

Principios de Metalurgia

Análisis de Fallas
Aplicado



CATERPILLAR

LIBRO DE REFERENCIA

TABLA DE CONTENIDOS

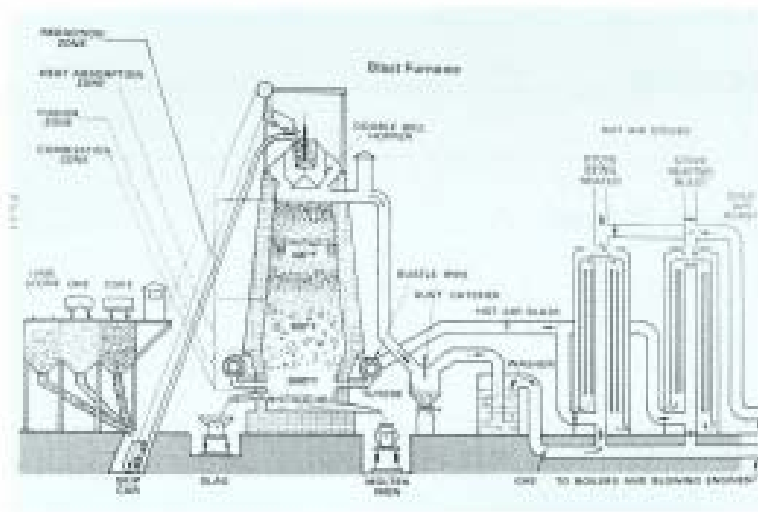
El Refinamiento de los Metales	2
La Estructura del Metal	4
Como se forman los metales	6
Tratamiento Térmico	8
Defectos del Proceso y del Material	10
Inclusiones	10
Contracciones	10
Fracturas por Manipuleo	11
Bolsas (Vacíos) de Contracción	11
Escamado	12
Quemaduras por Forjado	12
Solapas Forjadas	13
Fracturas por Templado	13
Fracturas por Rectificado	13
Conclusión	14

PREFACIO

El propósito de este libro es explicar e ilustrar los principios metalúrgicos básicos de los materiales y procesos para ayudar a identificar la causa de raíz de las fallas. 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.



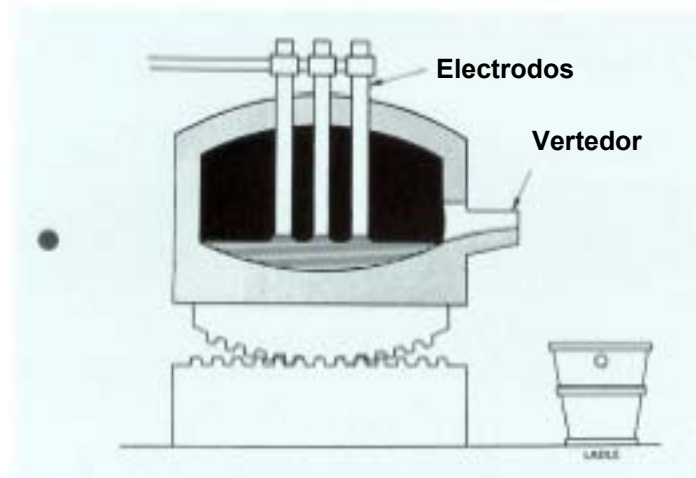
EL REFINAMIENTO DE LOS METALES



Los productos Caterpillar son fabricados de una amplia variedad de metales, siendo los más comunes el hierro fundido y el acero. Cuando estos metales fallan, es útil para diagnosticar la falla conocer como son obtenidos. El refinamiento del metal comienza con la obtención del mineral de la tierra y el tratamiento con químicos y calor para obtener el metal más útil y purificado. El metal de hierro es procesado en un horno de chorro de aire que mezcla el metal con caliza y una forma de carbón llamada coke. De esta forma se extrae el hierro del metal. El calor es proporcionado por el coke mientras que la suciedad es absorbida por la caliza la cual flota arriba del hierro derretido.

