



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales

PROYECTO FIN DE CARRERA
EVALUATION OF IMPACT AND FATIGUE
PROPERTIES ON AUSTEMPERED
DUCTILE IRON

Autor: *Sergio Arias Fernández*
Directores: *Dr. Henrik Borgström*
Dr. Kenneth Hamberg
Tutora: *Mónica Campos Gómez*



Proyecto realizado en conjunción con la Chalmers University of Technology

PREFACIO

RESUMEN DEL PROYECTO EN CASTELLANO

El presente proyecto fue realizado durante una estancia en Chalmers University of Technology en Göteborg, Suecia, durante el transcurso del curso 2008-2009. El proyecto fue redactado y defendido en lengua inglesa ante un tribunal y ante la evaluación del examinador y catedrático Lårs Nyborg de la Chalmers University of Technology en Göteborg, competente de dictaminar la calificación final del mismo, obteniéndose la calificación máxima de A equivalente a diez, matrícula de honor. Este dictamen fue revisado y ratificado por el catedrático José Manuel Torralba de la Universidad Carlos III de Madrid, tutor del proyecto en España. Los directores del proyecto fueron el Dr. Kenneth Hamberg y el Dr. Henrik Borgström.

Las siguientes líneas representan un breve resumen del proyecto de diez páginas aproximadamente de extensión en lengua castellana según lo estipulado por la normativa de la Universidad Carlos III de Madrid

INTRODUCCIÓN

Fundición dulce austemperada (ADI), también conocido como hierro dúctil ausferrítico, es la más reciente adición a la familia del hierro dúctil. Su producción consiste en obtener una fundición dúctil y aplicar un tratamiento térmico posterior llamado Austempering. El tratamiento térmico transforma la fundición dúctil en ADI, mejorando el material y logrando excelente tenacidad, y resistencia a la fatiga. ADI es más fuerte por peso que el aluminio, tiene una resistencia al desgaste como el acero y tiene un ahorro potencial de hasta un 50% ahorro de costes.

ADI para el diseñador es un material versátil, que permite soluciones innovadoras a problemas nuevos y actuales. Al seleccionar los parámetros de tratamiento térmico preciso un conjunto de propiedades que puede lograrse. La menor dureza de piezas de fundición de hierro dúctil se utilizan en aplicaciones estructurales, donde a menudo el peso y la reducción de costes son importantes. La resistencia al desgaste es superior a la de acero en cualquier nivel de dureza, haciendo que el mayor grado de dureza ideal para la minería, la construcción, agrícola....

ADI compite favorablemente con las piezas forjadas de acero, sobre todo para servicio pesado donde la fiabilidad es primordial. Cuando se requiere fuerza ADI es especialmente rentable: la resistencia a la

tracción y el rendimiento sus valores son dos veces superiores al nivel del hierro dúctil, la resistencia a la fatiga es superior un 50% y puede ser mejorada por shot peening o fillet rolling. Con su alta resistencia-peso ADI puede sustituir el aluminio cuando el tamaño de sección es aceptable.

Durante los últimos veinte años, el tratamiento térmico y equipos de ingenieros especialistas han perfeccionado el proceso de austempering y fiables plantas de producción de materiales. Esto ha impulsado la demanda. Se está convirtiendo en el material de elección para diseñadores e ingenieros, que buscan el rendimiento económico de sus componentes y sistemas. En particular, los fabricantes que participan en las piezas móviles y los puntos críticos de seguridad se han beneficiado de una mayor fortaleza, mayor resistencia al desgaste, la reducción del ruido y el ahorro de peso.

El factor que caracteriza al ADI es su propiedad de una buena combinación de dureza y elongación con alta resistencia a la tracción, que es una combinación que aumenta la resistencia al desgaste y la fatiga en comparación con otros aceros dúctiles. Estas propiedades mecánicas deseables se asocian con una única microestructura que se compone de nódulos de grafito aciculares, carburo de ferrita libre enriquecido con carbono-austenita, en lugar de ferrita y carburo, producidos en condiciones normales de transformación bainítica en acero. Cuando el acero es austemperado, la microestructura resultante constará de dispersión fina de carburo de ferrita en una matriz llamada ausferrítica. Esta microestructura en ADI es llamada "ausferrite" para distinguirla de la estructura bainítica en el acero.

