**NOMBRE DEL SUB-EVENTO**

**X International Conference on Mechanical Engineering. “COMEC 2019”.**

**Título**

**Características estructurales de (CrxFeyMz)mCn formados en depósitos del tipo fundición blanca del sistema Fe-Cr-C-Nb**

***Title***

*Structural characteristics of (CrxFeyMz)mCn formed in white cast iron weld deposits of the Fe-Cr-C-Nb system*

Rafael Quintana-Puchol1,2, Amado Cruz-Crespo2 y Rafael Fernández-Fuente2

1. Dpto. Licenciatura en Química, Facultada de Química y Farmacia, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villa, Cuba, e-mail: [rquin@uclv.edu.cu](mailto:rquin@uclv.edu.cu)
2. Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS), Facultad de Ingeniería Mecánica e Industriales, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villa, Cuba, e-mail: [acruz@uclv.edu.cu](mailto:acruz@uclv.edu.cu)
3. Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS), Facultad de Ingeniería Mecánica e Industriales (FIMI), Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villa, Cuba, e-mail: [rffernandez@uclv.edu.cu](mailto:rffernandez@uclv.edu.cu)

**Resumen:**

En el trabajo se realizaron caracterizaciones estructural y química de los carburos complejos de cromo en depósitos de recargue de fundiciones blancas aleadas del sistema Fe-Cr-C-Nb, obtenidos por Soldadura con Electrodo Autoprotegido Energizado (FCAW) con adición de alambre frio. En las caracterizaciones estructural y química del depósito de recargue se utilizaron Fluorescencia de Rayos-X (FRX), Difracción de rayos-X (DRX) y Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) con Espectrometría de Energía Dispersiva de Rayos X (EED). La interpretación conjunta de los datos de todas las técnicas analíticas condujo a identificar al carburo complejo como un carburo ternario del tipo (Crx,Fey,Mz)7C3 que presenta red hexagonal. Mediante las técnicas analítica FRX, MEB y EED se precisó que el elemento M es Nb y que en la fórmula cristaloquímica suma de los subíndices [∑(x+y+z)] es igual a la unidad y que los valores de cada uno de los subíndices osciló en un intervalo determinado por las condiciones experimentales. El incremento del contenido porcentual de Cr+Fe+Nb presenta un carácter casi lineal decreciente con respecto al parámetro ao de la red hexagonal. La orientación y el grado de cristalinidad de las cristalitas de estos carburos complejos hexagonales pueden favorecer una mayor adherencia en la matriz austenítica.

***Abstract:***

*In the work, structural and chemical characterizations of chromium complex carbides in recharge deposits of white casting alloy of the Fe-Cr-C-Nb system, obtained by welding with Energized Self-Protected Electrode (FCAW) with addition of cold wire were carried out. In the structural and chemical characterizations of the recharge welds, X-ray fluorescence (XRF), X-ray diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy (SEM) with Dispersive X-ray Energy Spectrometry (DES) were used. The joint interpretation of the data of all the analytical techniques led to identify the complex carbide as a ternary carbide of the type (Crx,Fey,Mz)7C3 that presents hexagonal network. By mean of the analytical techniques XRF, SEM and EDS it was specified that the element M is Nb and that in the crystallochemical formula sum of the subscripts [Σ(x + y + z)] is equal to the unit and that the values ​​of each one of the subscripts it oscillates in a determined interval in keeping with the experimental conditions. The increase of the percentage content of Cr + Fe+Nb presents a decreasing almost linear character with respect to the parameter ao of the hexagonal network. The orientation and the crystallinity degree of the crystallites of these hexagonal complex carbides may favor a greater adhesion in the austenitic matrix.*

**Palabras Clave:** Depósitos de recargue, Sistema Fe-Cr-C-Nb, Características estructurales

***Keywords:*** *Hardfacing deposits, Fe-Cr-C-Nb system, Structural characteristics*

**1. Introducción**

El sistema cuaternario Fe-C-Cr-Nb presenta un alto grado de complejidad en los procesos de cristalización, aun donde la tasa de enfriamiento sea de unas decenas de grado de temperatura (oC) por minuto. Para tazas de enfriamiento durante la soldadura de recubrimientos de fundiciones blancas, las cuales superan los cientos y hasta los miles de grados celsius por minuto resulta difícil discernir el complejo proceso de la formación de fases, las cuales puede presentarse con una composición química compleja e incluso manifestando estructuralmente a nivel de relativamente simple celda unitaria. La relación cuantitativa entre los contenidos de cada uno de los componentes de sistema cuaternario también prescribe, en forma decisoria, en los mecanismos de la formación y composición química de las diferentes fases y, también, en las características del soporte matricial.

