**SIMPOSIO INTERNACIONAL DE INDUSTRIA**

**Obtención de depósitos por FCAW+N2 para recargue duro**

***Obtaining deposits by FCAW+N2 for hardfacing***

**J. L. Garcia-Jacomino1, V. A. Ferraresi2, A. Cruz-Crespo1, A. Scotti2**

1-Jorge Luis García-Jacomino. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba. E-mail: jacomino@uclv.edu.cu

2- V. A. Ferraresi. Universidade Federal de Uberlândia, Brazil.

3- A.Cruz-Crespo. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba.

4- A. Scotti. Universidade Federal de Uberlândia, Brazil.

**Resumen:**

Se estudia la obtención de depósitos de alambres tubulares auto-protegidos utilizados en el proceso FCAW combinado con nitrógeno y su influencia sobre los parámetros de soldadura (corriente y tensión) y en las propiedades mecánicas para el recargue de piezas y partes sometidas a abrasión severa. Son evaluados tres materiales de aporte para este tipo de aplicación: Uno de alto cromo, otro de alto cromo y aleado con niobio y el tercero con menores contenidos de cromo y aleado también con titanio. Se realizan depósitos en las condiciones indicadas por los fabricantes para los alambres (en cuanto a parámetros de régimen) con y sin protección de gas nitrógeno, mediante fuente de soldadura en modo de tensión constante. El uso de protección gaseosa adicional (N2) modifica los parámetros de soldadura a la vez que modifica la microestructura, influyendo en las propiedades mecánicas de los depósitos. Los depósitos obtenidos fueron caracterizados por microscopia óptica, confirmando la influencia del nitrógeno sobre el comportamiento operacional y sobre los depósitos para los tres alambres utilizados.

***Abstract:***

*Obtaining self-protected tubular wire deposits used in the FCAW process combined with nitrogen and its influence on the welding parameters (current and voltage) and on the mechanical properties for recharging parts and parts subjected to severe abrasion are studied. Three filler materials are evaluated for this type of application: One with high chromium, another with high chromium and alloyed with niobium and the third with lower chromium content and also alloyed with titanium. Deposits are made under the conditions indicated by the manufacturers for the wires (in terms of regime parameters) with and without nitrogen gas protection, using a welding source in constant voltage mode. The use of additional gaseous protection (N2) modifies the welding parameters while modifying the microstructure, influencing the mechanical properties of the deposits. The deposits obtained were characterized by optical microscopy, confirming the influence of nitrogen on the operational behavior and on the deposits for the three wires used.*

**Palabras Clave:** recargue duro; FCAW; comportamiento operacional.

***Keywords:*** *hardfacing; FCAW; operational behavior.*

# 1. Introducción

Buchely (Buchely et al., 2005) considera que la técnica de recargue duro (*Hardfacing*) es una de las vías más económica y útiles para mejorar el rendimiento de los componentes sometidos a condiciones de desgaste severo. Crook y Hutchings (P. Crook, 1992, Hutchings, 1992) concuerdan en que es un método comúnmente empleado para mejorar propiedades de las superficies de las herramientas agrícolas, componentes para minería, equipos de preparación del suelo y otros. En publicación reciente, Aldemi (Lima et al., 2014) plantea que en la industria brasileña es tradicional la aplicación de recargue superficial por soldadura manual con electrodo revestido o de forma automática, mediante soldadura por arco sumergido, cuando la geometría o las dimensiones son favorables. Sin embargo, debido a la productividad superior en comparación con SMAW y mejor flexibilidad en relación con SAW, el proceso de soldadura por arco con alambre tubular se ha convertido en una importante alternativa para recargue. Esto coincide con Mohamat (Mohamat et al., 2012), que expone que es de uso común también en diferentes industrias para la unión del acero y sus aleaciones.

