

Determinación de la tenacidad a la fractura de muestras de Acero 45 fundido, empleando las correlaciones entre el K_{IC} y la energía de impacto medida en el ensayo de Charpy.

F. Ramos Morales*, A. Duffus Scott*, N. Palomo Nápoles.**

* Centro de Investigaciones de Soldadura.

*Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

Carretera a Camajuaní Km. 5 ½, Santa Clara. Villa Clara. Cuba.

E-mail: felixrm@fim.uclv.edu.cu, aduffus@fim.uclv.edu.cu

Teléfono: (422) 281586, Fax: (422) 281608

**Planta Mecánica "Fabric Aguiar Noriega". Santa Clara. Villa Clara. Cuba.

(Recibido el 14 de Septiembre de 2004, aceptado el 5 de Febrero de 2005)

Resumen.

En el presente trabajo se determinan los valores de tenacidad a la fractura (K_{IC}) de muestras de Acero 45 fundido, empleando las correlaciones entre la tenacidad a la fractura y la energía de impacto (CVN) obtenida del ensayo de Charpy. Se hace una discusión sobre las correlaciones que más se ajustan en la región de transición y en upper shelf. Se comparan los valores obtenidos de estas correlaciones a valores de tenacidad a la fractura establecidos en la literatura.

Palabras claves: Fractura, energía de impacto, acero fundido.

1. Introducción.

El factor de intensidad de tensiones K_{IC} , como medida de la tenacidad a la fractura de los materiales con comportamiento lineal elástico, caracteriza la magnitud de las tensiones en el extremo de una grieta aguda o defecto.

El factor K_{IC} es una propiedad del material independiente de la geometría, por lo que su determinación experimental implica la fabricación de probetas de dimensiones tales que se garantice un estado de deformación plana. De esta manera se puede lograr que el K_{IC} calculado a partir del ensayo de una probeta de laboratorio, pueda ser aplicado a una estructura o elemento construido del mismo material.

Al trabajar con aceros de mediana y baja resistencia, para los cuales el comportamiento es elasto plástico, el obtener un K_{IC} válido a través de un ensayo implicaría la fabricación de una probeta de dimensiones extremadamente grandes con vistas a obtener el estado de deformación plana. Implicaría también el empleo de una máquina de ensayos lo suficientemente potente para aplicar carga a esta probeta.

Se han empleado otros parámetros para caracterizar el comportamiento del material en el extremo de una grieta o defecto, para materiales elasto plásticos. Estos parámetros son el CTOD y el J integral. La obtención experimental de estos parámetros implica, al igual que la obtención de K_{IC} , un equipamiento experimental que no está disponible en nuestro país en este momento.

Al no poder renunciar las empresas cubanas a caracterizar los materiales con que trabajan desde el punto de vista de la fractura y ante la imposibilidad de disponer del equipamiento necesario para hacer los ensayos, la única solución viable es emplear las correlaciones entre la energía del ensayo Charpy y la tenacidad a la fractura.

2. Diferencias esenciales entre CVN y K_{IC} . Correlaciones.

Existen diferencias notables entre el ensayo de Charpy y el ensayo para obtener la magnitud de K_{IC} . Estas diferencias se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Diferencias entre el ensayo de Charpy y el ensayo de K_{IC} .

Diferencias	Ensayo Charpy	Ensayo K_{IC}
Parámetro medido	Energía absorbida por la probeta.	Valor crítico de la intensidad de tensiones
Punto de medición	Iniciación de la grieta y propagación.	Inicio de la propagación inestable de la grieta.
Talla de la probeta	Barra rectangular de sección cuadrada.	Suficiente para mantener condiciones de deformación plana.
Razón de deformación	Impacto ($10^{-10} \text{ seg}^{-1}$)	Cuasiestático (10^4 seg^{-1})
Concentrador de tensiones	Entalla redondeada ($r = 0.25 \text{ mm}$).	Pre grieta de fatiga ($r \rightarrow 0$)

A pesar de estas diferencias, debido a las ventajas económicas y a la mayor sencillez del equipamiento empleado en el ensayo de Charpy, muchos investigadores se han visto impulsados a proponer relaciones para convertir la data obtenida de CVN a una caracterización de mecánica de la fractura (K_{IC}), lo cual permite una asistencia cuantitativa de la talla crítica del defecto y de los niveles aceptables de tensión aplicada.

