



SIMPOSIO INTERNACIONAL DE INDUSTRIA Y ENERGÍA

Título

Efecto del precalentamiento sobre la dilución y dureza en depósitos AWS E FeCr-A1 utilizados en el recargue de martillos desmenuzadores

Title

Effect of preheat on the dilution and hardness in AWS E FeCr-A1 deposits used for surfacing the shredder hammers

Manuel Rodríguez Pérez¹, manuelr@uclv.edu.cu.

Amado Cruz Crespo², acruz@uclv.edu.cu.

Alejandro Duffus Scott³, aduffus@uclv.edu.cu.

Rafael Fernández Fuentes⁴, rfernandez@uclv.edu.cu.

Lorenzo Perdomo González⁵, lperdomo@uclv.edu.cu.

Tamara Ortiz Méndez⁶, tortiz@uclv.cu.

Antonio Iázar Mesa Álvarez⁷, antoniol.mesa@nauta.cu.

^{1,2,3,4,5,6,7} Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS), Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Carretera a Camajuaní km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Resumen:

Problemática:

Depósitos con el electrodo AWS E FeCr-A1 realizados en el recargue de los martillos desmenuzadores presentan diferentes valores de dureza y microestructura.

Objetivo:

Evaluar el efecto del precalentamiento sobre la dilución, dureza y microestructura en depósitos obtenidos con electrodos AWS E FeCr-A1, utilizando como material base placas de acero S275JR.

Metodología:

Como material base se utilizaron placas de 100 x 50 x 15 mm, de acero S275JR. Los depósitos se realizaron con una capa a temperatura ambiente y a 200 °C, utilizando el proceso de soldadura manual por arco eléctrico y electrodo revestido (SMAW). Las



muestras se prepararon y pulieron con pasta abrasiva y fueron atacadas con reactivo Murakami. Para el estudio de la microestructura de los depósitos de recargue se utilizó metalografía óptica (MO) y utilizando un microdurómetro Shimatsu se determinó la dureza Vickers. La dilución se calculó a partir de las áreas del metal fundido correspondiente al metal base y del metal del refuerzo del cordón. El valor de dichas áreas se determinó utilizando el programa SigmaScam.

Resultados y discusión:

La dilución obtenida a temperatura ambiente y a 200 °C muestra una apreciable diferencia (12.5 y 23 %). La microestructura de los depósitos con los electrodos AWS E FeCr-A1, utilizados en el recargue de los martillos desmenuzadores, consiste en austenita primaria de forma dendrítica y eutéctico compuesto por carburos de Fe - Cr y austenita. Sin embargo, cuando se incrementa la temperatura (200°C), la microestructura predominante es la austenita. El menor valor de dureza (510 HV) se observó en los depósitos con predominio de austenita y una red eutéctica interdendrítica (austenita y carburos).

Conclusiones:

Los resultados experimentales mostraron que la dilución, la morfología en la microestructura de la capa de recargue y la dureza están asociados con la temperatura de precalentamiento.

Palabras claves:

Recargue, Dilución, Microestructura, Dureza

Abstract:

Problem:

Deposits with AWS E FeCr-A1 electrodes used for surfacing the shredder hammers have different hardness and microstructure.

Objective:

Evaluate the effect of preheat on the dilution, hardness and microstructure of deposits obtained with AWS E FeCr-A1 electrodes, using as base metal plates of S275JR steel.

Methodology:



Plates of S275JR steel with 100 x 50 x15 mm were used as base metal. The deposition was performed at room temperature and at 200 °C, using single layer by shielded metal arc welding (SMAW). The samples were prepared and polished with abrasive paste and chemically etched with Murakami reagent. Optical microscope (OM) was used for metallographic study of hardfacing deposits and Vickers hardness was determined using a Shimatsu microdurometer. Dilutions of the samples were calculated with the areas of the base metal that was melted, and the area of the over-lay. These areas were measured using SigmaScam program.

Results and discussion:

Dilutions obtained at room temperature and 200 °C shown significant differences (13 and 19 %). The microstructure of deposits obtained with the AWS E FeCr-Al electrode, used for surfacing the shredder hammers, consists of primary austenite in dendritic form and eutectic of iron- chromium carbide and austenite. When increase the temperature (200°C) predominant microstructure is austenite. The lowest hardness value (510 HV) was obtained in sample with large amount of primary austenite and an interdendritic eutectic network (austenite and carbide).

