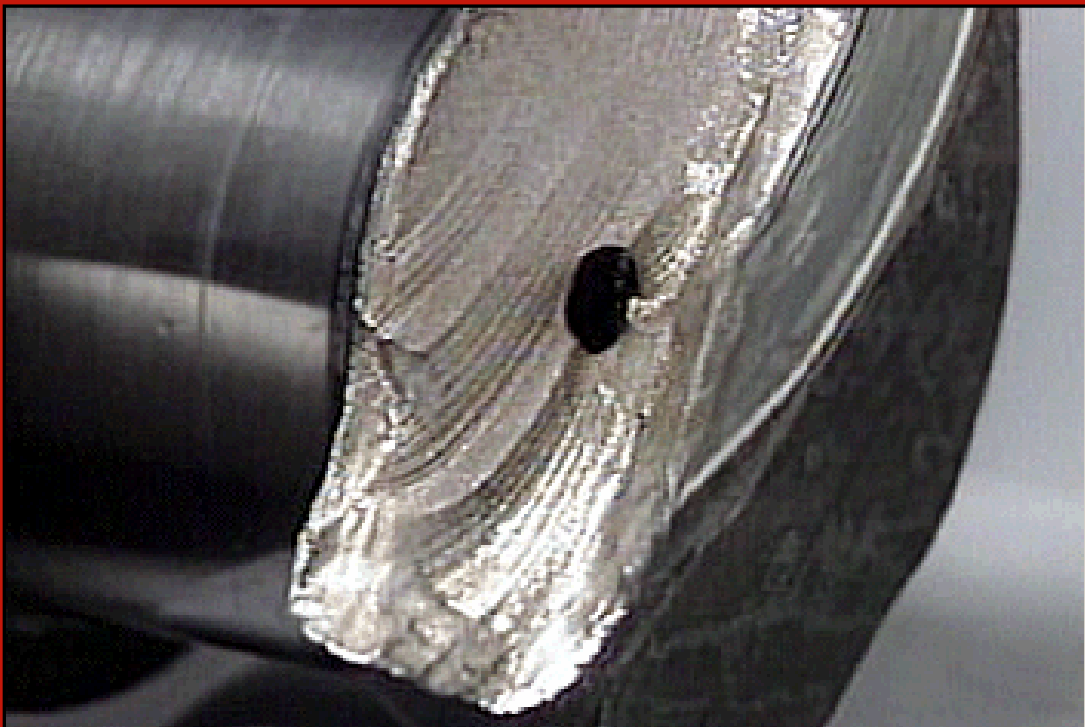


Cigüeñales

Análisis de Fallas
Aplicado



CATERPILLAR

LIBRO DE REFERENCIA

TABLA DE CONTENIDOS

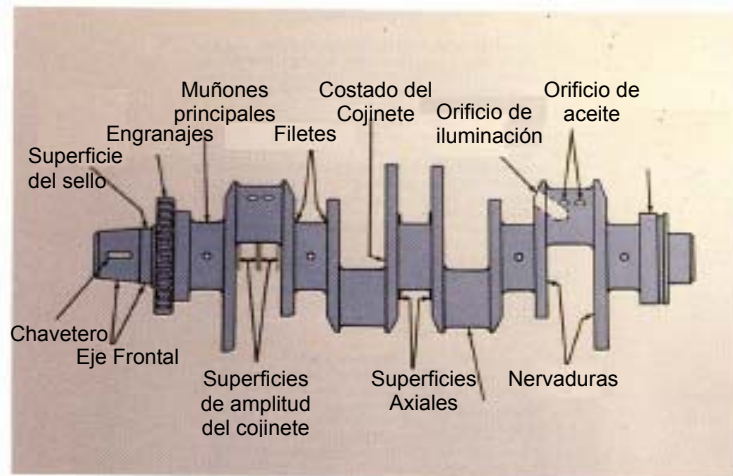
Términos de Cigüeñales	1
Estructura del Cigüeñal	1
Operación del Cigüeñal	2
Realización del Análisis de Fallas	3
Señales de Desgaste y Fractura	4
Medio Ambientes Hostiles	6
Contaminación	6
Desalineamiento	6
Calor	7
Cigüeñales Re Acondicionados	8
Fracturas por Esmerilado	8
Fracturas por Rectificado	8
Soldadura	9
Defectos del Proceso y del Material	10
Inclusiones	10
Escamado	10
Quemaduras por Forjado	11
Fracturas por Templado	11
Fracturas por Rectificado	11
Conclusión	12

PREFACIO

El propósito de este libro es explicar e ilustrar el uso de los principios de análisis de fallas básicos para determinar la causa de raíz de las fallas del cigüeñal. La información esta condensada de la Serie de Análisis de Fallas Aplicado, la cual es más completa. Si desea obtener mas información sobre el análisis de falla aplicado, debería contactar a su representante Caterpillar local.