Estas correlaciones son obtenidas de manera empírica y por tanto son válidas en rangos restringidos de data. Algunas de estas correlaciones las planteamos a continuación:

Correlaciones de Barson y Rolfe:

$$a) - K_{IC}^2 = 5 \times \sigma_{ys} \times [CVN - \sigma_{ys} / 20]$$

CVN- nivel superior de energía Charpy
 σ_{ys} - límite elástico al 0,2 % (fluencia).

$$b) - K_{IC}^2 = 5 \times CVN \times E$$

E- Módulo de Young.

$$c) - K_{IC}^2 = 2 \times E \times [CVN]^{3/2}$$

Correlación de Rolfe- Novak:

$$K_{IC}^2 = 5 \times \sigma_y^2 \times \left[\frac{CVN}{\sigma_y} - 0.05 \right]$$

Correlación de Corten-Sailors:

$$K_{IC}^2 = 8 \times E \times CVN$$

Otras correlaciones:

Parry- Lazzari, Marandet-Sanz.

Los valores de tenacidad determinados por estas correlaciones abarcan un amplio rango y están determinadas para regiones bien específicas, como por ejemplo:

La correlación de Rolfe- Novak aplica solo para condiciones “upper shelf”.

En el rango de transición de la energía de impacto, aplican las correlaciones de Barson-Rolfe (2 y 3) y Corten –Sailors aplican en el rango de transición, pero los resultados que se obtienen son menores que los valores reales de K_{IC} , esto se debe al carácter eminentemente conservador de estas correlaciones destinadas a aceros de baja resistencia. Algo similar le ocurre a la correlación de Marandet-Sanz, en esta zona, y que fue determinada para un acero A 533 templado y revenido. La correlación de Parry- Lazzari obtiene valores que se corresponden con los esperados al ser empleada en la región de transición.

Todo esto nos da una idea de que las correlaciones deben aplicarse en función de la región de temperaturas vs. CVN en que nos encontremos y en dependencia también del material.

3. Experimentos realizados.

Se investigaron varias coladas de la fundición de la Planta Mecánica.

La determinación de la composición química de las coladas investigadas se realizó mediante el método de vía húmeda y análisis espectral este último se efectuó con el equipo Spectrolab de la firma Spectro – Analitical Instrument de Alemania, el cual consta de una gama de 18 elementos para el análisis del acero. La Tabla 2 muestra la composición química de dichas coladas.

El ensayo de resistencia al impacto se realizó en un péndulo de Charpy modelo VEB - Werkstoffprufma, con valores de energía de 300 J. La norma de referencia utilizada fue la ASTM 370-96.

En la Tabla 3 se presentan los valores de CVN para diferentes Tratamientos Térmicos y diferentes coladas.

Tabla 2. Composición química de las coladas.

# Coladas	Composición Química (% peso).								
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo
74	0,45	0,71	0,41	0,033	0,034	0,5	0,12	0,15	0,03
79	0,40	0,54	0,40	0,025	0,024	0,48	0,38	0,22	0,04
82	0,45	0,7	0,43	0,036	0,025	0,12	0,15	0,18	0,04
83	0,43	0,77	0,37	0,026	0,017	0,14	0,18	0,15	0,04
81	0,46	0,8	0,42	0,030	0,018	0,12	0,14	0,2	0,04

Tabla 3. Resultados del ensayo de impacto para las diferentes coladas y tratamientos térmicos.

