

INTRODUCCIÓN

Aleaciones de Alta Entropía

Las aleaciones de alta entropía o *high entropy alloys* (HEAs) son aleaciones formadas por al menos cinco elementos con porcentajes atómicos iguales o muy próximos. Esto implica que la aleación tiene múltiples elementos base, a diferencia de las aleaciones convencionales que suelen tener uno con pequeños porcentajes de otros.

Durante las últimas décadas el interés por las HEAs ha aumentado exponencialmente debido a sus características atractivas, como mayor resistencia a la corrosión.

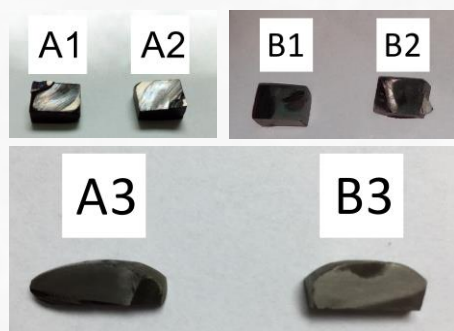
Muestras estudiadas

Para llevar a cabo este estudio se han recibido varias muestras de dos HEAs de la Universidad Politécnica de Bucarest, fabricadas por la Dra. Ionelia Voiculescu.

Elemento	%at.	Elemento	%at.
Fe	24,243	Mo	17,984
Mo	18,664	Ta	21,446
Ta	15,704	Nb	14,016
Ti	23,179	Ti	27,496
Zr	18,210	Zr	19,058

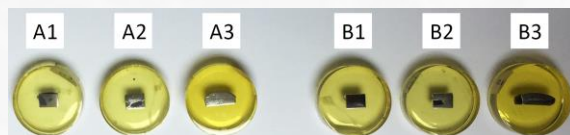
(a) HEA A

(b) HEA B



Montaje

Con el fin de mejorar los resultados de los ensayos y facilitar el manejo de las muestras, estas se han empastillado (montado) con la ayuda de unos moldes y una mezcla de resina - endurecedor.



METALOGRAFÍA

Desbaste y pulido

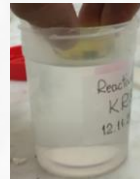
Con el fin de observar la microestructura de las muestras bajo el microscopio, las superficies de las muestras han pasado por un proceso de desbaste y pulido. De este modo, la superficie reflejará la luz emitida por el microscopio correctamente. Interesa reducir las rayas superficiales y la porosidad al máximo, para tener una imagen lo más nítida posible.



Ataque metalográfico

Si se coloca la muestra bajo el microscopio de campo claro después del pulido, se verá su superficie pero va a ser muy difícil observar su microestructura. Para facilitar esto último, se ha realizado un ataque metalográfico en el que la superficie a observar se sumerge en el reactivo de Kroll durante unos 21 segundos.

Tras el ataque metalográfico, se vierte alcohol sobre la superficie para eliminar los restos de reactivo y se seca con la ayuda de un secador. Si se deja actuar al reactivo demasiado tiempo, este podría corroer en exceso la superficie.



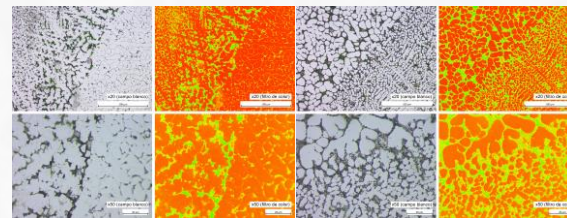
Microscopía

Tras revelar la microestructura de las muestras, estas se colocan en el microscopio y se toman las imágenes requeridas con la ayuda del ordenador.



Resultados

Se ha encontrado que ambas HEAs presentan una mezcla heterogénea, diferenciándose principalmente dos áreas en cada una, con una granulometría muy variable. La muestra A3 presenta algunas zonas con estructuras aciculares, que normalmente son más propensas a la corrosión. La muestra B3 presenta una microestructura dendrítica columnar y equiaxial, que generalmente, no queremos en los usos industriales.



A3 tras ataque con reactivo de Kroll (aumento x20 y x50) B3 tras ataque con reactivo de Kroll (aumento x20 y x50)

CORROSIÓN

Contacto eléctrico

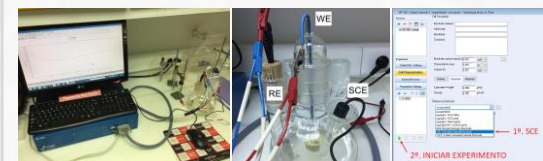
Para realizar los ensayos electroquímicos es necesario que la muestra forme parte de un circuito eléctrico, de modo que debe poder conectarse «en serie» en el equipo de ensayo. Para ello:

1. Se taladra un agujero por la parte superior de la pastilla de montaje hasta alcanzar la muestra usando un taladro vertical.
2. Se elimina la capa superficial de la muestra con una DREMEL para mejorar el contacto eléctrico.
3. Se eliminan los restos de resina con aire a presión.
4. Se inserta una tuerca a presión en el agujero sin tocar la muestra; se queda bloqueada por la resina.
5. Se enrosca un tornillo en la tuerca hasta hacer contacto con la muestra.
6. Se verifica la continuidad con la ayuda de un multímetro.



