

The background image shows a complex industrial machine, likely a continuous casting system. It features a series of rollers and guides that are illuminated with a bright orange and yellow glow, suggesting high temperatures. The machine is set within a dark industrial environment with structural beams and railings visible.

DETECCIÓN DE ROMBOIDES MEDIANTE UN SISTEMA INTELIGENTE

La colada continua es un proceso donde el acero líquido se solidifica, convirtiéndose en un producto semiacabado. Durante este proceso el acero se enfría en tres etapas: Primero por contacto directo con un molde (refrigerado con agua), conocido como enfriamiento primario; después es sometido a un enfriamiento secundario por contacto directo con agua en la zona de aspersion y finalmente en aire mediante transferencia de calor por radiación.

Defectos presentes en Productos Largos de Colada Continua

El obtener productos del proceso de Colada Continua con la adecuada calidad, siempre ha sido un reto en el mundo de la acería y son varios los factores que pueden promover la presencia de defectos en los mismos y que muchas veces perjudican los procesos siguientes de conformado.

Es por esto que se hace especial énfasis en el control de calidad de estos productos semielaborados, pues es un requisito actual para cumplir con las especificaciones del cliente y reducir los costos operativos, siendo competitivo en el mercado.

Entre los principales defectos que suelen presentarse durante la colada continua de palanquillas tenemos [1]:

-Defectos superficiales:

- Poros superficiales
- Grietas longitudinales
- Grietas transversales
- Doble piel (miniperforaciones)
- Gotas frías.

-Defectos internos:

- Porosidad
- Porosidad central
- Segregación central
- Grietas "off-corner"
- Grietas de medio camino
- Macroinclusiones.

-Defectos de forma:

- Romboides

La romboides es un defecto en las palanquillas que es conocido desde el principio de los tiempos en la producción de estas piezas, y a pesar de todos los avances que se han logrado con el pasar de los años sigue estando presente, manifestándose incluso en la puesta en marcha de las máquinas de colada modernas durante la última década, en otras palabras, este defecto de forma se ha producido con frecuencia generando consecuencias negativas tanto para la operación de los procesos aguas abajo como para el cumplimiento de la calidad en el producto; requiriendo esto la realización de trabajos con miras a mitigar o prevenir dicha irregularidad en las piezas fabricadas.

En este artículo, se realiza una revisión sobre la romboides en palanquillas, considerando aspectos como su origen, así como las consecuencias con respecto a la calidad de la palanquilla y su influencia en la operación de laminación; para finalmente plantear un Sistema Inteligente que permita realizar la detección oportuna de este defecto en línea.

Romboides en palanquillas

La romboides es un tipo de defecto de forma que se presenta en las palanquillas cuando la diferencia entre las diagonales de la sección transversal es más del 2 por ciento (6 a 8 mm), y suele calcularse de la siguiente manera [2]:

$$\text{Romboides (\%)} = \frac{(d_2 - d_1)}{((d_2 + d_1)/2)} \times 100$$

Donde d_2 es la diagonal de las esquinas con ángulos agudos y d_1 es la diagonal de las esquinas con ángulos obtusos. En la figura 1 se esquematiza la sección transversal de una palanquilla con romboides.

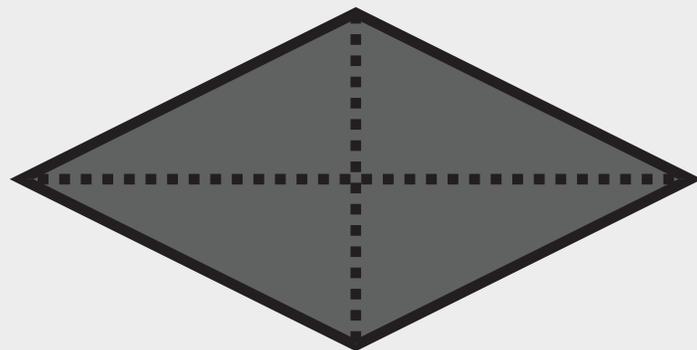


Figura 1. Esquema de la sección transversal de una palanquilla con romboides

Consecuencia

Como se mencionó anteriormente el defecto de romboides en las palanquillas tiene consecuencias negativas tanto para los procesos aguas abajo como para la calidad del producto final, los cuales mencionaremos a continuación.