Una amplia variedad de consumibles para el recargue duro por soldadura está disponible comercialmente para la protección contra el desgaste. Vázquez (Vázquez et al., 2000) y Gregory (Gregory, 1980) plantean que los depósitos tienen una microestructura compuesta por carburos dispersos en la matriz de austenita, se utilizan ampliamente para aplicaciones resistentes a la abrasión y se clasifican típicamente según la dureza esperada. Sin embargo, Chattrjee (Chatterjee and Pal, 2003) considera que la resistencia a la abrasión de una aleación de recargue depende de muchos otros factores, tales como, el tipo, la forma y distribución de fases duras, la dureza y comportamiento de endurecimiento por deformación de la matriz. Ellis (Ellis and Garrett, 1986) y Noble (Noble, 1985) coinciden que los parámetros de soldadura pueden afectar las propiedades de los depósitos de recargue duro.

Existe una discusión en la literatura sobre el uso del nitrógeno como elemento formador de compuestos en el cordón de soldadura. Gonzalez y Achar (González, 1987, Achar et al., 1998) coinciden que la contaminación del cordón de soldadura con pequeñas cantidades de nitrógeno puede afectar las propiedades mecánicas o provocar porosidades, que se asocian generalmente con baja resistencia de la soldadura, así como la fragilización. A su vez, Stoloff (1969) considera que el nitrógeno libre en solución sólida es perjudicial para la dureza y debe ser minimizado. Sin embargo Lau (Lau et al., 1988), Evans (Evans, 1998), Chandra (Chandra et al., 2007) realizan investigaciones sobre el efecto del nitrógeno en la microestructura de la soldadura y su influencia en las propiedades mecánicas concluyendo que no solo tiene efectos negativos, pues su uso controlado puede contribuir al aumento de la dureza del metal, resistencia y tenacidad. En reciente trabajo, Ilman (Ilman et al., 2014) estudia el efecto del nitrógeno y titanio en la soldadura y concluye la posibilidad de utilizar nitrógeno como una adición intencionada en la aleación, y que bajo algunas circunstancias, las adiciones de nitrógeno puede ser beneficioso.

De lo planteado se espera que la utilización del N2 como gas de protección adicional en el proceso FCAW conduzca a cambios en comportamiento operacional y la microestructura, por lo que se propone como objetivo: evaluar el efecto de la atmósfera de nitrógeno sobre el comportamiento operacional y sobre la microestructura del depósito en el recargue duro por FCAW con diferentes materiales de aporte.

# 2. Metodología

Se utilizan alambres tubulares autoprotegidos para recargue disponibles en el mercado. Estos alambres tienen 1,6 mm de diámetro y los elementos químicos principales son el Fe, Cr y C con diferentes contenidos, uno de ellos tiene Ti y otro Nb. La clasificación y composición química nominal de acuerdo a la norma DIN 8555 (DIN, 1983) del depósito se muestran en la Tabla 1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Tabla 1. Características de los alambres tubulares | | | | | | | | | |
| Tipo de electrodo | Dureza\*\* | Composicion quimica (%)\*\*\* | | | | | | | |
| HRc | C | Cr | Mn | Si | Nb | B | Mo | Ti |
| MF 10-GF-55-GPS | 58 | 1,80 | 6,50 | 1,20 | 0,70 |  |  | 0,80 | 5,00 |
| MF 10-65-GR | 65 | 5,26 | 18,38 | 0,52 | 1,15 | 4,20 | 0,38 |  |  |
| \*\* valor medio | | | | | | | | | |
| \*\*\* resto en Fe | | | | | | | | | |

Para la soldadura, se utiliza una fuente multiprocesos comercial (MTE Digitec 600), ajustada para funcionar en modo tensión constante, fue usada en corriente continua con polaridad positiva (CC+), en una mesa automatizada de coordenadas. Está instalación, por su diseño, permite mantener constante la velocidad de soldadura y la distancia de contacto a la pieza durante el funcionamiento del proceso. La instalación, acoplada a una computadora a través de una tarjeta de adquisición de datos, posibilita el registro de los valores instantáneos de corriente y voltaje, a una frecuencia de 5 kHz, una resolución de 12-bit, durante un tiempo entre 25 y 30 s. Se realizan depósitos para establecer los parámetros operacionales del proceso para cada tipo de alambre, partiendo de los indicados por los fabricantes (2016), como se muestra en la Tabla 2.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Tabla 2. Condiciones de regulación para operación del proceso de soldadura | | | | | |
| **Alambre** | **Probetas** | **Tensión** | **DCP** | **VA** | **VS** |
| (V) | (mm) | (m/min) | (mm/s) |
| MF 10-GF-55-GPS | A y B | 28 | 25 | 10 | 8 |
| MF 10-65-GR | C y D | 30 | 25 | 10 | 8 |
| DCP:Distancia de Contacto a la Pieza  VA: Velocidad de alimentación del Alambre  VS: Velocidad de Soldadura | | | | | |