Colada	CVN según el Tratamiento Térmico al semiproducto (pies x lib.).			
	Sin Trat. Térmico	Norm. 860 C	Norm. 860 C y Rev 400 C	Norm. 860 C y Rev 630 C
74	4.62	10.57	11.73	10.4
79	3.47	8.26	8.2	8.66
81	5.95	15.42	15.77	14.84
82	4.22	11.44	13.86	12.0
83	4.22	12.7	12.82	12.7

Graficando estos resultados se obtiene:

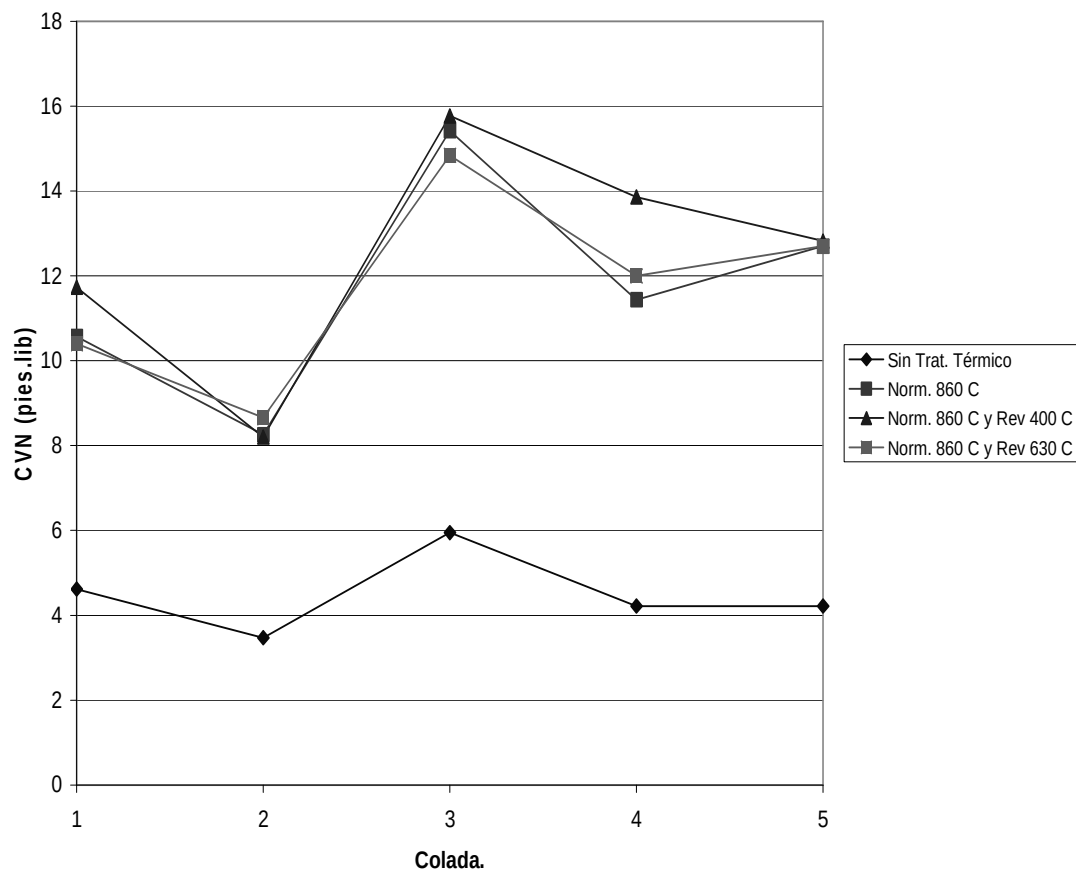


Fig. 1. Energía de Impacto en función de la colada y el Tratamiento Térmico.
(Leyenda: Colada 74 -1, Colada 79 -2, Colada 81 -3, Colada 82-4, Colada 83 -5)

En la Tabla 4 se muestran los resultados del ensayo Charpy para las diferentes coladas y el cálculo de K_{IC} por varias correlaciones, para probetas a las que no se le

realizó tratamiento térmico. Al graficar estos resultados se obtiene:

Tabla 4. Resultados del ensayo de impacto y KIC por correlaciones para las diferentes coladas y una probeta no tratada térmicamente.

