

Tecnología de reacondicionamiento del brazo de la cremallera de las máquinas AMF-5000 / Reconditioning technology for the rack arm of the AMF-5000 machines

Osmundo Héctor Rodríguez-Pérez¹ <https://orcid.org/0000-0001-7558-087X>
hector@uho.edu.cu; Roberto Pérez-Rodríguez¹ <https://orcid.org/0000-0001-5741-5168>;
Gilberto Israel Gurri-Villafruela¹ <https://orcid.org/0000-0003-0165-042X>

Institución de los autores

¹Universidad de Holguín

País: Cuba

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento - No Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Resumen

El proceso de reacondicionamiento de piezas constituye una actividad sistemática del proceso productivo de cualquier industria, particularmente las que trabajan con ciclos continuos. La industria para el procesamiento del cigarro se caracteriza por la utilización de líneas productivas continuas con una amplia variedad de máquinas y equipos. En este artículo se presenta una tecnología para el reacondicionamiento por soldadura del brazo de la cremallera de las máquinas AMF-5000, en la Empresa de Cigarros “Lázaro Peña” de la Provincia de Holguín utilizando el método de los elementos finitos. Se utilizaron en la investigación el método tecnológico para el reacondicionamiento de piezas por soldadura, el método de los elementos finitos. Se determinó por el método de los elementos finitos el estado tensional de la solución tecnológica y se desarrolló una tecnología de soldadura por el método TIG para el reacondicionamiento de la pieza.

Palabras clave: Reacondicionamiento; Soldadura; Tecnología; MEF.

Abstract

The parts reconditioning process is a systematic activity in the production process of any industry, particularly those that work with continuous cycles. The industry for cigar processing is characterized by the use of continuous production lines with a wide variety of machines and equipment. This article presents a technology for reconditioning by welding the zipper arm of

the AMF-5000 machines, in the “Lázaro Peña” Cigar Company of the Province of Holguín. The technological method for reconditioning of pieces by welding was used in the research, as well as and the method of the finite elements. The tension state of the technological solution was determined by the finite element method and a welding technology was developed by the TIG method for the reconditioning of the piece.

Keywords: Reconditioning; Welding; Technology; MEF.

Introducción

La Empresa de Cigarros “Lázaro Peña” tiene como misión fundamental la producción y comercialización de cigarrillos negros y rubios. Está estructurada en diferentes talleres en función del flujo tecnológico, siendo la producción sustentada por diferentes equipos y máquinas específicas. En el taller secundario se encuentran instaladas 18 máquinas con denominación AMF–5000, que son las encargadas de conformar las cajetillas de cigarrillos.

Una de las causas de la baja disponibilidad de las máquinas AMF-5000 es la rotura del brazo de la cremallera, que provoca la paralización de la máquina y, por lo tanto, la afectación directa al sistema productivo de la fábrica. Esta pieza realiza un movimiento de vaivén y tiene roturas en periodos cíclicos, generalmente anuales y en ocasiones en periodos más cortos. Cuando ocurren estas roturas, es necesario la importación anual de tres a cuatro piezas de esta tipología.

A partir de esta problemática, el objetivo de esta investigación es el desarrollo de una tecnología de reacondicionamiento por soldadura (TIG) del brazo de la cremallera de las máquinas AMF-5000 y el análisis del estado tensional de la solución tecnológica por el Método de los Elementos Finitos (MEF).

Reacondicionamiento de piezas

El reacondicionamiento de piezas es el proceso tecnológico al que se somete una pieza que ha perdido sus parámetros permisibles de trabajo, para recuperarla. El objetivo fundamental es reincorporarla al proceso de explotación del equipo o destinarse a otro equipo similar (Eze, Ijomah y Wong, 2019; Foster, Cullen, Fitzpatrick, et al., 2019; Siddiqi, Ijomah, Dobie, et al., 2019). Los requisitos para que exista el reacondicionamiento de piezas son los siguientes:

1. Que la pieza a reacondicionar haya perdido sus parámetros permisibles de trabajo, lo que la hace inutilizable para continuar su explotación; o que pudiendo continuar en su función, se determine que no va perdurar hasta el próximo período de mantenimiento programado.

