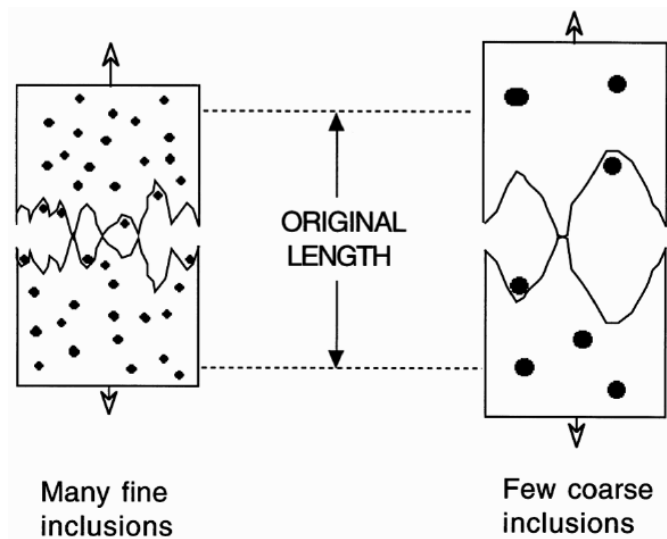


Ductile/Fracture Behavior

S. M. C. van Bohemen and H. K. D. H. Bhadeshia

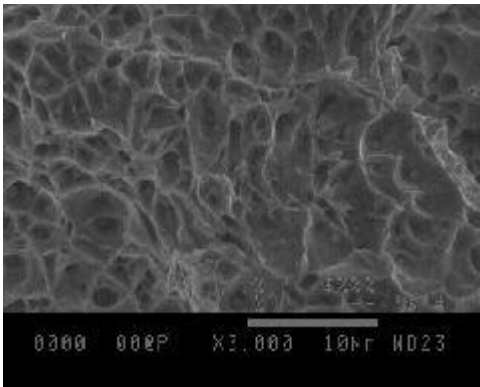
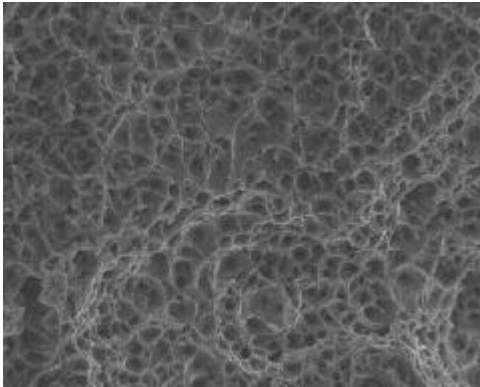
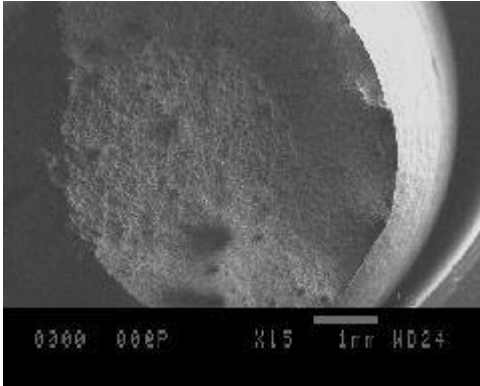
Ductile fracture is preceded by substantial plastic deformation. When a material contains relatively hard inclusions which do not deform at the same rate as the matrix, voids are nucleated to accommodate the incompatibility. The nucleation event may involve, for example, the fracture of the inclusion, or decohesion at the inclusion-matrix interface.

Overall fracture of a macroscopic sample does not occur until voids nucleated from different inclusions have grown sufficiently to link up. This is illustrated in the diagram below, which shows that a large number density of inclusions is associated with a smaller overall elongation. This is because the voids have to grow less before linking occurs.



When a ductile-fracture surface is examined, the appearance is of 'dimples', with each dimple corresponding to a void. It is frequently possible to observe the inclusion responsible for nucleating the void within the depth of the dimple.

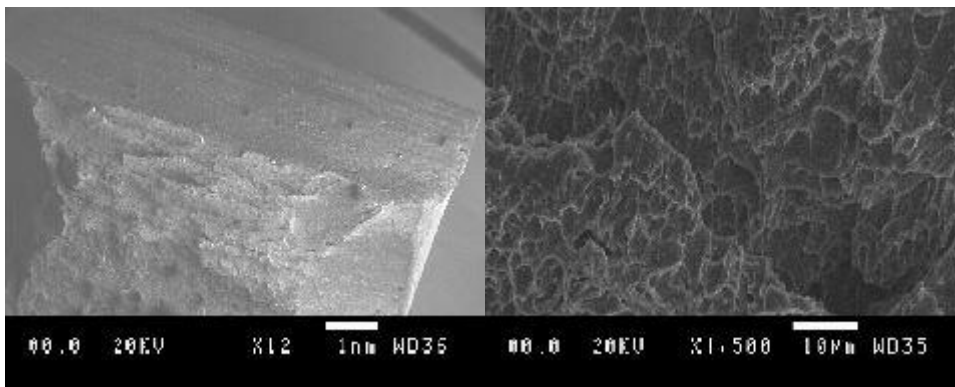
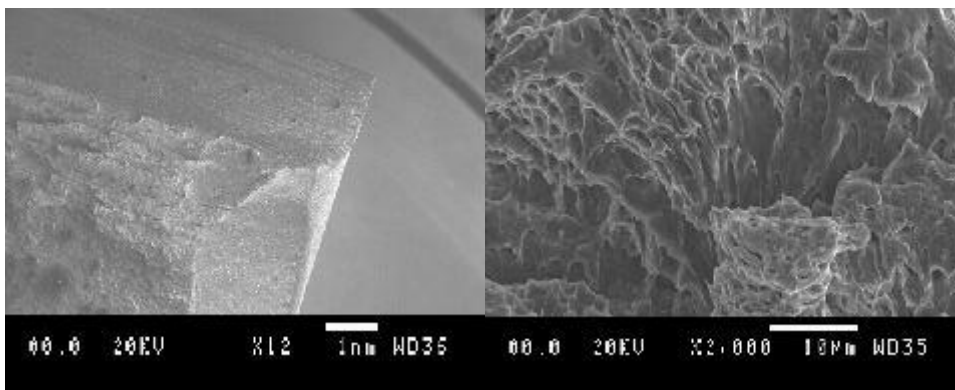
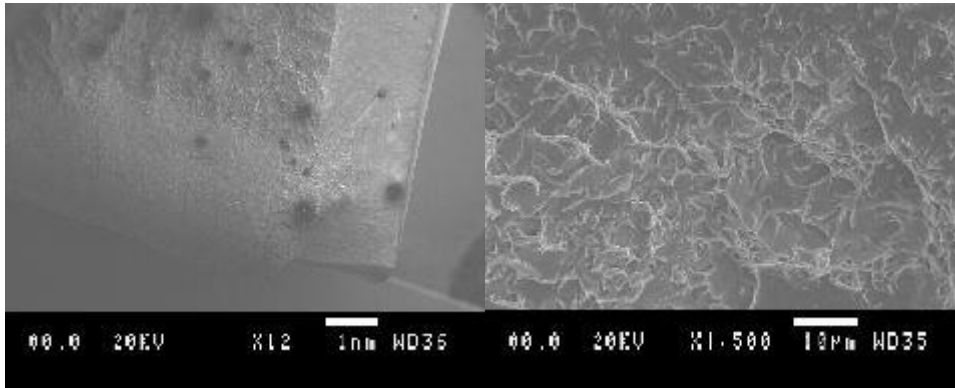
The following fractographs showing ductile fracture of a tensile specimen are from a weld deposit of approximate chemical composition Fe-0.057C-0.36Si-1.3Mn-0.8Ni-0.08O wt%, deposited using the flux-cored arc process.



Fracture surfaces of Charpy impact specimens

The following fractographs are from broken Charpy impact samples. The one designated 'f' broke while absorbing energy of 127 J, whereas that designated 'n' was associated with fracture energy of 28 J.

The samples show a mixed mode of fracture, with some ductile dimples together with cleavage facets and quasi-cleavage.



Fragilización de hidrógeno - Hydrogen embrittlement

Fragilización por hidrógeno es el proceso por el cual los metales que forman hidruros, tales como titanio, vanadio, circonio, tántalo y niobio se vuelven frágiles y fractura debido a la introducción y la posterior difusión de hidrógeno en el metal.

La susceptibilidad al agrietamiento inducido por hidrogeno (fragilización) es a menudo un resultado de la introducción de hidrógeno durante la formación, recubrimiento, revestimiento, la limpieza, y las operaciones de acabado, a menudo referido como “fragilización interior”. El hidrógeno también puede ser introducido a través del tiempo (el llamado “fragilización exterior” a través de la exposición ambiental (suelos y productos químicos, incluida el agua), los procesos de corrosión (especialmente la corrosión galvánica), protección catódica, y/o de hidrógeno generado por la corrosión de un recubrimiento. para ser susceptible, se requiere una combinación de tres factores: la presencia de (y la difusión de) hidrógeno, el material susceptible, y el estrés para materiales susceptibles (tales como tornillos de alta resistencia recubiertos, donde el hidrógeno está presente a menudo después de la fabricación y también pueden ser. añadió largo del tiempo por la protección catódica, las conexiones galvánicas, etc.), el agrietamiento iniciará cuando se ha alcanzado una tensión suficiente, lo que se conoce como la tensión umbral o K_{ISCC} .

