



Ensayos de Torsión, Fatiga e Impacto

Emmanuel Naranjo Blanco, Ernesto Pocasangre Kreling.

ME-3209 Laboratorio de Tecnología de Materiales

Fecha de entrega: 14/12/2020

Profesor: MSc. Ricardo Esquivel Isern

Estudiantes de Ingeniería en Mecatrónica. Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), Cartago 159-7050, Costa Rica.

Palabras clave: Cargas cíclicas, grieta superficial, método Charpy, torsión, fatiga.

Resumen

Los ensayos de materiales tienen como objetivo determinar características específicas de los materiales. En este informe se abordarán las pruebas destructivas de torsión, fatiga e impacto; cuyo procedimiento para su realización se basa en sus respectivas normas. En términos generales, la prueba de fatiga determina el comportamiento de los materiales bajo cargas cíclicas, la prueba de torsión ayuda a conocer la resistencia a esfuerzos y el ensayo de impacto permite evaluar la tenacidad. De este modo, el objetivo de este experimento es analizar la importancia de estos ensayos, donde se llegó a la conclusión de que los resultados obtenidos tienen aplicaciones importantes.

1 Introducción

Las propiedades mecánicas son aquellas que describen el comportamiento de un material ante las fuerzas que son aplicadas sobre él. Elegir de qué debe estar construido un objeto es importante y para esto se apoya de los ensayos destructivos. Estos son herramientas útiles para obtener las características de un material previo a ser fabricado [1]. En este informe se abordarán algunos de los métodos destructivos más esenciales: ensayo de torsión, de fatiga y de impacto.

El ensayo de torsión permite obtener una orientación de la ductilidad, la tenacidad y la resistencia a esfuerzos de un material [2]. Esta prueba sigue la norma ASTM E143, la cual consiste en aplicar un torque sobre uno de los extremos de la muestra para así generar una deformación helicoidal [3]. Producto de esto, se genera un esfuerzo torsor y un ángulo de giro que permiten obtener un diagrama (figura 1) que es fundamental para determinar datos como el límite de proporcionalidad, el límite de fluencia superior A, el límite de fluencia inferior B, la zona de cedencia C y el límite de ruptura de la probeta D [2]. Además, en esta prueba suelen destacar dos siluetas de fractura según el tipo de material (figura 2): el material dúctil fractura en un plano perpendicular y el material frágil fractura con un ángulo de inclinación [1].

Un componente mecánico puede alcanzar la rotura debido a esfuerzos cíclicos repetidos en el tiempo aun cuando las tensiones soportadas sean inferiores a la resistencia estática máxima [1]. Es por esto por lo que se realiza el ensayo de fatiga, el cual permite determinar la resistencia que ofrece una pieza ante cargas cíclicas de tensión y compresión. Según la norma ASTM E466, las fallas por fatiga se inician en una grieta pequeña en la superficie, la cual va aumentando su tamaño con el paso de los ciclos de carga. Posteriormente, se propaga la grieta hasta llegar al área de ruptura [5]. Como se observa en la figura 3, cada zona tiene una topografía característica. Además, como resultado se genera una curva de tensión aplicada en función del número de ciclos (Figura 4).

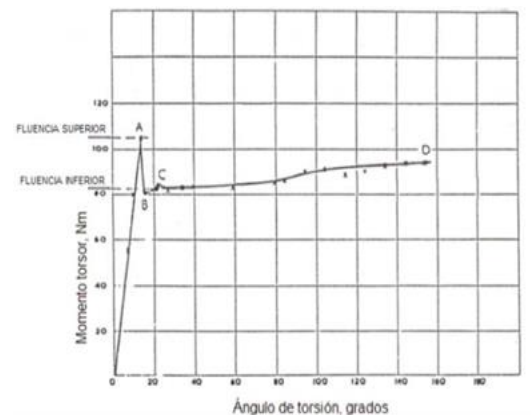


Figura 1. Diagrama de momento torsor versus ángulo de torsión [2].