2. Que exista un proceso tecnológico, que, si se aplica, garantice la devolución de los parámetros nominales o permisibles a dicha pieza, que posibilite reintegrarla a un nuevo ciclo de explotación.

Principales procesos de soldadura en el reacondicionamiento de piezas

Los procesos tecnológicos asociados a la soldadura y recargue ocupan un lugar fundamental en el reacondicionamiento de piezas y partes de equipos, ya que pueden resolver una gran parte de los problemas de desgaste o averías que inutilizan las piezas. El tipo de desgaste, la avería o rotura, las dimensiones y formas de las piezas, el tipo de material base, las condiciones de trabajo, el acceso a las zonas dañadas, etc., son factores que condicionan la utilización del método de soldadura o recargue a utilizar. Los procesos de soldadura que se utilizan para soldar estos materiales son: soldadura bajo gases protectores con electrodo refractario, soldadura manual con llama y soldadura manual por arco eléctrico.

Características del aluminio

El aluminio es un metal ligero altamente dúctil con un peso específico de $2\,700\text{ N/m}^3$ y una temperatura de fusión de $660\text{ }^{\circ}\text{C}$, con excelente conductibilidad térmica y eléctrica. Por este motivo, su soldadura requiere de un suministro considerable de calor. El aluminio puro tiene baja resistencia a la tracción de 88 N/mm^2 a 117 N/mm^2 en estado bruto, mientras que en estado de deformación en frío es algo superior, entre 147 N/mm^2 y 245 N/mm^2 . La resistencia a la tracción puede aumentar hasta 686 N/mm^2 con la adición de elementos de aleación y con la deformación en frío (Mathers, 2002).

El aluminio se oxida rápidamente formando una película de óxido refractario (Al_2O_3), el cual tiene una temperatura de fusión de $2\,060\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un peso específico de $3\,900\text{ N/m}^3$, siendo estos valores más elevados que los del aluminio en estado puro. Esta película protege al metal de una posterior oxidación.

Soldabilidad del aluminio y sus aleaciones

La soldabilidad del aluminio y sus aleaciones (Mathers, 2002) están caracterizadas por los siguientes fenómenos:

- a) La formación del Al_2O_3 es la causa de la baja soldabilidad operatoria del metal y sus aleaciones. Su presencia se opone a la inter-penetración de las gotas fundidas que aseguran la continuidad del cordón de soldadura. La dificultad desaparece utilizando un fundente adecuado que produce la disolución del Al_2O_3 , formando una escoria ligera y fácil de eliminar.

- b) En el caso de algunas aleaciones, el ciclo térmico de soldadura provoca en el material base y la zona fundida, la precipitación de compuestos definidos de la solución sólida, originando la disminución de las características mecánicas y de la resistencia a la corrosión.

En la soldabilidad de estos materiales la selección de los materiales de aporte es muy importante. El principio debe ser que el material de aporte tenga una composición química similar a la del material base.

Algunas investigaciones sobre la soldadura del aluminio

Se ha demostrado que al soldar aluminio al vacío por gas (brazing) se elimina la contaminación con los óxidos presentes en las uniones, además, se elimina la necesidad de fundente y se disminuyen los costos de fabricación. Schwartz, Gurtner, y Shutt (citado en Itoh, 2017) ofrecen los valores de carga de rotura, dureza y microestructura.

Twcker (citado por Rodríguez-Pérez, 1996) expone que estos tipos de aleaciones poseen elevadas propiedades mecánicas, buena segregación del Manganeseo (Mn) y una distribución uniforme del Cobre (Cu) cuando el enfriamiento es rápido, mientras que, con uno lento, se tienen bajas propiedades mecánicas y una distribución no uniforme del Mn y el Cu. El grado de enfriamiento de la costura más rápido ocurre en uniones a tope sin preparación de bordes en dos pasadas con el proceso GMAW, con un apoyo de Cu.

Young (1968) presenta un trabajo de la *British Welding Research Association* de la soldadura de las aleaciones de Al-Zinc (Zn) – Magnesio (Mg) (serie 7000) por soldadura de arco bajo gas protector. Estudia la influencia de la composición química del metal base y el tratamiento térmico sobre los problemas metalúrgicos. Se determina que la composición óptima para una estructura adecuada en esta aleación es de Al con 3,75% de Zn y 2,25% de Mg con adiciones menores de otros elementos. El metal de aporte contiene 4,6 % de Zn y 2,75 % de Mg.

