

Principios de Fracturas

Análisis de Fallas
Aplicado



CATERPILLAR

LIBRO DE REFERENCIA

TABLA DE CONTENIDOS

Resistencia del metal vs. Carga	2
Concentradores de Tensión	3
Carga del metal vs. Fracturas	4
Terminología de Fracturas	5
Fracturas Rápidas- Resultados	6
Fracturas Dúctiles	6
Fracturas Frágiles	8
Fracturas Lentas- Causas de Raíz	10
Fracturas por Fatiga	10
Marcas de Playa	10
Marcas de Trinquete	10
Fatiga por Flexión Rotacional	12
Conclusión	14

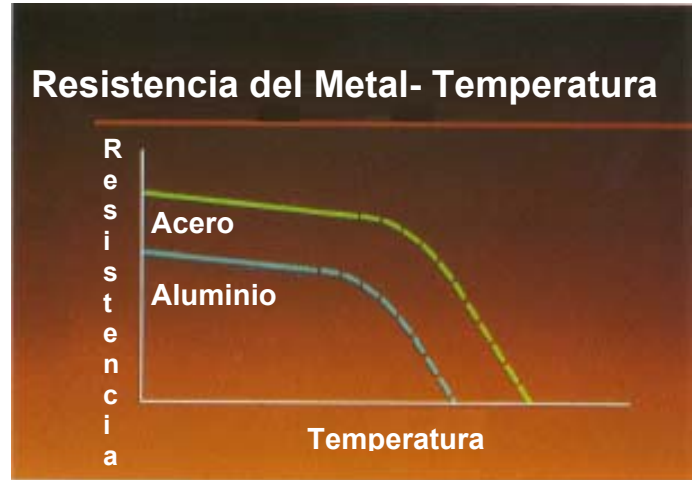
PREFACIO

El propósito de este libro es explicar e ilustrar los principios de fracturas básicos para ayudar a determinar donde y por que se produjo una fractura. La información en este libro esta condensada del Seminario de Análisis de Fallas Aplicado de Caterpillar. Cualquier persona que desee más información sobre el Análisis de Fallas Aplicado debería contactar a su representante Caterpillar local.

RESISTENCIA DEL METAL VS. CARGA



Las partes CAT son diseñadas para soportar cargas sin fracturarse. Las partes sobrecargadas o las partes dañadas pueden hacerlas fallar. La parte por lo general se rompe en el eslabón más débil de la cadena.



Las partes se pueden fracturar porque se debilitan a causa del calor excesivo y no están en condiciones de soportar una carga normal. A medida que aumentan las temperaturas del metal, su resistencia disminuye.



Esta biela fue el eslabón más débil de la cadena a causa del sobrecalentamiento por la falla del cojinete. Las altas temperaturas debilitaron la biela y el bulón, provocando que se estire y falle. Los colores de revenido son las señales de alta temperatura.



Las fracturas por fatiga no deberían ocurrir si la carga está por debajo del límite de resistencia del metal. Si las partes son cargadas a aproximadamente $\frac{1}{2}$ del límite de resistencia, el factor de seguridad es 2.

CONCENTRADORES DE TENSION



Los concentradores de tensión son irregularidades físicas que concentran las cargas aplicadas, lo cual resulta en un concentrador de tensión en la irregularidad. Las ranuras redondas pueden aumentar la tensión un 1.5 de veces, mientras que una fractura puede multiplicar la tensión en un factor de 8 o mas. Por lo general, cuanto más filosa es la irregularidad, mayor será el factor de multiplicación y mayor es la probabilidad de que la parte sufra una fractura.

Ejemplos de Concentradores de Tensión	
Geometría	Fabricación
• Filetes • Orificios • Chaveteros	• Solapas forjadas • Fracturas por templado • Fracturas por esmerilado
Defectos del material	Abuso
• Inclusiones • Vacíos • Fracturas	• Rayaduras • Melladuras • Gubias

Cuando debemos usar concentradores de tensión geométricos, tales como filetes, chaveteros, roscas, etc., los ingenieros diseñan suficiente resistencia en las partes para soportar el aumento de tensión. Pero los concentradores de tensión inesperados como los defectos de material, los defectos de fabricación y el abuso físico pueden producir tensiones que se excedan del límite de resistencia. Este punto del concentrador de tensión por lo general se convierte en el eslabón más débil de la cadena al concentrar suficiente tensión para iniciar una fractura.