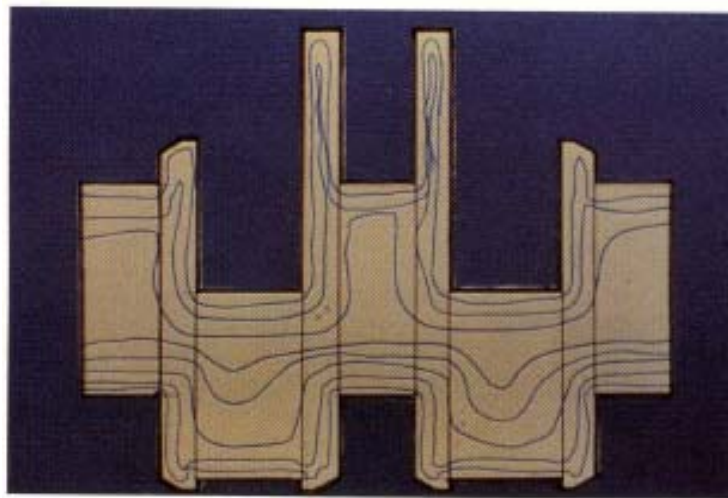


TERMINOS DE CIGÜEÑALES



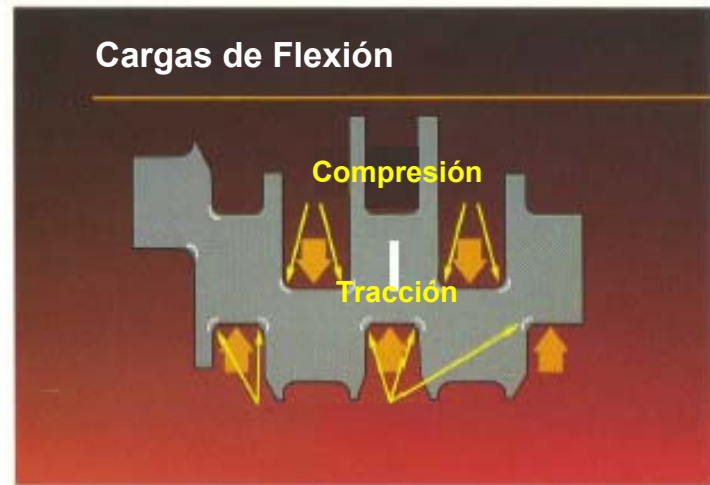
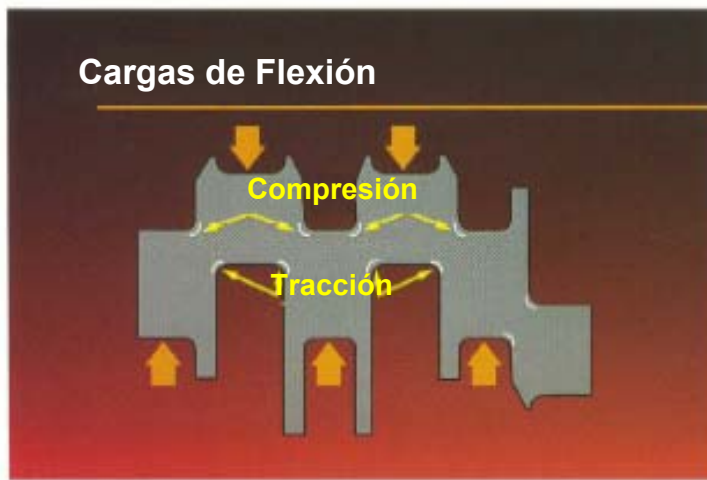
Es importante que todos usemos los mismos términos cuando discutimos las fallas del cigüeñal. La ilustración anterior contiene los términos comúnmente aceptados para las distintas partes del cigüeñal.