El fenómeno de fragilización por hidrógeno fue descrito por primera vez en 1875.



Grietas inducidas por el hidrógeno (HIC)

Durante el agrietamiento asistido por hidrogeno (también conocido como fragilización por hidrógeno), se introduce hidrógeno a la superficie de un metal y los átomos de hidrógeno individuales se difunden a través de la estructura metálica. Debido a que la solubilidad del hidrógeno aumenta a temperaturas más altas, elevando la temperatura puede aumentar la difusión de hidrógeno. Cuando la asistencia de un gradiente de concentración donde no es significativamente más hidrógeno fuera el metal que en el interior, la difusión de hidrógeno puede ocurrir incluso a temperaturas más bajas. Estos átomos de hidrógeno individuales dentro del metal recombinan gradualmente para formar moléculas de hidrógeno, la creación de la presión desde dentro del metal. Esta presión puede aumentar a niveles en los que el metal ha reducido ductilidad, tenacidad y resistencia a la tracción, hasta el donde se rompe abierto (punto de agrietamiento inducido por el hidrógeno, o HIC).

Aunque los átomos de hidrógeno fragilizan una variedad de sustancias, incluyendo acero, aluminio (sólo a altas temperaturas), y de titanio, sin embargo, estos metales son todavía afectados en altas concentraciones, la fragilización por hidrógeno de acero de alta resistencia es de mayor importancia. El hierro austemperizado es también susceptible, aunque el acero austemperizado (y posiblemente otros metales austemperizados) muestran un aumento de la resistencia a la fragilización por hidrógeno. Los aceros con una última resistencia a la tracción de menos de 1000 MPa (~ 145.000 psi) o dureza de menos de 23 HRC en general no se consideran susceptibles a la fragilización por hidrógeno. En ensayos de tracción realizados sobre varios metales estructurales bajo ambiente de hidrógeno molecular a alta presión, se ha demostrado que los aceros inoxidable austeníticos, de aluminio (incluyendo aleaciones), cobre (incluidas las aleaciones, por ejemplo, berilio cobre) no son susceptibles a la fragilización por hidrógeno junto con algunos otros metales. Como un ejemplo severo de fragilización por hidrógeno, el alargamiento a la rotura del acero 17-4PH endurecido por precipitación muestra una pérdida de 17% a sólo el 1,7% cuando las muestras suaves se expusieron a hidrógeno de alta presión.

Sin embargo, la investigación reciente computacional (usando dinámica molecular Parrinello y Rahman) ha demostrado que en vez de conducir a una disminución de la ductilidad, no hay mejora local de la ductilidad en áreas que son de hidrógeno saturado. Este aumento de la ductilidad conduce a áreas en las que hay una reducción en la tensión de tracción crítica. Esto, a su vez, permite la falta de ocurrir a tensiones por debajo de lo esperado.

El agrietamiento inducido por hidrógeno puede ocurrir durante diversas operaciones de fabricación o el uso operacional - en cualquier lugar que el metal entra en contacto con hidrógeno atómico o molecular. Procesos que pueden conducir a esto incluyen la protección catódica, fosfatado, decapado y galvanoplastia. Un caso especial es la soldadura por arco, en el que se libera el hidrógeno a partir de la humedad, como en el recubrimiento de los electrodos de soldadura. Para minimizar esto, electrodos especiales bajo hidrógeno se utilizan para la soldadura de aceros de alta resistencia. Otros mecanismos de introducción de hidrógeno en el metal son la corrosión galvánica, así como las reacciones químicas con los ácidos u otros productos químicos. Una de estas reacciones químicas implica al sulfuro de hidrógeno (SSC, sulfide stress corrosion), un problema significativo para las industrias de petróleo y gas.

Como la resistencia de los aceros ha aumentado con los avances en los procesos siderúrgicos, la susceptibilidad también se ha visto modificada. En aceros de alta resistencia, durezas mayores a 32 HRC, pueden ser susceptibles de agrietamiento por hidrógeno, justo después de los procesos que introducen hidrógeno en el acero. También pueden experimentar fallos a largo plazo en cualquier momento, desde semanas hasta décadas después de haber sido puesto en servicio debido a la acumulación de hidrógeno generado por los diversos mecanismos que pueden presentarse. Numerosos fracasos han

sido reportados en la gama de dureza de 32-36 HRC y aun a durezas mayores. Por lo tanto, las partes en este rango deben comprobarse durante el control de calidad para asegurar que no son susceptibles.



La Gran Inundación de “La melaza”, también conocido como el desastre de la melaza de Boston o la Gran inundación de Melaza de Boston, se produjo el 15 de enero de 1919 en el barrio North End de Boston, Massachusetts. Un gran tanque de almacenamiento de Melaza se fracturo y una gran ola de melaza corrió por las calles a una velocidad estimada de 35 mph (56 km/h), matando a 21 e hiriendo a 150 personas. El evento entró en el festival de folklore local y durante décadas los residentes afirmaron que en los días calurosos de verano, el área todavía olía a melaza.

HUGE MOLASSES TANK EXPLODES IN NORTH END; 11 DEAD, 50 HURT

Giant Wave of 2,300,000 Gallons of Molasses, 50 Feet High, Sweeps Everything Before It—100 Men, Women and Children Caught in Sticky Stream—Buildings, Vehicles and L Structure Crushed

35 STATES ON DRY LAW LIST

Amendment Ratified by Five Yesterday—One More Needed—Predict Nation Dry July 1

SECRETY IN PEACE CONGRESS

France, Italy and Japan Outvote U. S. and Britain



NORTH END PARK PLAYGROUND

BOY'S STORY AID TO MRS. LEBAUDY

Messenger Left Mansion Before the Shooting—Life in Danger

Search for More Victims During the Night

No Escape From Gigantic Wave of Fluid

INTERNAL EXPLOSION WAS CAUSE, BAY STATE CHEMIST

It became known last night that W. L. Wagner, state chemist, had concluded the preliminary investigation of the explosion...

BOSTON TAVERN advertisement with logo and text.

Blackstone Savings Bank advertisement with logo and text.

Dine at Healy's advertisement with logo and text.

Henry F. Miller advertisement with logo and text.

Country Home advertisement with logo and text.

Quincy Machine advertisement with logo and text.

Cambridge Savings Bank advertisement with logo and text.

Dreyfus Special Announcement advertisement with logo and text.

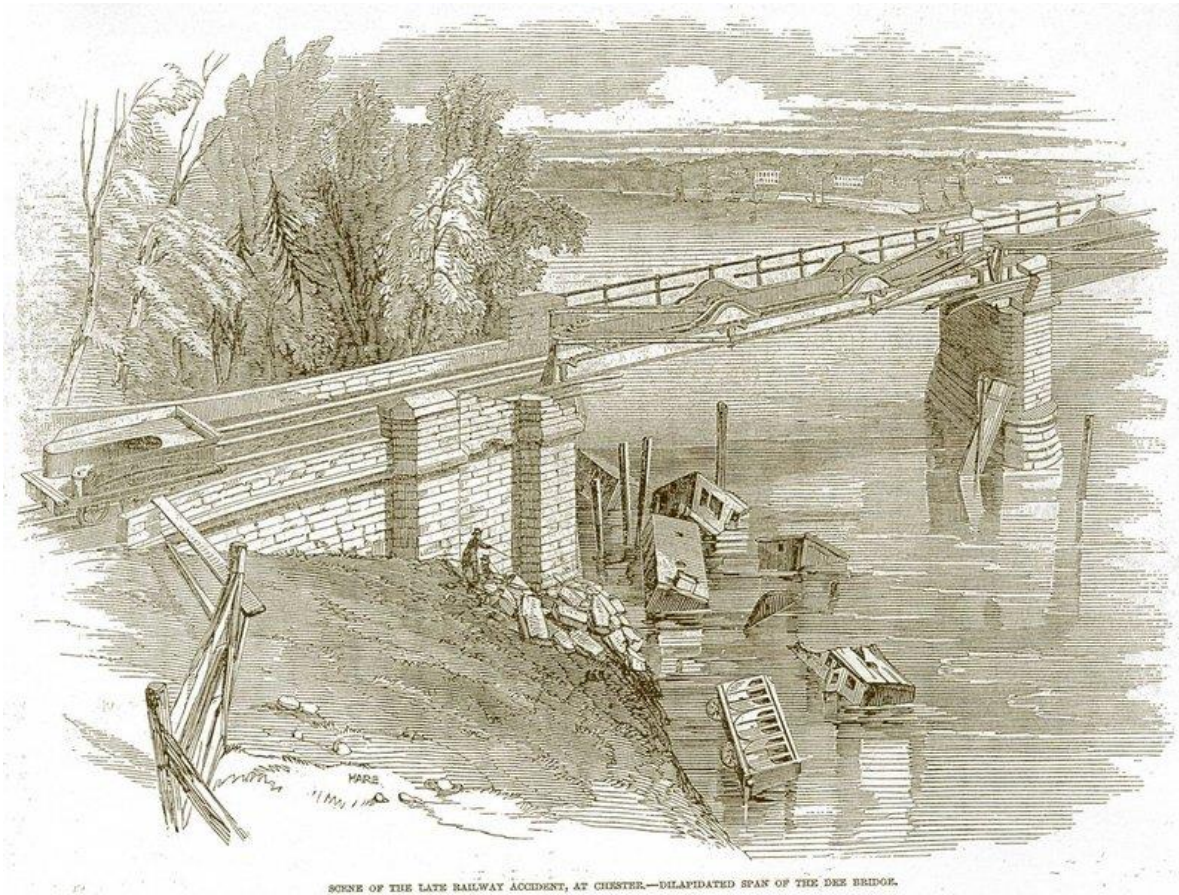
Ford Owners advertisement with logo and text.