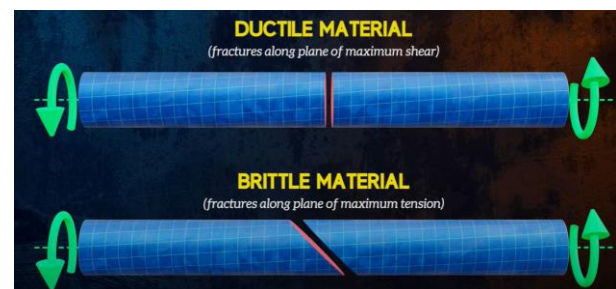


Figura 2. Fractura del material dúctil y frágil en la prueba de torsión [4].

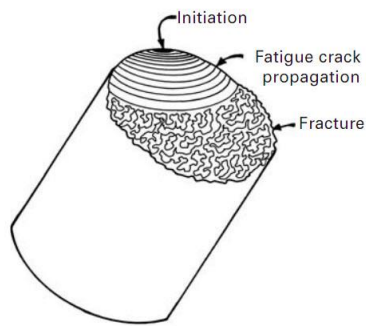


Figura 3. Evidencias superficiales del fallo por fatiga [6].

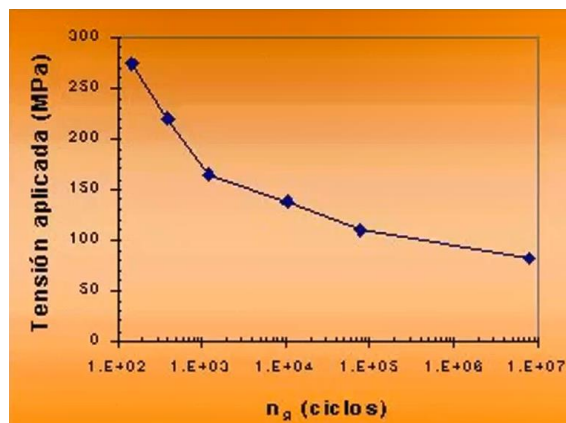


Figura 4. Curva típica obtenida del ensayo de fatiga [Presentación de clase].

El ensayo de impacto se basa en la norma ASTM E23, la cual describe la prueba de materiales metálicos mediante el método Charpy y el método Izod [7]. En este experimento se utilizó el método Charpy, donde se apoya una probeta con muesca (Figura 5) en la máquina y se golpea el centro con una masa para romperla de un solo golpe [1]. Como resultado se obtiene un gráfico informativo de la energía absorbida en función de la temperatura (Figura 6) donde se puede observar la zona de transición que indica la temperatura a la cual se produciría la falla. Además, al igual que en las fracturas por torsión, la muestra dúctil presenta muchas irregularidades en la superficie y la muestra frágil tiende a fallar en un plano.

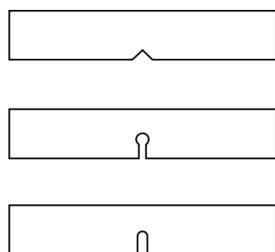


Figura 5. Probetas para el ensayo Charpy [1].

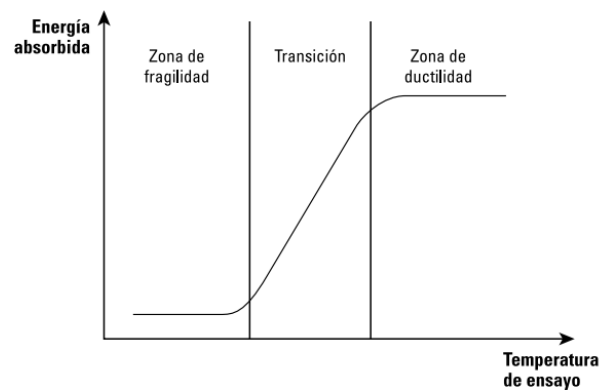


Figura 6. Gráfica producida en el ensayo de impacto [1].

En el presente texto se examinarán tres experimentos, uno para cada ensayo con el fin de satisfacer el objetivo general de esta práctica: comprender el uso del equipo y la correcta toma de datos para entender las principales variables que intervienen en los ensayos destructivos. Finalmente, como parte de los objetivos específicos del experimento, se considerarán los factores que afectan la fatiga, la torsión y el impacto en los materiales.