ESTRUCTURA DEL CIGÜEÑAL



Los cigüeñales son fabricados por forjado de aleaciones de acero al carbon simple en la forma deseada bajo alta temperatura y presión. El forjado produce líneas de flujo paralelas a las superficies del filete y del muñon, lo cual produce un cigüeñal mas fuerte. Los cigüeñales 3200, 3300, 3400 y 3508 son aun mas reforzados gracias al tratamiento térmico realizado a todo el cigüeñal. La mayoría de los otros cigüeñales tienen superficies de muñones tratadas termicamente para reducir el desgaste y filetes redondeados para una mayor fuerza. Todos los cigüeñales son arenados y pulidos despues del tratamiento termico hasta tener una superficie final extremadamente lisa para reducir el desgaste.

OPERACIÓN DEL CIGUEÑAL



La combustión produce cargas de flexión poniendo a los filetes del muñón de biela bajo tracción y a los filetes del muñón principal en compresión como se muestra en la ilustración de la izquierda. Luego, al final de la carrera, los filetes del muñón de biela están en compresión y los filetes del muñón principal están en tracción como se muestra en la ilustración de la derecha.



La carga de torsión es causada por la resistencia a la rotación del cigüeñal por parte de los volantes, poleas, trenes de engranajes, generadores, etc. Las cargas de torsión son más altas en las superficies del muñón de biela y del muñón principal. Las cargas más livianas en los cigüeñales son las cargas axiales si el cigüeñal está adecuadamente instalado y alineado con los accesorios del motor.

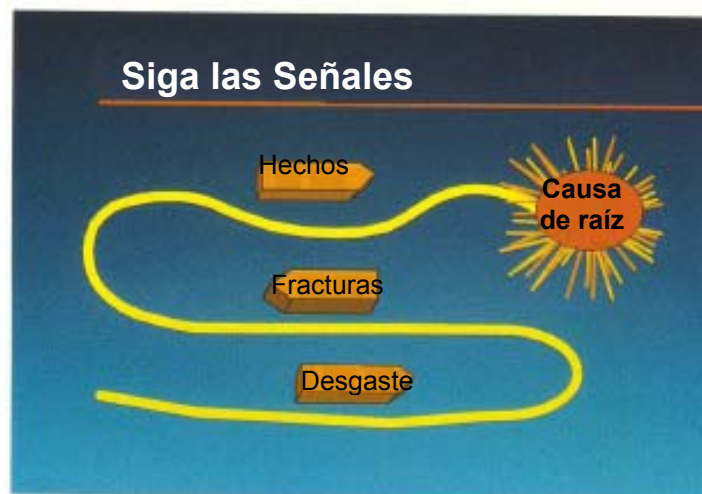
REALIZACION DEL ANALISIS DE FALLAS



Ocho pasos para el análisis de falla aplicado

- Defina el problema clara y concisamente
- Organice la recolección de hechos
- Observe y registre los hechos
- Piense lógicamente de acuerdo a los hechos
- Identifique la causa de raíz más probable
- Comuníquese con la parte responsable
- Realice reparaciones de la manera indicada
- Realice un seguimiento con el cliente

Debido a que los cigueñales CAT son diseñados y fabricados muy cuidadosamente, casi nunca son la causa de raíz de una falla. Sin embargo, cuando si fallan, necesitamos determinar si medio ambientes hostiles, una fabricacion incorrecta o un defecto de proceso o del material causo la falla. Seguir un enfoque organizado, tal como los Ocho Pasos para el Analisis de Fallas Aplicado es la forma mas rapida y segura para identificar la causa de raiz correcta de cada falla y para satisfacer a los clientes.



Los hechos de las fracturas y el desgaste deberían ser obtenidos a través de una examinacion visual cuidadosa de las cigueñas falladas y los componentes relacionados. Examine especialmente los filetes para determinar si tienen una buena flexion, y busque las decoloraciones inusuales por calor generadas durante la falla. Una cigüeña re fabricada puede ser tratada termicamente nuevamente, lo cual produce una decoloracion inusual de los filetes.