Los depósitos se realizan con los parámetros mostrados en la Tabla 2 para cada tipo de alambre con (probetas B y D) y sin (probetas A y C) atmosfera protectora de N2 a un flujo constante de 15 L/min. Para lograr la reproducibilidad de los experimentos, desde el punto de vista del control de los parámetros, los depósitos se realizan en una instalación automatizada para la soldadura. De los depósitos, se extraen secciones en el sentido trasversal al cordón. Las probetas se preparan según la Norma ASTM (Doering et al., 2011) y atacadas con Nital al 4 % para revelar las macrografías. El ataque para obtener la microestructura se realiza con agua regia (20 mL HNO3 y 60 mL HCl). Para la microscopia óptica se utiliza el microscopio óptico metalográfico OLYMPUS modelo BX51M (las imágenes se adquieren con una cámara digital acoplada).

# 3. Resultados y discusión

**3.1. Caracterización de los parámetros operacionales del proceso**

**3.1.1. Resultados para el alambre tipo MF 10-GF-55-GPS (probetas A y B)**

Los oscilogramas de corriente de soldadura y tensión de arco, obtenidos durante las soldaduras, se muestran en la figura 1. Se observa un comportamiento típico para la transferencia guiada por escoria, con y sin cortocircuitos. La frecuencia de tensión < 15 V para los más de 140000 puntos de medición es de 7,74 Hz para la probeta sin nitrógeno (A) y de 6,54 Hz para la probeta con protección gaseosa de nitrógeno (B).

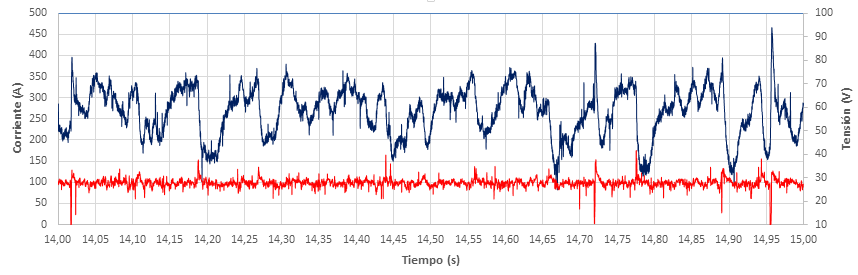
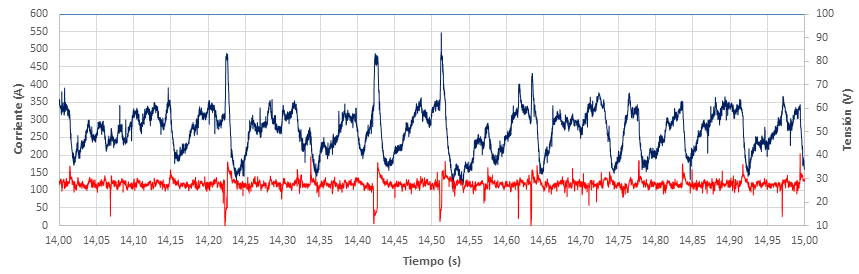


Figura 1. Oscilograma de corriente y tensión para alambre tipo MF 10-GF-55-GPS, (a) sin nitrógeno, (b) con nitrógeno. Los cortocircuitos están señalizados con círculos rojos.