2 Materiales y Métodos

El experimento realizado tiene la finalidad de analizar los resultados de las pruebas de torsión, fatiga e impacto en diversos materiales de prueba. Para esto mismo se requirieron de una serie de materiales específicos y se siguió una secuencia de pasos que permitieron cumplir con esta finalidad.

Para la prueba de torsión se empleó el equipo de medición que corresponde a una mordaza fija, una mordaza giratoria graduada, una carátula, un riel y un panel de control (Figura 7). Para la prueba de fatiga, se empleó el equipo de medición especial para ensayos de fatiga, este corresponde a una máquina que pone al material en cargas cíclicas de compresión y tensión (Figura 8). Por último, para la prueba de impacto se empleó el equipo de medición para la prueba Charpy (Figura 9).



Figura 7. Equipo para el ensayo de torsión [8].

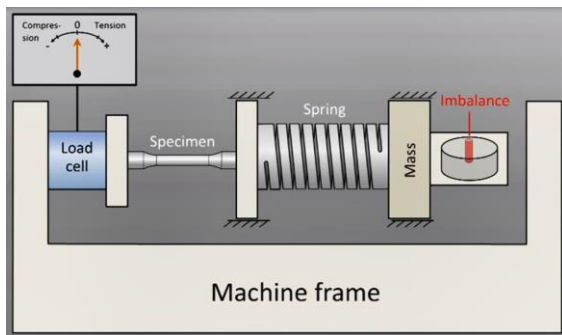


Figura 8. Equipo para el ensayo de fatiga [9].



Figura 9. Equipo para el ensayo de impacto [10].

Ahora como materiales de prueba en la prueba de torsión se utilizaron muestras de 2 tipos. Un tipo de muestra correspondía a hierro fundido, y la otra a un acero con un porcentaje de carbono de 0.4%, ambas se observan en la figura 10. Luego en la prueba de fatiga se emplearon muestras maquinadas a la medida de acero estructural S235JR como se aprecia en la figura 11. Y, por último, en la prueba de impacto se utilizaron muestras de prueba de acero S235 normalizado y acero S235 de cepa envejecida como se puede ver en la figura 12.



Figura 10. Muestras para prueba de torsión [8].



Figura 11. Muestras maquinadas para la prueba de fatiga [9].



Figura 12. Muestras para la prueba de impacto Charpy [10].

Con respecto al procedimiento, para la prueba de torsión se colocó la muestra de hierro fundido en el equipo. Se aseguró que estuviera bien encajada y se dio inicio al equipo electrónico. Este comenzó a dar giros pequeños de $0,3^\circ$ y a medir el torque demandado. La máquina siguió con este procedimiento y lecturas hasta que se produjo la falla. Para la prueba con la muestra de acero al carbono en 0.4% el procedimiento fue idéntico. Lo que diferenció este procedimiento del anterior fue el tiempo y las revoluciones que necesitó la máquina para lograr la falla. Al terminar las pruebas se recopilaron los datos, se inspeccionó la zona de fractura y se procedió a analizar los resultados.

Para la prueba de fatiga, el procedimiento comenzó con el maquinado de las piezas de prueba. Se fabricaron 10 piezas a la medida con acero S235JR. Luego de esto estas piezas se colocaron en el equipo de medición. Las mismas se ajustaron para asegurar un correcto funcionamiento de la máquina. Luego de esto se cargaron las piezas a diferentes valores. Se cargaron 2 piezas a 7 kN, 2 piezas a 7.5 kN, 2 piezas a 6.5 kN y las demás en valores parecidos para obtener los gráficos deseados. La máquina fue programada a que funcionara hasta la falla, con una frecuencia de 25Hz. Al terminar las mediciones se inspeccionaron las muestras, se elaboraron los gráficos y se analizaron los resultados.

Por último, con respecto a la prueba de impacto, se inició calibrando el equipo de medición. Esto se hizo dejando caer el péndulo sin carga y verificando que la aguja llegue hasta el valor de cero en la escala. Luego de esto se posicionó la primera muestra de acero S235 de cepa envejecida. Esta fue maquinada para obtener un hueco en forma de "V" en el centro de una de sus caras laterales. Se posicionó la carga y se dejó caer el péndulo. Al pasar unos instantes se observa la aguja y se lee el número señalado en la escala. Luego, se prosiguió a hacer el mismo procedimiento con la muestra de acero S235 normalizado. Se dejó caer el péndulo nuevamente y se leyó la escala. Al finalizar se compararon los datos, se inspeccionaron las muestras utilizadas y sus zonas de falla, y se analizaron los resultados.