CARGA DEL METAL VS. FRACTURAS



Los metales pueden ser cargados de muchas maneras diferentes. Un método de clasificar estas cargas utiliza la magnitud del tiempo que toma aplicar la carga. Las cargas de impacto son aplicadas casi instantáneamente, las sobrecargas son aplicadas mas lentamente variando desde una fracción de segundo hasta varios segundos, y las cargas cíclicas son cargas que son repetidas durante muchas horas, días, meses, años, etc. Cada carga produce un tipo específico de fractura. Las cargas de impacto por lo general producen una fractura frágil, las sobrecargas por lo general producen una fractura dúctil, y las cargas cíclicas por lo general producen una fractura por fatiga.

Carga	Concentrador de tensión	Fractura
Sobrecarga de impacto	Ninguno	Frágil/ Dúctil - Rápida - Áspera - Resultado
Cíclica	Presente	Por Fatiga - Lenta - Suave - Asociada a la causa de raíz.

Las cargas de impacto y las sobrecargas producen fracturas frágiles o dúctiles con superficies ásperas. Estas fracturas pueden empezar en cualquier lugar, no solo en los concentradores de tensión, y están asociadas con los resultados. Las cargas cíclicas producen fracturas por fatiga que empiezan en los concentradores de tensión y están asociadas con la causa de raíz.

Factores que afectan las fracturas	
Fracturas Frágiles	Fracturas Dúctiles
- Dureza media-alta - Bajas temperaturas - Concentrador de alta tensión. - Relación de carga alta	- Dureza media-Baja - Altas temperaturas - Concentrador de baja tensión. - Relación de carga baja

Ciertas condiciones tales como la dureza, la temperatura, etc., pueden afectar el tipo de fractura que se produce con las cargas de impacto o con las sobrecargas.

TERMINOS DE FRACTURAS

Terminología Básica

- **Concentrador de tensión** (irregularidad física)
- **Punto de Iniciación** (Comienzo)
- **Fractura Final** (Fin)
- **Fracturas Rápidas** (Frágiles, Dúctiles)
- **Fracturas Lentas** (Por fatiga)

Los **concentradores de tensión** ya han sido definidos como áreas que concentran la tensión. Los **puntos de iniciación de fracturas** son ubicaciones en donde las fracturas empiezan a crecer, mientras que la **fractura final** es la última parte del material en fracturarse. Las **fracturas rápidas** son ya sea frágiles o dúctiles y están asociadas con los resultados, mientras que las **fracturas lentas** son fracturas por fatiga y están asociadas con la causa de raíz.



Esta parte empezó a fracturarse a partir de un **concentrador de tensión**, el filete alrededor del borde exterior de la fractura. El **punto de iniciación** está en el borde inferior en donde se desarrollo una **fractura lenta** durante cierto periodo de tiempo. Un poco después de que la fractura lenta alcanzo el orificio central, una **fractura rápida** se desarrollo a través de la sección remanente. La superficie áspera dejada por la fractura rápida es la **fractura final**.

FRACTURAS RAPIDAS- RESULTADOS

FRACTURAS DUCTILES

Características de Fracturas Dúctiles

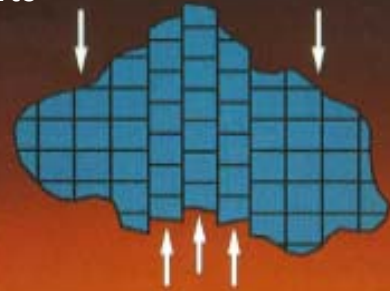


- **Rápida**
- **Labios de corte grandes**
- **Oscura**
- **Áspera y rugosa**
- **Deformación Plástica**

Las sobrecargas pueden producir fracturas dúctiles con una superficie áspera que es oscura y rugosa. El labio de corte por lo general se forma alrededor del borde de la parte. El flujo plástico que se produce cambia la nueva apariencia de la parte.