Los resultados del trabajo de Zhi-Xiaohui sobre el estudio del efecto del niobio en la microestructura de una fundición blanca hipereutéctica como el alto contenido de cromo y el efecto de la presencia del Nb influyen en los mecanismos de refinamiento y en el grado de isotropía de los carburos complejos M7C3 [1]. Por su parte de Zhang-Zhiguo aborda como el efecto de la adición del niobio en la microestructura de los carburos de cromo influye sobre las propiedades mecánicas y la resistencia al desgaste abrasivo de fundiciones blancas con alto contenido de cromo, así como el amplio campo de aplicaciones de estas aleaciones en diversas industrias por su resistencia a la corrosión, mecánica y al desgaste. En el citado trabajo de Zhang-Zhiguo, también, se aborda la movilidad y el contenido del Nb en los carburos tipo M7C3 [2] .

**2. Materiales y métodos**

Los tres depósitos de recargue duro del sistema Fe-Cr-C-Nb se obtuvieron mediante el proceso usando un electrodo tubular autoprotegido (FCAW) con un alambre tubular energizado en combinación con tres diferentes alambres macizos fríos siguiendo lo expuesto por Cruz-Crespo [3]. La deposición, acorde al trabajo de Carmona, fue realizada en posición plana con la tobera de alambre energizado en posición vertical, colocada 90o con respecto a la superficie de la muestra [4]. Los depósitos obtenidos se seccionaron en varias partes para obtener tres tipos de probetas (M2, M4 y M6), las cuales fueron preparadas mediante desbaste en una rectificadora por la parte superior de los depósitos. Las composiciones elementales de las probetas se determinaron mediante un espectrómetro FRX, en el cual está instalado un tubo de rayos-X con ánodo de rodio (45Rh, λKα = 0,614796 Å) y un cristal analizador LiF(200), 2d = 4,028 Å, tal combinación permite analizar las líneas espectrales de la serie Kα, Kβ, Lα e Lβ entre otras de los elementos, desde el calcio (20Ca) hasta al uranio (92U). En el espectro de los elementos metálicos analizados no se observó interferencia alguna entre sus líneas de la serie Kα con las de la serie Lα de cualquier otro elemento químico de la muestra.

Las probetas para el análisis químico cuantitativo (AQ) de los elementos carbono (12C) y silicio (14Si) fueron las mismas que se utilizaron en FRX y DRX, de las cuales se extrajeron, posteriormente de la superficie pulida, virutas de 5 zonas con un taladro de columna mediante una broca idónea de 5 mm a 100 rpm, bajo la acción de un refrigerante. Las virutas se lavaron con etanol y se secaron en una desecadora al vacío a 40 oC. La determinación de 12C y 14Si se realizó por vías clásicas del análisis químico (AQ): volumétrica y gravimétrica, respectivamente.

Las características estructurales de la fases presentes en las probetas fueron determinadas a partir de los difractogramas, obtenidos en un difractómetro (energizado a 40 kV y 30 mA) con ánodo de cobre (Cu), del cual se obtiene la radiación monocromátizada λCuKα1 (1,5406 Å). El barrido del goniómetro abarca un intervalo angular 2θ desde 20 hasta los 140o, con una velocidad angular de 1o/min. La identificación de las fase presentes en las probetas se realizó mediante un programa HighScorePlus versión 3.0 [5]. La determinación de los índices de Miller de las fase presentes de interes en las probetas se realizó según los procedimientos sugeridos por Cullity [6]. La determinación de los parámetros de la red de los carburos de cromo se realizó mediante el método analítico, utilizando procedimientos estadísticos sugeridos por Quintana-Puchol [7], para la valoración sobre la precisión de los parámetros de la red de los respectivos carburos y otras fases. El valor de los parámetros de la red permite estimar con mayor detalle las características de la redes de los carburos de cromo (Crx,M1-x)7C3. El valor de los parámetros de las redes del carburo de cromo binario permitió valorar el contenido másico porcentual de los átomos de hierro desplazando el cromo de la red cristalina.