Clark's advertisement with logo and text.

High Time Today advertisement with logo and text.

Clark's advertisement with logo and text.





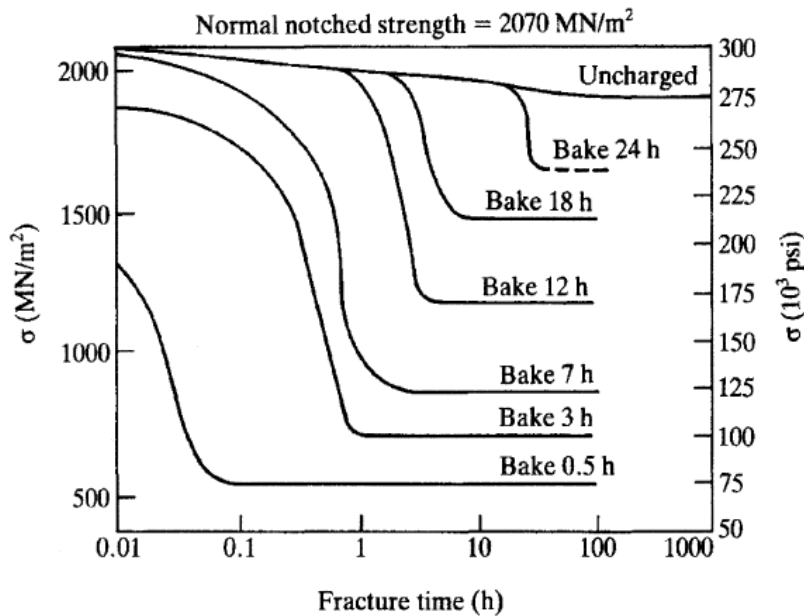
Hay muchos ejemplos de métodos forenses para la investigación de accidentes y desastres. Uno de los primeros en la época moderna fue la caída del puente de Dee en Chester, Inglaterra. El puente fue construido con vigas de hierro fundido, cada una de las cuales estaba hecha de tres muy grandes piezas de fundición unidos por cola de milano. Cada viga fue reforzada por barras de hierro forjado a lo largo de su longitud. El puente fue terminado en septiembre de 1846 y se abrió al tráfico local después de la aprobación por el primer inspector de tren, el general Charles Pasley. Sin embargo, el 24 de mayo de 1847, un tren local a Ruabon cayó a través del puente. El accidente dio lugar a cinco muertes (tres pasajeros, el guardia de tren y el conductor de la locomotora) y nueve heridos graves. El puente había sido diseñado por Robert Stephenson, y fue acusado de negligencia por parte de un local de investigación.

La fragilización por hidrógeno se puede evitar a través de varios métodos, todos los cuales se centran en minimizar el contacto entre el metal y el hidrógeno, en particular durante la fabricación y la electrólisis del agua. Los procedimientos que pueden inducir la formación de hidrogeno tales como decapado con ácido deben ser evitados, debe restringirse el mayor

contacto con elementos tales como azufre y fosfato. El uso de soluciones y procedimientos de electrodeposición adecuada también puede ayudar a prevenir la fragilización por hidrógeno.

Si el metal no ha comenzado todavía a agrietarse, 'fragilización por hidrógeno' puede invertirse mediante la eliminación de la fuente de hidrógeno y haciendo que el hidrógeno dentro del metal se difunda fuera a través de tratamiento térmico. Este proceso de fragilización, conocido como "horneado", se utiliza para superar las deficiencias de los métodos tales como electrodeposición que introducen hidrógeno al metal, pero no siempre es totalmente eficaz porque deben alcanzarse un tiempo y temperatura suficientes. Las pruebas como ASTM F1624 se pueden utilizar para identificar rápidamente el tiempo mínimo de cocción (por la prueba utilizando el diseño de experimentos, un número relativamente bajo de muestras se puede utilizar para determinar este valor). A continuación, la misma prueba se puede utilizar como un control de calidad para evaluar si era suficiente para hornear en una base por lote.

Los aceros se fragilizan con hidrógeno a través de la carga catódica. El tratamiento térmico (horneado) para reducir el contenido de hidrógeno una vez saturado por cargado catódico del acero. Tiempos de tratamiento más bajos resultan en tiempos de fractura más rápidos debido a un mayor contenido de hidrógeno.



En el caso de la soldadura, a menudo pre-calentamiento y post-calentamiento del metal se aplica para permitir que el hidrógeno se difunda hacia fuera antes de que pueda causar algún daño. Esto se realiza específicamente con aceros de alta resistencia y aceros de baja aleación, tales como las aleaciones de Cr/Mo/V. Debido al tiempo necesario para volver a combinar átomos de hidrógeno en las moléculas de hidrógeno, el agrietamiento por hidrógeno de la soldadura se puede producir más de 24 horas después de que se complete la operación de soldadura.

Otra forma de evitar este problema es a través de la selección de materiales. Esto creará una resistencia inherente a este proceso y reduce la necesidad de procesamiento posterior o un control constante para prevenir la falla. Ciertos metales o aleaciones son altamente susceptibles a este problema por lo que elegir un material que se ve afectado mínimamente al tiempo que conserva las propiedades deseadas también proporcionaría una solución óptima. Muchas investigaciones se han hecho para catalogar la compatibilidad de ciertos metales con hidrógeno. Las pruebas como ASTM F1624 también se pueden utilizar para clasificar las aleaciones y recubrimientos durante la selección de materiales para asegurar (por ejemplo) que el umbral de formación de grietas está por debajo del umbral del agrietamiento asistido por hidrogeno o por corrosión bajo esfuerzo. Pruebas similares se pueden utilizar durante el control de calidad para calificar más eficazmente materiales que están siendo producidos de una manera rápida y comparable.

Si el acero se expone a hidrógeno a altas temperaturas, el hidrógeno se difundirá en la aleación y combinar con carbono para formar pequeños bolsillos de metano en las superficies internas como los límites de grano y huecos. Este metano no se difunde fuera del metal, y se acumula en los huecos a alta presión e inicia las grietas en el acero. Esta lixiviación selectiva proceso se conoce como ataque por hidrógeno, o el ataque por hidrógeno a alta temperatura, y conduce a la descarburación del acero y la pérdida de resistencia y ductilidad.

Las aleaciones de cobre que contienen oxígeno se pueden fragilizan si se expone a hidrógeno caliente. El hidrógeno se difunde a través del cobre y reacciona con inclusiones de Cu_2O , formando H_2O , que entonces forma burbujas a presión en los bordes de grano. Este proceso puede hacer que los granos literalmente se separen uno del otro, y se conoce como la fragilización de vapor (porque el vapor se produce, no porque la exposición al vapor de agua causa el problema).

Un gran número de aleaciones de vanadio, níquel y titanio pueden absorber cantidades significativas de hidrógeno. Esto puede conducir a la expansión de volumen suficientemente grande y generar daños a la estructura cristalina que conduce a las aleaciones a la fragilización. Este es un problema particular cuando se busca de aleaciones libres de paladio para uso en membranas de separación de hidrógeno.

Pruebas

La mayoría de métodos analíticos para 'fragilización por hidrógeno' o, más exactamente el agrietamiento asistido por hidrógeno implican la evaluación de los efectos de (1) hidrógeno interno de la producción y/o (2) fuentes externas de hidrógeno tales como la protección catódica. Para aceros, es importante probar las muestras en el laboratorio que son al menos tan duro (o más difícil) que las partes finales. Idealmente, las muestras deben ser hechas del material final o el representante más cercano posible, ya que la fabricación puede tener un profundo impacto sobre la resistencia al agrietamiento asistido por hidrógeno.

Hay numerosos estándares ASTM para las pruebas 'fragilización' (agrietamiento asistido por hidrógeno) debido a hidrógeno: B577, B839, F519, F1459, F1624, F1940 y, G142.

ASTM B577 se centra en la fragilización por hidrógeno de aleaciones de cobre, incluyendo una evaluación metalográfico (método A), la prueba en una cámara de hidrógeno cargado seguido por metalografía (método B), y el método C es el mismo que B pero incluye una prueba de flexión.

