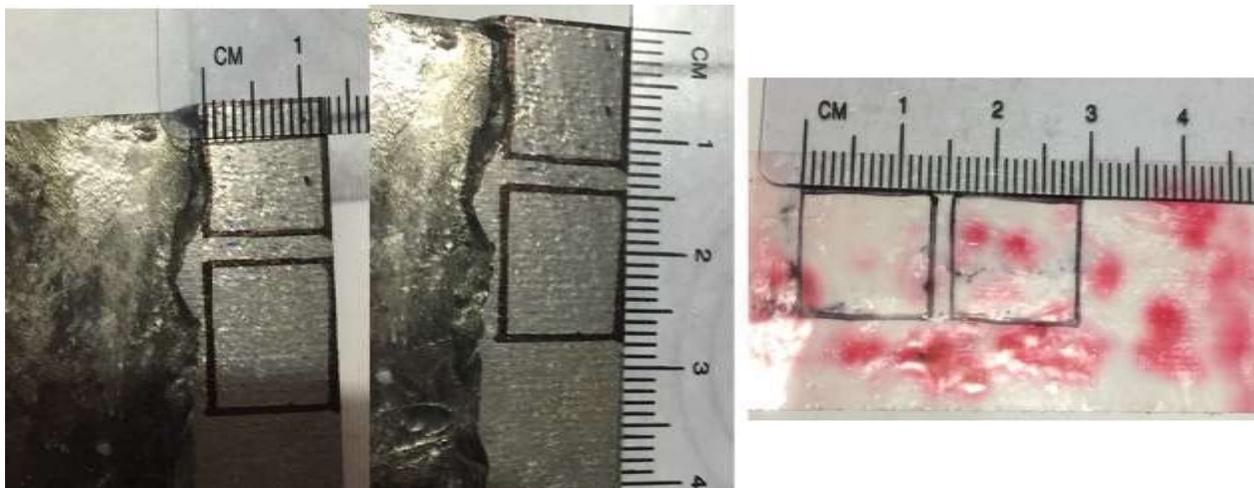
Muestra	Zona	Dureza (HRB)	Zona	Dureza (HRB)	Muestra	Zona	Dureza (HRB)	Zona	Dureza (HRB)
10	Metal base (MB)	68.9	Zona soldada	56.1	7	Metal base (MB)	49.7	Zona soldada	32.4
		67		61.5			45.3		43.2
		68.6		57.3			44.5		38.2
		66.8		55.1			45		34.4
		68.2		61.6			48.5		38.7



**Figura 2. Microestructura de zona de fusión (acero H13)**

### **3.1 Resultados de ensayo no destructivo de líquidos penetrantes**

Para la medición de la cantidad de poros encontrados por el maquinado en la zona soldada de cada inserto después de ser reparados, se aplicaron líquidos penetrantes para realizar el conteo de los mismos, considerando 2 zonas de 12 mm<sup>2</sup> de área, tal como se aprecia en la Figura 3,



**Figura 3. Método de medición de poros utilizando líquidos penetrantes sobre los insertos de acero H13 soldados**

En la tabla 5, pueden observarse los resultados obtenidos mediante el monitoreo de parámetros de soldadura de GTAW ligados con la cantidad de poros observados mediante inspección visual y líquidos penetrantes en la superficie de la zona soldada, encontrando que el número de poros varía desde 0 a 15 y que la porosidad se encuentra dispersa a lo largo de la zona soldada, pero ésta aparece solo a nivel superficial. Podemos decir, que la inspección con líquidos penetrantes es confiable y ofrece una respuesta rápida en el análisis de discontinuidades superficiales, en este caso de poros.

**Tabla 5. Conteo de poros por medio de inspección visual y líquidos penetrantes realizados en la superficie de insertos de acero H13 después de ser soldados**