Réplicas de las probetas (M2, M4 y M6) se destinaron a la microscopía, las cuales fueron preparadas y atacadas con agua regia, de acuerdo a las normas ASTM E 3-01 y ASTM E 407-99 [8, 9]. La morfología de la microestructura y la abundancia de las fases presentes en las muestras fueron analizadas por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) con un detector de electrones retrodispersos (EDS) a diferentes aumentos, consideraciones que se tuvieron en cuenta en la selección de las zonas más representativas para obtener imágenes con un aumento de 5000X con el objetivo de determinar, mediante Espectrometría de Energía Dispersiva de Rayos X (EDS), la composición química elemental puntual (PX) de las fases fundamentales presentes.

Las informaciones extraídas por los dos métodos analítico instrumentales (DRX y FRX) y por el químico clásico (AQ), las cuales expresan, con alto grado de veracidad, las composiciones química y fásicas globales de la probeta, resultados que se conjugaron con aquellos aportados por técnicas analíticas MEB y EDS, que brindan informaciones de carácter zonal y puntual, respectivamente. Mediante esta forma de conjugar los resultados de varias técnicas analíticas es posible especificar, con alto grado de certeza, las características químicas-estructurales y cuantificar la cantidad de las fases fundamentales presentes en las diferentes aleaciones.

**3. Resultados y análisis**

Los resultados del análisis químico cualitativo y cuantitativo elemental de tres probetas rectangulares radiada por FRX y los de las virutas por AQ (\*) se exponen en la Tabla 1.

En los valores del análisis cuantitativo por espectrometría FRX, referente a las líneas espectrales Kα de los elementos analizados y conjugados con los reportados por AQ (\*), en la Tabla 1, no se denotan diferencias sustantivas que indiquen la presencia de fases esencialmente diferentes en cada una de las probetas analizadas.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Tabla 1. Análisis químico cuantitativo (m-%) por RXF y gravimétrico (\*) de los  depósitos | | | | | | | |
| Elementos | M2 | M4 | M6 | Elemento | M2 | M4 | M6 |
| 28Ni | 0 | 1,33 | 0 | 42Mo | 0,02 | 0,026 | 0 |
| 26Fe | 70,04 | 68,22 | 72,56 | 41Nb | 4,46 | 4,73 | 4,45 |
| 25Mn | 0,54 | 0,41 | 0,55 | \*Si | 0,51 | 0,5 | 0,69 |
| 24Cr | 19,96 | 20,48 | 17,62 | \*C | 4,49 | 4,33 | 4,13 |

En la Figura 1 se muestran los difractogramas de las probetas (M2, M4 y M6). Al comparar detalladamente cada uno de los difractogramas, se observa que existen pequeñas diferencias en las posiciones 2θ e intensidades de los máximos de los reflejos, así como el desarrollo de los perfiles de los reflejos, aspectos que indican la existencia de variaciones estructurales en las fases presentes.

Figura 1. Difractogramas de las probetas M2, M4 y M6

La designación de los índices de Miller para cada reflejo del difractograma, correspondiente al carburo hexagonal (Crx,Fe1-x)7C3, se realizó por comparación con otros reportados (por ejemplo: 5-0720) [5]). La comparación arrojó que la cantidad de átomos de Cr y Fe son similares, de lo cual se deduce que el subíndice x de los metales del carburo de cromo-hierro es muy probable que tome el valor alrededor de ½. La justeza de la designación de los índices se verificó al calcular los parámetros ao y bo de la red hexagonal mediante la ecuación:

La cual se puede reducir a:

Donde:

En base al conocimiento de los ángulos de difracción (2θ) y los índices de Miller (hkl) de una serie de pares de reflejos se determinaron los valores de los parámetros ao y bo, los cuales se valoran estadísticamente y son validados por el método de Cohen para sustancias no-cúbicas, método que brinda criterios sobre la exactitud de los parámetros determinados [7].