ASTM B839 es la 'prueba de cuña'

ASTM F519 es el método para evaluar 'fragilización por hidrógeno', aunque este término es un nombre inapropiado en los aceros. Hay 7 diseños diferentes de las probetas y las dos pruebas más comunes son: (1) la prueba rápida, modificación de carga de prueba (RSL) por F1624 ASTM y (2) la prueba de carga sostenida, que toma 200 horas. La prueba de carga sostenida todavía se incluye en muchas normas heredadas, pero el método RSL cada vez está siendo adoptado debido a la velocidad, repetitividad y la naturaleza cuantitativa de la prueba. El método RSL proporciona una clasificación precisa de los efectos de hidrógeno a partir de fuentes internas y externas.

ASTM F1449 es el Método de prueba estándar para la determinación de la susceptibilidad de los materiales metálicos a la fragilización por hidrógeno gaseoso (HGE), utiliza un diafragma cargado con una presión diferencial.

ASTM G142 es el Método de prueba estándar para la determinación de la susceptibilidad de los metales a la fragilización en que contiene hidrógeno entornos a alta presión, alta temperatura, o ambos usos, se emplea un espécimen de tracción cilíndrico probados en un recinto a presión con hidrógeno o helio.

ASTM F1624 es la carga incremental de la etapa (ISL) o el aumento de carga de la etapa (RSL) método para probar cuantitativamente para la tensión umbral de fragilización por hidrógeno para el inicio del agrietamiento por hidrógeno debido a los recubrimientos y revestimientos de fragilización interna de hidrógeno (IHE) e hidrógeno Ambiental fragilización (EHE) - Método de prueba estándar para la medición de (F1624-06), el hidrógeno Umbral para fragilización de acero por el método de incremento de carga. La norma F1624 proporciona una medida rápida, cuantitativa de los efectos de hidrógeno, tanto desde fuentes internas y fuentes externas (que se logra mediante la aplicación de un voltaje seleccionado en una celda electroquímica). La prueba de F1624 se lleva a cabo mediante la comparación de una resistencia a la tracción estándar a la fractura rápida a la resistencia a la fractura de una prueba de carga paso ascendente, donde se lleva a cabo la carga de hora (s) en cada paso. En muchos casos se puede realizar en 30 horas o menos.

ASTM F1940 es el Método de prueba estándar para el Control de Verificación de procesamiento para evitar la fragilización por hidrógeno en sujetadores revestidos o recubiertos. Mientras que el título ahora incluye explícitamente la palabra sujetadores, F1940 no fue pensado originalmente para estos fines. F1940 se basa en el método F1624 y es similar a F519 pero con diferentes factores de radio de la raíz y de concentración de esfuerzos. Cuando las muestras presentan un umbral de agrietamiento de 75% de la resistencia neta de la fractura, el baño de recubrimiento se considera que es 'nonembrittling'.

La norma ASTM STP 962, "Fragilización por hidrógeno: Prevención y Control." La prueba de incremento de carga ofrece una medida cuantitativa de los efectos de hidrógeno en un tiempo reducido mucho en comparación con los métodos mucho más largos y se ha demostrado en varias ocasiones para proporcionar resultados coincidentes.

Hay muchos otros estándares relacionados para el agrietamiento inducido por hidrógeno o asistido por hidrógeno (también conocido como fragilización por hidrógeno):

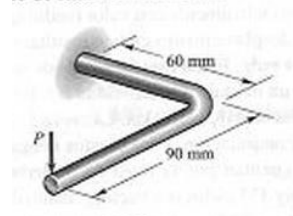
NACE TM0284-2003 (NACE International) Resistencia al agrietamiento inducido por el hidrógeno

2005 (: ISO 11114-4 ISO Métodos de ensayo) para la selección de los materiales metálicos resistentes a la fragilización por hidrógeno.

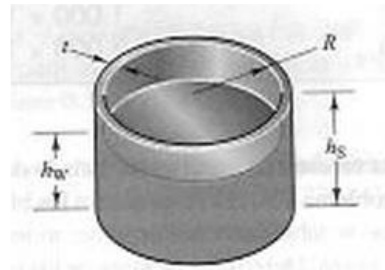
Método de prueba estándar para la evaluación mecánica de fragilización por hidrógeno de Procesos Revestimiento / Revestimiento y entornos de servicio.

El modelado fiable de la fragilización por hidrógeno se ve obstaculizada por su complejidad y las incertidumbres que rodean a la comprensión de los mecanismos físicos subyacentes. Numerosos mecanismos de hidrógeno de interacción se han postulado, que abarca una amplia gama de escalas. Como se ha argumentado por varios investigadores, el escenario más plausible es que varios mecanismos están actuando en conjunto, con uno que domina a otros dentro de los regímenes específicos. Las capacidades predictivas de los modelos de la fragilización por hidrógeno han mejorado significativamente a través de los años, con los modelos actuales existe la capacidad de reproducir datos de prueba de laboratorio con unos parámetros de ajuste. La mayoría de estos modelos se basan en el mecanismo de descohesión de hidrógeno-mejorada, el mecanismo de plasticidad localizada por hidrógeno o una combinación de ambos.

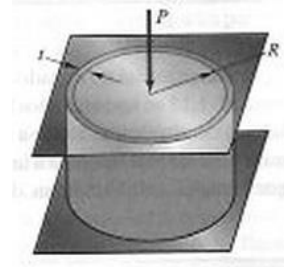
1. Un cilindro cerrado de pared delgada va a presurizarse internamente a 600Psi. También se somete a un par que da como resultado un esfuerzo de torsión igual a 0.0335 veces la presión interna. El radio medio y el espesor del cilindro tienen 2 y 0.1 pulgadas respectivamente. El material que se está considerando para diseño tiene un esfuerzo último (en tensión y compresión) $\sigma_{uts} = 80ksi$. ¿Este será suficiente? Explique su respuesta.
2. Una varilla que tiene una sección transversal circular sólida está sometida a un momento flector M y a un par T. obtenga una expresión para el radio de la varilla, de acuerdo con el criterio de Tresca, si el esfuerzo de fluencia del material es σ_Y y se requiere un factor de seguridad de 2.5.
3. Una barra en forma de L tiene una sección transversal circular sólida de 5mm de radio. El esfuerzo de fluencia del material es $\sigma_Y = 300MPa$ y sigue el criterio de falla de von Mises. Si se quiere un factor de seguridad de 2, determine el valor máximo de la carga vertical P que puede aplicarse.



4. El tanque cilíndrico abierto tiene una altura $h_s=25$ pies, un radio interno $R= 20$ pies y un espesor de pared $t= 3$ pulgadas. Está fabricado de acero que tiene una densidad de 490 lb/pie^3 , un esfuerzo de cedencia $s_y=110$ ksi y sigue el criterio de fluencia de Von Mises. Con base en el estado de esfuerzos en la pared cilíndrica debido a la presión y al peso del tanque. Determine el factor de seguridad cuando el tanque se llena de agua (densidad 62.4lb/pie^3) hasta una profundidad $h_w=20$ pies.



5. La pared delgada que se muestra en la imagen, está sometida a una carga axial a compresión P y a una presión interna p. Tiene un radio interno R y un espesor t. Esta fabricada de un amaterial cuyo esfuerzo de fluencia es σ_y . Para una carga axial fija P, determine la presión admisible p de tal manera que el factor de seguridad de von Mises no sea menor a 2.



6. Se efectuó una serie de pruebas de fatiga en un material. Las pruebas se hicieron a un nivel de esfuerzo medio igual a cero y dieron como resultado los datos de la tabla siguiente. Si el límite de Resistencia σ_{fat} fue 15 ksi, encuentre una expresión empírica de la forma de la ecuación: $\sigma_y = \sigma_{fat} + \frac{b}{N^c}$ que concuerde con los datos. ¿Cuántos ciclos podrían aplicarse al material a una amplitud de esfuerzo de 35 ksi?

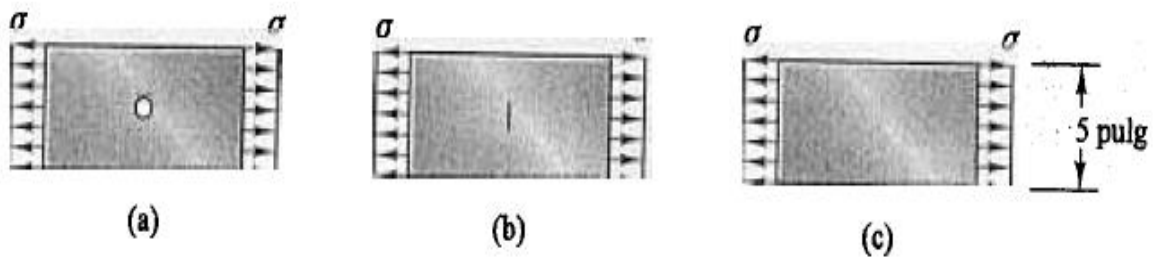
Amplitud de esfuerzo (ksi)	Ciclos para falla
52.7	1.000×10^3
38.8	1.000×10^4
30.0	1.000×10^5
24.5	1.000×10^6
21.0	1.000×10^7

7. Una muestra de material no dañado de la clase descrita en el problema 13 se sometió a los bloques de carga cíclica que se tabulan a continuación, todos

Amplitud de esfuerzo (ksi)	Ciclos aplicados
42	7.938×10^2
28	5.318×10^4
25	8.353×10^4
22	1.536×10^6

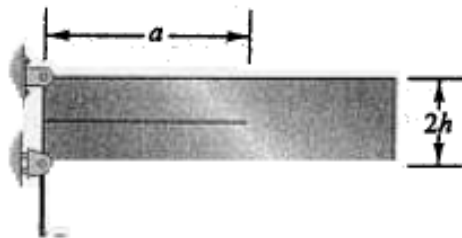
en esfuerzo medio igual a cero. Determine cuántos ciclos más de esfuerzo medio igual a cero pueden aplicarse al material a una amplitud de esfuerzo de 35 ksi.

