

GENERACIÓN DE MAPAS DE TEMPERATURA DINÁMICOS EN EL ENFRIAMIENTO DE SUPERFICIES CALIENTES

Murillo-Campos, Rodrigo (1); Minchaca-Mojica, Jesús Isaac (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [r.murillocampos@ugto.mx]

2 [Departamento de Ingeniería Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [jminchaca@ugto.mx]

Resumen

En la industria metalúrgica se utilizan métodos para el enfriamiento secundario en el proceso de producción de acero, tales como el impacto de rocíos de agua y/o chorros de niebla. Las gotas que están en contacto con la superficie de acero son las encargadas de remover la mayor cantidad de calor. En el presente trabajo se desarrolla un método para conocer el calor extraído por las gotas presentes en los rocíos y nieblas que impactan y hacen contacto con la superficie del acero. Utilizando las ecuaciones de principios fundamentales, se generan los mapas de temperatura y un código de resolución numérica en Matlab para analizar como varía en toda la superficie. Se obtiene un perfil de temperatura dependiendo el diámetro de la gota, así como la cantidad de gotas necesarias para disminuir la temperatura cada 2 °C con sus respectivos mapas de temperatura. Este código es la base del proyecto para futuras pruebas y/o modificaciones, ya que el estudio se debe hacer más profundo para evitar posibles grietas y defectos físicos en el acero.

Abstract

Direct impact of sprays and air-mists are commonly used methods for secondary cooling in the steel production process. The drops that are in contact with the steel surface are responsible for removing the major amount of heat. In this work, a method is developed to analyze the heat extracted by droplets as those present in the spray and air-mists impacting directly on the steel surface. Using equations of fundamental principles, temperature maps are generated and a numerical resolution code is developed in Matlab in order to analyze the temperature changes on the surface. A temperature profile depending on the diameter of the drop and the amount of droplets required to reduce the temperature every 2 °C with maps temperature were obtained. This code is the basis of the project for future testing and / or modifications, since a study should be done to avoid possible surface defects in the steel.

Palabras Clave

Gota; Superficie; Temperatura; Contornos; Enfriamiento

INTRODUCCIÓN

Antecedentes.

Dentro del proceso de producción de acero mediante colada continua, específicamente en el enfriamiento secundario, existe un sistema de atomización que generan rocíos de agua (spray) y chorros de niebla (air-mist jets). En el presente trabajo se estudia un sistema considerando información experimental obtenida previamente, acerca de las propiedades hidrodinámicas de las gotas (i.e., tamaños, velocidades, ángulos de impacto) que presentan las distintas gotas que conforman los rocíos y nieblas.

Toda [1] ha llevado a cabo una serie de experimentos en donde se estudia la interacción entre gota-superficie, siendo esto, un fenómeno complejo ya que la gota se ve afectada por el aire, la superficie sólida, la película del líquido, entre otros aspectos. Toda [1] considera parámetros como tamaño de gota, velocidad, tensión superficial, densidad del líquido y viscosidad cinemática. Con estos parámetros se calcula el espesor de la película, b , formada al contacto de la gota con la superficie, Imagen 1, de acuerdo a la ecuación (2). Además reporta que dicha ecuación es conocida a partir del diámetro de la gota, d_d , antes del impacto, donde $m=0.6$ y c_1 depende de la viscosidad cinemática del líquido, ν_f , acorde a la ecuación (3). Finalmente, el radio del disco, r_o , formado por la película del líquido es calculado con la ecuación (1).

$$(1/6)\pi d_d^3 = \pi r_o b \quad (1)$$

$$b = c_1 d_d^m \quad (2)$$

$$c_1 = 1.29 \times 10^{-3} (\nu_f / 1 \times 10^{-3})^{0.4} \quad (3)$$

Justificación

En este trabajo se implementa un método para calcular la temperatura final de una superficie de acero después de estar en contacto con las gotas de agua presentes en los rocíos y nieblas que la

impactan para su enfriamiento. Una vez desarrollado el método, se genera un código para calcular un mapa de temperatura y de esta manera observar la evolución térmica de la superficie al hacer contacto con una serie de gotas de tamaños polidispersos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la generación de los mapas de temperatura en una superficie de acero se toma en cuenta la ecuación (4), que corresponde al calor extraído, Q_d , por la gota al momento de estar en contacto con dicha superficie. La cantidad de calor estará dada por el calor sensible, Q_{sd} , y latente, Q_{ld} , del agua, ecuaciones (5) y (6) respectivamente, tomando como temperatura inicial 21°C y temperatura de ebullición de 100°C . Las propiedades del material y del agua son presentadas en la tabla 1 [2-3].