Pequeñas partículas de suciedad quedan por lo general atrapadas en el hierro refinado. Estas partículas son conocidas como inclusiones y permanecen en el metal. Todos los metales calientes también contienen gas disuelto. El contenido de carbón y el nivel de impureza del hierro es demasiado alto para hacer algo útil con el. Este hierro parcialmente refinado es la materia prima para el hierro fundido y el acero y es vertido en moldes formando lingotes.

HORNO DE ARCO ELECTRICO



Los lingotes de hierro pueden ser refinados en hierro fundido o en acero en un horno de arco eléctrico. Los electrodos de grafito son bajados hasta el metal, y el calor para el derretimiento es producido por la resistencia del lingote al flujo de corriente. La mayoría de las impurezas son eliminadas y el contenido de carbón es ajustado entre 2% y 4% para producir hierro fundido, y por debajo del 2% para producir acero.

LINGOTES



El acero totalmente refinado es vertido en moldes de lingote para su enfriamiento. Queda cierta cantidad de gas y suciedad. El gas forma cavidades o vacíos en los lingotes, y la contracción que se produce en el enfriamiento produce una cavidad de contracción en la parte superior del lingote. La mayoría de las cavidades de gas se cerraran por soldadura durante el subsiguiente laminado a alta temperatura, pero la cavidad de contracción debe ser eliminada antes de que se realice cualquier proceso posterior.

ESTRUCTURA DEL METAL



A medida que los metales moldeados se enfrían y solidifican, forman cristales llamados granos. Estos granos de empiezan formar al azar con la suciedad (llamada inclusiones) flotando en medio de ellos. A medida que los granos individuales crecen, forman una estructura metálica irregular atrapando las inclusiones entre los granos.

ESTRUCTURA DE LOS GRANOS



Cada grano consiste de muchas unidades de celdas alineadas en filas y columnas como un conjunto de ladrillos.

ESTRUCTURA CELULAR



Una unidad de celda se forma cuando los átomos de hierro se acomodan dentro de un cubo, con un átomo en cada esquina y uno en el centro. Esto se llama cuerpo cúbico centrado.

HIERRO FUNDIDO



El hierro fundido contiene del 2 al 4% de carbón, lo cual forma las escamas de grafito entre los granos. Estas escamas hacen que las fundiciones sean frágiles, con facilidad de maquinado, amortiguación de vibraciones y de alguna forma auto lubricantes.

ACERO



El acero contiene de .02 al 2% de carbón que se mezcla entre los granos, pero no hay formación de escamas. El acero es también clasificado como acero de alto, medio o bajo carbón dependiendo del contenido de carbón, y si se agregan otros elementos tales como níquel, cromo o cobre el acero es llamado "aleación de acero" y tiene diferentes propiedades.