Conclusions:

The results of the experiments have showed what the dilution, the morphology structure and the hardness of hardfacings are associate with the preheat temperature.

Keywords:

Surfacing, Dilution, Microstructure, Hardness

1.Introducción

Durante los procesos de recargue, la composición química de la capa aportada puede diferir de la del material de aporte, en dependencia de la penetración de los cordones realizados en la operación. Una alta penetración trae como resultado a un coeficiente de dilución elevado, que para el proceso de recargue utilizando electrodos revestidos está en el orden de del 30 % [1].



El coeficiente de dilución depende de varios factores, aunque fundamentalmente está subordinado al aporte térmico empleado en el proceso, la temperatura en la superficie de la pieza, y la manera de realizar la deposición.

Actualmente en Cuba, para el recargue de los martillos se utiliza el electrodo revestido del tipo AWS E FeCr-A1, orientado nacionalmente para este tipo de trabajo. No obstante los resultados en cuanto a la resistencia al desgaste no son satisfactorios, teniendo en cuenta que los martillos sufren un desgaste acelerado durante la explotación de los molinos

El electrodo AWS E FeCr-A1, es recomendado para el recargue de piezas sometidas al desgaste abrasivo, considerando que la capa aportada sin dilución alcanzan durezas en el orden de los 60 HRC. Sin embargo el procedimiento para realizar el proceso de recargue es un factor primordial para garantizar una microestructura en la capa depositada que sea competente frente al mecanismo de desgaste en la superficie de los martillos [2].

Actualmente la realización del proceso de recargue se realiza actualmente de forma continua en cada martillo, lo que puede provocar un calentamiento excesivo de la aleación aportada y por consiguiente un enfriamiento no adecuado del depósito que conduzca a la formación de una microestructura competente para contrarrestar el desgaste de este tipo de pieza.

En el presente trabajo está orientado a determinar el efecto del precalentamiento sobre la dilución y dureza en depósitos realizados con el electrodo AWS E FeCr-A1, utilizados en el recargue de martillos desmenuzadores.

2. Metodología

2.1. Consumible, metal base utilizado y forma de realizar los depósitos

El electrodo empleado para realizar los depósitos es del tipo AWS E FeCr-A1, con un diámetro de 4 mm y 400 mm de longitud. La composición química del metal aportado por el electrodo se muestra en la Tabla 1.



Tabla 1. Composición química del depósito (% en peso) según el fabricante [3]

C	Mn	Si	Cr	Mo	Fe
2,5 - 4.5	0,5 – 1,5	1,5	30 - 40	2	Resto

Como material base se utilizaron chapas con 100 x 50 x15 mm, de acero S275JR. Para la realización de los depósitos se utilizó el proceso manual por arco con electrodo revestido (SMAW). Se utilizó corriente directa con polaridad normal (CD^{-}) y una intensidad de corriente entre 150 – 160 A, manteniendo la velocidad de soldadura (V_s) en el rango de 4-5 m/h. Se realizaron depósitos con una capa a temperatura ambiente, y con precalentamiento de 200° C. En la Tabla 2 se indica la identificación de cada uno de los depósitos estudiados y las condiciones en las que se obtuvieron.

Tabla 2. Depósitos realizados y su identificación

Muestra	Número de pasadas	Temperatura
M1	1	Ambiente
M 1 C	1	200° C

2.2. Determinación del coeficiente de dilución

El coeficiente de dilución se determinó a partir del valor de las áreas correspondientes al metal aportado y el metal base utilizando la expresión (1). Estas áreas se representan en la Figura 1.

$$D = \left(\frac{A_{mb}}{A_{ma} + A_{mb}} \right) * 100 \quad (1)$$

Dónde:

D - Coeficiente de dilución (%).

Amb - Área de la zona fundida en el metal base (mm^2).

Ama - Área correspondiente al metal de aporte (mm^2).

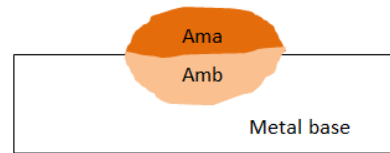


Figura 1. Representación de las áreas del metal depositado durante el recargue.

Utilizando las macrográficas de los cordones (Figura 2) y el programa SigmaScam, se determinaron los valores de las áreas correspondientes para el cálculo del coeficiente de dilución.