Desarrollo de Fracturas Dúctiles

Corte



Ante una sobrecarga, los granos de metal intentan soportar la carga extra al deformar plásticamente los granos de metal. Las capas de células unitarias se deslizan en un esfuerzo por ajustar la carga. Eventualmente, los granos se separan antes de sufrir una deformación severa.



La representación de un grano de metal con una baraja de cartas nos ayuda a ilustrar lo que ocurre en el grano cuando esta sobrecargado. De la misma forma que las cartas se deslizan pasando unas a otras, las capas de células unitarias se deslizan pasando unas a otras para cambiar permanentemente la apariencia del grano.

Formación del Labio de Corte

Labio de Corte

Deformación Plástica

Fractura Inicial



En las partes reales, las fracturas se forman en el área central de la parte a medida que los granos se deforman y se separan. Estas fracturas minúsculas se unen para formar una fractura más grande que se desarrolla hacia fuera de la superficie. La pequeña cantidad de material remanente se corta creando el labio de corte.



Este bulón fue sobrecargado en un tester de tracción con una cuña de 6° por debajo de la cabeza. Las señales de fractura dúctil son la deformación plástica y la formación del labio de corte.



Con ampliación, se pueden observar mas señales de fracturas dúctiles. Observe la fractura áspera y rugosa y un pequeño labio de corte en el borde superior. El labio de corte grande en el borde inferior fue provocado por una cuña de 6° por debajo de la cabeza del bulón.



Este pedazo de mando de biela muestra señales de fracturas dúctiles; superficie de fractura áspera y rugosa con labios de corte y áreas brillosas de daño por impacto secundario.



Las altas temperaturas pueden debilitar los metales provocando una deformación plástica superior a la usual. Las señales de alta temperatura incluyen un flujo plástico excesivo y colores de revenido.

FRACTURAS FRAGILES

Características de Fracturas Frágiles

- **Rápida**
- **Cristalina**
- **Sin deformación**



Metales Forjados

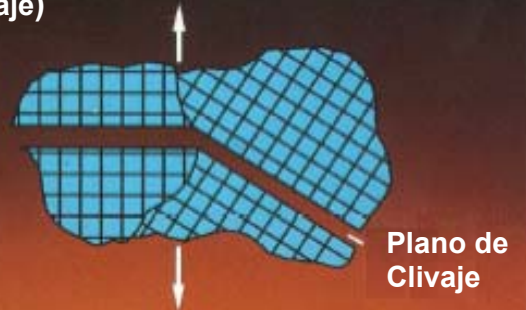
- **Muchos chevrones**
- **Brillante**



Metales Fundidos

- **Pocos chevrones**
- **Opaco**

Desarrollo de una Fractura Frágil (Clivaje)



Las señales de fracturas frágiles son superficies ásperas con poca o sin deformación que brillan cuando giran en la luz. Los chevrones algunas veces se producen en materiales más blandos formando flechas que apuntan al punto de inicio de la fractura.

Las fracturas frágiles son causadas por un golpe o impacto repentino que quiebran los granos o cristales a lo largo de los planos de células unitarias dejando superficies similares a espejos que reflejan la luz, produciendo la apariencia brillante.



Se puede usar una baraja de cartas para representar un grano de metal. Cada carta representa un plano de células unitarias.



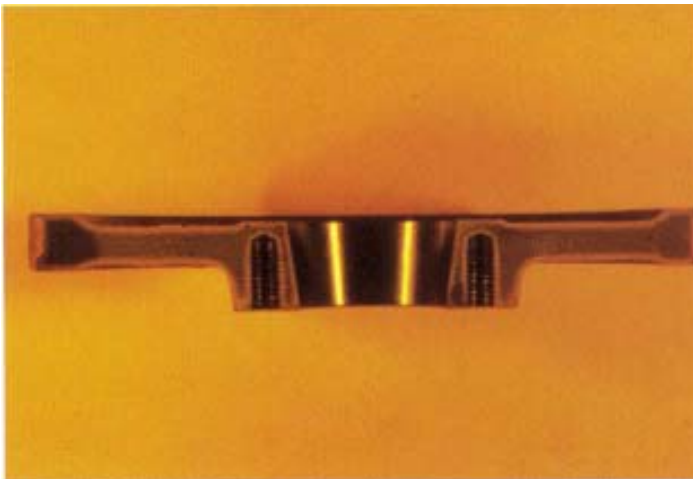
Cuando se produce una fractura frágil, la baraja se separa como vemos aquí, produciendo superficies planas. No se produjo ninguna deformación debido a la forma en que el grano se ha dividido a lo largo de las células unitarias.