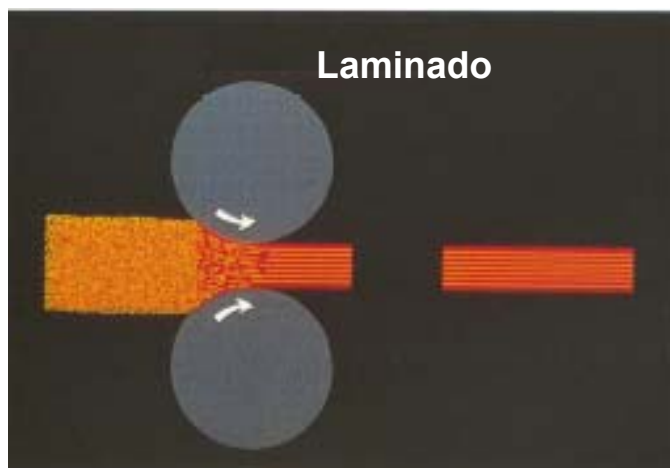
COMO SE FORMAN LOS METALES

FUNDICION



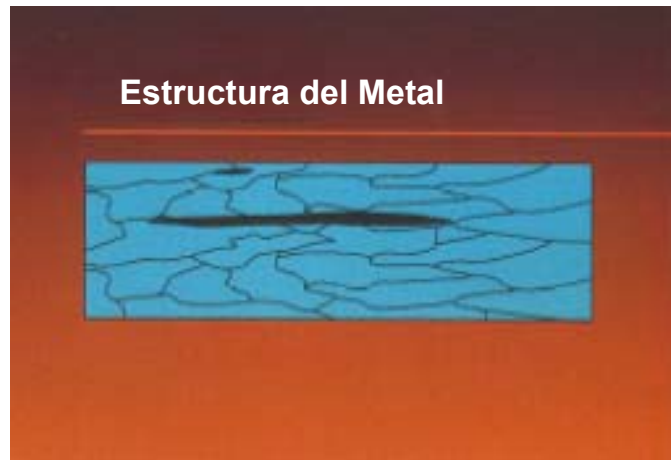
El proceso de fundición consiste en verter hierro derretido en un molde por lo general fabricado de arena y unido por un aglomerante. El hierro se solidifica con una estructura de granos desordenada y alrededor de los granos se forman escamas de grafito. La fundición final puede contener porosidad por el gas disuelto en el hierro derretido, arena del molde, cavidades de contracción a causa de un llenado insuficiente del molde, o fracturas debido a un enfriamiento demasiado rápido.

LAMINADO



Los productos de acero pueden ser moldeados en estado frío o caliente y son conocidos como materiales maleables. El laminado a alta temperatura y presión, el mas común de los procesos de trabajos de templado, suelda la mayoría de las cavidades de gas en el lingote y alinea la estructura de granos desordenada formando líneas de flujo. El laminado puede producir venas en el material (metal plegado sobre si mismo) que pueden causar problemas en procesos subsiguientes de tratamiento de metales.

LINEAS DE FLUJO



Las líneas de flujo producidas por el laminado son granos e inclusiones que son aplanadas y alargadas. Las líneas de flujo hacen que los productos de acero sean más resistentes en la dirección del flujo y más resistentes a las fracturas a través del flujo, de la misma manera que los granos de madera hacen que la madera sea más fuerte en una dirección. Los diseñadores hacen uso de este hecho para producir partes que sean más fuertes en la dirección de soporte de la carga.

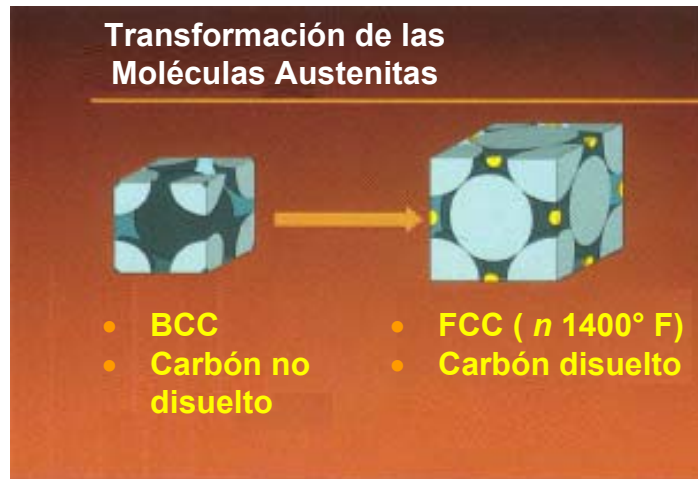
FORJADO



El forjado es otro proceso de alta temperatura y presión que utiliza una matriz con la forma de la parte final. Cuando el acero caliente es forzado dentro de la matriz, el material fluye alrededor de los bordes, produciendo líneas de flujo curvas que fortalecen los filetes u otras formas complejas.