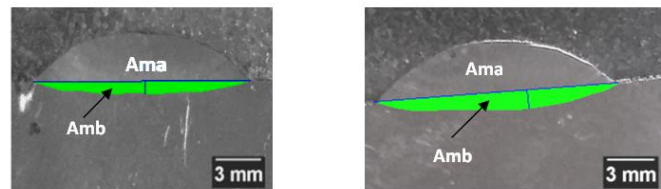


Figura 2. Macrográficas para determinar Ama y Amb. a - Sin precalentamiento (M1),
b - Con precalentamiento de 200° C (M2).

2.3. Preparación de muestras para análisis metalográfico

Utilizando una tronzadora y líquido refrigerante se cortaron las probetas para evitar el sobrecalentamiento. Las muestras utilizadas para determinar la dureza y analizar el tipo de microestructura, fueron desbastadas y pulidas de acuerdo a las exigencias del estudio a realizar. El ataque fue realizado por inmersión con reactivo Murakami y observadas mediante metalografía óptica (MO) utilizando un microscopio binocular marca Novel. La dureza se determinó en el centro de los depósitos, con el empleo de un durómetro marca Shimatsu y una carga de 500g.



3. Resultados y discusión

3.1. Comportamiento del coeficiente de dilución

En la Tabla 3 se muestran los valores de las áreas para la zona fundida en el metal base y la correspondiente al metal de aporte de los cordones realizados a temperatura ambiente (M1), y con un precalentamiento de 200° C (M2). También se muestra el coeficiente de dilución obtenido en cada caso.

Tabla 3. Parámetros geométricos de los depósitos

Depósitos	Área del metal de aporte (mm ²)	Área del metal de base (mm ²)	Dilución, %
M1	63	9	12.5
M2	67	20	23

Como se observa en la Tabla 3, cuando el depósito se realiza a temperatura ambiente el coeficiente de dilución es de 12.5 %, sin embargo, al aplicar una temperatura de precalentamiento de 200 °C, el coeficiente aumenta hasta un valor de 23 %. Este resultado demuestra, que al realizar el proceso de recargue de los martillos desmenuzadores depositando cordones adyacentes de forma continua, al incrementarse la temperatura en la superficie de la pieza aumenta el valor coeficiente de dilución. Al tratarse de un proceso de recargue, el aumento de la dilución constituye un aspecto desfavorable, ya que la dilución en sí significa la participación del metal base en la conformación del depósito y consecuentemente, el por ciento de los elementos de aleación en la capa de recargue sea significativamente inferior a la que aporta el electrodo. Al obtenerse en la capa de recargue un por ciento más bajo de los elementos que compone el sistema de aleación que aporta el consumible, no se garantiza la resistencia al desgaste recomendada.

Asimismo, no solo un aumento del coeficiente de dilución debido al incremento de la temperatura en la superficie de la pieza es desfavorable durante el recargue, hay que considerar que la velocidad de enfriamiento del metal depositado se reduce, pudiéndose



obtener determinado tipo de microestructura no competente ante determinado tipo de desgaste.

3.2. Análisis de la microestructura y dureza en los depósitos de soldadura

En la Figura 3 se presenta la microestructura obtenida en el centro de la capa de recargue, para el caso de los depósitos realizados a temperatura ambiente (M1) y con precalentamiento de 200° C (M2).