Los resultados de los cálculos de los parámetros de la red cristalina de los tipos de carburos binarios de Cr-Fe y la austenita de las tres probetas se resumen en la Tabla 2, donde se observa una variación distinguible y aparentemente irregular de los valores de los mismos al comparar las sustancias de un mismo tipo en cada aleación (probeta).

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Tabla 2. Características roentgenoestructurales de las fases principales de las probetas | | | | | | |
| Probeta M2 | | | Probeta M4 | | Probeta M6 | |
| Fases | ao, Å | bo, Å | ao, Å | bo, Å | ao, Å | bo, Å |
| (Cr1-x,Fex)7C3 | 13,9008 | 4,5175 | 13,9161 | 4,5179 | 13,9063 | 4,5186 |
| γFe | 3,5899 | - | 3,5899 | - | 3,5927 | - |

El estudio detallado de los difractogramas y las micrografías (MEB/EDS) de los carburos complejos de cromo [(Cr1-x,Fex)7C3] condujo a que los parámetro de la red están primeramente asociados al contenido másico porcentual de hierro por celda unitaria (Fex), sin descartar la posible inclusión de pequeñas cantidades de Nb, ya que la posibilidad de isomorfismo está latente debido a que el valor del radio covalente del Cr (Rcov = 127 pm) y del Fe (Rcov = 126 pm) son prácticamente iguales, sin embargo el radio covalente del Nb (Rcov = 137 pm) es mayor que el del Cr, pero no sobrepasa en 9 % de su tamaño, por tanto los átomos de Nb pueden sustituir parcialmente tanto a los átomos Cr como a los del Fe en los carburos binarios de Cr y Fe, debido a que el radio atómica de Nb se encuentra relativamente lejos del valor límite del 15 %, valor que impide la posible sustitución isomórfica.

Koch realizó un estudio sobre doce carburos binarios hexagonales de cromo (Cr1-xFex)C3, donde se determinaron y tabularon, que el contenido de hierro influía de forma detectable en la magnitud del parámetro de la red ao. Los datos de Koch se procesaron en este trabajo, obteniéndose la ecuación de regresión siguiente [10]:

ao = 8E-06mFe2 -0,0031mFe + 14,043, R² = 0,9735, (3)

Una visión gráfica de esa correlación se presenta en la Figura 2.

Figura 2. Dependencia del parámetro ao en función de m-% de Fe en **(Crx Fe1-x)7C3** a partir de los valores tabulados de Koch [11].

Para determinar el contenido porcentual de hierro (mFe) en la celda hexagonal del carburo binario Crx Fe1-x)7C3 se partió de insertar en la ecuación (3) los valores experimentales del parámetro ao de los carburos binarios de cromo y hierro identificados en cada una de las probetas. Los resultados de la resolución de la ecuación (3) con los datos reportados en la Tabla 2 se exponen en la Tabla 3.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Tabla 3. Contenido global de Fe en cada carburo binario y de (Cr1-x, Fex)7C3 en cada probeta | | | |
| Probetas | (Cr1-x, Fex)7C3 | | |
| ao | %-m(Fe) | %-mM7C3 |
| M2 | 13,9008 | 45,21 | 41,30 |
| M4 | 13,9063 | 44,32 | 39,27 |
| M6 | 13,9161 | 41,04 | 35,85 |

Al observar la Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) de los tres depósitos (Figura 3) pone a relieve una fundición blanca hipoeutectica, donde se observa que los carburos (Crx,Fe1-x)7C3 y las dendritas primarias de austenita se encuentran limitadas en su crecimiento por la presencia de carburos de niobio (NbCx) que provocan un efecto de barrera y posiblemente también un efecto simultaneo de refinamiento de las celdas eutécticas para una aleación hipoeutectica, lo cual puede provocar la disminución del diámetro medio de los carburos en la microestructura con el aumento de los del niobio.