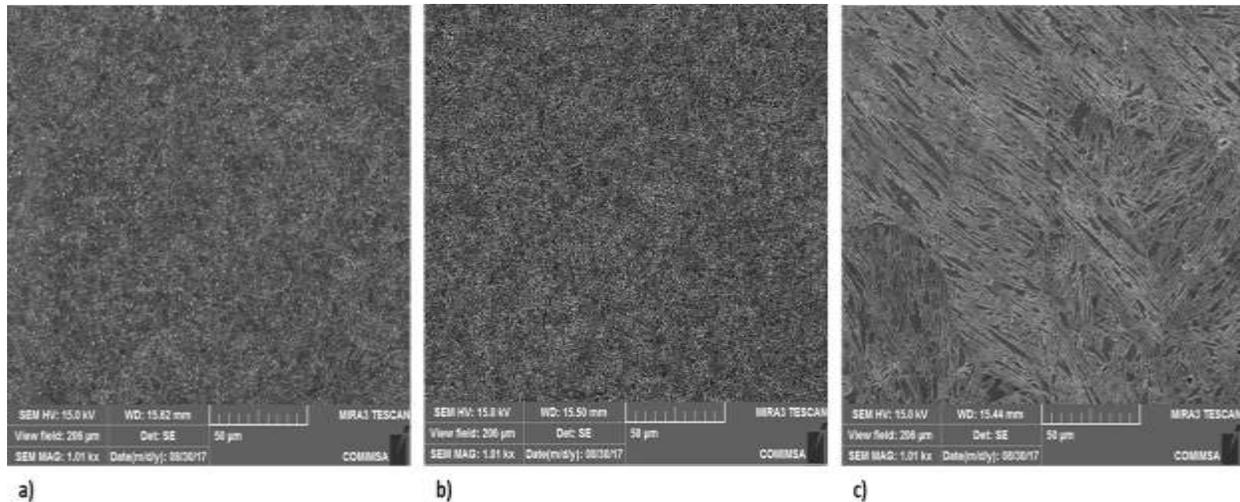
#PIEZA	ENTRADA DE CALOR (Valor inferior J/mm)	POROS (Conteo visual y con líquidos penetrantes)
1	2840.00	0
2	3138.20	0
3	1377.00	3
4	1785.60	1
5	7094.06	5
6	5706.09	8
7	1947.47	0
8	1519.07	0
9	3042.00	0
10	5362.50	1
12	4695.43	3
13	4458.86	4
14	3840.00	5
15	4440.00	8
16	2063.65	15

### **3.2 Resultados de ensayos no destructivos de ultrasonido y caracterización microestructural**

Para verificar la cantidad de poros contabilizada por medio de la aplicación de líquidos penetrantes, se tomó una muestra representativa, correspondiente a los parámetros de la muestras número 1 y 2 de la tabla 3 de los insertos soldados para ser analizados por ultrasonido, y de esta manera verificar la sanidad total de la zona soldada, en la tabla 6 colocamos el número de poros detectados por esta inspección, para el caso de la pieza 1, se detectó 1 poro a una profundidad de 0.9 mm de la superficie, en la pieza 2, no se detectó ninguna discontinuidad, a la par de los resultados obtenidos con líquidos penetrantes. La figura 4 muestra la microestructura del metal base (MB), zona afectada por el calor (ZAC) y zona de fusión (ZF) de inserto recuperado mediante GTAW observado por microscopía electrónica de barrido, donde encontramos una diferencia marcada en el tamaño de grano y el tamaño de las agujas de martensita sobretodo en el metal base y en la zona de fusión.

**Tabla 6. Resultados de inspección por ultrasonido en insertos soldados comparado contra el número de poros obtenidos por líquidos penetrantes**

#Pieza	Número de poros (Ultrasonido)	Número de poros (líquidos penetrantes)
1	1	0
2	0	0



**Figura 4. a) Microestructura de material base (MB), b) Microestructura de zona afectada por el calor (ZAC), c) Microestructura de zona de fusión (ZF), analizadas por SEM**

#### 4. CONCLUSIONES

El presente trabajo se encuentra enfocado en el proceso de soldadura por arco eléctrico, GTAW para atender la problemática de la aparición de poros después de soldar insertos de acero H13 usados como partes constituyentes de moldes para el vaciado de piezas de aluminio, con el objetivo de proponer un rango de trabajo óptimo para soldar y reducir el porcentaje de poros.

El resumen de las conclusiones de la investigación se muestra a continuación:

1. El método de limpieza de los insertos antes del inicio de la soldadura puede considerarse como constante, es decir, no tener afectación en la aparición de poros, siempre y cuando se estandarice la operación y se utilicen herramientas abrasivas dedicadas solo a ese trabajo.
2. Se descarta el flujo de gas protección como variable que contribuyen a la formación de poros siempre y cuando trabajemos en un rango de 20 a 30 lt/min de inyección del gas.
3. Las variables de mayor contribución en la formación de poros son velocidad de avance y amperaje en base a los resultados obtenidos de la inspección visual.
4. La porosidad en zonas soldadas al trabajar con amperajes arriba de 200 A puede disminuirse si trabajamos como mayor flujo de inyección de gas de protección (arriba de 30 lt/min) para proteger mejor el charco líquido generado por la acción del arco eléctrico.
5. El método de inspección por líquidos penetrantes es confiable para analizar la superficie de las zonas soldadas y contabilizar las discontinuidades presentes.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

A la Corporación Mexicana de Investigación en Materiales (COMIMSA) y a la empresa Nematik Saltillo por permitir el desarrollo del proyecto con material, personal, horas de maquinado y asesorías para que el desarrollo del trabajo fuera posible.