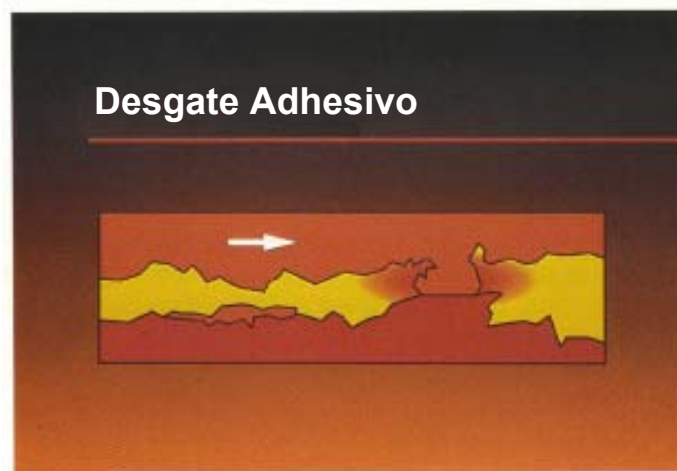
SEÑALES DE FRACTURA Y DESGASTE

DESGASTE ABRASIVO



La rayadura circunferencial de una o mas superficies del muñon principal o de biela es una señal de desgaste abrasivo. Debido a que los muñones son tratados termicamente hasta niveles de dureza altos, la rayadura abrasiva por lo general es causada por partículas abrasivas aun mas duras, tales como arena de maquinas arenadoras o materiales de discos arenados. Las partículas abrasivas pequeñas finas tienden a pulir las superficies de los muñones, mientras que las partículas asperas mas grandes cortan y ranuran las superficies. Las astillas de acero, hierro fundido, y aluminio por lo general no dañan las superficies.

DESGASTE ADHESIVO



Entre las señales de desgaste adhesivo encontramos las superficies de muñones desgarradas y desgastadas, en algunos casos descoloridas hasta una sombra azul/ negra como consecuencia del calor. Si no hay decoloracion, esto indica que una cantidad suficiente de lubricante previno las temperaturas extremas a medida que prograsaba el desgaste adhesivo. El desgaste adhesivo puede generar suficiente calor como para arruinar el tratamiento termico del cigüeñal. Cuando esto ocurre, la cigüeña no deberia ser rectificada con disminucion de tamaño y re usada.

FRACTURAS



Casi todas las fracturas del cigüeñal son fracturas por fatiga producidas por cargas de flexion en los filetes y/ o cargas de torsion en los muñones. Las fracturas por fatiga por torsion y por flexion tienen señales similares: superficies de fracturas suaves y lisas con fracturas finales dúctiles y marcas de playa circulares en aumento desde el punto de iniciación de la fractura. Las marcas de trinquete en el punto de iniciación son señales de fracturas multiples que avanzaron a causa de la tension severa.

FATIGA POR FLEXION



Las fracturas por fatiga por flexión aumentan de filete a filete a menos que el aceite o los orificios de iluminación cambien su dirección. La fractura comenzó en el filete principal inferior y aumento hacia el filete de la biela superior. Otra fractura por fatiga se desarrolló nuevamente desde el filete de la biela superior para encontrarse con la primera. Esto se denomina fatiga por flexión en reversa.

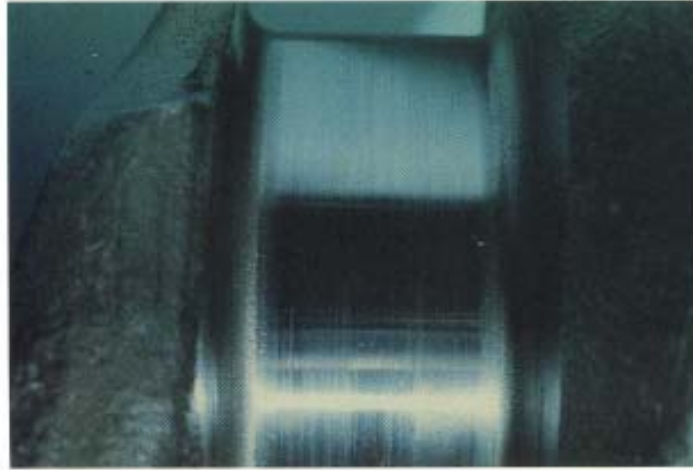
FATIGA POR TORSION



Las fracturas por fatiga por torsión se inician en los muñones y se desplazan en forma espiral en un ángulo de aproximadamente 45°. Los puntos de iniciación de fracturas pueden ser difíciles de determinar ya que muchas veces encontramos varios conjuntos de marcas. Por lo general, el origen es el punto en el cual dos conjuntos de marcas se desplazan en forma radial uno de otro en un ángulo de 45°.