3 Resultados y su Análisis

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para las tres pruebas realizadas y su análisis. Primero, con respecto a la prueba de torsión, en la figura 13 y en la figura 14 se puede observar la zona de falla para cada muestra. La figura 13 muestra la falla del hierro fundido y la figura 14 muestra la falla del acero al carbono.



Figura 13. Magnificación de la falla para muestra de hierro fundido [8]



Figura 14. Magnificación de la falla para muestra de acero al carbono [8].

Como se pueden ver en estas figuras las fallas de las muestras revelan mucha información. La falla del hierro fundido corresponde a una falla en diagonal. Esto sucede debido a que cuando se somete la pieza a un torque, esta tiende a fallar en el plano de mayor tensión debido a que es un material duro y frágil. Por otro lado, el acero de bajo carbono falla de manera perpendicular a la dirección de la barra. Esto se explica ya que al someter la pieza a mayor torque, esta falla en el plano de mayor fuerza cortante en la pieza. El fenómeno sucede debido a la naturaleza del material que es dúctil.

Además, los datos obtenidos de la cantidad de revoluciones hasta la falla corresponden a 166 para el hierro fundido y 6287 para el acero al carbono. Esto al convertirse a grados nos da un valor de 49.8 para el hierro fundido y 1886.1 para el acero al carbono. Esto es de esperarse ya que el hierro fundido corresponde a un material más duro y frágil, de manera que su ángulo de giro es menor. El acero al carbono, por otro lado, es un material relativamente dúctil y maleable, lo cual le permite tener un ángulo de giro mucho mayor.

Con respecto a la prueba de fatiga, en la figura 15 se puede observar el gráfico de estrés en función del número de ciclos.

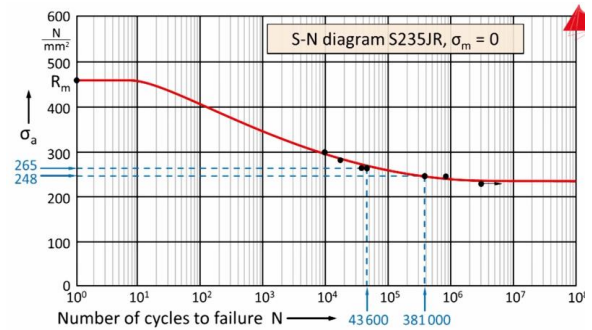


Figura 15. Gráfico de estrés en función del número de ciclos [9].

Por medio de este gráfico se pueden obtener muchos puntos importantes sobre el comportamiento del material probado. Primero que todo, se puede observar que se necesita de un valor de estrés mínimo para lograr la falla. Este valor corresponde a 240 N/(mm²) aproximadamente, y si no se llega a este, la pieza no fallará. Este dato es de suma importancia a la hora de diseñar productos, piezas, etc. Además de esto, se tiene una idea del comportamiento del material cuando el estrés es mayor a este límite. Esto quiere decir que se puede estimar cuándo se producirá la falla, y por ende se puede estimar la durabilidad del producto o pieza.

Y finalmente, los resultados de la prueba de impacto incluyen las siguientes dos mediciones capturadas en las figuras 16 y 17.



Figura 16. Lectura de la escala para muestra de acero de cepa envejecida [10].



Figura 17. Lectura de la escala para muestra de acero normalizado [10].

Para complementar estas mediciones se puede observar en la figura 18 la zona de la falla para cada una de las piezas. La pieza de la derecha corresponde al acero de cepa envejecida y la pieza de la izquierda corresponde al acero normalizado.