## 6. REFERENCIAS

1. George Roberts, George Krauss, Richard Kennedy. 1998, Tool steels (fifth edition). Estados Unidos de América : ASM International , 0-87170-599-0
2. J Wilson Tafur Preciado, Carlos Enrique Niño Bohorquez. 2006, Soldadura de reparación para moldes de inyección de polímeros de aceros AISI P20 y VP50IM, Florianópolis, SC, Brasil : Elsevier, 179 (2006) 244–250
3. Mathers, Gene. 2002, The Welding of aluminum and its alloys. s.l. : CRC Press LLC, 1855735679.
4. Smith Ricky, R. Keith Mobley. 2008, Rules of thumb for maintenance and reliability engineers. s.l. : Elsevier, 978-0-7506-7862-9.
5. O'Brien, R.L. 1996, Manual de soldadura Tomo I . s.l. : American Welding Society , 968-880-767-2.
6. David LeRoy Olson, Thomas A. Siewert, Stephen Liu, Glen R. Edwards. Febrero 2007, Handbook Volumen 6, soldadura, brazing y soldering. s.l. : ASM International, ISBN-10: 0-87170-382-3.
7. María, Rojas Gutiérrez Ana. Problemas frecuentes en soldadura GTAW - TIG. Metal Actual. [En línea] file:///E:/ARTICULOS%20PROYECTO/Soldadura\_TIG.pdf.
8. 2015, Visualization of alternating shielding gas flow in GTAW. Heriot-Watt University, Edinburgh: Elsevier, 91 (2016) 424-431.
9. N. Kiaee, M. Aghaie-Khafri. 2013, Optimization of gas tungsten arc welding process by response surface methodology. Tehran, Iran : Elsevier , 54 (2014) 25-31.
10. Cortesía Nematik.
11. Chandlev, Harry. 1995, Heat treater's guide. Practices & procedures for irons and steels. Segunda edición. s.l. : ASM International, 0-87170-520-6.
12. Leed, Richard M. 2003, Welding of tool steels. Dearborn, Michigan : Society of manufacturing engineers, 0-87263-643-7.
13. E., Bryson William. 2009, Tratamiento térmico, selección y aplicación de aceros grado herramienta. Alemania, Hanser Publications, Segunda edición, 978-3-446-41941-4.
14. Suarez Alexci, Miyer Suarez Albert y Tafur Preciado Wilson. 2014, Arc Welding procedures on steels for molds and dies. Colombia : Elsevier, 100 (2015) 584-591.
15. Johnson, Mike Ashby & Kara. 2010, Materials and design, The art and science of material selection in production design. Burlington, Estados Unidos : Elsevier. 978-1-85617-487-8.
16. Thompson, Steve. 1999, Handbook del molde y soldadura para reparación de moldes. Inglaterra, Abington Publishing, ISBN 1-884207-82-0.
17. Matthews, Clifford. 2009, A quick guide to welding and weld inspection. s.l. : Woodhead Publishing Limited, 978-0-7918-5950-641-2.
18. Yiming Huang, Di Wu, Zhifen Zhang, Huabin Chen y Shanben Chen. 2016, Modo de descomposición empírico en proceso de soldadura TIG pulsada para la detección y diagnóstico de defectos usando GA-SVM, Shanghai, China: Elsevier, 179 (2006) 244–250.

19. Rajesh Jesudoss N., Nagaraj P., Jennifa Sujana J. 2014, Ultrasonic evaluation of friction stud welded AA 6063 /AISI 1030 steel joints, India: Elsevier, 62 (2014) 118-123.
20. Charles, Hellier. 2003, Handbook de Evaluación no destructiva. Estados Unidos de América: Mc Graw-Hill, 0-07-028121-1.
21. 1997, Norma AWS B4.0 Métodos estándar para pruebas mecánicas de uniones soldadas. Miami, Florida : AWS, American Welding Society.