Cheever y Monroe (citado por Rodríguez-Pérez, 1996) describen la utilización del proceso de soldadura bajo gas protector con argón y electrodo de tungsteno (TIG), para soldar uniones a tope con una pureza del 99,9 %, obteniéndose una disminución de la alta conductividad eléctrica de estos materiales a temperaturas criogénicas. La conductividad del Al en la costura no fue menor del 84% con respecto a la del metal base. Los autores analizan los factores de los procesos de soldadura GMAW y por haz de electrones.

Morton (1971) describe la influencia que tienen los defectos y su magnitud sobre la resistencia a la fractura en aleaciones de Al del tipo 2021 soldadas mediante los procesos de soldadura

TIG. Los datos muestran que la resistencia a la fractura disminuye linealmente con el incremento del área de defectos.

Sharp (1973) demuestra que las vigas de aluminio soldadas de los tipos: 5016–H117, 5456–O, 5456–H117, 661–T4, 6061–T651, 7005–W y 7005–T53, tienen una resistencia al doblado superior a la especificada por la Asociación del Aluminio. Se emplearon tanto costuras longitudinales de filete como transversales a tope. La capacidad de absorber energía varía con el tipo de aleación y con la localización de la costura.

Rodríguez-Pérez (1996) muestra el estudio y la recuperación mediante procesos de soldadura con electrodo de tungsteno y gas argón, de las mordazas fijas de las máquinas de termo-fusión PT-100 de la conductora de agua del Río Cauto a la Ciudad de Holguín. Estas mordazas presentaron roturas y grietas peligrosas. Se seleccionó el proceso TIG con un material de aporte sobre la base de Al y Si correspondiente al material base de las piezas. Se utilizó un precalentamiento de 250 a 300 °C y una preparación de bordes en V en el ala de la viga y en X en el alma de la misma. Se aplicó un tratamiento térmico posterior a las uniones soldadas.

Elrefaey y Ross (2015) abordan la integración de estructuras de aleaciones de aluminio en la industria automovilística a través de uniones soldadas, específicamente las uniones de aleaciones de aluminio 6082-T4 y 5182-O, se utilizaron electrodos ER5356 y ER4043. Los resultados indican una buena eficiencia de la unión, con una alta velocidad de soldadura y buenas propiedades mecánicas. Un análisis similar lo realizan Guo-qing, Quan, Yan-jun, et al. (2017) en tanques de combustible para automóviles.

Zhang, Li, Nie, Huang y Niu (2016) analizan la microestructura y las propiedades mecánicas de la soldadura por los métodos TIG y láser de una aleación de Al–Zn–Mg–Cu. Se demuestra que la zona de fusión y la zona de influencia térmica con láser es menor. La morfología y el tamaño del grano, y el grado de recristalización de las dos zonas de influencia térmica son prácticamente las mismas que la del metal base.

Fauzi, Jamil, Samad y Muangjunburee (2017) comparan las características microestructurales y las propiedades mecánicas de las uniones tubulares del AA6082, por los procesos TIG y MIG. Los resultados mostraron que las tensiones en las uniones soldadas por el proceso TIG fueron mejores que por el proceso MIG, debido a la contribución de la formación de los granos equiaxiales.

Baskutis, Baskutiene, Bendikiene y Ciuplys (2019) analizaron los efectos de diferentes parámetros de soldadura en las propiedades mecánicas de piezas soldadas de una aleación de Al tipo 6082 por el proceso TIG. Se experimentaron con varios ángulos de preparación de

los bordes para evaluar las tendencias en la formación de la microestructura y calidad de la soldadura.

Ding, Michael y Sowards (2020) describen los últimos avances en los procesos de metrología y la modelación computacional de los fenómenos termo-mecánicos de los procesos de soldadura. Además, exponen cómo estas tecnologías aplicadas a la soldadura de materiales ultra resistentes, facilitarán la construcción de naves espaciales más fiables y duraderas.