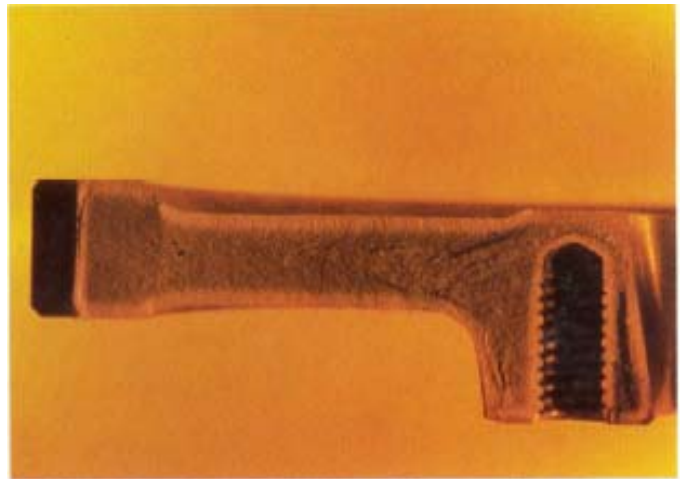
Este pedazo de resorte tensor de vía presenta señales típicas de fractura frágil: chevrones apuntando a la parte superior derecha indicando que este es el punto de inicio de la fractura. No se produjo deformación plástica.



Este diente de engranaje de giro D&L presenta señales típicas de fractura frágil: los chevrones indican que la fractura empezó en la raíz del diente ubicado en la parte superior de la figura. No se registra deformación plástica.



Este mando por levas 3306 no presenta signos de deformación plástica, lo cual indica que estamos ante una fractura frágil que resulta como consecuencia de otra parte que falló primero.



Un acercamiento con buena iluminación revela chevrones que apuntan a la raíz del diente del engranaje como el sitio de inicio de la fractura frágil.

FRACTURAS LENTAS- CAUSAS DE RAIZ

FRACTURAS POR FATIGA



Las fracturas que se desarrollan lentamente durante varias horas, días, meses o años son llamadas fracturas por fatiga. Las señales de fracturas por fatiga incluyen: superficies de fracturas planas y lisas, marcas de playa y un color claro. Las fracturas por fatiga por lo general están asociadas a la causa de raíz de la falla.



Las marcas de playa con frecuencia se desplazan en forma radial hacia afuera desde el punto de inicio de la fractura, lo cual hace que el origen sea fácil de identificar. Puede ser difícil ver las marcas de playa cerca del origen, pero se hacen más notorias a medida que se acercan a la fractura final. Las marcas de playa se producen cada vez que la parte experimenta un cambio de carga significativo tal como sucede en el arranque. Si una parte opera en condiciones de cargas constantes, tal como las que experimentan algunos conjuntos de generadores, las marcas de playa quizás no se formen. Si varias fracturas empiezan a desarrollarse en el punto de inicio, forman escalones entre ellas llamados "marcas de trinquete". Las marcas de trinquete indican la presencia de una tensión severa. La fractura final es dúctil o frágil, produciendo una superficie áspera.



Este eje contiene señales de fracturas por fatiga, hay marcas de trinquete en el punto de inicio (fondo), las marcas de playa se desplazan en forma radial hacia fuera hasta la fractura final, y los chevrone indican que la fractura final es frágil



Un acercamiento de las marcas de trinquete revela que varias fracturas se desarrollaron hacia adentro al mismo tiempo, lo cual indica la presencia de altas tensiones.



Al observar el punto de inicio con una buena iluminación y ampliación, no se revelan inclusiones, pre fracturas u otros concentradores anormales de tensión.