Colada	Tratamiento Térmico		CVN (pies x lib)	KIC (MPa $\sqrt{m}$) Sailor - Corten	KIC (MPa $\sqrt{m}$) Barson - Rolfe	KIC (MPa $\sqrt{m}$) Marandet-Sanz
	Norm.	Rev.	P	P	P	P
74	-	-	4.62	36.61	37.94	47.58
79	-	-	3.47	31.73	30.61	41.19
81	-	-	5.95	41.55	45.86	54.01
82	-	-	4.22	34.99	35.45	45.44
83	-	-	4.22	34.99	35.45	45.44

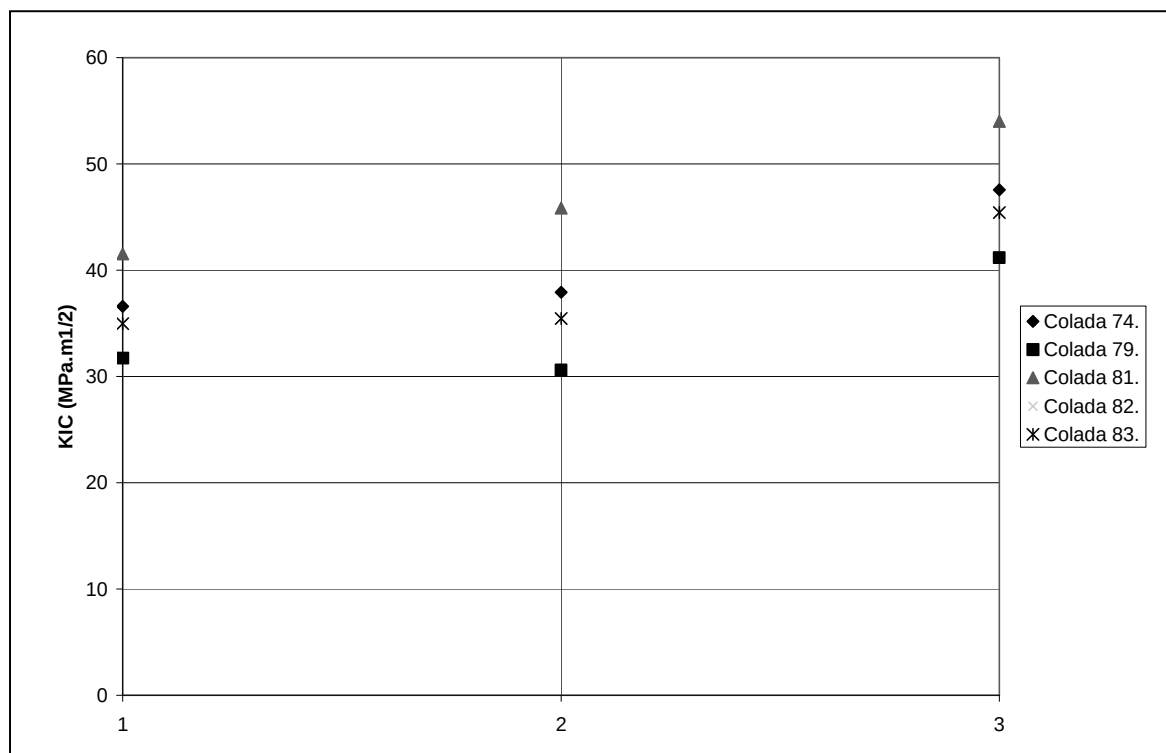


Fig. 2. valores de KIC calculados por diferentes correlaciones y para diferentes coladas.

(Leyenda: Correlación de Sailor – Corten – 1, Correlación de Barson – Rolfe – 2, Correlación de Marandet – Sanz – 3)

Al aplicar herramientas estadísticas para determinar la tendencia central de estos valores y sus medidas de variación se encuentra que:

Correlación	Mediana (Me)	Desviación media (Dm)
Sailor – Corten	34.99	2.288
Barson – Rolfe	35.45	3.548
Marandet – Sanz	45.44	2.992

Según la literatura consultada, el valor aproximado de KIC para un acero similar al estudiado debe ser de $51 \text{ MPa} \sqrt{m}$.