$$Q_d = Q_{sd} + Q_{ld} \quad (4)$$

$$Q_{sd} = m_d C_p d (T_{\text{ebullición}} - T_{\text{inicial}}) \quad (5)$$

$$Q_{ld} = m_d \lambda \quad (6)$$

Para obtener el calor sensible de la gota de agua se necesita conocer su masa, m_d , ecuación (7), en donde el volumen, V_d , se obtiene con la ecuación (8); siendo r , el radio de la gota antes del impacto.

$$m_d = \rho_d V_d \quad (7)$$

$$V_d = (4/3) \pi r^3 \quad (8)$$

Para estos casos, las gotas se generan de manera estocástica de acuerdo a las frecuencias de distribución experimental. El algoritmo de generación de gotas se desarrolló en [5].

Se conoce que el calor extraído por la gota, es el calor que cede el acero, Q_{ac} , por lo tanto, el calor cedido estará dado solamente por el calor sensible del acero, Q_{sac} , ecuación (9):

$$-Q_d = Q_{ac} = Q_{sac} \quad (9)$$

Para encontrar la temperatura final a la que estará la superficie se utiliza la ecuación (10), en donde la masa es obtenida por la ecuación (11).

$$Q_{Sac} = m_{ac} C_{pac} (T_{final} - T_{inicial}) \quad (10)$$

$$m_{ac} = \rho_{ac} V_{ac} \quad (11)$$

$$V_{ac} = \pi r_o^2 h \quad (12)$$

De acuerdo con Toda [1] se puede calcular el radio, ecuación (1), de la película formada sobre la superficie y posteriormente calcular el volumen, V_{ac} , ecuación (12), considerando el radio obtenido y una altura de 54 mm (espesor del planchón de acero).

En base a este método, con ayuda del software MATLAB se generó un código con una malla de 100 x 100 celdas para desarrollar el mapa de temperatura de una superficie de acero con temperatura inicial de 1200°C [4] y ver como varía la temperatura al momento de generar gotas de distintos diámetros. Los diámetros de gota fueron obtenidos experimentalmente [5]; el código desarrollado en este trabajo fue implementado para leer los parámetros hidrodinámicos de las gotas (i.e., tamaños y ángulos y velocidades de impacto de las gotas).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El código y el método implementado permite obtener una temperatura final en la superficie del acero por cada gota generada en el punto sobre la superficie donde impactó; obteniendo un perfil de temperatura con respecto al diámetro de la gota.

La imagen 2 muestra el perfil de temperatura de las gotas calculadas sobre la superficie del acero; en este perfil se consideraron gotas con un rango de $5 \mu\text{m} \leq d_d \leq 460 \mu\text{m}$, y en él se puede observar que mientras mayor sea el diámetro, la temperatura disminuye más rápidamente.

Se realizó un estudio para determinar el número aproximado de cantidad de gotas que son necesarias para disminuir la temperatura de la superficie en intervalos de 2 °C. Dichas cantidades están plasmadas en la Tabla 2, donde se puede observar que es una gran cantidad de gotas necesarias para disminuir la temperatura en la malla que se generó.; esto se debe al tamaño de escala micrométrica de las gotas.

Las imágenes 3-8 son los mapas de temperatura generados con el código implementado en

MATLAB y corresponden a la disminución de cada 2 °C, obtenidas con la cantidad aproximada de gotas en la Tabla 2. Se puede observar que la temperatura no es constante sobre toda la superficie, si no que varía en algunos de los puntos, esto es debido a la generación aleatoria de posición de impacto de las gotas.