TRATAMIENTO TERMICO

TRANSFORMACION DE LAS MOLECULAS AUSTENITAS

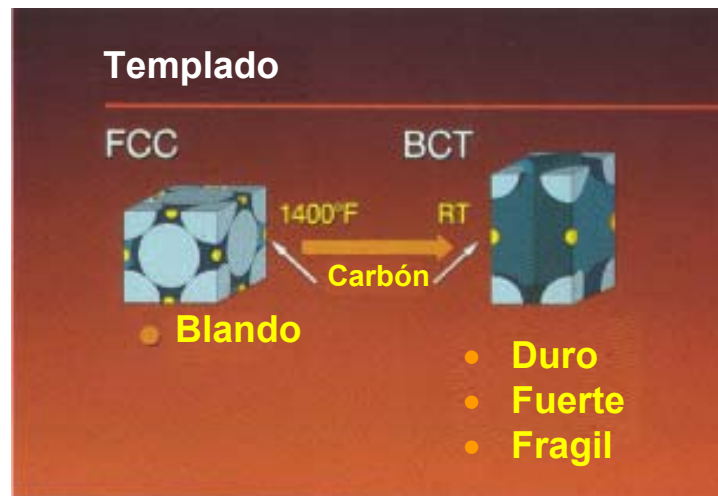


La transformación de las moléculas austenitas es el primer paso en el tratamiento térmico del hierro fundido o el acero y consiste en calentar la parte por encima de los 1400°F (760° C) para transformar las células unitarias de cuerpo cúbico centrado mas pequeño (BCC) en células unitarias de cubo de cara centrada (FCC) con átomos de hierro centrados en cada cara del cubo. Las células FCC son más grandes y permiten que los átomos de carbón entren en la estructura.



La transformación de las moléculas austenitas se realiza mediante el calentamiento de partes en un horno, o al calentar áreas localizadas de las partes con un serpentín calentador por inducción o llama de oxiacetileno.

TEMPLADO Y REVENIDO



El templado es el siguiente paso que consiste en enfriar rápidamente las fundiciones de hierro o acero a temperatura ambiente al sumergirlas en agua o aceite, o por medio de aire. Durante el templado la estructura cristalina cambia de FCC a una estructura llamada Tetragonal de Cuerpo Centrado o BTC que atrapa los átomos de carbón. Los átomos de carbón en la nueva célula BCT las hace mucho mas duras, fuertes y frágiles que las células unitarias del cuerpo cúbico centrado original. La fragilidad y la tensión residual en la parte tratada térmicamente son aliviadas por el revenido. El revenido consiste en volver a calentar las partes para permitir el escape de cierta cantidad de carbón, fortaleciendo así las partes. Las temperaturas de revenido varían pero son menores que las temperaturas de templado.

PRUEBA DE DUREZA



Las pruebas de dureza se realizan para determinar la calidad del tratamiento térmico. La prueba de dureza Rockwell es muy común, y se realiza mediante un cono de punta de diamante el cual es introducido en las superficies de las partes bajo una cierta carga para determinar la dureza. La profundidad de la penetración es medida y convertida a un número de dureza Rockwell C. El acero medio por lo general es de 10- 30 Rockwell C, mientras que el acero endurecido puede ser de 30- 65 Rockwell C.