**(a)**

**(b)**

La Tabla 3 muestra los estadísticos de resumen calculados a partir de los datos de la corriente de soldadura. Incluye medidas de tendencia central y medidas de variabilidad.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Tabla 3. Resumen estadístico para los valores de corriente de soldadura con alambre MF 10-GF-55-GPS | | | |
| **Estadísticos** | **UM** | **Probetas** | |
| A (sin N2|) | B (con N2) |
| Recuento | U | 141235 | 140425 |
| Promedio | A | 268,8 | 264,0 |
| Mediana | A | 276,5 | 269,3 |
| Moda | A | 301,7 | 285,3 |
| Desviación Estándar | A | 57,6 | 53,9 |
| Coeficiente de Variación | % | 21,4 | 20,4 |
| Mínimo | A | 12,1 | 24,0 |
| Máximo | A | 574,9 | 549,0 |
| Rango | A | 577,0 | 525,0 |

En cuanto a las medidas de tendencia central, la probeta A tiene una media de 268,8 A con una mediana de 276,5 A; la probeta B tiene una media de 264 A con una mediana de 269,3 A. Se evidencia que la corriente mayor es la de la probeta A. Esta diferencia expresada porcentualmente, tomando como base a la probeta A, muestra que la corriente en la probeta B es menor 1,8 %. La muestra que menor dispersión tiene en la corriente de soldadura es la probeta B (con nitrógeno), con un coeficiente de variación del 20 %, mientras para la probeta A es de 21 %. A priori, basado en los estadísticos descriptivos, se puede suponer que las distribuciones de los valores de corriente de soldadura no tienen diferencias significativas, por lo que el uso de nitrógeno como gas de protección y elemento de aporte, no afecta los parámetros del proceso aplicado. La aplicación de técnicas estadísticas no paramétricas permite establecer si existen o no estas diferencias significativas, sin tener que partir del supuesto que las distribuciones de las muestras provienen de distribuciones normales.

La Tabla 4 muestra los resultados de la prueba no paramétrica *Mann-Whitney,* al comparar las medianas de las dos poblaciones (corriente de probeta A y corriente de probeta B, debido a que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas, con un nivel de confianza del 95,0 %. Los resultados mostrados en la Tabla 4 demuestran que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0 % de confianza (valor-P es menor que 0,05). Esto indica que el uso de nitrógeno influye sobre la corriente de soldadura en el proceso FCAW a causa de su efecto ionizante en la columna del arco y su alta entalpia (Scotti and Ponomarev, 2014).

|  |
| --- |
| Tabla 4. Comparación de las medianas de las muestras de la probeta A y B |
| **Comparación de Medianas** |
| Mediana de la probeta A (muestra 1): 276,53  Mediana de la probeta B (muestra 2): 269,32  *Prueba W de Mann-Whitney para comparar medianas*  Hipótesis Nula: mediana1 = mediana2  Hipótesis Alt.: mediana1 <> mediana2  Rango Promedio de muestra 1: 145348,  Rango Promedio de muestra 2: 136287,  W = 9,27849E9 valor-P = 0  Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05. |

Para demostrar que las muestras no provienen de la misma población, se realiza la prueba de *Kolmogorov-Smirnov.* En los resultados mostrados en la Tabla 5 se evidencia que la distancia máxima entre las dos distribuciones es de 0,0730802 y debido a que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las dos distribuciones, con un nivel de confianza del 95,0%.

