

DISEÑO DE SISTEMA DE ADQUISICIÓN PARA ESTUDIO DEL MECANISMO INICIAL DE FORMACIÓN DE LA CAPA SOLIDIFICADA EN EL MOLDE DE COLADA CONTINUA

Antonio Robles Álvarez

Campus de Viesques, Edificio Departamental zona oeste, desp. 2.2.10, Gijón, arobles@isa.uniovi.es

Hilario López García

Campus de Viesques, Edificio Departamental zona oeste, desp. 2.2.11, Gijón, hilario@isa.uniovi.es

Manuel Tarrío Míguez

ACERALIA Corporación Siderúrgica, Centro de Desarrollo Tecnológico, Avilés, mtarriom@aceralia.es

Luis Fernando Sancho

ACERALIA Corporación Siderúrgica, Centro de Desarrollo Tecnológico, Avilés, lsanchom@aceralia.es

Resumen

El objetivo es el diseño de un sistema de medida de temperaturas en el molde que permita la realización de un estudio detallado de los fenómenos de formación de la piel del desbaste así como las transferencias de calor en el menisco. Para ello se dispondrán una serie de termopares de precisión a lo largo de la línea vertical central del molde tanto en la cara ancha como en la estrecha. Las señales serán convertidas y enviadas a través de un bus industrial a la estación de adquisición. En ella se almacenarán los datos junto a los provenientes del ordenador de proceso indicando las condiciones en las que está evolucionando la colada. Los datos podrán ser usados para ajustar modelos matemáticos de la transferencia de calor en el molde que permitan, entre otros, conocer mejor el mecanismo de formación de la capa superficial, con la intención final de tomar las decisiones necesarias para perfeccionar la calidad del producto.

Palabras Clave: Colada continua, Aceros, Menisco, Molde, Solidificación.

1 INTRODUCCIÓN

El proceso de colada continua se desarrolló en Europa en los años cincuenta para producir secciones de acero directamente a partir de acero líquido. Anteriormente se generaban lingotes que, más tarde, se laminaban en rodillos para producir palanquillas. La colada continua, con la cual se procesa más de un tercio de la producción mundial de acero, se ilustra en la figura 1. El acero líquido del *tundish* se vacía en un recipiente de donde, a velocidad controlada, pasa a un molde de sección rectangular. Las paredes del

molde se lubrican (con polvos o aceites) para que el acero no se adhiera y se refrigeran con serpentines de agua. El molde además se hace vibrar para ayudar a que el acero se deslice. El molde no tiene tapa inferior pues el acero que ha solidificado en el extremo inferior, sirve como tapa. Después de pasar por el molde, el acero, ya sólido pero al rojo vivo, pasa por una serie de rodillos hasta llegar a una plancha donde, con sopletes, la sección rectangular se corta en tramos de la longitud deseada.

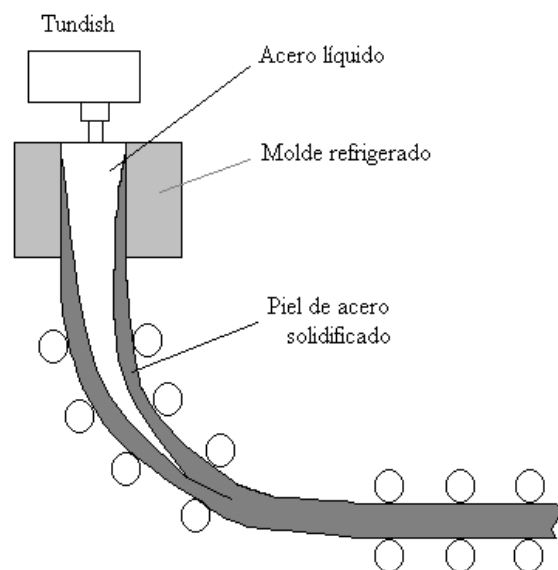


Figura 1. Proceso de colada continua

La creciente competencia en la industria siderúrgica exige por un lado intensificación de la investigación y por otro esfuerzos para incrementar la productividad de la planta y la calidad del producto, así como para reducir los costes de producción.