MEDIO AMBIENTES HOSTILES

CONTAMINACION



La ralladura circunferencial de los muñones del cigüeñal es por lo general causada por contaminantes abrasivos duros atrapados entre los cojinetes y los muñones que rayan o ranuran la cigüeña. Cuanto mas pequeñas sean las ranuras, mas angostas serán. Cuanto mas grandes sean las ranuras, mas anchas serán. Si miramos los cojinetes bajo una buena iluminación y con microscopio estereo, es posible ver las partículas en los cojinetes. Al comparar cuidadosamente estas partículas con otros materiales abrasivos encontrados comunmente en areas re construidas (discos o correas arenosos, material de maquinas arenadoras, etc.) es posible por lo general identificar el origen de los desechos.

DESALINEAMIENTO

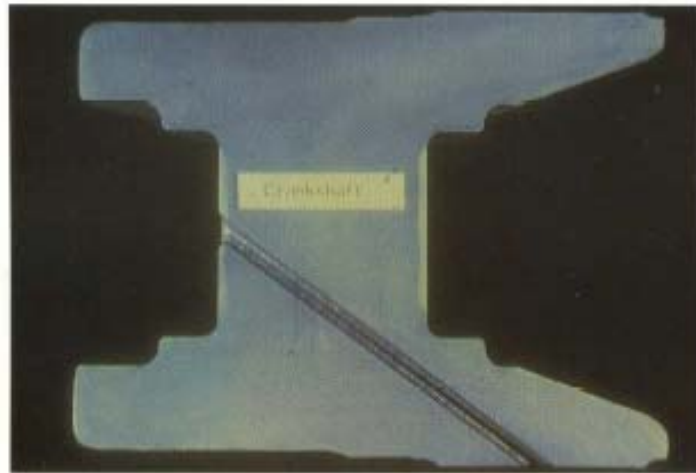


El desalineamiento eleva las cargas de flexion en los filetes de los muñones principales y puede producir fracturas por fatiga por flexion. El desalineamiento puede ser la consecuencia de un esmerilado inadecuado, poco diametro de la linea, distorsion termica a causa de una falla previa, una mala aplicación, una instalacion inadecuada, etc. Las señales de desalineamiento se perciben mejor en las superficies desgastadas del cojinete y nos llevan a investigar los antecedentes del motor.

CALOR



Los atascamientos de los cojinetes generan calor. El material del cojinete se suelda a la cigüeña y luego se desgarrar produciendo superficies desgastadas y desgarradas. La decoloracion azul/ negra indica que el aceite no estaba enfriando el muñon durante la falla. En algunos casos, un atascamiento del cojinete y una fractura del cigüeñal se presentan al mismo tiempo. Para determinar si el cigüeñal estaba fallando antes o despues del cojinete, observe el aluminio y la decoloracion por calor en la superficie de la fractura. Si estaban presentes, esto indica que la falla del cojinete fue una consecuencia de la fractura del cigüeñal. Cuando un cigüeñal disminuido en su tamaño falla, la falla muchas veces puede ser rastreada a una falla anterior del cojinete que debilito el cigüeñal.

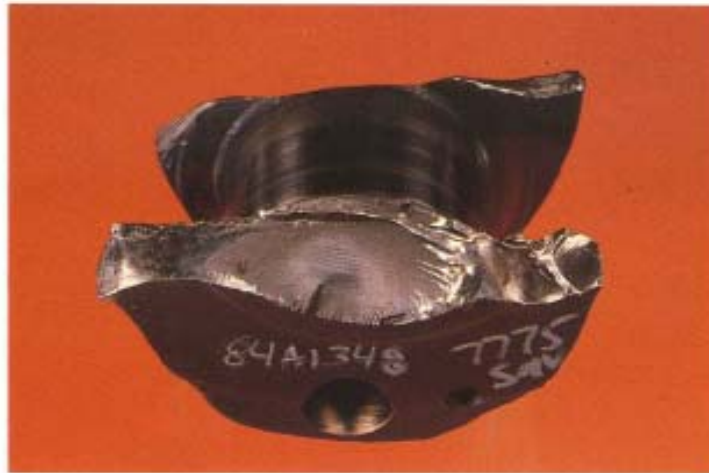


La profundidad del tratamiento termico es aproximadamente .100 pulgadas (2.5 mm) de un lado. El calor de un cojinete puede penetrar mucho mas, ablandando las superficies desgastadas y desgastando los filetes. En algunos casos, se pueden presentar temperaturas que exceden el punto de fundicion del acero durante una falla del cojinete.