Durante la transformación en el austemperado, a través del ADI pasan dos etapas de reacción. En la primera etapa, la austenita se transforma en una estructura de ferrita y nodos aciculares de carbono enriquecido con austenita retenida. A medida que hay más y más formas de ferrita, el contenido en carbono de austenita aumenta. Dado que el contenido de carbono de la austenita es muy alta (superior a 1,0%), la austenita es estable en la temperatura ambiente y, por tanto, la microestructura resultante constará de ferrita y alto carbono y estable austenita. Esta es la deseada estructura que proporciona las notables propiedades del ADI.

La microestructura y propiedades mecánicas de ADI pueden ser alteradas en gran medida por un tratamiento térmico adecuado, por lo tanto, la microestructura de ADI depende en gran medida de la temperatura y el tiempo. Austempering a altas temperaturas da lugar a la producción de ferrita relativamente gruesos en una matriz de austenita enriquecida en carbono. Cuando austempering se lleva a cabo a temperaturas más bajas tenemos delgadas agujas de ferrita

aciculares. Si el austempering en tiempo es muy corto, el grado de avance de la transformación es inferior al 100% y hay un porcentaje de austenita no transformada que se podría transformar a martensita durante el enfriamiento. Si el austempering en tiempo es demasiado largo, en la segunda etapa de transformación el carbono comienza a precipita en forma de carburos.

METODO EXPERIMENTAL

EXPERIMENTOS REALIZADOS

El objetivo de nuestro proyecto es evaluar las propiedades a impacto y fatiga de nuestro material. Las propiedades de los ADI son consecuencia de múltiples factores. La composición y el tratamiento térmico que han sufrido determinan su microestructura. La microestructura determinara sus propiedades finales. Asi que el estudio de la misma es fundamental para poder analizar que factores confieren mejores propiedades de impacto.

Se va a realizar un **ensayo de impacto Charpy** con el objetivo de evaluar su resistencia a impacto para tres diferentes composiciones, tres diferentes temperaturas de austenizacion y tres diferentes temperaturas de austemperado.

Se va a realizar un **estudio de la microestructura** . Se debe tener en cuenta:

- o El estudio de los grafitos nodulares, es decir, la concentración que se puede encontrar y la circularidad de los nódulos.
- o La distribución, morfología y cantidad de las diferentes fases que se puede encontrar en este material
- o Tamaño de los nodulos de grafito.

Se va a realizar un estudio de **la porosidad** con el objetivo de comprobar si este podría ser un factor que afectase a las propiedades de impacto o fatiga. PROPAGACIÓN DE GRIETAS Y NUCLEACION

Se va a realizar un **study crack propagation** con el objetivo de determinar los lugares de nucleacion de grietas, que fases en nuestro material son mas adecuadas para la propagación de grietas y la velocidad de la propagación de grietas.

Se va a realizar un **ensayo de fatiga** con el objetivo de evaluar su resistencia a fatiga.

MATERIALES UTILIZADOS PARA EL EXPERIMENTO

Los materiales que han sido utilizados para nuestros experimentos han sido :

Elements	Anillo 1	Anillo 2	Anillo 3
C	3,55	3,55	3,55
Si	2,42	2,18	2,35
Cu	0,68	0,76	0,69
Ni	0,52	0,03	0,7
Mo	0,11	0,28	0,15
Mn	0,20	0,42	0,19

Han sido elegidos estos materiales, con el objetivo de poder estudiar diferentes parametros que pueden afectar a sus propiedades finales

Se han elegido tres composiciones distintas para observar como afecta a su microestructura y como consecuencia a sus propiedades.

Se han elegido para una misma composcion (alloy 1), tres diferentes temperaturas de asutenizacion para observar como afecta a su microestructura y como consecuencia a sus propiedades.

Se han elegido para una misma composcion (alloy 1), tres diferentes temperaturas de austemperado para observar como afecta a su microestructura y como consecuencia a sus propiedades.