En el proceso de colada continua, la fabricación de desbastes planos libres de defectos superficiales

requiere la disponibilidad de moldes con mucha instrumentación que permitan llevar a cabo la monitorización térmica del proceso [4].

Con los datos obtenidos se intenta mejorar el conocimiento del proceso. En concreto en este proyecto se pretende llegar a conocer mejor los mecanismos iniciales de formación de la capa solidificada.

El ajuste de los modelos matemáticos con los datos experimentales obtenidos en la acería de Avilés serán llevados a cabo por CSM (Italia), que junto con IRSID (Francia), BFI (Alemania), Universidad de CLAUSTHAL (Alemania) y ACERALIA son los integrantes de un proyecto CECA más amplio, titulado “New approaches of the initial solidified shell formation mechanisms in the continuous casting mould”.

2 TRANSFERENCIA DE CALOR

2.1 MECANISMOS IMPLICADOS

El calor es extraído del molde, principalmente por el agua que circula en su interior. Como se puede intuir en la figura 2, la transmisión de calor desde el acero líquido hasta el agua de refrigeración se produce por los siguientes mecanismos [2]:

1. Transmisión por convección en el acero líquido
2. Conducción en la capa de acero solidificada
3. Transmisión desde la superficie del acero hasta la pared del molde.
4. Conducción en el molde.
5. Convección entre el molde y el agua de refrigeración.

El flujo global de calor extraído en el molde se puede calcular midiendo el caudal de agua de refrigeración y el incremento de temperatura producido en el agua, valores registrados en el ordenador de proceso.

Para realizar cálculos más precisos es necesario conocer cómo se distribuye el flujo de calor a lo largo del molde. Para ello se instalan termopares en distintas posiciones del molde [3]. Luego, por medio de modelado matemático, se determina el flujo de calor que hace coincidir los valores de temperatura medidos y calculados en estas posiciones [1].

2.2 FACTORES RELEVANTES

2.2.1 Velocidad de colada

Es una de las variables que mayor influencia tienen en la extracción de calor en el molde. Normalmente un aumento de velocidad provoca un incremento del flujo de calor extraído en el molde.

2.2.2 Contenido en carbono del acero

En estudios realizados se ha observado que la extracción de calor en el molde presenta un mínimo cuando se cuelean aceros con porcentajes de carbono próximos al 0,1 % (aceros peritécticos).

2.2.3 Polvos de lubricación

Al contrario que los dos anteriores, que vienen prefijados por el departamento de producción, éste es una de las posibles variables de actuación. Su influencia es fundamental en la obtención de productos de calidad, y por ello se están llevando a cabo numerosas investigaciones y pruebas.

Los polvos de lubricación son escorias sintéticas que se agregan de forma manual o automática durante el colado del acero, y cuyas principales funciones son [2]:

- proteger el menisco de acero líquido de la reoxidación
- aislarlo térmicamente
- absorber las inclusiones que llegan a la superficie del baño metálico
- lubricar la salida de la línea
- permitir una extracción uniforme de calor.

Están compuestos básicamente por SiO_2 , CaO , y Al_2O_3 , sumando dichos componentes alrededor del 60%, más el agregado de fundentes (óxidos alcalinos y fluoruros) que controlan el rango de fusión y la viscosidad de la escoria formada. También se agrega carbón de diferentes orígenes y granulometría para regular la velocidad de fusión.

Al ser aplicados sobre la superficie del acero, los polvos dan lugar a la formación de tres capas: una de escoria líquida en contacto con el acero, otra de polvo sinterizado y una tercera superior con el polvo en su estado original.