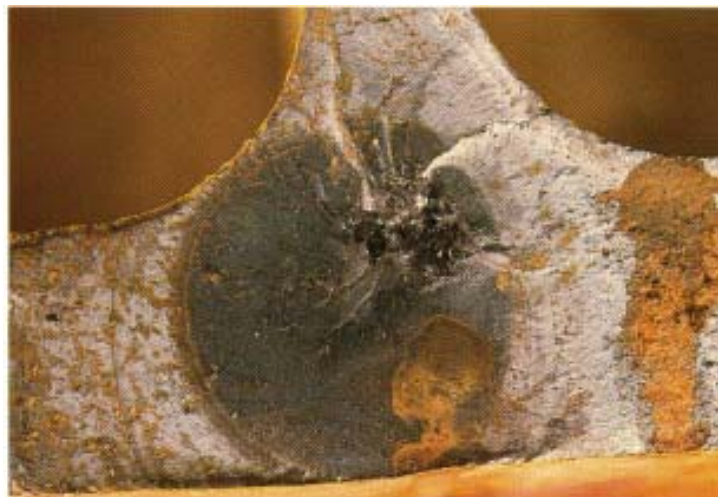
DEFECTOS DEL PROCESO Y DEL MATERIAL

INCLUSIONES



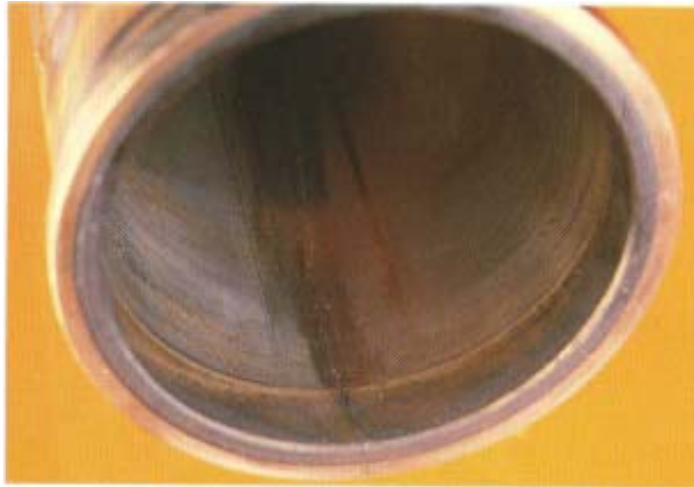
Las inclusiones son simplemente suciedad o material externo que permanece en el acero después de los procesos de refinamiento. Todos los materiales contienen algunas inclusiones pequeñas. Si una inclusión grande permanece accidentalmente en el acero en un área de carga alta de la parte, puede causar el inicio de una fractura, como vemos aquí. Cuando una fractura empieza por debajo de la superficie de la parte, y la temperatura, la carga, etc., eran normales, es una indicación de la presencia de un defecto del material anormalmente grande.

CONTRACCIONES



Si no se vierte la suficiente cantidad de metal en un molde de fundición y este no está adecuadamente llenado, las secciones gruesas se pueden contraer lo suficiente para formar una cavidad de contracción. La sección central oscura que vemos aquí es tal cavidad, e inició una fractura en el interior de la parte.

FRACTURAS POR MANIPULEO



La mayoría de las fundiciones son frágiles ya que contienen escamas de grafito. Si son soltadas o golpeadas duramente durante el procesamiento o manipuleo, se pueden fracturar. Estas fracturas por manipuleo pueden aumentar con las cargas operacionales hasta que causen una falla.

BOLSAS DE CONTRACCION



La bolsa de contracción es una cavidad de contracción que no fue eliminada de la parte superior del lingote. Durante el laminado, la cavidad se aplana y alarga, igual que las líneas de flujo, y forma una fractura de forma irregular por debajo del centro de la parte. Las líneas de flujo visibles en este pedazo de resorte cerca del centro del borde superior de la fractura indica que la bolsa de contracción esta presente en el material que se utilizo para fabricar el resorte. La bolsa de contracción actúo como un concentrador de tensión severo que inicio una fractura por fatiga, lo cual provoco que el resorte falle en servicio.

ESCAMADO



El escamado es producido cuando el agua que se utiliza para desescamar acero muy caliente en los procesos de forjado o laminado se convierte en gas de hidrogeno que es absorbido por el acero. Este gas se acumula en las inclusiones y quiebra el acero alrededor de las inclusiones si el acero es enfriado demasiado rápidamente. Las áreas brillantes en esta fractura son las escamas.