CONCLUSIONES

Con el presente estudio se logró elaborar un código en el software MATLAB, el cual será la base para la continuación del proyecto del cual forma parte, ya que aún se necesita considerar aspectos como las dimensiones de la superficie, velocidades y ángulos de gotas, aunque los datos de los dos últimos ya están implementados en el código.

Con la metodología implementada se logró obtener una serie de mapas que permiten predecir la evolución térmica de la superficie de acero, mediante el monitoreo de la temperatura superficial. Dicha temperatura disminuye dependiendo del diámetro de las gotas y del número de éstas que impactan sobre la superficie. En la metodología desarrollada e implementada, se podría implementar un método en el cual involucre la transferencia de calor por convección y encontrar un coeficiente de transferencia de calor por convección que permita calcular la temperatura final de la superficie y posteriormente comparar ambos métodos para encontrar el más apropiado.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis padres por darme el apoyo otorgado durante mi estancia en el verano de investigación. Además de agradecer principalmente a mi asesor el Dr. Jesús Isaac Minchaca Mojica por todo el apoyo, tiempo y dedicación otorgado a este proyecto.

REFERENCIAS

[1] Toda, S. (1974). Heat Transfer-Japanese Research, 3:1-44.

- [2] Minchaca Mojica, J. I. et al. (2011). Size and Velocity Characteristics of droplets Generated by Thin Steel Slab Continuous Casting Secondary Cooling Air-Mist Nozzles
- [3]. CAMPORREDONDO S, J.E., et al. (2004). Analysis of Thin-Slab Casting by the Compact-Strip Process: Part I. Heat Extraction and Solidification
- [4] Perry, R. H. (2012). Manual del Ingeniero Químico (7th ed.) Editorial McGrawHill. Vol. 1-4.
- [5] Minchaca M., J.I. (2012). Estudio de las Características Fluidinámicas de Nieblas de Agua usadas en la Colada Continua del Acero. Tesis de Doctorado. CINVESTAV-IPN.

Tabla 1: Propiedades del material y el agua.

Propiedades	Agua	Acero
1. Calor específico (Cp)	4.1812 J/Kg*K	755 J/Kg*K
2. Densidad (ρ)	998 Kg/m ³	7268 Kg/m ³
3. Viscosidad cinemática (ν)	9.18E-4 m ² /s	-----
4. Calor latente (λ)	2260 KJ/Kg	-----

Tabla 2: Gotas necesarias para disminuir cada 2°C.

Temperatura (°C)	Cantidad de gotas (aprox.)
1200	0
1198	1,400,000
1196	3,000,000
1194	4,400,000
1192	6,000,000
1190	7,500,000

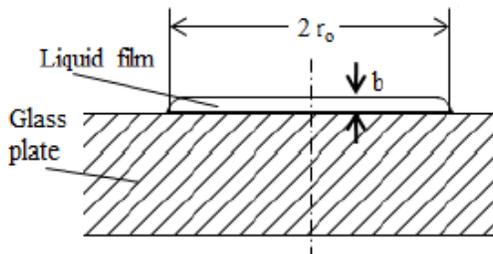


IMAGEN 1 Representación esquemática del disco de la película líquida formada entre el contacto gota-superficie.

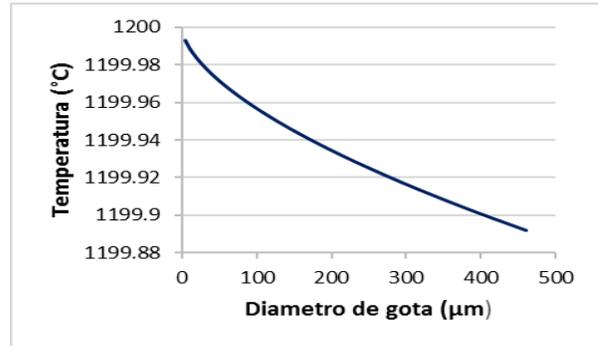


IMAGEN 2: Perfil de Temperatura en función del diámetro de gota.