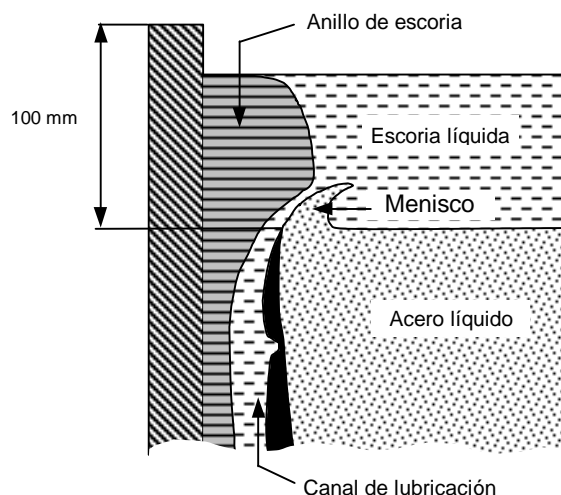


Figura 2. Solidificación del acero en el molde

La capa de escoria líquida en contacto con el acero se infiltra, ayudada por los movimientos de oscilación de la lingotera, entre la piel de metal recientemente solidificada y la pared del molde. La capa de escoria próxima a la pared del molde se enfría y solidifica, quedando adherida al mismo una capa de escoria vítrea o cristalina, mientras que con el acero, una escoria líquida de poco espesor acompaña el descenso de la línea. La escoria solidificada en la zona del menisco de acero da lugar a la formación de un anillo de escoria que tiene importancia en la formación de las marcas de oscilación en la superficie del producto y en la transmisión de calor en esta zona. En la figura 3 se puede observar la distribución de las diferentes capas.

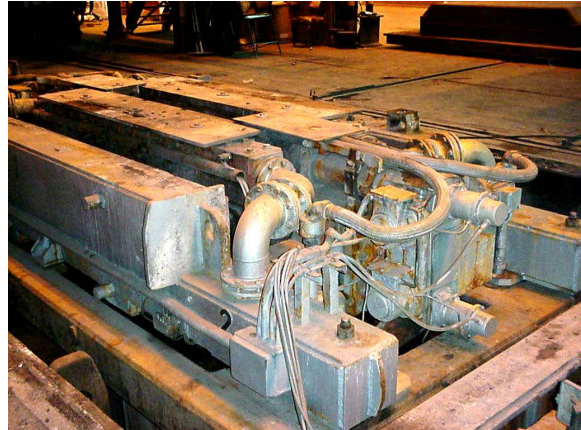


Figura 3. Vista superior del molde

Por lo tanto, la transferencia de calor en el molde va a depender en gran medida de las propiedades de los polvos utilizados. Según diferentes trabajos:

- la utilización de polvos con mayor viscosidad y temperatura de fusión reducen la extracción de calor
- existe una viscosidad para la cual el flujo de calor en el molde es mínimo, permitiendo obtener una capa de escoria estable y uniforme entre metal y molde
- los factores que conducen a un menor consumo de polvo, y por lo tanto a menor espesor de la escoria líquida, provocan mayor extracción calórica.

3 INSTRUMENTACIÓN DEL MOLDE

La implementación y pruebas industriales serán llevadas a cabo en la Acería LD3 de Avilés.

3.1 MOLDE

Cada *tundish* alimenta simultáneamente dos moldes, generando por lo tanto dos líneas de colada continua. A continuación en la tabla 1 se indican las características de los moldes instalados en la acería y objeto de las pruebas.

Material	Cobre
Altura del molde	904 mm
Ancho de placa ancha	1850 mm
Ancho de placa estrecha	240 mm
Radio de curvatura de la placa fija	10.5 m
Radio de curvatura de la placa móvil	10.245 m
Espesor de la placa fija	50 mm
Espesor de la placa móvil	60 mm

Tabla 1: Características detalladas del molde.

3.2 TERMOPARES

Se situarán sendas filas de termopares tipo K, de 1.5 mm de diámetro, en el eje central de dos de las caras del molde (una ancha y otra estrecha). Se insertarán perpendicularmente a las placas, atravesando la cámara de refrigeración en la cara ancha, no así en la estrecha pues carece de ella.