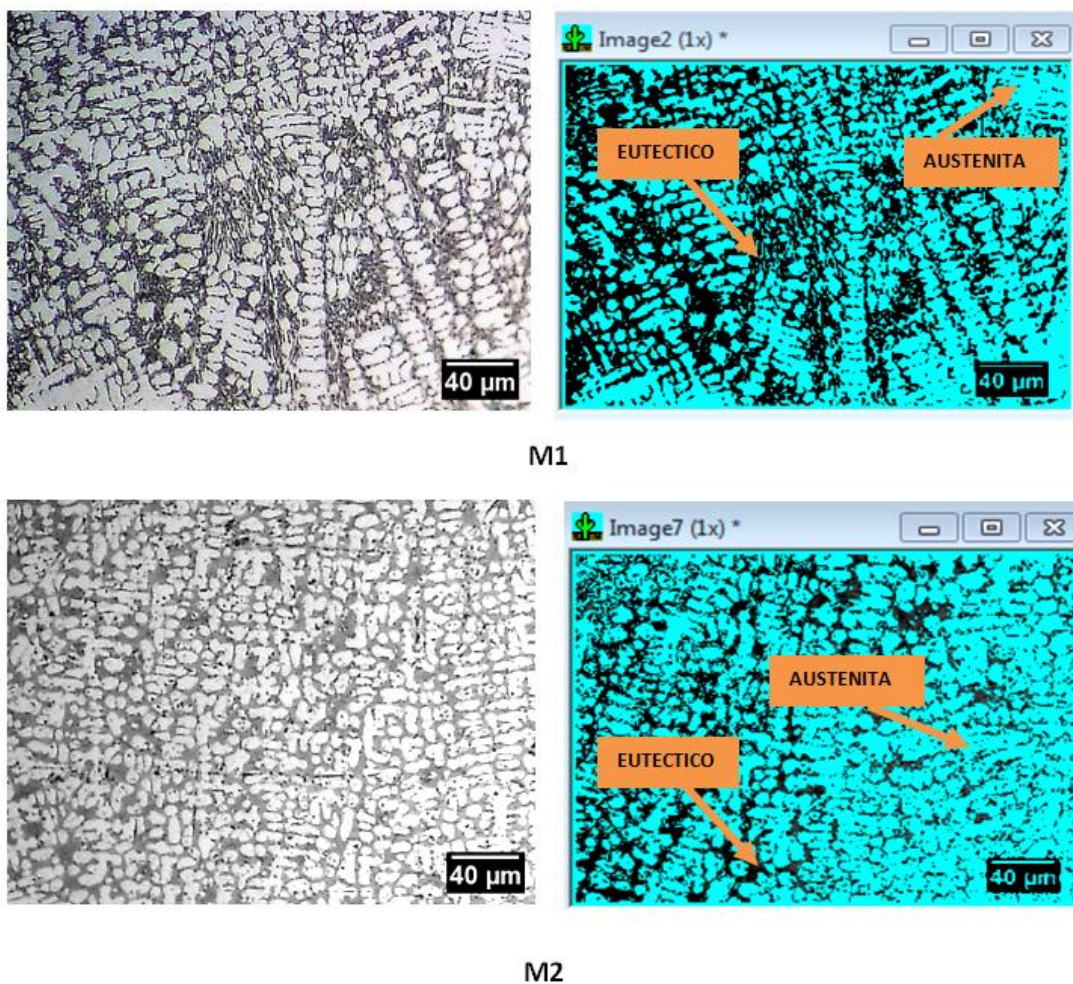


Figura 3. Microestructura obtenida en la capa de recargue. M1- Sin precalentamiento, M2- Con precalentamiento de 200° C.



Como aspecto fundamental, es la marcada diferencia en cuanto la cantidad de austenita y eutéctico que se aprecia en la microestructura, al comparar los depósitos realizados con y sin precalentamiento,

De acuerdo a resultados obtenidos en otros trabajos [4], para los depósitos de recargue, cuya composición se corresponde con la del electrodo AWS E FeCr-A1, cuando no hay dilución, se obtiene una microestructura que se ubica en la región hipereutéctica de acuerdo al diagrama de equilibrio de la Figura 4. Para estos depósitos de recargue, aunque la velocidad de enfriamiento es superior a las de equilibrio, se puede señalar que al enfriarse la aleación se forman carburos del tipo M_7C_3 durante la cristalización primaria a altas temperaturas. Finalmente se obtiene una microestructura con carburos primarios y una red eutéctica que le confiere al metal depositado una elevada resistencia al desgaste abrasivo.

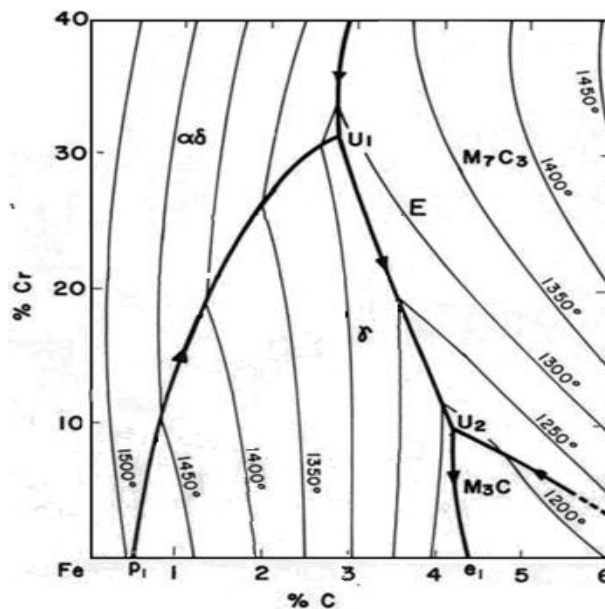


Figura 4. Superficie líquidus del diagrama Fe-Cr-C [5].