RESULTADOS

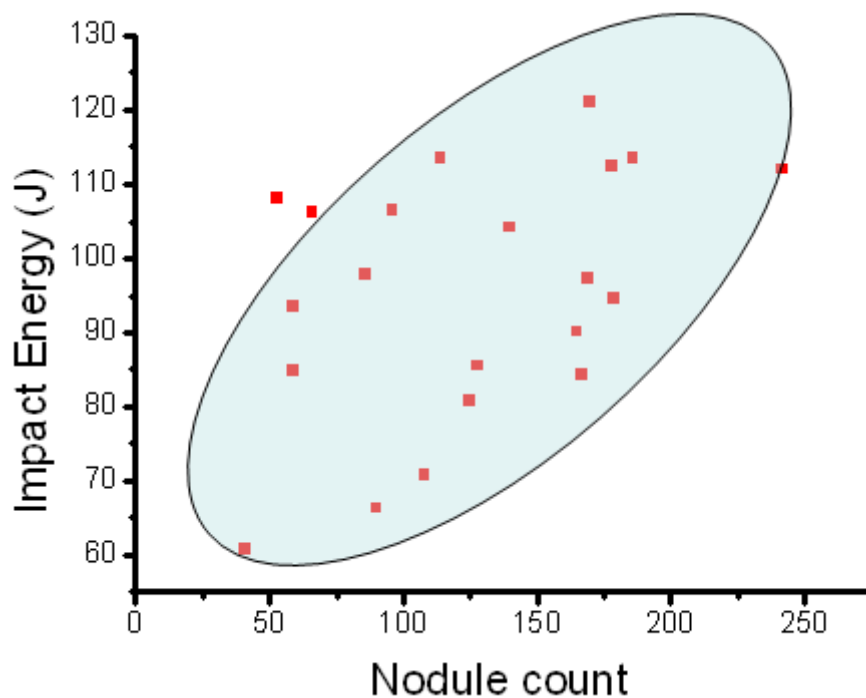


Figura 1

Como se puede observar en la figura 1 el numero de nodulos de grafito esta relacionado con la energia de de impacto que pueden absorbr nuestro material. A medida que incrementamos en numero de nodulos aumenta la energia de impacto que podemos absorber.

Si miramos las composicion de las diferentes probetas que hemos ensayado , se puede obserbar que la aleacion 1 es la que mas numero de nodulos tiene. La razon principal es la forma en la que se ha hecho la fundicion. Cuanto mas cerca estemos del punto eutectico mas puntos de inoculacion y por tanto de nucleacion de nodulos de grafito tendremos, y de esta manera mejoraremos la capacidad a impacto del material.

El Silicio es un aleaten promotor de la formacion de los grafitos y tambien es un factor a tener en cuenta a la hora de hacer la fundicion.

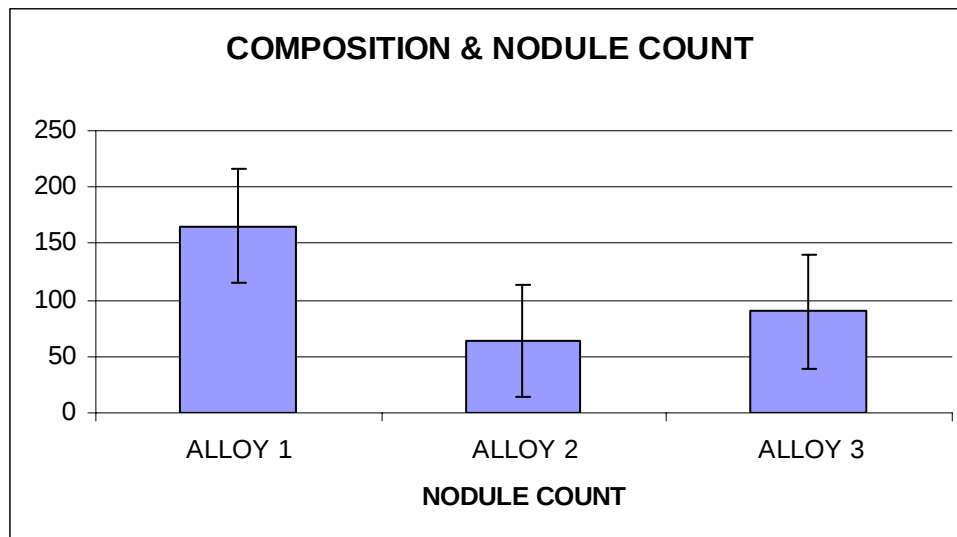


Figura 2

La nodularidad de los nodulos de grafito no afecta a la capacidad de impacto que puede absorber nuestro material, o al menos en el rago que hemos estudiado en esta investigacion.

La nodularidad puede ser modificada a la hora de hacer la fundicion controlando la velocidad de enfriamiento. Como se puede ver en la figura 3, los valores de nodularidad para la parte central del anillo siempre son inferiores que los otros dos casos. La razon es que la parte central del anillo tarda mas en enfriarse que el resto. De esta manera concluimos que la nodularidad a mas altos valores obtenemos mas rapido ha sido enfriado en la fundición.