CIGUEÑALES RE ACONDICIONADOS

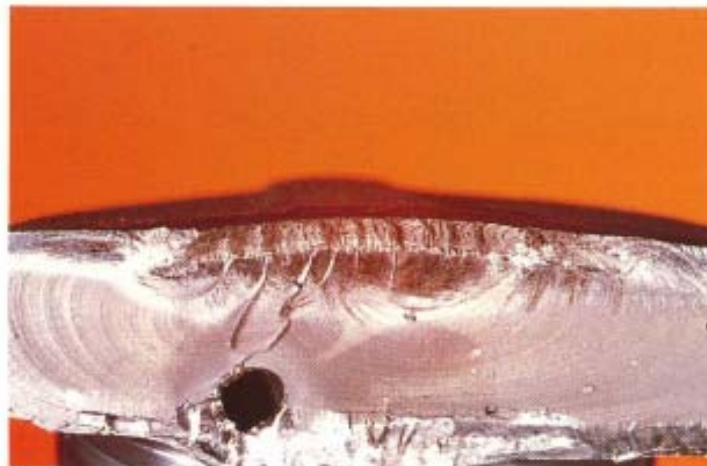
La mayoría de los re acondicionadores de cigueñales no estan familiarizados con los procesos y materiales de los cigueñales CAT. Con frecuencia usan procesos no compatibles para refabricar cigueñales que conducen a fallas prematuras. Recuerde determinar si un cigüeñal fallado es un “cigüeñal Cat refabricado” o un “cigüeñal Cat genuino reacondicionado o nuevo”. Hay una diferencia.

FRACTURAS POR ESMERILADO



Las marcas de trinquete en el filete indican que esta falla por fatiga por flexion fue causada por una tension severa. En este caso, hay una concentracion de tension, una fractura por esmerilado que ocurrio durante el reacondicionamiento. Tambien es posible quemar o quebrar las superficies del muñon o no combinar adecuadamente los filetes durante el reacondicionamiento. Si el cigüeñal ha sido re tratado termicamente, los filetes estaran decoloridos (negros) en lugar de tener el acabado brillante normal.

FRACTURAS POR RECTIFICADO



Los cigueñales reacondicionados son con frecuencia sobre rectificados, lo cual resulta en una fractura de los filetes del muñon principal. Las señales son líneas de flujo forjadas expuestas en la superficie del filete como se puede apreciar en el centro superior de esta ilustracion.

SOLDADURA



En la actualidad Caterpillar no recomienda ningun proceso de soldadura en los cigueñales. En algunos casos los cigueñales son soldados y reusados de todas formas. Algunas veces, la soldadura puede ser reconocida por el llenado incompleto del area soldada o por un limpieza incompleta despues de la soldadura que deja una combinación incorrecta en el filete.



Una examinacion visual cuidadosa con buena iluminacion y ampliacion algunas veces puede revelar cordones de soldadura u otras evidencias de reparaciones por soldadura. El baño de cromo es otro proceso que puede producir fallas prematuras debido a la combinacion de filetes o a la fractura de la pelicula de cromo. Por lo general es posible identificar la pelicula de cromo por el acabado superficial liso y brillante. Dependiendo del tipo de reparacion y la ubicación, el cigüeñal puede fallar por una fatiga por torsion o flexion.