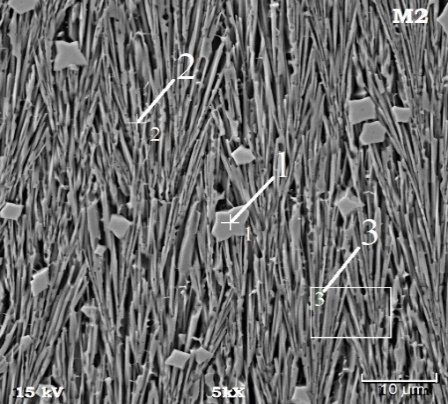
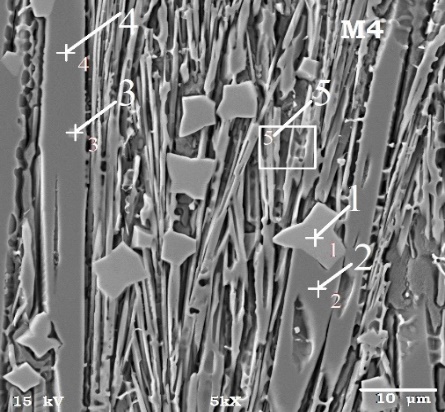
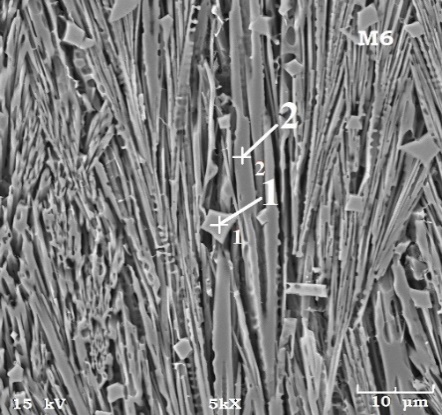


Figura 3. Micrografías SEM realizadas a 5 kX en diferentes zonas representativas de las probetas M2, M4 y M6, donde se señalan los puntos (PX, X=2,…, 5) donde se realizó el análisis elemental cuantitativo EDS.

En la Tabla 4 se reportan los resultados de la composición química elemental puntual (PX) obtenidos por Espectrometría de Energía Dispersiva de Rayos-X (EDS) en diversas zonas de las probetas: M2, M4 y M6. La selección de diferentes puntos en la micrografía SEM pretende reflejar las características morfológicas de las fases más representativas, que se manifestaron en los diagramas de DRX (Figura 1).

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Tabla 4. Composición química obtenida por espectrometría de energía dispersiva (EDS) en diferentes puntos (PX, X= 2, 3, 4 y 5) representativos de las probetas M2, M4 y M6 | | | | | | |
| Zonas | Probeta M2 | | Probeta M4 | | | Probeta M6 |
| P2 | P3 | P2 | P4 | P5 | P2 |
| Elemt. | m-% | m-% | m-% | m-% | m-% | m-% |
| C | 8,731 | 8,603 | 8,734 | 8,731 | 8,609 | 7,380 |
| Cr | 46,815 | 43,909 | 49,839 | 50,532 | 37,7 | 45,726 |
| Fe | 44,454 | 44,237 | 40,951 | 40,072 | 51,581 | 46,763 |
| Nb | 0 | 3,251 | 0,476 | 0,665 | 0,721 | 0 |
| Si | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,033 | 0,131 |
| Ni | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,356 | 0 |
| ∑ | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Mediante criterios estequiométricos, quimiométricos y de balance de masa se determinaron, a partir de los datos de las Tablas 1, 3 y 4, las fórmulas cristaloquímicas de los diferentes cristales de carburos presentes puntualmente (fases) en cada aleación.

En los depósitos donde predominan los carburos complejos ternarios cromo-hierro del tipo [(Cr1-x-z,FexMz)7C3], más del 95 % del contenido del Cr de la aleación conforman estos carburos complejos. En el caso de los carburos de ternarios de Cr-Fe se observa que la diferencia del contenido másico porcentual (m-%) de Cr oscila en un estrecho intervalo de 6,623 %, aspecto que se corresponde con la diferencia estequiométrica entre ellos, así como también en el contenido porcentual de la suma (Fe + Nb) que es de 11,565 %. La oscilación de ambos intervalos indica que la composición química de los carburos son semejantes, criterio que es confirmado, además, por las diferencias entre sus masas moleculares en las fórmulas cristaloquímicas y sus densidades, cuyos valores oscilan en un intervalo de 8,13 g/mol y 0,128 g/cm3, respectivamente, (Tabla 5).