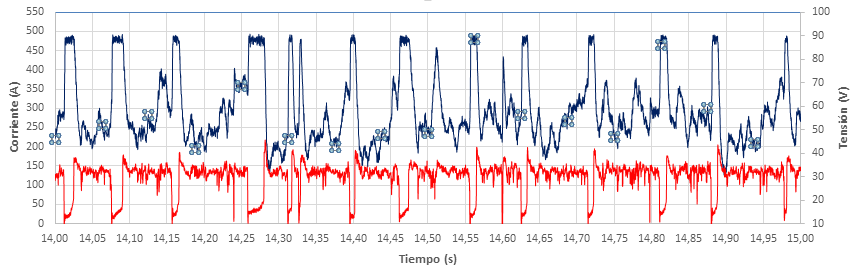
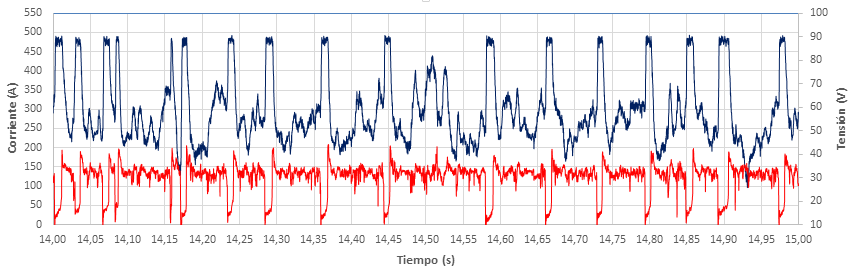
|  |
| --- |
| Tabla 5. Comparación de las distribuciones de las dos muestras (probetas A y B) |
| **Prueba de Kolmogorov-Smirnov** |
| Estadístico DN estimado = 0,0730802  Estadístico K-S bilateral para muestras grandes = 19,3923  Valor P aproximado = 0 |

Los resultados de los test estadísticos aplicados permiten asegurar, con un nivel de confianza del 95 %, que las distribuciones de la corriente de soldadura, cuando se suelda con y sin protección de nitrógeno son diferentes, lo que evidencia la influencia en los parámetros de soldadura con el alambre MF 10-GF-55-GPS. Esto se debe al efecto ya referido efecto del nitrógeno sobre las características del arco.

**3.1.2. Resultados para el alambre tipo MF 10-65-GR (probetas C y D)**

Los oscilogramas de corriente y voltaje, obtenidos durante las soldaduras, se muestran en la figura 2. Se observa que el tipo de transferencia es guiada por escoria, con y sin cortocircuito. La frecuencia de voltajes < 10 V para los más de 130000 puntos de medición es de 6,54 Hz para la probeta sin nitrógeno (C) y de 9,60 Hz para la probeta con protección gaseosa de nitrógeno (D).

Figura 2. Oscilograma para alambre tipo MF 10-65-GR, (a) sin nitrógeno, (b) con nitrógeno. Los cortocircuitos están señalizados con círculos rojos.



**(b)**

**(a)**

La Tabla 6 muestra el resumen de los estadísticos, calculados a partir de los datos de la corriente de soldadura. Incluye medidas de tendencia central y medidas de variabilidad.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Tabla 6. Resumen estadístico para los valores de corriente de soldadura con alambre MF 10-65-GR | | | |
| **Estadísticos** | **UM** | **Probetas** | |
| C | D |
| Recuento | U | 133888 | 137532 |
| Promedio | A | 300,6 | 291,4 |
| Mediana | A | 279,8 | 268,7 |
| Moda | A | 478,7 | 481,0 |
| Desviación Estándar | A | 92,3 | 90,9 |
| Coeficiente de Variación | % | 30,7 | 31,2 |
| Mínimo | A | 10,8 | 11,1 |
| Máximo | A | 496,0 | 496,0 |
| Rango | A | 485,2 | 484,9 |

En cuanto a las medidas de tendencia central, la probeta C tiene una media de 300,5 A con una mediana de 279,8 A; la probeta D tiene una media de 291,4 A con una mediana de 268,8 A. Se evidencia que la corriente mayor es la de la probeta C. Esta diferencia expresada porcentualmente, tomando como base a la probeta C muestra que la corriente en la probeta D es menor 3,07 % .

La medida de dispersión indica que la muestra que menor dispersión tiene en la corriente de soldadura corresponde a la probeta C (sin nitrógeno), con un coeficiente de variación del 30,7 % y la mayor a la probeta D, con un coeficiente de variación del 31,2 % .