8. Tres hojas delgadas que tienen las mismas dimensiones (5 pulg de ancho, 0.1 pulg de espesor) están sometidas a esfuerzo de tensión. La hoja (a) tiene un orificio central de 0.5 pulg de diámetro; la hoja (b) tiene una fisura central de 0.5 pulg, y la hoja (c) no tiene defectos.", Están fabricadas de un material (acero templado 300-M, 300°C) que tiene un esfuerzo de fluencia de 252 ksi y una tenacidad a la fractura de 59 ksi-pulg^{1/2}, respectivamente. Compare las cargas de falla en los tres casos.



9. Compare las cargas de falla de las tres placas descritas en el problema anterior si están fabricadas de aluminio 2024- T351, que tiene un esfuerzo de fluencia y tenacidad a la fractura de 47 ksi y 31 ksi-pulg^{1/2} respectivamente.

10. En la prueba de tenacidad a la fractura que se muestra, una viga con una fisura de Longitud a = 5 pulg (llamada viga en doble voladizo) está sometida a la carga P .



11. La altura $2h$ = 1 pulg y el espesor (la dimensión en la página) es b = 0.5 pulg. El factor de intensidad de esfuerzo para esta configuración es:

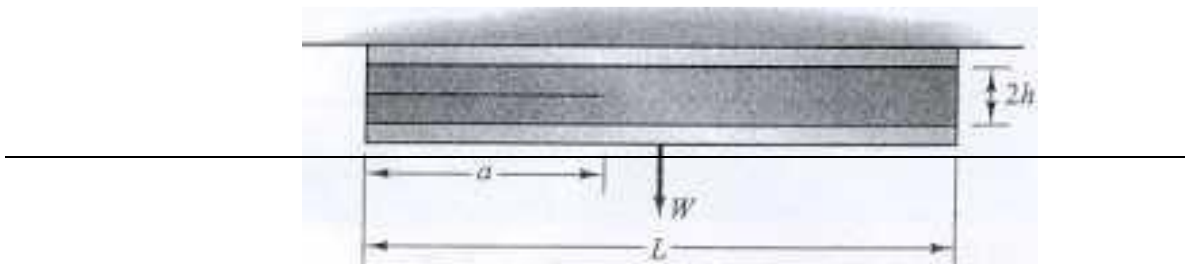
$$K = \frac{2\sqrt{3} Pa}{bh^{3/2}}$$

Si se inicia crecimiento rápido de fisura cuando p = 460 lb, ¿cuál es la tenacidad a la fractura del material?

12. Una tira del material probado en el problema anterior se sujeta a barras rígidas en sus bordes superior e inferior y tiene una fisura de borde de longitud a . La longitud L = 5 pulg, la altura $2h$ = 1 pulg, y el espesor b = 0.2 pulg. Un peso W = 50,000 lb se suspende de la barra inferior. El factor de intensidad de esfuerzo de esta configuración es:

$$K = \frac{W}{bL} (1 - e^{-5a/2h}) \sqrt{h(1 - \nu^2)},$$

donde $\nu = 0.3$ es la relación de Poisson correspondiente al aluminio. Determine la longitud crítica de fisura para el crecimiento rápido de fisura.



13. En la figura que sigue la cuchilla en forma de cuña de hacha está entrando en un trozo de madera de espesor $2h = 1$ pulg. La cuchilla imparte un desplazamiento $A = 0.25$ pulg cuando la longitud de la fisura $a = 6$ pulg. El factor de intensidad de esfuerzo para esta situación es:

$$K = \frac{\sqrt{3} E \Delta h^{3/2}}{4a^2}$$

donde $E = 20 \times 10^6$ psi es el módulo elástico de la madera. Determine cuánto más crecerá la fisura bajo este desplazamiento si la tenacidad a la fractura de la madera es $8 \text{ ksi-pulg}^{1/2}$.

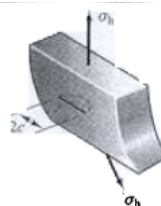


(Observe que la intensidad del esfuerzo disminuye al aumentar la longitud de la fisura, lo cual explica por qué razón podrían necesitarse nuevas inserciones de la cuchilla para partir completamente la madera).

14. La pared de un recipiente de presión cilíndrico tiene un defecto superficial elíptico que tiene $2c$ de ancho y que puede crecer a través de la pared para producir filtración. Alternativamente, puede convertirse en una fisura rápida antes de llegar a la otra superficie de la pared, caso en el cual crecerá axialmente de manera explosiva y destruirá el recipiente ocasionando otras consecuencias graves. Por tanto, es preferible que el recipiente presente filtración en vez de romperse. Para el diseño correspondiente, verificamos si la longitud crítica de semifisura C_0 bajo la acción del esfuerzo tangencial es mayor que el espesor de la pared:

$$c_0 > \frac{1}{\pi} \left(\frac{K_c}{\sigma_h} \right)$$

22. Deduzca esta expresión. El material que se está considerando para un recipiente que tiene 2 m de diámetro interno y 15 mm de espesor de pared tiene una tenacidad a la fractura de $200 \text{ MPa-m}^{1/2}$.



Determine si el recipiente satisface esta filosofía de diseño de "filtrar y no romperse" si éste va a someterse a una presión interna de 5 MPa.

1. Dislocations must have a Burgers vector that connects one crystal lattice site to another. There are therefore many possible magnitudes and directions for \mathbf{b} . However, we observe (by experiment) that \mathbf{b} always corresponds in direction to a close packed row of atoms and in magnitude to the distance between lattice sites (atoms) along such a close packed row.

a.- Draw the atomic arrangements near an edge dislocation in a simple cubic crystal if that dislocation has a \mathbf{b} that is twice as long as the shortest \mathbf{b} .

b.- By considering the energy per unit length of a dislocation with a longer Burgers vector, rationalize why only the shortest possible Burgers vectors are observed in practice.

c.- What will be the Miller indices of dislocation Burgers vector directions in a body centered cubic crystal of Nb?

d.- What will be the magnitude of \mathbf{b} in Nb? (Hint: You may want to use the Periodic Table web site as a reference for this question.)

2. Copper has a face centered cubic crystal structure and dislocations in Cu have Burgers vectors with magnitudes of 0.255 nm. The slip plane in Cu is a (111) plane. A dislocation loop with a radius of 5000 nm lies in this plane with its Burgers vector in the (111) plane. If no other forces act on the dislocation other than the forces due to the applied shear stress τ (acting on the (111) plane in the direction of the Burgers vector, determine the magnitude of τ ? (Hint: You may also want to use the Periodic Table web site for this problem.)

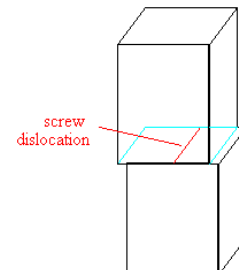
3. An aluminum polycrystalline contains hard aluminum oxide particles 5 nm in diameter with an average center-to-center spacing of 80 nm. (Hint: You may also want to use the Periodic Table web site for this problem.)

a. Estimate the force per unit length on a dislocation in the fcc aluminum necessary to push it ("extrude it") through the array of particles.

b. Estimate the increase in the tensile yield stress due to these particles.

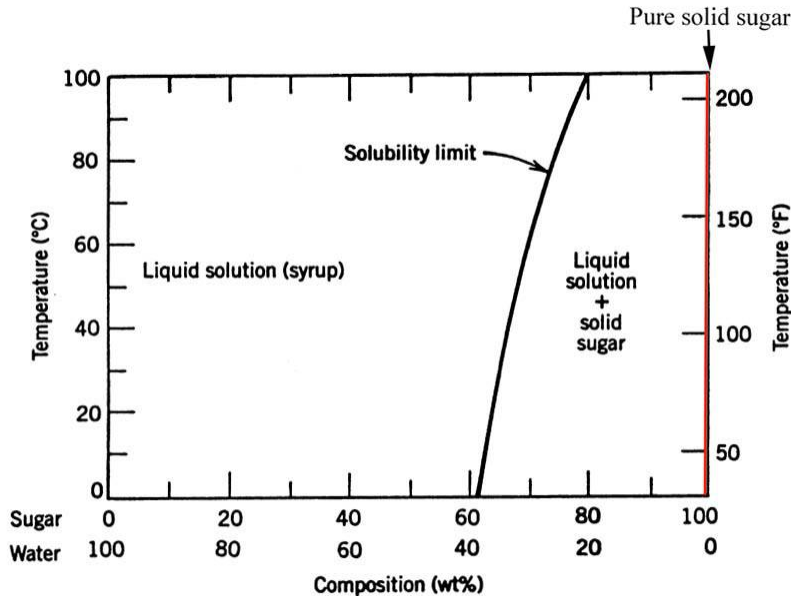
c. An annealing treatment at high temperatures causes the particles to grow in size and decrease in number until they are 20 nm in diameter and are spaced 200 nm apart. Estimate the increase or decrease in the tensile yield stress caused by this annealing treatment.