Los haces de termopares provenientes de cada una de las caras se concentrarán en una caja de conexiones que permitirán el cambio del molde de forma sencilla.

De la caja de conexiones partirán cables de compensación hacia el sistema de conversión.

3.3 COMPENSACIÓN Y CONVERSIÓN

Para este propósito se ha seleccionado un sistema de entradas/salidas distribuidas, basado en la red industrial PROFIBUS-DP. Se consiguen con ello varias ventajas frente a la distribución de la señal clásica en corriente (4-20 mA):

- Se evita una conversión, con la subsiguiente mejora de precisión.
- Se transmiten todas las señales desde el convertidor al equipo central (pueden ser 50 m) en formato digital vía bus a través de dos hilos, frente a la otra solución, en la que son necesarios dos hilos por cada señal.
- Se produce una reducción drástica de cables
- Se evitan posibles interferencias al transmitir en formato digital.
- Disminuye la necesidad de espacio en el armario de conversión.
- Mejora la flexibilidad. Si fuese necesario añadir alguna señal adicional, se insertarían los módulos que hiciesen falta, y luego se transmitiría la señal por el mismo bus.

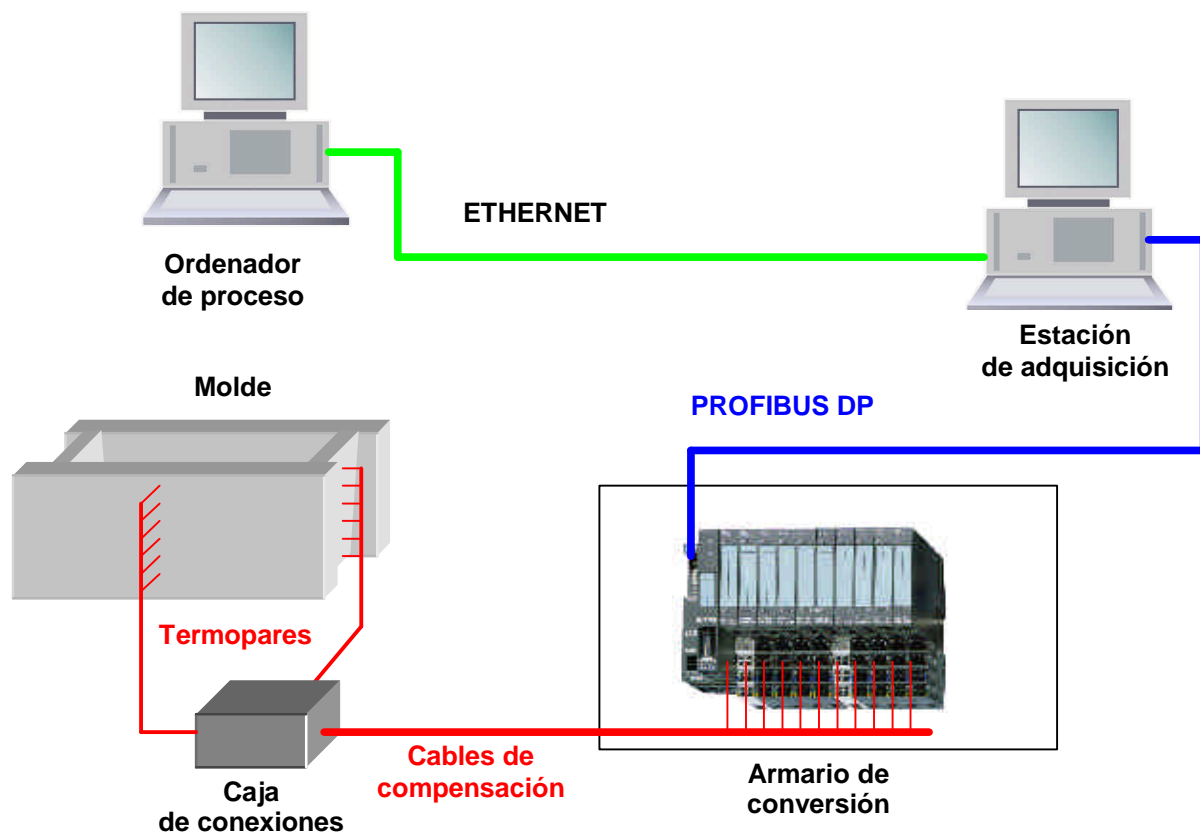


Figura 3. Estructura del sistema diseñado

Además de las tarjetas convertidoras de entrada termopar, será necesaria otra tarjeta convertidora de entrada RTD, a la que irá unida una Pt100 de rango climático, que proporcionará la temperatura de la unión de referencia necesaria para la compensación.

4 ALMACENAMIENTO Y REPRESENTACIÓN

Se puede acceder a los datos procedentes de los termopares a través de cualquier dispositivo electrónico con capacidad de ser maestro en una red PROFIBUS DP.