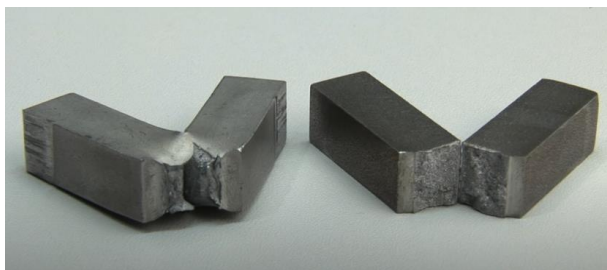


Figura 18. Zonas de falla para ambas muestras [10]

Al analizar las mediciones, y las zonas de fractura, se pueden obtener muchos puntos sobre los materiales probados y su comportamiento. Primero que todo se puede observar que la energía absorbida por el hierro normalizado es de 182 J, lo cual es mucho mayor a la energía absorbida por el hierro de cepa envejecida, que son 13 J. Esto sucede ya que el acero normalizado tiene la capacidad de deformarse más plásticamente que el otro acero. Lo que sucede aquí es que se absorbe energía en la deformación, ya que al provocar una falla el material cede la resistencia y no absorbe más energía. Esto se respalda en la figura 18 en donde se aprecia que la probeta de acero normalizado ni siquiera se separó en 2 partes, dejando una zona de fractura con mucho relieve. Los materiales dúctiles tienden a comportarse de esta manera. Por otro lado, el otro acero presenta una fractura casi limpia sin relieve, lo cual da a entender que el material es duro y frágil. Este análisis de los materiales es esperado ya que el acero normalizado libera los esfuerzos residuales y deja una microestructura relativamente dúctil comparado a acero con otros tratamientos térmicos como el de cepa envejecida.

4 Conclusiones

Los procesos descritos en este informe corresponden a algunas de las opciones más viables e importantes en la índole destructiva. A continuación, se rescatan los puntos más importantes del informe.

Al realizar el ensayo de torsión se observó que la fractura del hierro de fundición se realizó en un plano inclinado y la fractura del acero de 0.4% de Carbón se formó en un plano recto. Además en ángulo de giro del acero al carbono fue muy grande, y el del hierro fundido muy pequeño, por lo que se concluye que el hierro de fundición es un material frágil y el acero es un material dúctil.

En cuanto a la prueba de fatiga, se obtuvo la gráfica de estrés en función del número de ciclos. A partir de esta gráfica se concluye que el estrés mínimo requerido para producir una falla es de 240 N/(mm²) para la muestra de acero estructural S235JR.

En cuanto a la prueba de impacto se observó que el acero tratado normalizado es un material más dúctil, y absorbe más energía en el impacto debido a su deformación plástica. Por otro lado, el acero de cepa envejecida se comprobó que era un material duro y frágil, que no absorbía mucha energía en el impacto.

5 Referencias

- [1] Ruiz, D. H. (2011). Fundamentos y ensayos en materiales metálicos. Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología. Instituto Nacional de Educación Tecnológica.
- [2] Guía Laboratorio Mecánica de Materiales (s.f.). Ensayo de Torsión.
- [3] ASTM International. (2013). E143-13 Standard Test Method for Shear Modulus at Room Temperature. Retrieved from <https://doi-org.ezproxy.itcr.ac.cr/10.1520/E0143-13>
- [4] GeeKee CeeBee. (2015). #1 Engineering: Materials Torsion test [Fotografía]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=u4s8OYbyjc&ab_channel=GeeKeeCeeBee
- [5] ASTM International. (2015). E466-15 Standard Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials. Retrieved from <https://doi-org.ezproxy.itcr.ac.cr/10.1520/E0466-15>
- [6] [Fotografía] (2014). Comportamiento a fatiga de los materiales. Disponible en: <https://materialsbreakthroughs.wordpress.com/2014/11/16/comportamiento-a-fatiga-de-los-materiales/>
- [7] ASTM International. (2018). E23-18 Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials. Disponible <https://doi-org.ezproxy.itcr.ac.cr/10.1520/E0023-18>
- [8] Engineers Academy. (2018). Torsion Test Demonstration: Cast Iron and Carbon Steel [Fotografía]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=qPIug2sewFA&ab_channel=EngineersAcademy
- [9] MaterialsScience2000. (2014). Fatigue Test [Fotografía]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=LhUclxBUV_E&t=3s&ab_channel=MaterialsScience2000
- [10] MaterialsScience2000. (2013). Charpy Impact Test [Fotografía]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=tpGhqQvftAo&ab_channel=MaterialsScience2000