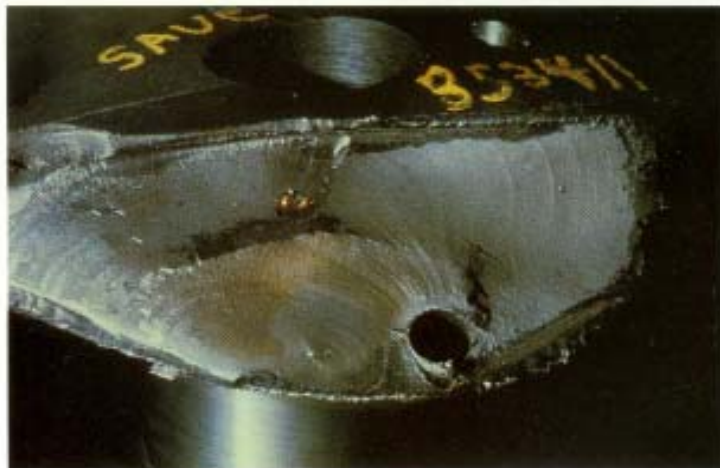
DEFECTOS DEL PROCESO Y DEL MATERIAL

INCLUSIONES



La suciedad, fisuras, y otros defectos del material pueden hacer que un cigüeñal falle por fatiga. Si la falla esta cerca del filete, la consecuencia por lo general es una fractura por fatiga por flexion. En el cigüeñal de la ilustracion, la partícula pequeña de suciedad, llamada “una inclusion” estaba ubicada justo por debajo de la superficie del filete del muñon principal de un cigüeñal 3500. Ya que esta es tambien un area altamente cargada, el defecto produjo una fractura por fatiga por flexion. Si hay una falla en la superficie del muñon, una fractura torsional puede desarrollarse desde uno o ambos extremos del defecto y desplazarse en forma de espiral alrededor del cigüeñal.

ESCAMADO



Cuando las marcas de playa se desplazan en forma radial hacia fuera desde el punto de iniciacion de la sub superficie, podemos sospechar que un defecto de material, tal como una inclusion, escamado de hidrogeno, etc, fue responsable del origen de la falla. Tambien, deberiamos buscar los antecedentes de cargado y temperatura

QUEMADURAS POR FORJADO



Las quemaduras por forjado son causadas cuando se obtiene acero demasiado caliente durante el proceso de forjado. El acero se derrite a lo largo del borde de granos creando vacíos que inician fracturas por fatiga en la sub superficie. Este cigüeñal falló solo después de 80 horas de operación



Los granos grandes son visibles en la superficie de la fractura con marcas de playa que se desarrollan a partir de ellos.

FRACTURAS POR TEMPLADO



Las fracturas por templado son fracturas con forma de uña que actúan como concentradores de tensión e inician fracturas por fatiga. Con frecuencia, las marcas de trinquete indican la presencia de este concentrador de tensión. Una fractura por forjado pequeña esta ubicada en el bisel del orificio de aceite en el lado superior de la fractura.

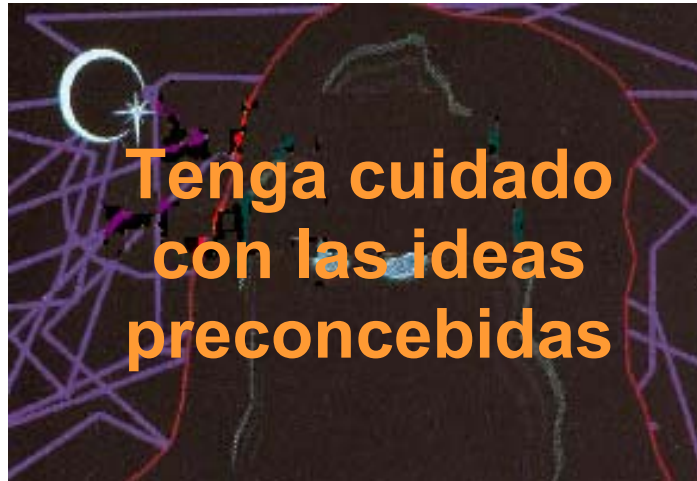
FRACTURAS POR RECTIFICADO



Las fracturas por rectificado son fracturas dúctiles de superficie áspera que se presentan en un filete como se muestra en el centro superior de esta fractura. La fractura por fatiga con marcas de trinquete y marcas de playa se desarrollo a partir de la fractura por rectificado.

CONCLUSION

TENGA CUIDADO CON LAS IDEAS PRECONCEBIDAS



Cuando se realiza un analisis de fallas, a veces es dificil permanecer con la mente abierta y dejar que las señales nos guien hacia mas pistas y hacia la causa de raiz. No importan que tan inteligentes o experimentados seamos, necesitamos dejar que los hechos nos conduzcan hasta la causa de raiz mas probable de la falla.

OBTENGA LA RECOMPENSA



Una vez que hemos identificado la causa de raiz, debemos tomar las acciones correctivas apropiadas y realizar un seguimiento con el cliente para asegurarnos que el problema haya sido resuelto y que el cliente este satisfecho. La forma optima de hacer esto es realizando visitas personales al cliente para demostrarle que sus problemas son importantes para nosotros.

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