Atílio, Braga, de Siqueira, et al. (2020) estudian la soldabilidad de una unión soldada con la aleación de Al AA6013-T4 y en el acero de fase dual DP600, respecto a su microestructura y comportamiento mecánico. El estudio muestra que este tipo de unión es posible.

Materiales y métodos

Caracterización del brazo de la cremallera

La pieza objeto de estudio de la presente investigación es el brazo de la cremallera de las máquinas AMF-5000 (elemento 4 en la Figura 1), fabricada de una aleación de Al. Tiene como función realizar la transmisión del movimiento al eyector de cigarrillos de las bolsas al cajetín (2) y al eyector de cajetillas del cajetín al canal de 26 cajetillas (1), lugar donde se forma la cabeza de las cajetillas. Además, es donde se produce la primera inspección visual de la cajetilla. Este brazo recibe el movimiento de una leva (3), la cual lo recibe a través del esquema cinemático de la máquina.

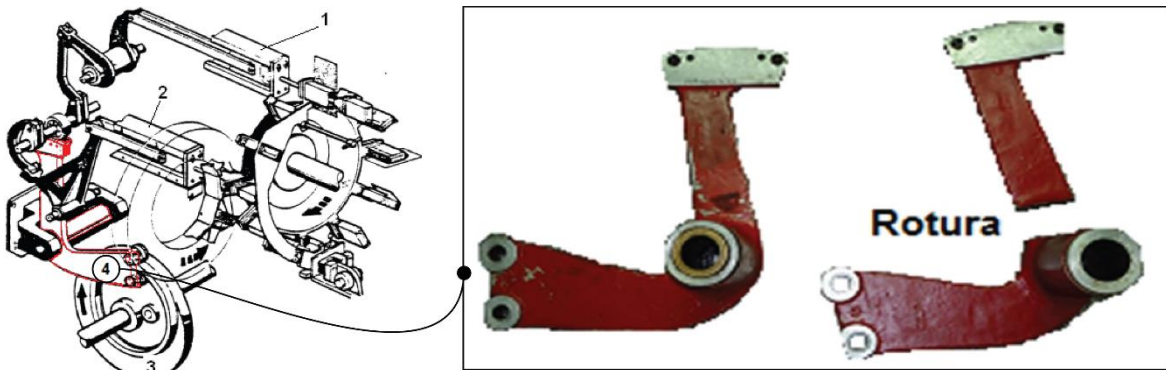


Figura 1. Brazo de la cremallera de las máquinas AMF-5000.

Un análisis causal de ingeniería, relacionada con las roturas de estas piezas, permitió identificar dos posibles causas fundamentales:

- a) En el momento en que el brazo de la cremallera realiza su función principal ocurren los mayores esfuerzos, debido a que los eyectores desplazan en dirección lineal a las cajetillas y a los cigarrillos.
- b) Se producen sobrecargas debido a la rotura de alguno de los elementos a los cuales el brazo transmite movimiento.

Estas roturas ocasionan la paralización productiva de la máquina y, por lo tanto, afecta directamente al sistema productivo continuo de la fábrica. Esta situación permitió la identificación de un problema tecnológico consistente en la necesidad del reacondicionamiento del brazo de la cremallera de las máquinas AMF-5000.

Caracterización química y metalográfica del brazo de la cremallera

La composición química típica de las aleaciones de aluminio fundidos de esta tipología de piezas consta de un 9,5 % de Si, un 0,30 % de Mn, un 0,22 % de Mg, un 0,7 % de Hierro (Fe) y el resto es Al. Esto la caracteriza como una aleación de Al para moldeo del tipo Siluminio Al-4, con adición de Mg y Mn, con elevada resistencia mecánica. La estructura metalográfica corresponde a una aleación hipo eutéctica de Al aleada con Si, formada por dendritas primarias alfa (α), rodeada por una mezcla eutéctica.

Resultados

Determinación del estado tensional del brazo de la cremallera por el método de los elementos finitos

Para analizar el estado tensional de la pieza reacondicionada objeto de estudio (Figura 2, a), se utilizó el *software SolidWorks Simulation*. Una vez que se realiza el modelo CAD con las diferentes características geométricas y la asignación del material, se procede al proceso de caracterización de las cargas a las cuales está sometida.