Ya que el equipamiento previamente instalado para control de proceso (TELEPERM) no permite un enlace directo a esta red, se ha conectado la red a un PC industrial.

Además de la anteriormente indicada función de puente entre la instalación y el ordenador de proceso, el PC, lleva a cabo otras tareas:

- Comunicación con el ordenador de proceso, para obtener los parámetros, resultados y variables de proceso de la colada.
- Acceso, configuración y mantenimiento de la red PROFIBUS, y de los módulos de adquisición.

- Estación de supervisión y seguimiento, parcialmente configurable. Permite presentar en formato gráfico o tabular las mediciones instantáneas de cada termopar, así como los datos de proceso relacionados.
- Mantenimiento de una base de datos con mediciones realizadas y su relación con las variables de proceso.

En la figura 5 se puede observar el conjunto de funciones referentes a la Estación de Supervisión, las relaciones entre ellas, y los tipos de usuarios contemplados:

- Mantenimiento: responsable de configurar las características y acceso a la red PROFIBUS así como las características de la presentación de resultados.
- Explotación: es el operador o responsable de la máquina de colada, capaz de tomar decisiones ante determinadas eventualidades.
- Analista: podrá acceder a la base de datos para consultar coladas anteriores, con objeto de buscar correlaciones, determinar causas de fallos, etc.

Tanto los datos de temperatura tomados de los termopares, como los procedentes del proceso deben ir sincronizados.