Según los resultados obtenidos [4], la composición de C y Cr, que aporta el electrodo AWS E Fe Cr- A1, sin dilución, es de 3,56 % y 33.83 % respectivamente. Para esta cantidad de C y Cr, de acuerdo a la Figura 5, en la capa de recargue aparece en la microestructura carburos primarios y una zona eutéctica.



Los depósitos realizados en el presente trabajo sin precalentamiento se obtiene una dilución de 12.5 %. Este valor tiene un efecto en la microestructura, ya que se obtiene una aleación en la capa de recargue con menor contenido de C y Cr a la que aporta el consumible. Esta disminución en cuanto a los contenidos de C y Cr hace que la aleación del depósito sea hipoeutéctica, donde la microestructura que se obtiene (Figura 3, M1) se corresponda en primer lugar con la austenita como el resultado de la cristalización primaria, y por su cercanía a la transformación eutéctica y las condiciones de desequilibrio termodinámico, es ésta la que predomina en la microestructura.

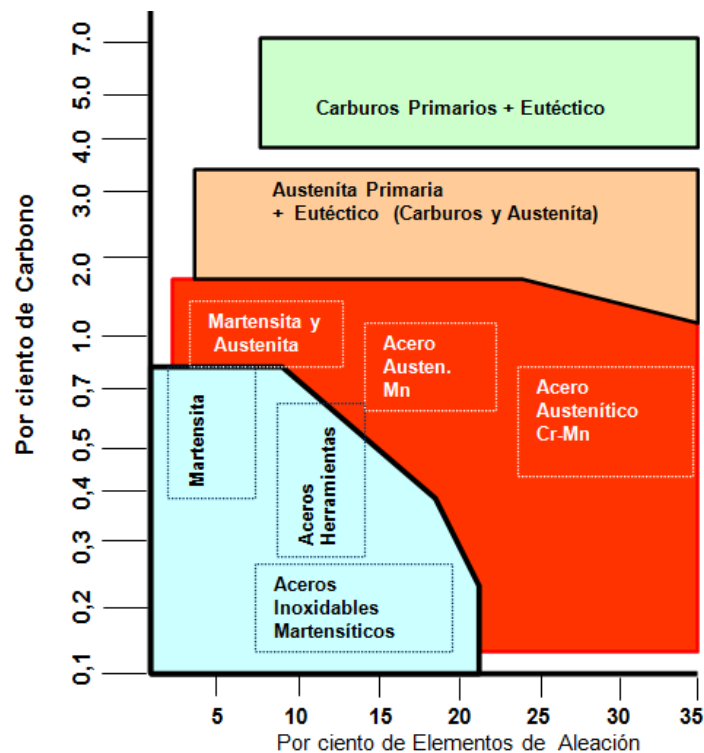


Figura 5. Formación de las estructuras en dependencia de los elementos de aleación [6].

Como se observa en la Figura 3 (M1), la zona blanca es la predominante y se corresponde con la austenita, ocupando un 72 % de la microestructura. La zona interdendrítica correspondiente a la red eutéctica (28 %), constituida por austenita y carburos M_7C_3 , es la que determina un valor de dureza en la capa de recargue de 659 HV como se aprecia en la Tabla 4.



Tabla 4. Valores de dureza en la capa de recargue

Muestra	Dureza	
	HV ₅₀₀	HRC
M1	659	58
M1C	510	50

En el caso del recargue con precalentamiento (Figura 3, M2), la morfología de la microestructura es prácticamente similar, con la diferencia de que aumenta el área que ocupa la austenita (85 %). Al aumentar la dilución (23 %) los contenidos de C y Cr son aun inferiores en la capa de recargue en comparación a los que aporta el electrodo, provocando una disminución en la dureza, cuyo valor es de 510 HV, como se indica en la Tabla 4.