Las palanquillas con este defecto suelen presentar grietas en las esquinas obtusas [3] y dependiendo de la magnitud de la romboides, dichas grietas pueden continuar su crecimiento a través de la diagonal de la sección transversal de la pieza, en la misma dirección de crecimiento de los granos columnares de la estructura solidificada, llegando a propagarse al centro de la palanquilla, dando lugar a una grieta diagonal completa, cuando la romboides es mayor (figura 2).

Al igual que ocurre con otras fisuras, existe la posibilidad de soldadura de las mismas durante el proceso de laminación, aunado a que estas fisuras a alta temperatura suelen rellenarse con líquido interdendrítico muy segregado llegándose a convertir en un punto de concentración de esfuerzo en la estructura por donde la pieza puede llegar a fallar.

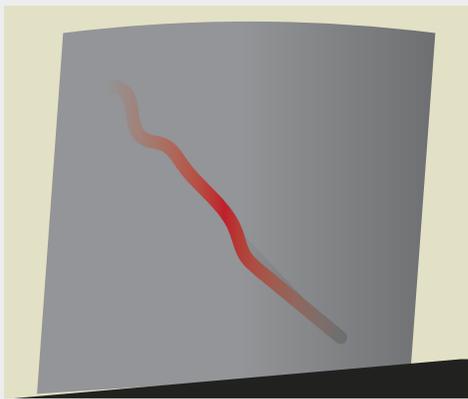


Figura 2. Grieta longitudinal en una palanquilla con romboides

Por otro lado, la presencia de romboides puede provocar problemas de movimiento de las piezas durante el recalentamiento en el horno previo al proceso de laminación, especialmente en los hornos de empuje pues las palanquillas pueden saltar en la entrada del horno, provocando la formación de pilas.

Además, durante la laminación, la pieza puede torcerse en la primera caja de desbaste, causando el desplazamiento axial de la misma, formando un filete longitudinal a lo largo de la palanquilla, quedando el defecto en la barra laminada y generando descarte de material, así como daño de los cilindros. Algunas industrias consideran que el grado de romboides es severo cuando alcanza los 6 - 8 mm o 4 - 5%.

Mecanismo de formación

Existen dos mecanismos fundamentales por lo que este defecto se puede originar durante el proceso de solidificación, uno de ellos es la forma del molde de la máquina de colada continua, la cual podría distorsionarse en una forma romboidal, originando que las esquinas obtusas muestren una capa solidificada más delgada en comparación con la capa en los ángulos agudos, debido a la mayor brecha entre el molde y capa sólida, disminuyendo la transferencia de calor; dando así lugar a una pieza solidificada con Romboides [4]. Sin embargo, es difícil justificar una gran romboides por este mecanismo, ya que la distorsión del molde en la mayoría de los casos nunca llega a ser tan grande.

El otro mecanismo se basa en la formación de una capa delgada en el molde en dos esquinas opuestas, y una capa gruesa en las otras dos. Luego, durante la primera etapa de enfriamiento secundario, la sección adquiere una forma fuera de cuadratura, debido a la disminución más rápida de la temperatura donde la capa es más gruesa (mayor transferencia de calor) y la contracción no es uniforme, dando lugar a un ángulo agudo en las esquinas más frías y ángulo obtuso en las esquinas más calientes.

Entre las principales causas de la solidificación no uniforme en el molde tenemos: distorsión del molde, falta de alineación entre el molde y la camisa de agua, enfriamiento no uniforme en el molde, sobrecalentamiento elevado en el acero, variaciones del nivel del menisco y la influencia del polvo colador en la transferencia de calor [5].

Es importante destacar que, de acuerdo a la teoría, los aceros de medio carbono son los más susceptibles a presentar este defecto en comparación con los aceros de bajo o alto carbono.

La propensión de estos aceros a la romboides se ha atribuido al hecho de que, en comparación con los aceros de bajo carbono, suelen tener una mayor transferencia de calor, y en comparación, con los aceros de alto carbono, el rango de solidificación es más estrecho. Por lo tanto, el impacto del enfriamiento desigual en la generación de una capa no uniforme es mayor para estos aceros de medio carbono.