4. Análisis de los resultados.

4.1- Composición química de las coladas.

Del análisis de la composición química de las coladas, podemos observar que solo la colada 79 posee en su

composición química alteraciones dignas de ser destacadas:

C	0,40
Mn	0,54
Si	0,40
P	0,025
S	0,024
Cr	0,48
Ni	0,38
Cu	0,22
Mo	0,04

Podemos observar como el contenido de C es inferior al límite inferior que establecen la mayoría de las normas para este acero (C entre 0.42 – 0.50). También se observan alteraciones en el contenido de Cr que por norma debe ser menor o igual a 0.25 y el de Ni que debe ser, al igual que el de Cr, menor o igual que 0.25.

Si analizamos ahora la influencia que pueden tener estas variaciones de la composición de la colada 79 sobre propiedades mecánicas vemos que:

No debe ocurrir ninguna modificación significativa de propiedades tales como: la dureza, la resiliencia o la temperatura del umbral de fragilidad en frío.

4.2- Análisis del ensayo de impacto.

Para las probetas ensayadas sin Tratamiento Térmico podemos señalar que la que presentó menor energía de impacto fue la probeta de la colada 79. Sin embargo no puede achacarse este fenómeno a la discrepancia de la composición química de esta probeta respecto a las normas. Este fenómeno debe estar relacionado muy probablemente a los tamaños de grano y presencia de inclusiones en la estructura.

El tratamiento de normalizado elevó notablemente las propiedades de impacto del material, en algunos casos duplicó el valor. Siguió manifestándose como tendencia el que la colada 79 presentara los menores valores de

energía de impacto. Los tratamientos de revenido a diferentes temperaturas que se realizaron no originaron modificación notable en las propiedades de impacto de las diferentes coladas.

4.3- Análisis de la determinación de K_{IC} por diferentes correlaciones.

De acuerdo a los cálculos realizados por las diferentes correlaciones, podemos observar que la medida de la tendencia central que más se ajusta al valor teórico establecido es el calculado por la correlación de Marandet – Sanz. Este valor obtenido es conservador, pero menos que los obtenidos por las otras correlaciones.

5. Conclusiones.

1. Con el tratamiento térmico de normalizado a 860°C se eleva la resistencia al impacto de las muestras de acero 45 estudiadas.
2. Las correlaciones estudiadas nos dan una idea conservadora de la magnitud de K_{IC} a partir de los valores de CVN.
3. La correlación de Marandet – Sanz, para las condiciones estudiadas, es la que mejor se ajusta al valor de K_{IC} .

6. Bibliografía.

1. Anderson, T. L. Fracture Mechanics. CRC Press. United States of America. 1991.
2. Secretaria del Grupo Español de Fractura. Anales de mecánica de la Fractura. España. N 4. Año 1987.
3. Vedia, Luis. A. Mecánica de la Fractura. CNEA-AC. Argentina. 1986.
4. Zanis, C. A; Hasson, D. F; Ramírez, F. The Charpy v-notch test for evaluation of high strenght steel extrusions. Journal of Fracture Mechanics. 1987.

Determination of the fracture tenacity of cast Steel grade 45 samples, using the correlations between the K_{IC} and the impact energy measured in the Charpy impact test.

Abstract.

In this paper, the values of fracture toughness (K_{IC}) are determined on specimens of cast steel grade 45, using the correlations among the fracture toughness (K_{IC}) and the impact energy (CVN) obtained from a Charpy test. A discussion is made on the correlations that are better adjusted in the transition region and in upper shelf region. The obtained values are compared from these correlations to values of fracture toughness (K_{IC}) settled down in the literature.

Key words. Fracture, impact energy, cast steel.