Similar a las probetas A y B, se puede suponer que las distribuciones de los valores de corriente de soldadura no tienen diferencias significativas. La Tabla 7 muestra los resultados de la prueba no paramétrica *Mann-Whitney,* al comparar las medianas de las dos poblaciones (corriente probeta C y corriente probeta C)

|  |
| --- |
| Tabla 7. Comparación de las medianas de las muestras de la probeta C y D |
| **Comparación de Medianas** |
| Mediana de la probeta C (muestra 1): 279,78  Mediana de la probeta D (muestra 2): 268,75  *Prueba W de Mann-Whitney para comparar medianas*  Hipótesis Nula: mediana1 = mediana2  Hipótesis Alt.: mediana1 <> mediana2  Rango Promedio de muestra 1: 140685,  Rango Promedio de muestra 2: 130868,  W = 8,54095E9 valor-P = 0  Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05. |

Debido a que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel de confianza del 95,0%. Esto indica que el uso de gas nitrógeno influye sobre la corriente de soldadura en el proceso FCAW.

Para demostrar que las muestras no provienen de la misma población, se realiza la prueba de *Kolmogorov-Smirnov.*

|  |
| --- |
| Tabla 8. Comparación de las distribuciones de las dos muestras (probetas C y D) |
| **Prueba de Kolmogorov-Smirnov** |
| Estadístico DN estimado = 0,0613825  Estadístico K-S bilateral para muestras grandes = 15,9881  Valor P aproximado = 0 |

En los resultados mostrado en la Tabla 8 se evidencia que la distancia máxima entre las dos distribuciones es de 0,0613825 y debido a que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las dos distribuciones con un nivel de confianza del 95,0 %.

**3.2. Caracterización por microscopía óptica**

**3.2.1. Aspectos morfométricos de las macrografías de la sección transversal de los cordones de soldadura**

En la figura 4 se observan las macrografías de la sección transversal de los depósitos con los diferentes alambres utilizados. A partir de las macrografías fueron determinadas las áreas del metal fundido y las áreas del metal depositado y sobre la base de estas se determina la dilución alcanzada y el diámetro estadístico Feret, así como los factores de forma (Tabla 14). Esto permite valorar la posible influencia del uso del N2 sobre la geometría y forma del depósito de soldadura.

|  |  |
| --- | --- |
| D:\Work\Brasil 2014\Experimentos FCAW\Probetas\Macrografia\Probeta A.tif | D:\Work\Brasil 2014\Experimentos FCAW\Probetas\Macrografia\Probeta B.tif |
| (a) | (b) |
|  | D:\Work\Brasil 2014\Experimentos FCAW\Probetas\Macrografia\Probeta D.tif |
| (c) | (d) |

Figura 4. Macrografías de la sección transversal de los cordones de soldadura. (a) y (b) alambre MF 10-GF-55-GPS sin N2 y con N2; (c) y (d) alambre MF 10-65-GR sin N2 y con N2.

Para las probetas A y B, la dilución mostrada en la Tabla 13 indica que para este alambre existe una mayor penetración cuando se utiliza N2, esto puede traer consigo un efecto negativo al disminuir la dureza esperada en el depósito. En el caso del índice de convexidad, cuando se suelda con N2 aumenta. Sin embargo, la RA es mayor producto de tener un depósito con mayor relación entre el ancho y el alto.

Por otra parte, para las probetas C y D, la dilución indica que para este alambre disminuye la penetración cuando se utiliza N2. En el caso del índice de convexidad, cuando se suelda con N2 aumenta, consistente con el aumento de área. Sin embargo, la RA es menor producto de tener un depósito con menor relación entre el ancho y el alto.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Tabla 13. Aspectos morfométricos de los depósitos para el alambre | | | | | | | | | |
| **Probeta** | **Área del cordón** | | | **Dilución** | **IC** | **Factores de forma** | | | |
| **Superior** | **Inferior** | **Total** | **Ancho** | **Alto** | **RA** | **Circ** |
| **(mm2)** | **(mm2)** | **(mm2)** | **(%)** | **(%)** | **(mm)** | **(mm)** |
| A | 20,8 | 7,6 | 28,4 | 26,9 | 31,9 | 8,5 | 5,1 | 1,7 | 0,66 |
| B | 21,9 | 8,4 | 30,3 | 27,7 | 33,0 | 9,3 | 4,9 | 1,8 | 0,69 |
| C | 21,6 | 8,6 | 30,3 | 28,5 | 31,4 | 9,3 | 4,9 | 1,8 | 0,69 |
| D | 22,5 | 8,2 | 30,8 | 26,8 | 33,1 | 9,3 | 5,1 | 1,8 | 0,70 |
| IC: Índice de Convexidad ((altura de refuerzo/ancho del cordón) x 100)  RA: relación de aspecto (ancho del del depósito/altura total del depósito)  Circ: factor de redondeo (4π x (área del depósito/(perímetro)2 )) | | | | | | | | | |

En el caso del índice de convexidad, cuando se suelda con N2 aumenta. En el caso de los factores de forma en ambos depósitos es similar.