4. A step $100\mathbf{b}$ high is observed on one surface of square cross-section zinc crystal after it has been plastically deformed in shear. Your friend claims that the step was caused by the motion of screw dislocations that have



moved in a direction perpendicular to the surface (see schematic drawing at right). Defend or refute your friend's claim.

5. The water-sugar (sucrose) phase diagram is shown below.



a.- What phase or phases exist at the following temperatures and overall compositions? If more than one phase exists, give the compositions of all the phases.

i. 40 °C and 40 wt% sugar

ii. 20 °C and 70 wt% sugar

iii. 90 °C and 70 wt% sugar

iv. 90 °C and 100wt% sugar

b.- For a sugar refinery, you are asked to specify a starting composition and temperature of one phase syrup that can be further processed by a thermal treatment to yield the maximum quantity of solid sugar. What composition and starting temperature would you specify?

c.- Specify a final temperature of the thermal treatment.

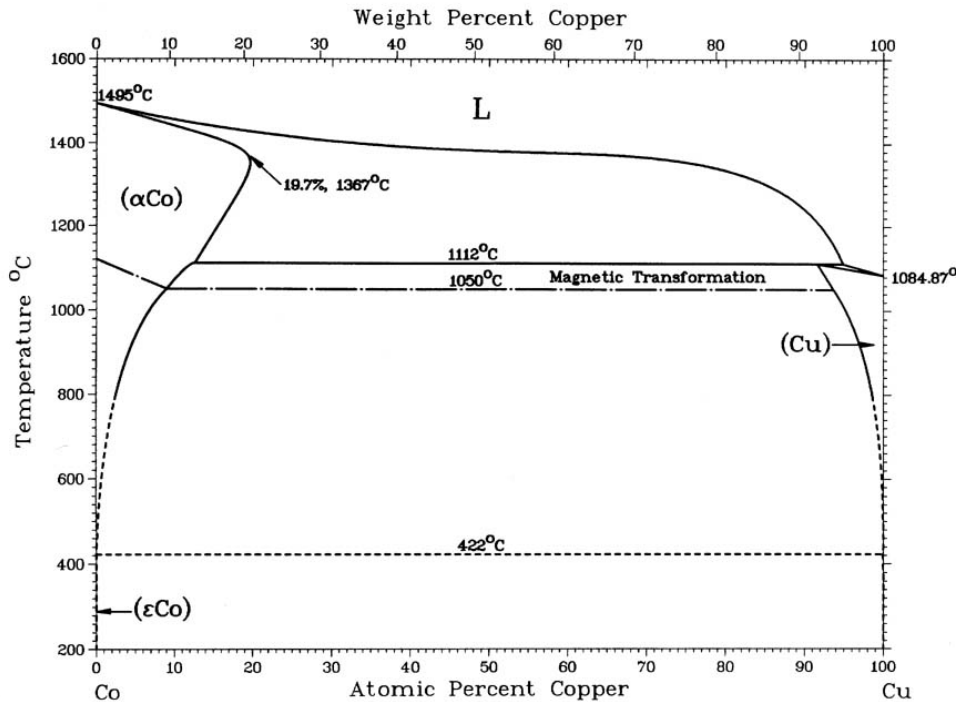
d.- Starting with 100 kg of syrup, how many kg of solid sugar will your thermal treatment yield?

e.- Will there be liquid syrup that remains after the treatment? If so, give its composition.

6. The phase diagram below is the copper-cobalt phase diagram.



Co-Cu Phase Diagram



The crystal structure of pure cobalt is fcc above 422 °C and hexagonal close packed below 422 °C. (Ignore the dashed dot line labeled "Magnetic Transformation" - this corresponds to when the α -cobalt phase becomes ferromagnetic). The α -cobalt solid solution has the fcc crystal structure while the (Cu) solid solution also has an fcc crystal structure (but with a different lattice parameter).

a.- There are three unlabeled regions of two phase coexistence on the Co-Cu phase diagram. Identify these regions on the phase diagram and specify what two phases coexist in each.

b.- On a two-component phase diagram, there can be a single temperature at which three phases coexist. If there is such a temperature on the Co-Cu phase diagram, identify it and tell the three phases that coexist and their compositions.

c.- For the following temperatures and overall compositions, identify the phase (or phases) that will be present at equilibrium. If more than one phase coexists, give the weight of each phase present in a 100 g sample as well as the compositions of each phase.

- i. T = 1300 °C and 15 wt% Cu
- ii. T = 400 °C and 15 wt% Cu
- iii. T = 900 °C and 90 wt% Cu
- iv. T = 1114 °C and 50 wt% Cu
- v. T = 1110 °C and 50 wt% Cu

d. What is the maximum amount of Cu that can be dissolved in the α -cobalt phase? What temperature is needed to dissolve that much?

7. A $0^\circ/45^\circ/90^\circ$ three-arm strain gage rosette bonded to a steel specimen gives readings $\epsilon_0 = 175\mu$, $\epsilon_{45} = 150\mu$, and $\epsilon_{90} = -120\mu$. Determine the principal stresses and the orientation of the principal planes at the gage location.

8. Repeat the previous problem, but with gage readings $\epsilon_0 = 150\mu$, $\epsilon_{45} = 200\mu$, and $\epsilon_{90} = 125\mu$.

9. A torsion bar 1.5 m in length and 30 mm in diameter is clamped at one end, and the free end is twisted through an angle of 10° . Find the maximum torsional shear stress induced in the bar.

10. The torsion bar of Prob. 1 fails when the applied torque is 1500 N-m. What is the modulus of rupture in torsion? Is this the same as the material's maximum shear stress?

11. A solid steel drive shaft is to be capable of transmitting 50 hp at 500 rpm. What should its diameter be if the maximum torsional shear stress is to be kept less than half the tensile yield strength?

12. How much power could the shaft of previous Problem transmit (at the same maximum torsional shear stress) if the same quantity of material were used in an annular rather than a solid shaft? Take the inside diameter to be half the outside diameter.

13. Two shafts, each 1 ft long and 1 in diameter, are connected by a 2:1 gearing, and the free end is loaded with a 100 ft-lb torque. Find the angle of twist at the loaded end.

14. A shaft of length L , diameter d , and shear modulus G is loaded with a uniformly distributed twisting moment of T_0 (N-m/m). (The twisting moment $T(x)$ at a distance x from the free end is therefore T_0x .) Find the angle of twist at the free end.

15. A composite shaft 3 ft in length is constructed by assembling an aluminum rod, 2 in diameter, over which is bonded an annular steel cylinder of 0.5 in wall thickness. Determine the maximum torsional shear stress when the composite cylinder is subjected to a torque of 10,000 in-lb.

16. Sketch the shape of a membrane inflated through a round section containing an entrant keyway shape.

17. A closed-end cylindrical pressure vessel constructed of carbon steel has a wall thickness of 0.075", a diameter of 6", and a length of 300". What are the hoop and axial stresses σ_θ , σ_z when the cylinder carries an internal pressure of 1500 psi? What is the radial displacement δr ?

18. What will be the safe pressure of the cylinder in the previous problem, using a factor of safety of two?

19. A compound pressure vessel with dimensions as shown is constructed of an aluminum inner layer and a carbon-overwrapped outer layer. Determine the circumferential stresses (σ_θ) in the two layers when the internal pressure is 15 MPa. The modulus of the graphite layer in the circumferential direction is 15.5 GPa.

20. A copper cylinder is fitted snugly inside a steel one as shown. What is the contact pressure generated between the two cylinders if the temperature is increased by 10°C? What if the copper cylinder is on the outside?

21. Three cylinders are fitted together to make a compound pressure vessel. The inner cylinder is of carbon steel with a thickness of 2 mm, the central cylinder is of copper alloy with a thickness of 4 mm, and the outer cylinder is of aluminum with a thickness of 2 mm. The inside radius of the inner cylinder is 300 mm, and the internal pressure is 1.4 MPa. Determine the radial displacement and circumferential stress in the inner cylinder.

22. A pressure vessel is constructed with an open-ended steel cylinder of diameter 6", length 8", and wall thickness 0.375". The ends are sealed with rigid end plates held by four 1/4" diameter bolts. The bolts have 18 threads per inch, and the retaining nuts have been tightened 1/4 turn beyond their just-snug point before pressure is applied. Find the internal pressure that will just cause incipient leakage from the vessel.

23. An aluminum cylinder, with 1.5" inside radius and thickness 0.1", is to be fitted inside a steel cylinder of thickness 0.25". The inner radius of the steel cylinder is 0.005" smaller than the outer radius of the aluminum cylinder; this is called an interference fit. In order to fit the two cylinders together initially, the inner cylinder is shrunk by cooling. By how much should the temperature of the aluminum cylinder be lowered in order to fit it inside the steel cylinder? Once the assembled compound cylinder has warmed to room temperature, how much contact pressure is developed between the aluminum and the steel?