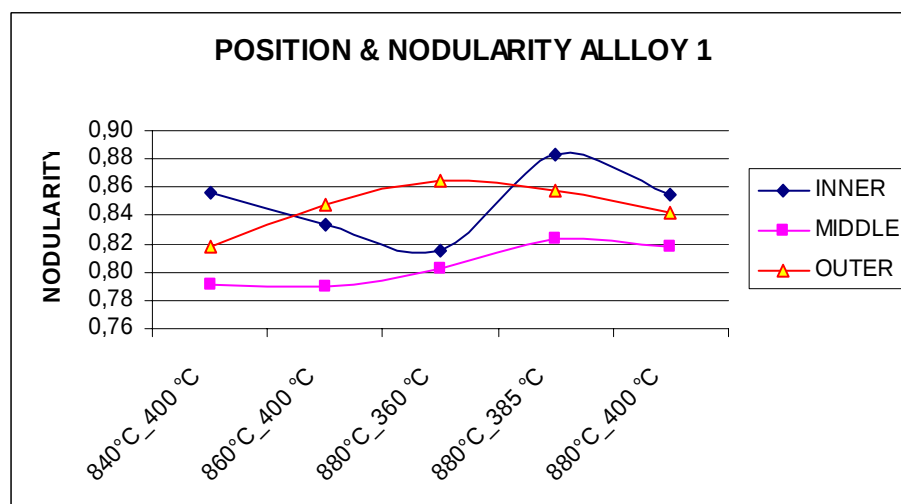


Figura 3

Como podemos ver en la figura 4 , el tamaño de los nodulos de grafito esta relacionado con la energia de imapcto . Lo ideal para obtener altos valores de Impacto es tener nodulos de grafito lo mas pequeños posible.

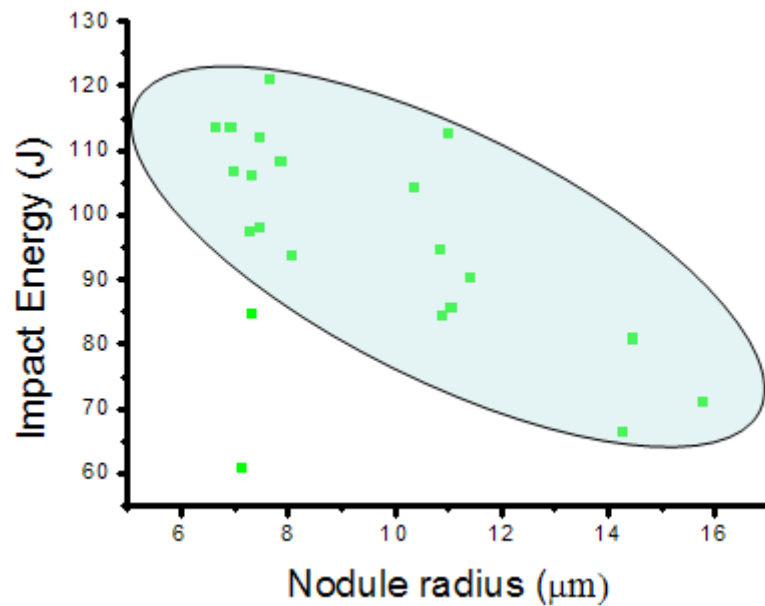
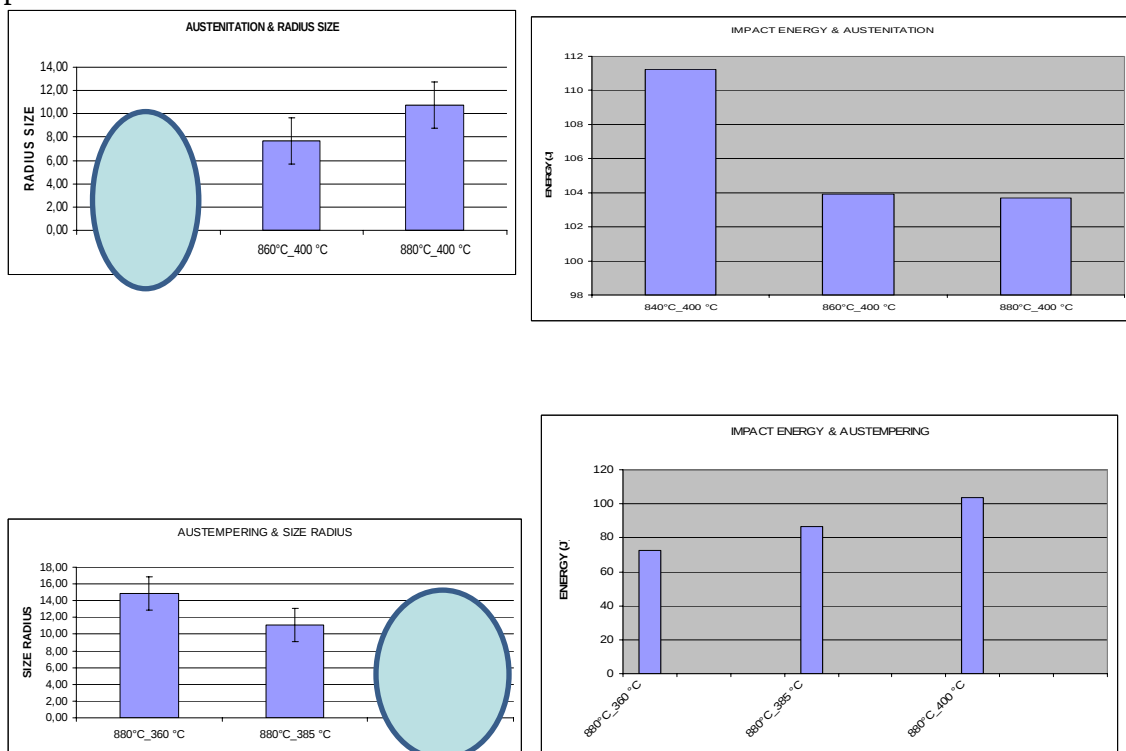