**3.2.2. Caracterización mediante microscopia óptica de la sección transversal de los cordones de soldadura**

La figura 5 muestra las micrografías de la sección transversal de los depósitos de soldadura de los diferentes alambres. En las micrografías de las probetas A y B se evidencia pequeños carburos primarios polidispersos, que de acuerdo a la composición son presumiblemente carburos de titanio en una matriz eutéctica. Se define muy bien la morfología de estos carburos, manifestación de su sistema cristalino cubico, grupo espacial Fm3m. En el caso de la muestra B (con N2), se observa que el tamaño de los carburos disminuye, aumenta la fracción de carburos y aparecen poros de mayor tamaño. Estos fenómenos podrían estar relacionados con la interacción de los elementos químicos aleantes durante el proceso de soldadura con el N2.

En las micrografías de las probetas C y D se evidencia la formación de carburos de niobio (color gris) en una matriz eutéctica con estructuras dendríticas de austenita. Se define muy bien la morfología de estos carburos manifestación de su sistema cristalino monoclínico, grupo espacial C2/m. En el caso de la muestra D se aprecia un engrosamiento de la austenita atribuible al efecto austenitizante del N2. Aparecen manchas oscuras, que pudiera estar relacionado con la formación de porosidad (Scotti and Ponomarev, 2014) durante el proceso de soldadura con el N2.

|  |  |
| --- | --- |
| D:\Work\Brasil 2014\Experimentos FCAW\Probetas\Micrografias\Micrografia Probeta A\08.59.47.png | D:\Work\Brasil 2014\Experimentos FCAW\Probetas\Micrografias\Micrografia Probeta B\09.19.33.png |
| (a) | (b) |
| D:\Work\Brasil 2014\Experimentos FCAW\Probetas\Micrografias\Micrografia Probeta C\09.33.18.png | D:\Work\Brasil 2014\Experimentos FCAW\Probetas\Micrografias\Micrografia Probeta D\09.45.06.png |
| (c) | (d) |

Figura 5. Micrografías de la sección transversal de los cordones de soldadura. (a) y (b) alambre MF 10-GF-55-GPS sin N2 y con N2; (c) y (d) alambre MF 10-65-GR sin N2 y con N2.

El empleo de N2 como gas de protección adicional propicia cambios en patrón microestructural, directamente interrelacionado con la interacción con la composición química del consumible utilizado. Como regla existe un refinamiento de la microestructura y la aparición de microporos. Estos últimos como es conocido no afectan el desempeño al desgaste de estos recubrimientos.

# 4. Conclusiones

El formato del depósito es influenciado por la presencia de N2, experimentándose un aumento del índice de convexidad para todos los alambres, que se interpreta como un aumento de la altura de los depósitos.

La caracterización por microscopia óptica muestra que el uso del N2 provoca cambios en la microestructura. Se experimenta una tendencia al refinamiento en el caso de los alambres. En el caso del alambre MF 10-GF-55-GPS hay presencia de pequeños carburos primarios polidispersos de titanio en una matriz eutéctica. En el caso del alambre MF 10-65-GR hay presencia de carburos de niobio en una matriz eutéctica con estructuras dendríticas de austenita.

Los resultados del procesamiento estadístico a los valores de tensión y corriente de soldadura muestran que existe una influencia de la atmosfera de N2 en todos los alambres estudiados. Cuando se suelda con N2, la corriente media de soldadura disminuye. Sin embargo, disminuye la dispersión de sus valores, pudiendo estar asociado a una mayor estabilidad del arco.