QUEMADURAS POR FORJADO



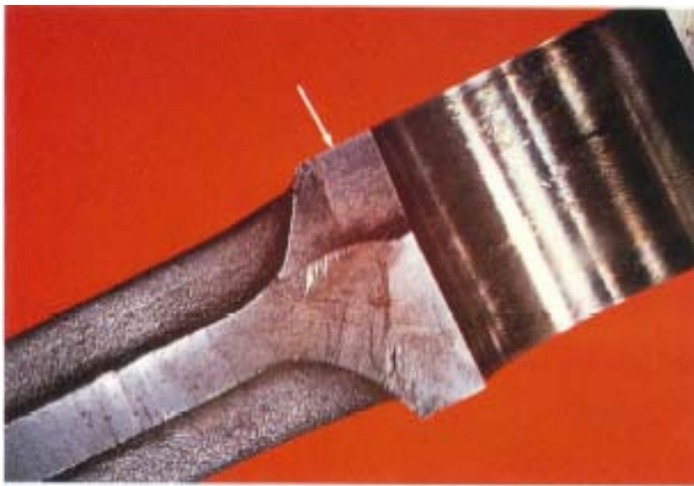
Las áreas granulares grandes en el centro de esta fractura fue causada por el sobrecalentamiento del acero durante el forjado. En las áreas granulares grandes, la estructura de metal comenzó a derretirse, produciendo áreas debilitadas que con el tiempo iniciaron fracturas por fatiga bajo el efecto de la carga. Este tipo de defecto se denomina quemadura por forjado.

SOLAPA FORJADA



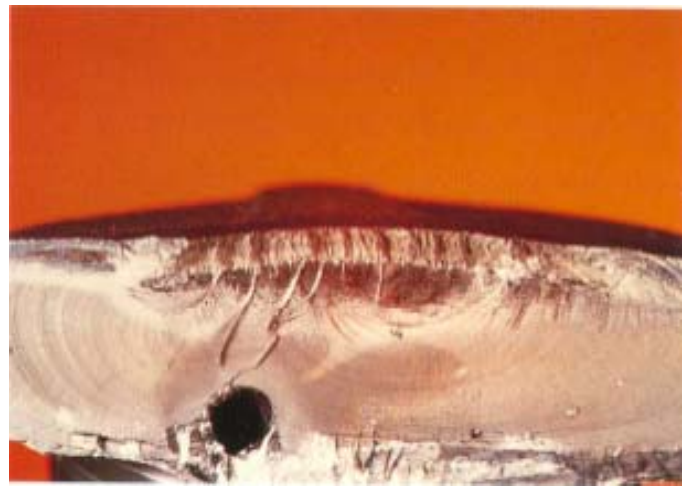
Durante el forjado el metal algunas veces se pliega sobre si mismo en lugar de fluir por el troquel de forjado. Esto produce una solapa forjada que puede conducir a una fractura por fatiga bajo el efecto de la carga. Las solapas forjadas contienen el oxido negro que se formo en la superficie caliente durante el forjado y quedo atrapado en la plegadura. Esta biela contiene una solapa forjada con oxido negro.

FRACTURAS POR TEMPLADO



Las fracturas por templado son una consecuencia de enfriar las partes demasiado rápido. El revenido por lo general descolore las fracturas por templado hasta un color azul o negro. Esta biela contiene una fractura por templado en el calibre del buje.

FRACTURAS POR RECTIFICADO



El tratamiento térmico a veces distorsiona las partes lo que requiere que sean rectificadas. Si son rectificadas en forma inadecuada se pueden fracturar. Una fractura por rectificado esta ubicada en el centro superior de esta fractura. Las líneas de flujo están visibles en la fractura, y las marcas de trinquete indican que una fractura por fatiga se desarrollo a partir de ahí.

CONCLUSION

Así concluye nuestra breve reseña acerca del refinamiento, moldeado, tratamiento térmico y procesado del metal. Con mayor frecuencia, las partes fallan debido a condiciones o ambientes adversos y casi nunca debido a defectos. Pero cuando los defectos están presentes, deben ser reconocidos para que se puedan tomar las acciones adecuadas. Al familiarizarnos con los ejemplos anteriores de defectos de proceso y refinamiento, se hace mucho más fácil determinar si están presentes o que rol pueden haber tenido para provocar la falla.



Identifique las causas de la falla

Piense- hechos
Pregunta de Doble Control
Obtenga la información ambiental

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

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