Figura 4

La forma de obtener nodulos pequeños de grafito es variando las temperaturas de austenizacion y austemperizacion.

Como vemos en la figuras sucesivas, al aumentar la la temperatura de austenizacion aumenta el tamaño de los nodulos, es decir, nos interesan bajas temperaturas de asutenizacion . De la misma forma podemos obserbar que al aumentar la temperatura de austempering se reduce el tamaño de grano, lo cual favorece la energia de impacto que puede absorber nuestro material.



En la figura 5 se pretende mostrar como el factor de temperatura de austempering es muy sensible para modificar el tamaño de grano. Podemos ver en las dos regiones

seleccionadas que los nodulos son significativamente mas pequeños que las demas muestras. La diferencia esta en que las regiones marcadas han sido tratadas con un austempering de 400°C y las demas muestras temperaturas inferiores.

Es un dato a destacar como solo variando poco la temperatura de austempering el tamaño de nodule poder ser hasta del doble.

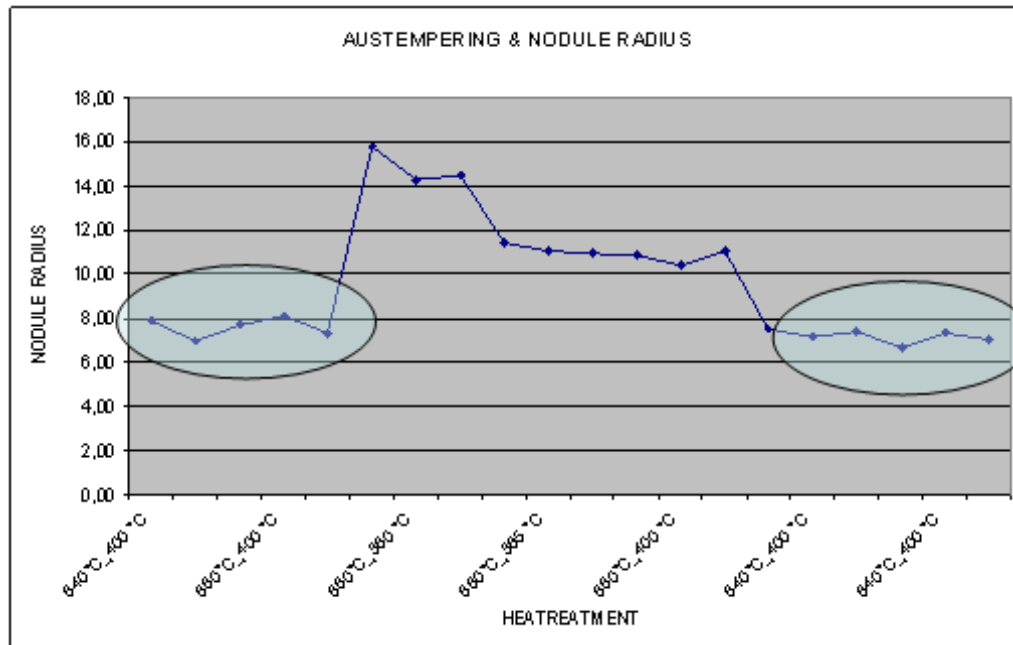


Figura 5

En la figura 6 se pretende mostrar la influencia de la morfología de la ausferrita en nuestro material.

A mayores temperatura de austempering mayor anchura en las agujas de ferrita y a su vez y como consecuencia mayor capacidad para absorber energía de impacto.

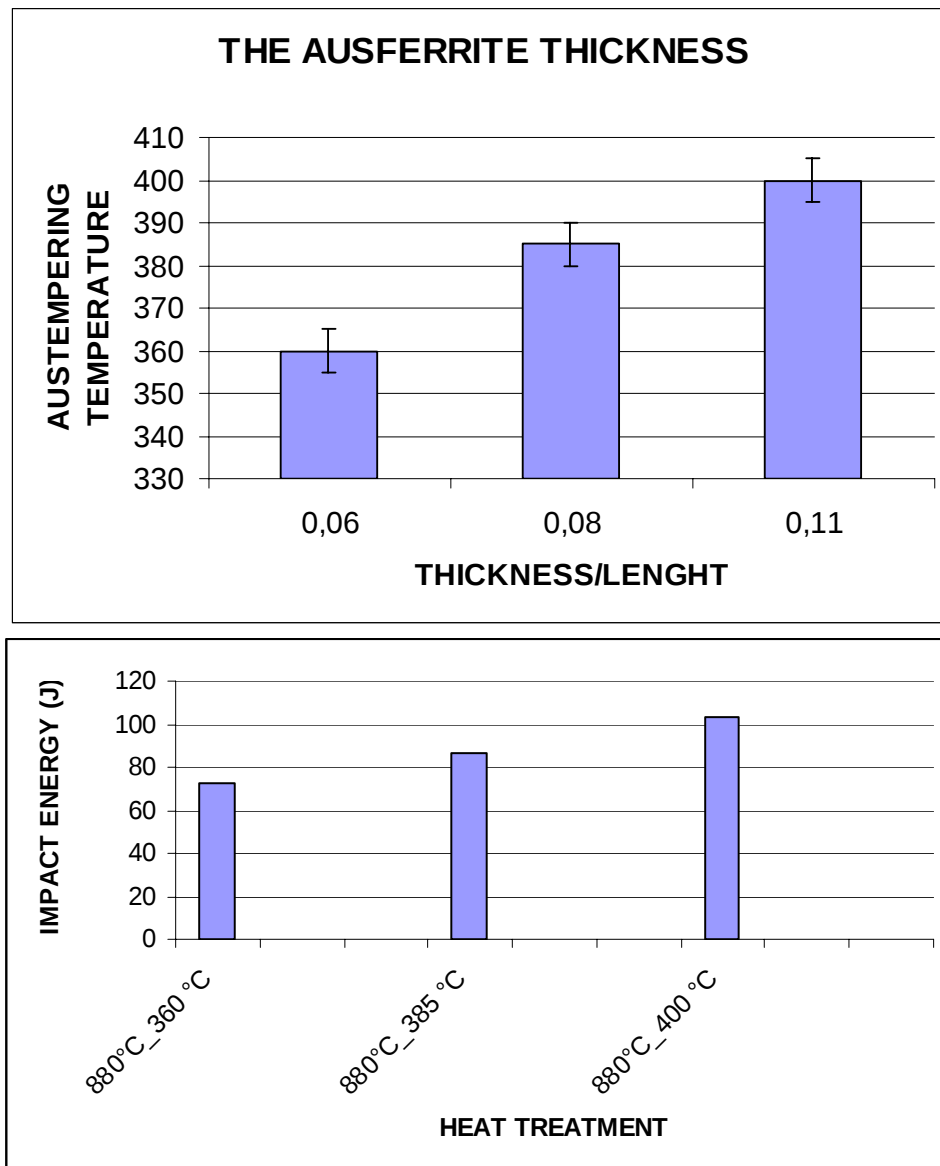


Figura 6

Se ha realizado un ensayo de traccion y al mismo tiempo se ha obserbado por medio del SEM la nucleacion de grietas y su propagacion por el material .