# 5. Referencias bibliográficas

1969. FRACTURE: An Advanced Treatise. *In:* LIEBOWITZ, H. (ed.) *Fracture of Metals.* Academic Press.

2016. Welding Alloys Group. Products & services: anti-abrasion [internet page]. 2016. [access 25 feb. 2016]. Available from: <http://www.welding-alloys.com/products-services/wa-welding-consumables/hardfacing-cored-wires/anti-abrasion.html> [ Links ].

ACHAR, D. R. G., KOÇAK, M. & EVANS, G. M. 1998. Effect of nitrogen on toughness and strain age embrittlement of ferritic steel weld metal. *Science and Technology of Welding and Joining,* 3**,** 233-243.

BUCHELY, M. F., GUTIERREZ, J. C., LEÓN, L. M. & TORO, A. 2005. The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys. *Wear,* 259**,** 52-61.

CHANDRA, T., TSUZAKI, K., MILITZER, M. & RAVINDRAN, C. 2007. Effects of Nitrogen on Weld Metal Microstructure and Toughness in Submerged Arc Welding. *Materials Science Forum,* 3906**,** 539-543.

CHATTERJEE, S. & PAL, T. K. 2003. Wear behaviour of hardfacing deposits on cast iron. *Wear,* 255**,** 417-425.

DIN 1983. Filler Metals Used in Surfacing. Berlin: Deutsches Institut für Normung.

DOERING, A., DANKS, D., MAHMOUD, S. & SCOTT, J. 2011. Evaluation of ASTM G65 abrasive —Spanning 13 years of sand. *Wear,* 271**,** 1252-1257.

ELLIS, T. & GARRETT, G. G. 1986. Influence of process variables in flux cored arc welding of hardface deposits. *SURF. ENGNG.,* 2**,** 55-66.

EVANS, G. M. 1998. Effect of Nitrogen on C-Mn Steel Welds Containing Titanium and Boron *WELDING RESEARCH SUPPLEMENT* 239-248.

GONZÁLEZ, J. C. 1987. Simple method to estimate nitride and nitrogen contents in self-shielded FCAW weld metal. *Journal of Materials Science Letters,* 6**,** 111-112.

GREGORY, E. N. 1980. Surfacing by welding. *Weld. Inst. Res. Bull,* 21**,** 9-13.

HUTCHINGS, T. F. A. W. O. E. M. M. H. 1992. *Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials (Friction and Wear of Engineering Materials)*, Crc Pr I Llc.

ILMAN, M. N., COCHRANE, R. C. & EVANS, G. M. 2014. Effect of titanium and nitrogen on the transformation characteristics of acicular ferrite in reheated C–Mn steel weld metals. *Weld World,* 58**,** 1-10.

LAU, T. W., SADOWSKI, M. M., NORTH, T. H. & WEATHERLY, G. C. 1988. Effect of nitrogen on properties of submerged arc weld metal. *Materials Science and Technology,* 4**,** 52-61.

LIMA, A., FERRARESI, V. & REIS, R. 2014. Performance Analysis of Weld Hardfacings Used in the Sugar/Alcohol Industry. *Journal of Materials Engineering and Performance,* 23**,** 1823-1833.

MOHAMAT, S. A., IBRAHIM, I. A., AMIR, A. & GHALIB, A. 2012. The Effect of Flux Core Arc Welding (FCAW) Processes On Different Parameters. *Procedia Engineering,* 41**,** 1497-1501.

NOBLE, D. N. 1985. ABRASIVE WEAR RESISTANCE OF HARDFACING WELD DEPOSITS. *Metal construction,* 17**,** 605-611.

P. CROOK 1992. *Friction and wear of hardfacing alloys*, ASM International.

SCOTTI, A. & PONOMAREV, V. 2014. *Soldagem Mig/Mag,* Brasil, ArtLiber.

VÁZQUEZ, C. R., CRIBEIRO, J. P. & MONTERO, A. L. 2000. Resistencia al desgaste: comportamiento frente al desgaste abrasivo de las aleaciones con tendencia a la formación de carburos aplicadas por soldadura. *Soldadura y tecnologías de unión* 11**,** 9-12.