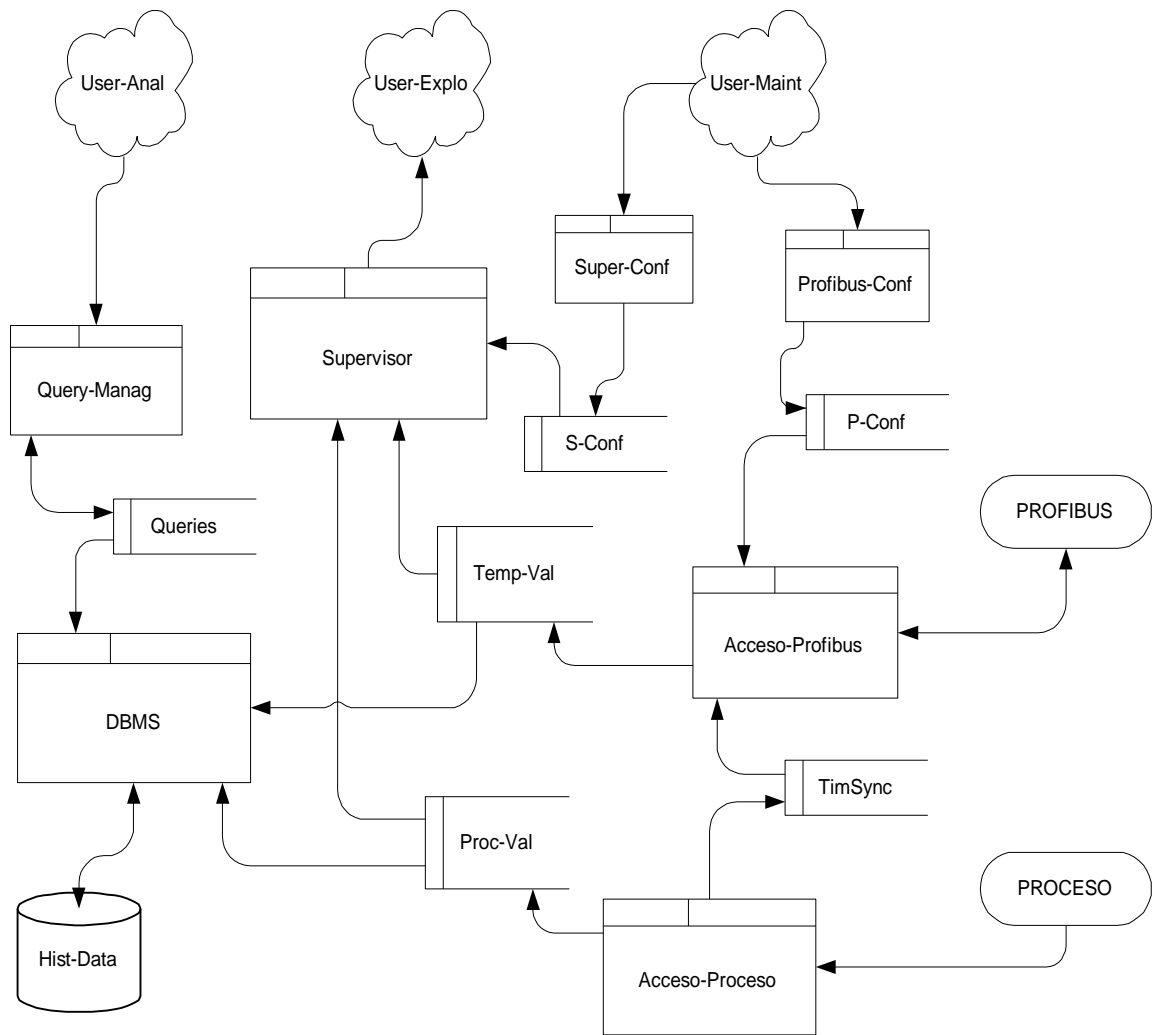


Figura 5. Interrelaciones funcionales en la Estación de Supervisión

Conclusiones

En el estado actual aún no se han obtenido resultados de medidas de temperatura, debido a la problemática de la instalación de los termopares en los moldes, ya que éste es un punto crítico y tremendamente sensible del proceso. Se espera terminar la instalación durante los próximos meses.

En el futuro, y a partir de los datos obtenidos de la instrumentación del molde se pretenden acometer otras tareas como:

- prevención de perforaciones (mejora del sistema existente)
- predicción de la calidad superficial de los desbastes
- prevención de defectos superficiales

Referencias

[1] Bakshi, I.A., Brendzy, J.L., Walker, B.N., Chandra, I., Samarasekera, I.V., (1993)

“Mould-strand interaction in continuous casting of steel billets. Part 1 Industrial trials”, *Ironmaking & Steelmaking*, Vol. 20, no. 1, pp. 54-62

- [2] Cicutti, C., (1997) “Transferencia de calor en la colada continua de aceros”, *Revista de Metalurgia*, Madrid, Vol 33, no. 5, pp. 333-344
- [3] Pinheiro, C.A., Samarasekera, I.V., Brimacombe, J.K., Walker, B.N. (2000), “Mould heat transfer and continuously cast billet quality with mould flux lubrication. Part 1: Mould heat transfer”, *Ironmaking & Steelmaking*, Vol. 27, no.1, pp. 37-54.
- [4] Spaccarotella, A. (1998) “Process control and quality prediction in continuously cast slabs free form surface defects”, *3rd European Conference on Continuous Casting*, Madrid, pp. 129-143.