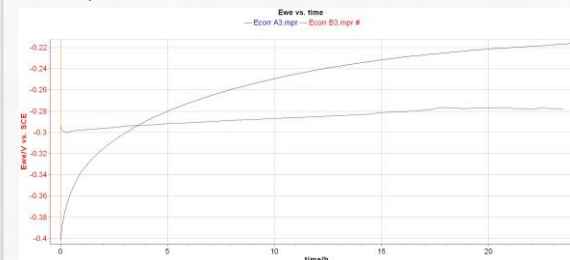
Potencial de corrosión

Se inserta la superficie de la muestra en la celda electroquímica de tres electrodos, que se encuentra conectada al potenciostato, conectado a su vez al ordenador. Se ejecuta durante 24 horas el ensayo para determinar el potencial de corrosión de cada HEA.



Resultados

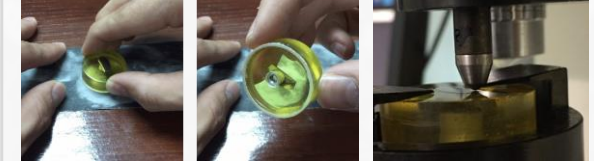
La HEA B tiende a formar una capa pasiva en su superficie antes que la HEA A, estabilizándose mucho antes.



MICRODUREZA

Eliminación de rebabas

Al colocar las muestras en el nivelador del durómetro, interesa que la superficie sea lo más plana posible. Durante el proceso de montaje han quedado rebabas de resina en la parte superior de las pastillas. Se lijan estos bordes antes de proceder con el ensayo.



Indentaciones

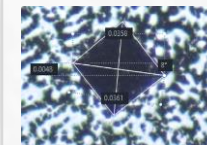
Se realizan múltiples indentaciones en la superficie de cada HEA empleando el durómetro Remet HX – 1000. Las cargas de ensayo son 10, 25, 50 y 200 gramos. Se deja actuar cada carga durante 15 segundos.



Después de realizar las indentaciones, al aplicar el método de Vickers, es necesario medir las diagonales de la huella dejada por el indentador. Para ello se colocan nuevamente las muestras en el microscopio y se toman las imágenes de las huellas obtenidas.

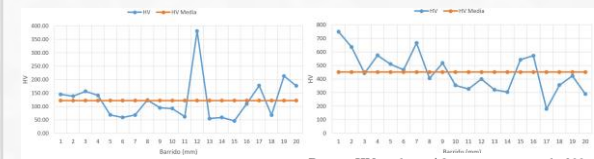


Para medir la longitud de las diagonales, se importan las imágenes en AutoCAD y se hace uso de las herramientas de medición que ofrece el programa.



Conocidas las longitudes y la carga, se puede determinar la dureza Vickers (HV). También se puede estimar la profundidad de la huella.

Resultados



Dureza HV probeta A3 para una carga de 50g

Dureza HV probeta A3 para una carga de 200g

Dureza HV probeta B3 para una carga de 50g

Dureza HV probeta B3 para una carga de 200g

Dureza HV probeta A3 para una carga de 50g

Dureza HV probeta A3 para una carga de 200g

Dureza HV probeta B3 para una carga de 50g

Dureza HV probeta B3 para una carga de 200g

Dureza HV probeta A3 para una carga de 50g

Dureza HV probeta A3 para una carga de 200g

Dureza HV probeta B3 para una carga de 50g

Dureza HV probeta B3 para una carga de 200g

Dureza HV probeta A3 para una carga de 50g

Dureza HV probeta A3 para una carga de 200g

Dureza HV probeta B3 para una carga de 50g

Dureza HV probeta B3 para una carga de 200g

Dureza HV probeta A3 para una carga de 50g

Dureza HV probeta A3 para una carga de 200g

Dureza HV probeta B3 para una carga de 50g

Dureza HV probeta B3 para una carga de 200g

Dureza HV probeta A3 para una carga de 50g

Dureza HV probeta A3 para una carga de 200g

Dureza HV probeta B3 para una carga de 50g

Dureza HV probeta B3 para una carga de 200g

Dureza HV probeta A3 para una carga de 50g

Dureza HV probeta A3 para una carga de 200g

Dureza HV probeta B3 para una carga de 50g

Dureza HV probeta B3 para una carga de 200g

Carga (g)	HV	Profundidad (µm)	Carga (g)	HV	Profundidad (µm)
10	36.93	3.2	10	61.76	2.48
25	55.69	4.12	25	122.83	2.78
50	121.78	3.94	50	133.26	3.77
200	451.83	4.09	200	309.56	4.94

(a) HEA A - FeMoTaTiZr

(b) HEA B - MoTaNbTiZr