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Tabla 5. Fórmulas cristaloquímicas y características de los parámetros de la red  de las fases más representativas por zonas de las probetas M2, M4 y M6 | | | | | | |
| Probeta M2 | | | | | | |
| Zonas | Fórmula de las fases | MM, g/mol | ao, Å | bo, Å | Vc, Å3 | ρ, g/cm3 |
| P2 | (Cr3,715Fe3,285)C3 | 412,718 | 13,9043 | 4,5180 | 756,45 | 7,247 |
| P3 | (Cr3,536Fe3,317Nb0,147)C3 | 418,837 | 13,8952 | 4,5175 | 755,37 | 7,364 |
| Probeta M4 | | | | | | |
| Zonas | Fórmula de las fases | MM, g/mol | ao, Å | bo, Å | Vc, Å3 | ρ, g/cm3 |
| P2 | (Cr3,95Fe3,03Nb0,02)C3 | 412,585 | 13,9134 | 4,5182 | 757,47 | 7,237 |
| P4 | (Cr4,01Fe2,96Nb0,03)C3 | 412,681 | 13,9157 | 4,5186 | 757,77 | 7,236 |
| P5 | (Cr1,97Fe4,99Nb0,04)C3 | 420,715 | 13,9020 | 4,6007 | 770,03 | 7,257 |
| Probeta M6 | | | | | | |
| Zonas | Fórmula de las fases | MM, g/mol | ao, Å | bo, Å | Vc, Å3 | ρ, g/cm3 |
| P2 | Cr3,59Fe3,41C3 | 413,215 | 13,9047 | 4,5179 | 755,88 | 7,261 |

La inserción conjunta de los parámetros de la red cristalina (ao) de carburo complejo de cromo-hierro determinados directamente de los difractogramas de las probetas M2, M4 y M6 con aquellos que fueron determinados por interpolación de la información brindada por espectrometría de energía dispersiva de los cristales en las zonas elegidas (Tabla 5 y Figura 2) corrobora la validez del método utilizado, tal como se observa en la Figura 4.

Figura 4. Correlación de los valores obtenidos del parámetro ao en los cristales de carburos complejos de cromo por interpolación acorde al contenido porcentual de Cr + Fe + Nb obtenido por EDS y el cálculo directo del registro de DRX de ao correspondientes a las probetas M2, M4 y M6.

A partir de los resultados de la composición química por FRX y AQ de las probetas (Tabla 1) y de los contenidos por EDS de cromo y hierro (Tabla 4) fueron calculados por estequiometria y quimiometría los posibles contenidos de átomos de Fe y Nb considerando a aquellos brindado por las características estructurales usando las técnicas DRX (Figuras 3 y 4), asociados a los parámetros de la red (ao) de los M7C3 de cada probeta, los resultados de los cálculos se exponen en Tabla 5. Al conjugar los resultados de la Tabla 4 con los de la Tabla 5 se obtiene una funcion de segundo orden que se expone en las Figuras 4, que son útiles para cuantificar las fases presentes en las probetas (Tabla 6).

En las tres aleaciones el contenido másico porcentual del carburo de cromo-hierro oscila en un amplio intervalo entre 36 y 42 %, mientras que el contenido del carburo de niobio se enmarca entre 4 y 5 %. La austenita constituye de la composición másica entre 52 y 58 %, la cual contiene entre 0,06 y 0,1 % de carbono.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Tabla 6. Composición porcentual de las fases de interés en las probeta M2, M4 y M6 | | | | | | | | | |
| Fases | M2 | | | M4 | | | M6 | | |
| m-% | ρ, g/cm3 | V-% | m-% | ρ, g/cm3 | V-% | m-% | ρ, g/cm3 | V-% |
| [(Cr1-y-zFeyNbz)7C3 | 41,3 | 7,27 | 41,81 | 39,27 | 7,26 | 40,35 | 35,85 | 7,25 | 36,86 |
| γFe | 54,14 | 7,64 | 52,16 | 54,98 | 7,67 | 53,46 | 58,35 | 7,68 | 56,64 |
| (Mn,Mo,Si)\* | 1,07 | 5,05 | 1,56 | 0,94 | 4,78 | 1,47 | 1,25 | 4,61 | 2,02 |
| \*Elementos químicos ocluido dentro de la matriz fundamentalmente. | | | | | | | | | |