24. What pressure is needed to expand a balloon, initially 3" in diameter and with a wall thickness of 0.1", to a diameter of 30"? The balloon is constructed of a rubber with a specific gravity of 0.9 and a molecular weight between crosslinks of 3000 g/mol. The temperature is 20°.

25. After the balloon of the previous problem has been inflated, the temperature is increased by 25°C. How do the pressure and radius change?

26. Un elemento estructural, que puede ser considerado como una placa de grandes dimensiones, se encuentra sometido a un ciclo de esfuerzos variable, 200 MPa durante 12 horas y de 20 MPa durante las siguientes 12 horas, repitiéndose así sucesivamente en períodos diarios. Durante el período de carga máxima se observa que aparecen superpuestas a ésta unas tensiones fluctuantes debidas a vibraciones de amplitud 15 MPa (variación tensional total 30 MPa) y una frecuencia de 50 Hz. La estructura fue sometida a inspección mediante equipos de Pruebas No Destructivas (PND) con una sensibilidad de 0.2 mm, no apreciándose la presencia de fisuras.

27. Considerando la estructura como una placa infinita. Se ha obtenido que la tenacidad a fractura del material es $K_{Ic} = 100 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ y que el umbral de propagación en fatiga es $\Delta K_{th} = 3 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ si la relación de cargas $R = P_{\text{mín}}/P_{\text{máx}} = 0.1$ y $\Delta K_{th} = 1.5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ si $R = 0.85$. La propagación de fisuras sigue una Ley de Paris del tipo: $da/dN = 1 \cdot 10^{-8} (\Delta K)^2$ en m/ciclo si ΔK en $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

Determinar:

a) a1) Calcular el tamaño de fisura en que comienza a producirse la propagación de la grieta debido a las vibraciones.

a2) Tamaño crítico del defecto para que se produzca la fractura.

a3) Tiempo de vida del elemento estructural.

b) Representar la evolución de la longitud de fisura en función del tiempo.

c) De acuerdo a los resultados anteriores, ¿cuál sería su sugerencia de fisura aceptable? y ¿cómo mejoraría la seguridad con un proceso de inspección periódica?

Nota: Por simplificar, en los cálculos del tiempo de vida (a-3) considere que cuando existan propagaciones debidas a cargas vibratorias sean éstas únicamente las que se contabilicen.

27. Para construir una instalación se va a utilizar una partida de barras redondas de acero de alta resistencia con 36 mm de diámetro, que habrán de soportar una tensión máxima de 700 MPa. La instalación estará sometida a ciclos térmicos que originarán en el acero oscilaciones de temperatura de 40°C, pudiendo considerarse que durante los mismos cada barra redonda permanece anclada entre dos puntos fijos. El material tiene garantizado un límite elástico de 1000 MPa y una resistencia a tracción de 1200 MPa, pero en un ensayo de control un redondo rompe a 900 MPa, comprobándose la existencia de una fisura de 2 mm de profundidad. Se realiza una inspección por ultrasonidos de toda la partida de acero y se detectan fisuras de hasta 2,5 mm de profundidad.

Se pide:

- A partir de los datos, estimar la tenacidad de fractura del acero.
- Si la vida prevista de la instalación es de 400000 ciclos térmicos, decidir si la partida de acero debe rechazarse o no, así como los períodos de inspección, teniendo en cuenta las siguientes características del acero:

Coefficiente de dilatación térmica lineal: $\alpha = 10^{-5}(\text{°C})^{-1}$

Módulo de elasticidad: $E = 210000 \text{ MPa}$

Constante de la ley de Paris: $n = 3.4$ $C = 1.2 \cdot 10^{-12} \frac{\frac{m}{\text{ciclo}}}{\left(\text{MPa} \times m^{\frac{1}{2}}\right)^{3.4}}$

$KI = 1.12 \sigma \sqrt{\pi a}$; $\Delta \sigma = \alpha E \Delta T$

28. La curva S-N de un material elástico se caracteriza por medio de la relación de Basquin:

$\sigma_a = C(2N_f)^{+b}$, siendo C y b constantes propias del material, σ_a la amplitud de tensión y N_f el número de ciclos previos a rotura. Si una probeta de dicho material soporta durante el 70% de su vida tensiones alternas de valor igual a la resistencia a la fatiga σ_e , el 20% de su vida las tensiones alcanzan el valor de $1.1 \sigma_e$ y el 10% restante su valor es de $1.2 \sigma_e$. Estimar su vida en fatiga.

Datos: $b = -0.09$; Regla de Palmgren-Miner : $\sum \frac{n_i}{N_i} = 1$; σ_e esta definido para $N_f = 10^7$ ciclos $\sigma_e \approx 0.5 \sigma_{TS}$

29. Un disco de la carcasa de un reactor fabricado en superaleación Ni-Fe sufre inspecciones periódicas para evaluar el tamaño de posibles fisuras. Sabiendo que los equipos de inspección tienen una sensibilidad de 100 μm y que durante cada vuelo, de duración media 3 h., el disco sufre una tensión media de 2000 MPa.

Determinar:

- El número de vuelos que puede soportar la turbina antes de su rotura.
- Si durante el vuelo, además, el disco soporta unas tensiones, debidas a fenómenos vibratorios, cuya frecuencia es la de giro de la turbina (5000 rpm). Determinar la amplitud máxima admisible de estas tensiones si queremos que la vida de la turbina no se vea reducida en más de un 5%.

Datos: $K_{Ic} = 86 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$

$$\frac{da}{dN} = 4 \cdot 10^{-12} (\Delta K)^3 \quad \frac{da}{dN} \left(\frac{m}{\text{ciclo}} \right), \Delta K \text{ (MPa}\sqrt{m})$$

Nota: Se considera $\Delta K_{th} \geq 0$ $K_I = \sigma\sqrt{\pi a}$

- A la vista de los resultados, ¿qué comprobación en los cálculos recomendaría efectuar?

30. Una aleación de aluminio, habitualmente empleada en componentes aeronáuticos presenta un comportamiento en fatiga, analizado a través de la ley de Basquin, con los parámetros $b = 0.073$ y $\sigma'_f = 340 \text{ MPa}$.

- Determinar el número de ciclos antes de rotura final si el componente se encuentra sometido a una tensión $\sigma_a = 75 \text{ MPa}$ con $R = -1$.
- Un segundo componente estructural, fabricado con la misma aleación continua en servicio en servicio tras $350 \cdot 10^6$ ciclos a la misma tensión. Determinar la amplitud de tensión máxima admisible para asegurar, al menos, 10,000 ciclos de vida remanente.
- Se sabe que tras los $350 \cdot 10^6$ ciclos ha aparecido una grieta de 1 mm. Explicar cualitativamente cómo este hecho modifica el apartado b.
- Asumiendo que el factor de intensidad de tensiones de una probeta del mismo material viene dado por $K_I = 1.12 \cdot \sigma\sqrt{\pi a}$ y que la ley de propagación de fisuras por fatiga se expresa en la forma siguiente:

$$\frac{da}{dN} = 4 \cdot 10^{-12} (\Delta K)^3$$

dados $\frac{da}{dN} \left(\frac{m}{\text{ciclo}} \right), \Delta K \text{ (MPa}\sqrt{m})$, estimar el número de ciclos empleados a la iniciación y propagación para un nivel tensional de 75 MPa ($R = -1$) y 150 MPa ($R = -1$).

Datos: $\Delta K_{th} = 2 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ $K_{Ic} = 40 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$

$$\frac{\Delta\sigma}{2} = \sigma_a = \sigma_f'(2N_f)^b \quad \text{Basquin}$$

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = 1 \quad \text{Palmgren-Miner}$$

31. A large sheet containing a 50 mm long crack fractures when loaded to 500 MPa. Determine the fracture load of a similar sheet with a 100 mm crack.

32. Rocket motor casings may be fabricated from either of two steels:

(a) low alloy steel yield 1.2 GPa toughness 70 MPa√m,

(b) maraging steel yield 1.8 GPa toughness 50 MPa√m

The relevant Code specifies a design stress of yield/1.5. Calculate the minimum defect size which will lead to brittle fracture in service for each material, and comment on the result (this last is important).

33. The bar of 100 x 20 mm rectangular cross-section is loaded by a force of 250 kN as shown.

Determine the critical crack length if the toughness is 50 MPa√m.

34. The CTS testpiece is from a 1.2 GPa steel. If the failure load is 10 kN, what fracture toughness is indicated? Is the result valid? Note that width and crack size are reckoned from the load's line of action.

35. The toughness of a 700 MPa yield structural steel is estimated to be 140 MPa√m. What size and mass of SEN bend test specimen is necessary, and what capacity of testing machine would be required? Assume fracture at $\alpha = 0.5$.

36. The long strip may be made from either of the two materials :

(a) tough, weak yield 700 MPa plane strain toughness 100 MPa√m

(b) brittle, strong yield 1400 MPa plane strain toughness 50 MPa√m

A central crack extends through the strip.

Plot, as a function of crack length, the failure stress for each material due to the separate mechanisms of elastic fracture and plastic collapse.

Comment on the trends of these graphs.