Como podemos ver en las figuras 7 y 8, la grieta a nucleado a partir de un poro y se ha propagado por el borde de grano (los granos han sido marcado en areas de color para ayudar a su visualizacion) . Como se puede apreciar en rojo en el area elisoidal marcada, hayun carburo. Los carburos suelen acumular tensiones y habituan a ser lugares de nucleacion de grietas. En nuestro material podemos decir que en este caso ha preferido nuclear en los poros antes que en los carburos.

La nucleacion de la grieta se produjo a partir de los 500 Mpa.

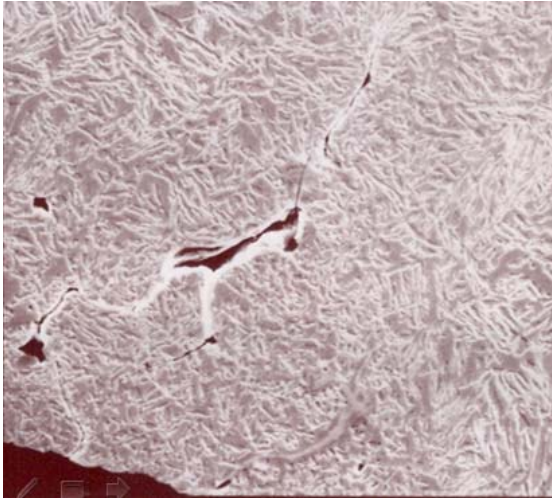


Figura 7

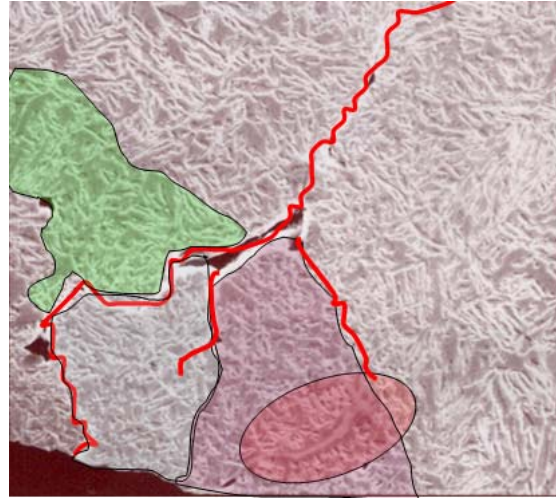


Figura 8

CONCLUSIÓN

PROPIEDADES DE IMPACTO

To improve the impact properties it has been concluded in this project that:

- Superior temperatura de austempering producen más grosor de ausferrita y menor tamaño de los nódulos, ambas cosas mejoran las propiedades de impacto.
- Baja temperatura de austenización disminuye el tamaño de nódulos de grafito, en consecuencia, se obtiene una ligera mejora de las propiedades de impacto.
- El número de nódulos de grafito es una cuestión clave para obtener buenas propiedades de impacto. Un mayor número de nódulos da mayor capacidad de absorción de energía. El factor principal es estar cerca del punto leutectoide a la hora de hacer la fundición, ya que aumenta la inoculación. La presencia de silicio amenta la formacion de nodulos.
- La mejor manera de evitar la nucleación de grietas es reducir los poros, reducir el tamaño de grafito, y aumentar el número de nódulos de grafito.

PROPIEDADES DE FATIGA

- La aleación de 2 y 3 muestran más o menos la misma tasa de crecimiento de grietas en la fase lineal (los valores de m muy similar).
- La aleación 2 muestra un valor de ΔK_{th} (variación de la intensidad de los factores de estrés cerca del umbral) más pequeño que la Aleación 3, que significa que en 2, la grieta detiene su crecimiento para cargas más pequeñas que la Aleación 3.
- Las grietas nuclean sobre todo en los nódulos de grafito o defectos. Cuando un nódulo es alcanzado por la grieta la tasa de crecimiento aumenta.
- Otras grietas más pequeñas se producen por encima y por debajo de la principal, son más en número y más cuando la grieta se va al fallo, donde la plasticidad existe cerca de la grieta principal. Las grietas más pequeñas son probablemente las responsables de la dispersión en la parte lineal de la curva de FCGR.