Estos resultados son similares a los obtenidos por otros autores [7,8], donde concluyen que para las aleaciones de recargue utilizando el sistema Fe-Cr-C, el por ciento de C es fundamental. Cuando el contenido de este elemento está en el orden del 3 % (aleación hipoeutectoide), la estructura que prevalece en el depósito es la austenita primaria de forma dendrítica, lo que reduce sustancialmente la resistencia al desgaste abrasivo.

Por otra parte, aunque la dilución influye en cuanto a la morfología de la microestructura y la dureza, es importante considerar el comportamiento del enfriamiento de los depósitos. De acuerdo a lo reportado [9], un enfriamiento lento en las aleaciones blancas hipoeutéticas, se favorece la formación de la austenita primaria de forma dendrítica y a temperatura ambiente esta microestructura es la que prevalece en la capa de recargue.

En el estudio realizado, al realizar el recargue con el electrodo AWS E FeCr-A1, utilizando un precalentamiento de 200°C sin cambiar el valor del aporte térmico, la velocidad de enfriamiento es menor, si se compara con el depósito obtenido a temperatura ambiente. Este fenómeno también contribuye a que los depósitos analizados, obtenidos con un



precalentamiento de 200°C (M2) la microestructura fundamental sea la austenita primaria y tengan los menores valores de dureza como se aprecia en la Tabla 4.

Los resultados anteriores confirman que durante el recargue de los martillos desmenuzadores en los talleres del sector azucarero, al no emplearse una secuencia de deposición adecuada, se produce un sobrecalentamiento del metal base, obteniéndose un coeficiente de dilución apreciable y además un enfriamiento lento de la capa de recargue. Por esta razón, en la microestructura de los depósitos prevalece la austenita cuya dureza no es competente para contrarrestar el desgaste abrasivo de los martillos desmenuzadores.

4. Conclusiones

1. Cuando se aplica una temperatura de precalentamiento de 200°C, en el recargue con el electrodo de del tipo AWS E FeCr-A1, diámetro 4 mm y una intensidad de corriente de 150 A, se obtiene una dilución del 23 %, mucho mayor a la que se obtiene cuando se realiza la operación a temperatura ambiente (12.5 %).
2. La microestructura obtenida en la capa de recargue con el electrodo AWS E FeCr-A1, es fundamentalmente la austenita de forma dendrítica y una red eutéctica. Cuando se aplica un precalentamiento de 200°C, aumenta la cantidad de austenita como resultado del incremento de la dilución y disminución de la velocidad de enfriamiento del depósito.
3. La dureza obtenida en los depósitos de recargue donde se aplicó un precalentamiento de 200°C es de 510 HV, inferior a la obtenida en los depósitos sin precalentamiento. Lo anterior es consecuencia de que aumenta la cantidad de austenita, y disminución del área que ocupa la zona eutéctica en la microestructura.

5. Referencias bibliográficas

- [1]. Welding alloys group, Fundamentals of hardfacing by fusion welding, junio 2008.
- [2]. Cárdenas J. I., Estudio para el mejoramiento de la resistencia al desgaste de los martillos desmenuzadores de los molinos de los centrales azucareros utilizando el electrodo UTP 711-B. Tesis de Grado. UCLV.2019.
- [3]. Catálogo UTP-Bohler. Alemania, 2004.



Título Convención 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
TÍTULO

- [4]. Almeida Espinosa, G., Evaluación operacional y metalúrgica de un electrodo para enfrentar el desgaste erosivo. Tesis de Grado, UCLV, 2016.
- [5]. Albertin, E., Neto F. B., Teixeira I. O. Adequação da composição química e do tratamento térmico de ferros fundidos de alto cromo utilizando termodinâmica computacional. Tecnol. Metal Mater Miner São Paulo. Volumen 8. No 4. 223-229 pag. 2011.
- [6]. Kotecki, D., Abrasion resistance of iron based hardfacing alloys". Welding Journal, Welding Research Supplent, August., pp. 269 - 278, 1995.
- [7]. Chotěborský, R., The effect of microstructure of the hypoeutectic Fe-Cr-C hardfacing on abrasive wear. Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Engineering. Scientia Agriculturae Bohemica, 42, 2011, pp. 127-132.
- [8]. Liu, Y., et al., Low-Stress abrasion Behaviors of Fe- Cr-C, Hardsurface Coating. Welding Journal, Sept. 2016, pp. 325 - 334.
- [9]. Kou S., Welding Metallurgy. (2nd Edn.), John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA. 2003.