Debido a lo perjudicial que puede llegar a ser la presencia de romboides en las piezas semielaboradas es necesario contar con una herramienta que permita su detección de manera oportuna, permitiendo a su vez retroalimentar al proceso y de esta manera hacer ajustes en la operación de la máquina con miras a evitar la presencia de dicho defecto.

Sistema experto para detectar en línea la romboides en palanquillas

Los Sistemas Expertos se diseñan para resolver problemas mediante la toma de decisiones en un área determinada, de forma análoga al razonamiento humano, es decir es un sistema informático que emula el razonamiento actuando tal y como lo haría un experto en el área de conocimiento a tratar.

En esta oportunidad se pretende mediante un Sistema Experto detectar de manera oportuna la generación del defecto de forma llamado "Romboides" en las palanquillas producidas en el proceso de Colada Continua, considerando los conocimientos fundamentales relacionados con la solidificación del líquido, la transferencia de calor en la máquina de Colada Continua, el comportamiento mecánico del acero, así como los mecanismos de formación de dicho defecto.

En otras palabras, este sistema pretende detectar en línea para cada colada si se originará este defecto, a través de la evaluación de las condiciones que de acuerdo a las base de conocimiento pueden originar la romboides, como: tipo de acero, el sobrecalentamiento dado al líquido, condiciones del molde, velocidad de la máquina, sistema de enfriamiento, entre otras. Además de predecir si se formará el defecto, permitirá dar recomendaciones oportunas para evitar que ocurra.

El desarrollo de este sistema consta de cuatro etapas principales:

Definición del dominio del problema:

Durante esta etapa, los expertos describen el área del problema y la necesidad de un sistema experto para diagnosticar el defecto de Romboides en la colada Continua de palanquillas.

Adquisición de conocimientos:

La adquisición de conocimientos se ha definido como la transferencia y transformación de la experiencia en la resolución de problemas de alguna fuente de conocimiento a un programa de computadora. En esta etapa deben quedar bien definidos aspectos como: el origen del defecto, las causas de su formación y las recomendaciones sugeridas para la prevención.

Desarrollo del sistema experto:

Para el desarrollo del sistema, la base de conocimientos se estructura y se codifica en reglas. Finalmente es evaluada por los Expertos y modificada de ser necesario. Muchas veces este proceso es iterativo en el que la base de conocimientos queda sujeta a numerosas revisiones y ampliaciones.

Prueba y validación en el campo:

El sistema es evaluado por los Expertos y los Ingenieros del Conocimiento durante su uso en campo. Aquí, se prueba el programa de computadora y se identifican y modifican las áreas débiles de la base de conocimientos.

Es importante destacar que este Sistema Experto tiene la posibilidad de crecer en lo que a la detección de defectos en palanquillas respecta, es decir, permite estructurar en su base de conocimientos, todo lo referente a otros defectos como, grietas longitudinales, grietas transversales, porosidades, entre otros, para su detección en línea.

-Entre los principales beneficios del desarrollo de este Sistema Inteligente, tenemos:

-Obtener productos semielaborados de mejor calidad, evitando la formación de romboides.

-Aumento de producción del proceso.

-Generar información que sirve para realizar mejoras en el mecanismo de solidificación de las piezas durante la colada continua.

-Evitar problemas durante la laminación ocasionados por la presencia de romboides en las palanquillas.

-Proceso con mejor control.

CONTÁCTANOS

México

Oficina de la Región Central
Corporativo Angelópolis, Paseo Ópera No. 2, Piso 2,
Oficina 206, Lomas de Angelópolis, CP 72830
Puebla, México.

Teléfono: +52 222 478 8282

Oficina de la Región Noreste
Av. Ricardo Margain Zozayta 575 Edificio C Suite 100
Santa Engracia, CP 66267, San Pedro Garza García,
Nuevo León, México.

Teléfono: +52 818 000 7871

Colombia

AV. Carrera 45 No. 103-34 / 40, oficina 408, Edificio
Logic 2. CP 110111, Bogotá, Colombia.

Teléfono: +57 (1) 749 5856

ECON
Industrial Automation

www.econ-tech.com