En este caso, se aplicó una carga distribuida de 100 N/m² en la cara frontal de la pieza (Figura 2, b). Este valor de carga distribuida es muy superior al valor nominal o de trabajo, pues se trata de analizar el comportamiento límite de la pieza recuperada en condiciones extremas de funcionamiento de la máquina AMF-5000.

Se ajustaron a las condiciones de operación mostradas en la Figura 1. En las propiedades del estudio se tuvo en cuenta un tipo de análisis estático, las condiciones térmicas, se trabajó con el Sistema Internacional de Unidades.

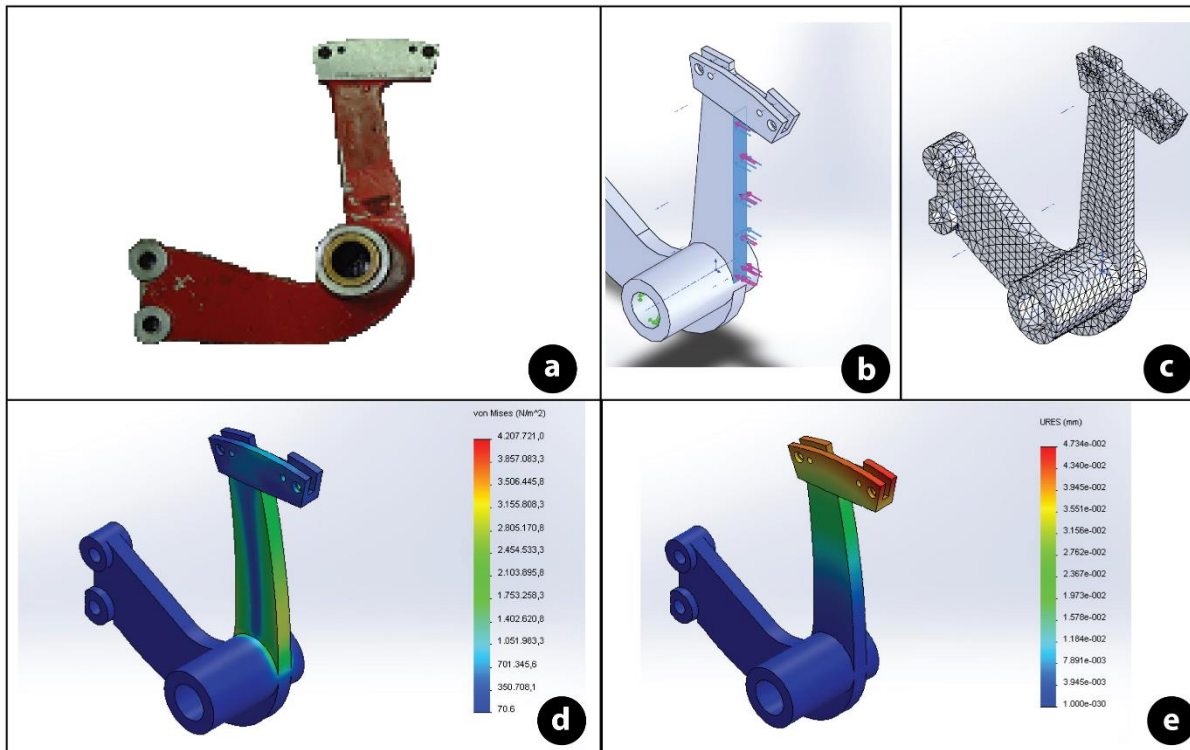


Figura 2. Detalles tecnológicos de la recuperación (a), proceso de modelación CAD y análisis por el método de los elementos finitos (b, c, d y e).

Luego se pasa al mallado de la pieza (Figura 2, c) con los elementos definidos anteriormente, siendo este un paso importante en el análisis por el método de los elementos finitos, pues decide la exactitud de los resultados. Una vez completado el mallado y el proceso de análisis, se analizan los resultados.

En el análisis de la tensión de la pieza (Figura 2, d), se observa cómo en su estado nominal (sometida a una fuerza distribuida muy superior a su condición de funcionamiento), resiste sin llegar a tener deformaciones que comprometan su funcionamiento. De la misma forma, se realizó un análisis de desplazamientos (Figura 2, e), comportándose la pieza de forma similar a la analizada para el caso de la tensión.