La otra cara de la fractura presenta los mismos detalles. La fractura por fatiga comenzó en un filete debido a un aparente problema de carga y no debido a un defecto.

FATIGA POR FLEXION ROTACIONAL



Los ejes que rotan con las cargas de flexión y sufren fracturas por fatiga pueden tener un patrón diferente de marcas de playa. Si las cargas de flexión son bajas, las marcas de playa comienzan a aumentar hacia fuera del origen, se acercan y son difíciles de distinguir. A medida que se alejan se hacen más notorias y se curvan en el último material que se fractura, la fractura final. La curva de las marcas de playa cambia debido a la presencia de cargas más altas en la superficie que dentro del eje. Por lo tanto, las marcas de playa se curvan hacia adentro para rodear a la fractura final lo cual es muchas veces confundido con un flujo de material grande.



Este eje de bomba hidráulica rota bajo las cargas de flexión producidas por el tren de engranajes. Se ha fracturado por debajo del cojinete de rodillos.



Un acercamiento a la fractura revela lo que parecen ser marcas de playa que se desplazan en forma radial a partir de un defecto grande de material por debajo de la superficie del eje.



Una examinación mas cuidadosa revela que el “defecto” es la fractura final rodeado de marcas de playa bien espaciadas y notorias. En el punto de inicio en el fondo, las marcas de playa están cerca y son difíciles de distinguir.



Si unimos nuevamente el eje encontramos que la fractura por fatiga empezó en una ranura de aro de resorte que actuó como un concentrador de tensión e inicio la fractura.

CONCLUSION

Lista de Control de Análisis de Fracturas



- **Obtenga las partes falladas**
- **Limpie las fracturas**
- **Clasifique las fracturas**
- **Verifique los hechos de carga**
- **Identifique los puntos de inicio**
- **Identifique los concentradores de tensión**

Una vez que se obtuvieron las partes falladas y que se limpiaron adecuadamente, se deben usar las señales para determinar si las fracturas son fracturas rápidas asociadas con los resultados o fracturas lentas asociadas con la causa de raíz. Si se encuentran fracturas lentas, debemos rastrear las marcas de playa hasta el punto de inicio y buscar el concentrador de tensión que causó la falla. El concentrador de tensión pueden ser una melladura o una abolladura debido al abuso del cliente, un defecto del material o el proceso, o un cambio de tamaño geométrico. Cuando no se encuentra un concentrador anormal de tensión, la parte puede haber estado sobre cargada.

Identifique las causas de la falla



Piense- hechos
Pregunta de Doble Control
Obtenga la información ambiental

- **Calor**
- **Carga**
- **Aplicación, Operación y Mantenimiento**

Los hechos que se obtienen a partir de las fracturas pueden ser usados con otra información recolectada sobre el calor, la carga, la aplicación, la operación y el mantenimiento para determinar la causa de raíz más probable de la falla. Todos los hechos deberían ser explicados mediante esta causa de raíz. También, nos deberíamos hacer la pregunta de doble control “¿Hay alguna forma de que otro factor pueda haber causado el problema?”, solo para asegurarnos que no hemos pasado nada por alto y para evitar caer en una idea preconcebida.

OTROS LIBROS DE REFERENCIA

A continuación hay una lista de Libros de Referencia incluidos en la Serie de Analisis de Fallas Aplicado. Debido a que los libros sobre otros temas y componentes estan completados, seran anunciados de la manera usual

N° de Forma	Titulo
SEVB0549	Principios de Metalurgia
SEVB0554	Principios de Desgaste
SEVB0552	Principios de Fracturas
SEVB0547	Principios de Examinacion Visual
SEVB0545	Sujetadores Roscados
SEVB0546	Bielas
SEVB0548	Cigüeñales
SEVB0544	Cojinetes del Motor
SEVB0553	Pistones, Aros y Camisas
SEVB0551	Válvulas del Motor
SEVB0550	Turbocargadores
SEVB0561	Engranajes
SEVB0562	Conjinetes Anti- Friccion
SEVB0563	Motores y Bombas Hidraulicas
SEVB0564	Conjunto Completo de los Libros de Referencia antes enunciados