**4. Conclusiones**

La conjugación de la caracterización volumétrica de las aleaciones, con técnicas de análisis puntual de fases, permitió realizar la interpretación analítica estructuroquímica de las fases presentes. Ello permitió establecer el contenido de dos fases: (Cr1-XMx)7C3 hexagonal y γFe].

Las variaciones de composición químicas puntual de los carburos (Cr1-XMx)7C3 se corresponden con una regularidad del comportamiento en las fórmulas cristaloquímicas y el del parámetro de la red de ambas fases. Se evidencia la existencia de una dependencia cuadrática entre el número de átomos de carbono (NC) y el parámetro de la red (ao(Fe+Nb)) de los carburo complejos hexagonales de cromo (Cr1-x-zFexNbz)7C3 en relación al contenido másico porcentual de Fe y Nb [x(Fe+Nb)]presenta un carácter lineal decreciente:

ao(Fe+Nb)) = -0,0031x(Fe+Nb) + 14,043

En las aleaciones estudiadas, el contenido másico porcentual de carburo de cromo-hierro oscila en el intervalo entre 39 y 51 %, el del carburo de niobio se enmarca entre 4 y 5 % y la austenita constituye entre 42 y 55 %.

**Agradecimientos**

Los autores agradecen al convenio CAPES/MES que propició el intercambio entre profesores de LAPROSOLDA y FEMEC (Universidad Federal de Uberlándia) y el CIS (Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas) para la realización de este trabajo conjunto.

**6. Bibliografía**

1. Xiaohui, Zhi; Jiandong, Fu Hanguang, et al. Effect of niobium on the as-cast microstructure of hypereutectic high chromium cast iron. Materials Letters, 2008, 62: pp. 857–860
2. Zhang Zhiguo, Yang Chengkai, Zhang Peng, and \*Li Wei1, Microstructure and wear resistance of high chromium cast iron containing niobium, Research & Development, Vol.11 No.3 May (2014) pp. 179-189.
3. Amado Cruz-Crespo, Rafael Fernández-Fuentes, Antonio Valtair Ferraressi, Rafael Ariza Gonçalves, Américo Scotti. Microstructure and Abrasion Resistance of Fe-Cr-C and Fe-Cr-C-Nb Hardfacing Alloys Deposited by S-FCAW and Cold Solid Wires, Soldagem & Inspeção. (2016) 21(3) pp. 342-353
4. D. Carmona, Aplicação de revestimento duro utilizando o processo arame tubular com e sem adição de arame não energizado para diferentes tipos de consumíveis. Master Thesis. Federal University of Uberlandia, Brazil (2011) 120 pp.
5. Program: HighScore Plus, version 3.0b (3.0.2). Produce by: PANalytical 3. Almelo,The Nertherlands (2011).
6. Cullity, B.D. and Stock, S.R. 2014: Elements of X-Ray Diffraction, 3rd Edition, Pearson, New International Edition, printed in the United States of America. (2014) 654 pp.
7. Quintana-Puchol, R., Manuel García-Ramos, Omar Hernández-González, Principios de Difracción de Rayos-X, Análisis Térmico y Espectroscopia Mössbauer, Editorial EMPES-MES, La Habana (1986) 370 pp.
8. ASTM E 3 – 01 Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens. pp 1-12.
9. E 407 – 99 Standard Practice for Microetching Metals and Alloys. pp 1-21.
10. Koch, W, and H. Kolbe-Rohde (1963) Z. anorg. Chem. **319**, 312, en Pearson, W.B. A Handbook of the lattice spacings and structures of metal and alloys, Vol. 2, Editorial Pergamon Press, first Edition (1967) pp. 1334-1335.