El análisis por el método de los elementos finitos realizado, permitió determinar numéricamente las condiciones tensionales del brazo de la cremallera de las máquinas empaquetadora de cajas de cigarrillos AMF-5000, desde el punto de vista de la tensión a la que está sometida, incluso, cuando se consideran sobrecargas. Esto permitió definir la tecnología de recuperación por soldadura.

Tecnología de soldadura manual por arco con electrodo refractario en atmósfera protectora de gas inerte (TIG) para la recuperación del brazo de la cremallera

a) Preparación de la pieza

La pieza debe soldarse con la siguiente tecnología:

1. Las superficies de las piezas no deben tener aceites, grasas, suciedades, pinturas, etc.
2. El material oxidado debe ser eliminado con cepillo metálico hasta el brillo metálico.
3. Preparación de los bordes con disco abrasivo en forma de V (Figura 3).

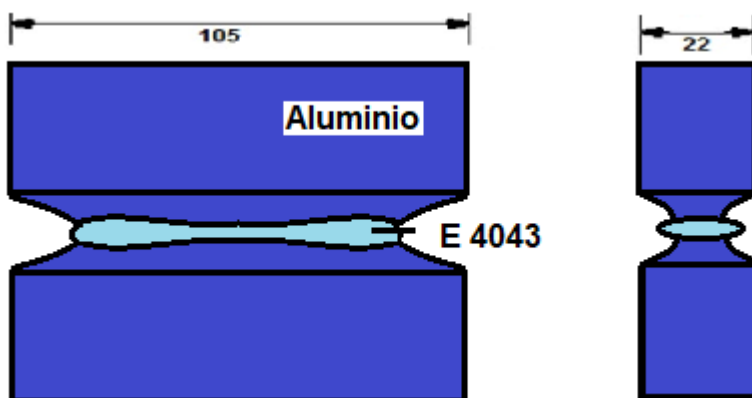


Figura 3. Preparación de los bordes.

b) Proceso de soldadura

1. Aplicar un precalentamiento de 350 °C a 450 °C.
2. Se debe soldar con el proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo de tungsteno y atmósfera protectora de gas argón (TIG).
3. Se utilizan como material de aporte la varilla E-4043 con aluminio y silicio de 4 mm de diámetro.
4. La intensidad de corriente utilizada es de 260 amperes y la tensión de 30 voltios, corriente alterna de alta frecuencia y 0.9911 m³/h de gas argón.
5. Los cordones se deben depositar de manera que se eviten deformaciones y torsiones.
6. Se realiza el acabado con escofina en el área donde los cordones tienen salientes y luego se aplica papel de esmeril.

Conclusiones

Se mostraron los resultados obtenidos por el método de los elementos finitos para la determinación del estado tensional del brazo de la cremallera de la máquina AMF-5000. A

partir de estos resultados numéricos, se describió la tecnología TIG de soldadura utilizada para la recuperación de la pieza, demostrándose en la práctica industrial su factibilidad.