37. The bar of rectangular cross-section, $w \times b$, is edge-cracked and loaded by a tensile force, N , and a bending moment, M . Consider the equilibrated distribution of yield stress across the ligament and hence show that plastic collapse may be caused by any combination of M and N which satisfies

$$m + n(n + 2\alpha) = (1 - \alpha)^2 \quad \text{where } \alpha = a/w ; \quad n = N/bwS_y ; \quad m = 4M/bw^2 S_y$$

38. A long, 50 mm diameter rod is manufactured from a material of 700 MPa yield and $40 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ toughness. The rod is circumferentially cracked, case (f), whilst tensioned by a force, P . What is the maximum safe load if the crack depth is 2 mm? If the load is 200 kN, what crack depth is tolerable?

39. An aluminium shaft, 50 mm diameter and rotating at 3000 rpm, is subjected to a reversed bending moment of 200 Nm. A crack, 0.1 mm deep, extends radially from the surface.

Estimate the crack depth after 100 hours operation, assuming a Paris exponent of 2.7 and a stress intensity range of $1.6 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ corresponding to a growth rate of 1 mm/Mc. The configuration factor Y may be approximated by that of case (d).

40. An axially stressed component of width 20 mm is made from a material which obeys the Paris equation with an index of 4 and a crack growth rate of 1 mm/Mc corresponding to a stress intensity range of $6 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$. The configuration factor may be approximated by $Y = 0.84/(1 - \alpha)$.

Neglecting instability, determine the number of cycles necessary for a 5 mm crack to grow to 15 mm, if the component is subjected to a cyclically varying stress of :

(a) 0 to 40 MPa ; (b) 100 to 120 MPa

41. Repeat the previous problem with $K_{Ic} = 60 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ [2.1, 32 Mc]

42. Estimate the life of the component of the previous problem with an initial crack size of 5 mm, if the material yield is 250 MPa. Assume a plastic configuration factor of $(1 - \alpha)$

43. Empleando un desarrollo análogo al empleado en el Modulo 21 para el esfuerzo de cedencia, mostrar que el esfuerzo ultimo a la tensión teórico es $\sigma_{th} \approx E/10$ (mucho mayor al observado experimentalmente). Asumir una función armónica para la fuerza atómica $\sigma = \sigma_{th} \text{sen}(2\pi x/\lambda)$, donde x es el desplazamiento de un átomo desde su posición de equilibrio y $\lambda \approx a_0$ es el espaciamiento intraatómico. El esfuerzo máximo σ_{th} puede ser calculado usando la relación:

$$E = \left(\frac{d\sigma}{d\epsilon} \right)_{x \rightarrow 0} \quad \text{y} \quad \epsilon = \frac{x}{a_0}$$

a.
$$a_0 = \frac{x}{\epsilon}$$

$$\sigma = \sigma_{th} \text{sen}\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) = \sigma_{th} \text{sen}\left(\frac{2\pi x}{a_0}\right)$$

b.
$$E = \frac{\partial \sigma}{\partial \epsilon} = \frac{\partial \sigma}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial \epsilon} = a_0 \frac{\partial \sigma}{\partial x} = a_0 \sigma_{th} \frac{2\pi}{a_0} \cos \frac{2\pi x}{a_0}$$

$$E = \sigma_{th} 2\pi$$

c.
$$\sigma_{th} = \frac{E}{2\pi} \approx \frac{E}{10}$$

44.. Usando un factor de seguridad de 2 (F), encontrar la presión de operación segura en un recipiente de acero sellado a presión. Diámetro= 1' y 0.2" de espesor de la pared (t).

Para el acero:

$$K_{Ic} = 107 \text{ kJm}^{-2}, \quad K_{Ic} = 150 \text{ MNm}^{-2} \quad \text{y} \quad E = 210 \text{ GPa}$$

Si consideramos que el esfuerzo para que falle es igual a K_{Ic} , entonces

$$p = \frac{F\sigma}{r} = \frac{2 \times 150 \text{ MNm}^{-2} \times 0.2 \text{ in} \times 0.0254 \frac{\text{m}}{\text{in}}}{6 \text{ in} \times 0.0254 \frac{\text{m}}{\text{in}}} = 10 \text{ MNm}^{-2}$$

45. Un recipiente a presión es construido con un diámetro de 18" y una longitud de 6'. El recipiente es capaz de soportar una presión interna de $p = 1000$ psi y el espesor de la pared es tal que mantiene un esfuerzo nominal circunferencial por debajo de 2500 psi. Sin embargo, el recipiente estalla a una presión interna de solo 500 psi. Un análisis metalográfico reveló que la fractura se inicio en una grieta interna de 0.1" de largo. Calcule la tenacidad a la fractura (K_{Ic}) del material.

Suponiendo $\alpha \approx 1$:

$$K_{Ic} = \sigma \sqrt{\pi a} = 500 \text{ psi} \times \sqrt{\pi \times 0.1 \text{ in}} = 280.2 \text{ psi} \sqrt{\text{in}}$$

46. Una resina epóxica tiene un coeficiente de expansión térmica $\alpha = 5 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, $G_{IC} = 120 \text{ J/m}^2$, $E = 3.2 \text{ GPa}$, y $\nu = 0.35$. Una capa gruesa de la resina curada y adherida firmemente a una parte de aluminio ($\alpha = 2.5 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$) a 180°C . Calcule el tamaño mínimo necesario de un defecto para iniciar el agrietamiento en la resina durante el enfriamiento a 20°C . Considere $\alpha = 2/\pi$ en la ecuación:

$$\sigma_f = \frac{K_{Ic}}{\alpha \sqrt{\pi a}}$$

Para grietas en forma de moneda de radio a en una hoja ancha.

$$K_{Ic}^2 = EG_c(1 - \nu^2)$$

$$K_{Ic}^2 = 3.2 \times 10^9 \text{ Pa} \times 120 \text{ J/m}^2 \times (1 - 0.35^2) = 3.37 \times 10^{11} \frac{\text{N}^2 \text{m}}{\text{m}^4} \Rightarrow K_{Ic} = 5.805 \times 10^5 \text{ Pa} \sqrt{\text{m}}$$

$$K_{Ic} = 0.5805 \text{ MPa} \sqrt{\text{m}}$$

47. (a) Una placa de aleación de aluminio de 175 mm de gruesa, tiene una grieta de 75 mm de largo localizada en el centro. La placa experimenta fractura frágil con un esfuerzo aplicado (uniaxial y transversal a la grieta) de 110 MPa. Determine la tenacidad a la fractura del material. (b) Cual debe ser el esfuerzo de fractura si la placa es lo suficientemente gruesa para permitir asumir un ancho infinito?

Para el caso de una grieta central en una placa de espesor W : $K_{Ic} =$

$$\sigma_\infty \sqrt{W \tan\left(\frac{\pi a}{W}\right)}$$

$$K_{Ic} = \sigma \sqrt{W \tan\left(\frac{\pi a}{W}\right)} = 10 \times 10^6 \text{ Pa} \times \sqrt{0.175 \text{ m} \times \tan\left(\frac{\pi \times 0.0375 \text{ m}}{0.175 \text{ m}}\right)} = 4.53 \times 10^5 \text{ Pa} \sqrt{\text{m}}$$

(b) Para el caso de una grieta central en una placa de espesor infinito: $K_{Ic} =$

$$\sigma_\infty \sqrt{\pi a}$$

$$K_{Ic} = \sigma\sqrt{\pi a} = 10 \times 10^6 \text{ Pa} \times \sqrt{\pi \times 0.0375 \text{ m}} = 3.43 \times 10^6 \text{ Pa}\sqrt{\text{m}}$$

48. Para obtener una tenacidad a la fractura válida en deformación plana, el tamaño de la zona plástica debe ser pequeña comparada con el espesor B, la longitud de la grieta a y el ancho del ligamento W-a. El criterio establecido es:

$$(W - a), B, a \geq \left(\frac{K_{Ic}}{\sigma_Y} \right)^2$$

Ordene los materiales en la tabla en términos del parámetro dado en el lado derecho de esta expresión.

Material	$G_{Ic}(\text{kJm}^{-2})$	$K_{Ic}(\text{MNm}^2)$	$E(\text{GPa})$
Steel alloy	107	150	210
Aluminum alloy	20	37	69
Polyethylene	20 (J_{Ic})	—	0.15
High-impact polystyrene	15.8 (J_{Ic})	—	2.1
Steel — mild	12	50	210
Rubber	13	—	0.001
Glass-reinforced thermoset	7	7	7
Rubber-toughened epoxy	2	2.2	2.4
PMMA	0.5	1.1	2.5
Polystyrene	0.4	1.1	3
Wood	0.12	0.5	2.1
Glass	0.007	0.7	70

49. Cuando una carga de 150kN es aplicada a una muestra de tensión que tiene una grieta de 35mm, el desplazamiento total entre los extremos de la muestra es de 0.5mm. Cuando la grieta crece a 37 mm, el desplazamiento para esta misma carga es de 0.505 mm. La muestra es de 40mm de grosor. La carga a la fractura de una muestra idéntica, pero con una longitud de grieta de 36 mm, es 175kN. Encuentre la tenacidad a la fractura K_{Ic} del material.