Referencias Bibliográficas

- Atílio, I., Braga, V., de Siqueira, R.H., de Carvalho, S.M., de Lima, M.S.F. (2020). Comparing the weldability of AA6013-T4 aluminium alloy on DP600 dual-phase steel with laser welding and resistance spot welding. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42-71. <https://doi.org/10.1007/s40430-019-2158-0>
- Baskutis, S., Baskutiene, J., Bendikiene, R., Ciuplys, A. (2019). Effect of weld parameters on mechanical properties and tensile behavior of tungsten inert gas welded AW6082-T6 aluminium alloy. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 33(2), 765-772. <https://doi.org/10.1007/s12206-019-0131-6>
- Ding, F., Michael, F. y Sowards, J.W. (2020). New technology drives the assembly of this state-of-the-art rocket. *Welding Journal*, 99(6), 60–64.
- Elrefaey, A., Ross, N.G. (2015). Microstructure and mechanical properties of cold metal transfer welding similar and dissimilar aluminum alloys. *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, 28(6), 715-724. <https://doi.org/10.1007/s40195-015-0252-6>
- Eze, S., Ijomah, W., Wong, T.C. (2019). Accessing medical equipment in developing countries through remanufacturing. *Journal of Remanufacturing*, 9, 207–233. <https://doi.org/10.1007/s13243-018-0065-7>
- Fauzi, E.R.I., Jamil, M.S.C., Samad, Z., Muangjunburee, P. (2017). Microstructure analysis and mechanical characteristics of tungsten inert gas and metal inert gas welded AA6082-T6 tubular joint: A comparative study. *Transactions of Nonferrous Metals and Society of China*, 27, 17–24. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(17\)60003-7](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(17)60003-7)
- Foster, J., Cullen, C., Fitzpatrick, S., Payne, G., Hall, L., Marashi, J. (2019). Remanufacture of hot forging tools and dies using laser metal deposition with powder and a hard-facing alloy Stellite 21®. *Journal of Remanufacturing*, 9, 189–203. <https://doi.org/10.1007/s13243-018-0063-9>
- Itoh, Y. (2017). History of aluminum brazing technology. *UACJ Technical Reports*, 4, 64-76.
- Mathers, G. (2002). *The welding of aluminium an its alloys*. Woodhead Oubkishing Limited. CRC Press LLC.

- Rodríguez-Pérez, O. H. (1996). *Metalurgia de la soldadura*. Ciudad de la Habana: Editorial Pueblo y Educación.
- Siddiqi, M.U.R., Ijomah, W.L., Dobie, G.I., Hafeez, M., Pierce, S.G., Ion, W., Carmelo, M., MacLeod, C.N. (2019). Low cost three-dimensional virtual model construction for remanufacturing industry. *Journal of Remanufacturing*, 9, 129–139. <https://doi.org/10.1007/s13243-018-0059-5>
- Sharp, M. L. (1973). Static and dynamic behavior of welded aluminum beams. *Welding Journal*, 52, 495 – 565.
- Guo-qing, W., Quan, L., Yan-jun, L., Ai-ping, W., Nin-xu, M., Dong-yang, Y., Hui-qiang, W. (2017). Effects of weld reinforcement on tensile behavior and mechanical properties of 2219-T87 aluminum alloy TIG welded joints. *Transactions of Nonferrous Metals and Society of China*, 27, 10–16. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(17\)60002-5](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(17)60002-5)
- Young, J. G. (1968). BWRA Experience in the welding of Aluminum-Zinc-Magnesium alloys, *Welding Journal*, 47, 4515 – 4615.
- Zhang, L., Li, X., Nie, Z., Huang, H., Niu, L. (2016). Comparison of microstructure and mechanical properties of TIG and laser welding joints of a new Al–Zn–Mg–Cu alloy. *Materials and Design*, 92, 880-887. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2015.12.117>

Síntesis curricular de los Autores

Dr. C. Osmundo Héctor Rodríguez-Pérez¹ <https://orcid.org/0000-0001-7558-087X>. Email: hector@uho.edu.cu. Profesor Titular, Doctor en Ciencias, Departamento Ingeniería mecánica. Universidad de Holguín sede “Oscar Lucero Moya”, Cuba. Línea de investigación: tecnologías de recuperación de piezas por procesos de soldadura.

Dr. C. Roberto Pérez-Rodríguez¹ <https://orcid.org/0000-0001-5741-5168>. Email: roberto.perez@uho.edu.cu. Profesor Titular, Doctor en Ciencias, Departamento Ingeniería mecánica. Universidad de Holguín sede “Oscar Lucero Moya”, Cuba. Línea de investigación: diseño y fabricación asistida por computadoras

MS. c. Gilberto Israel Gurri-Villafruela¹ <https://orcid.org/0000-0003-0165-042X>. Email: gurrigv@gmail.com. Profesor auxiliar, Master en ciencias, Departamento Ingeniería mecánica. Universidad de Holguín sede “Oscar Lucero Moya”, Cuba. Línea de investigación: Desarrollo de tecnologías y materiales.

Institución de los autores

¹Universidad de Holguín, Cuba

Fecha de Recepción: 15 de noviembre 2020

Fecha de Aprobación: 23 de diciembre 2020

Fecha de Publicación: 30 de enero 2021