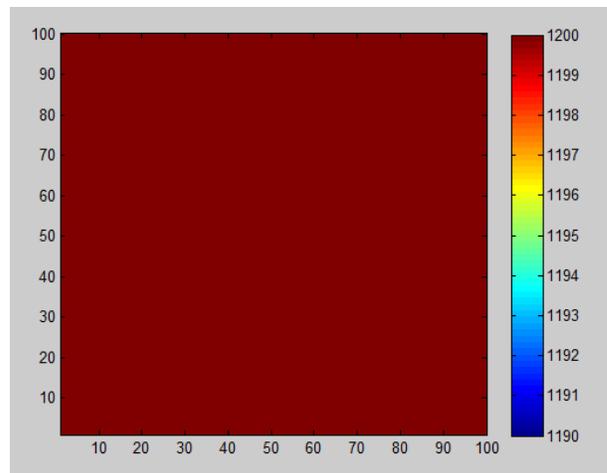


IMAGEN 3: Superficie de acero a 1200 °C. (MATLAB)

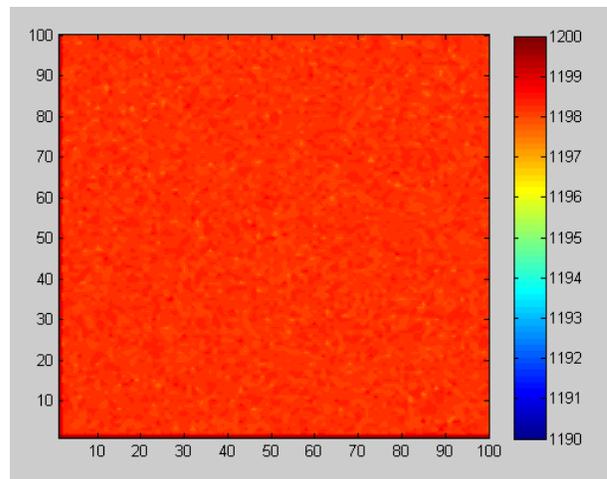


IMAGEN 4: Superficie de acero a 1198 °C aprox. (MATLAB)

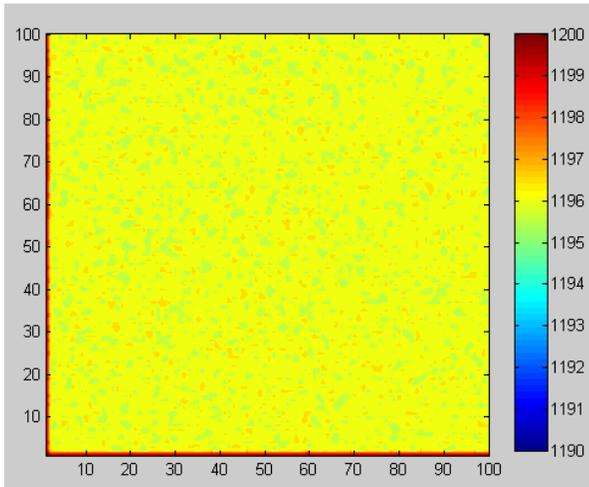


IMAGEN 5: Superficie de acero a 1196 °C aprox. (MATLAB)

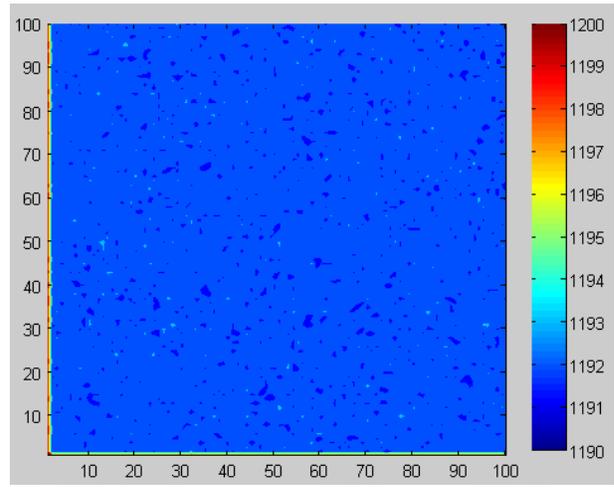


IMAGEN 7: Superficie de acero a 1192 °C aprox. (MATLAB)

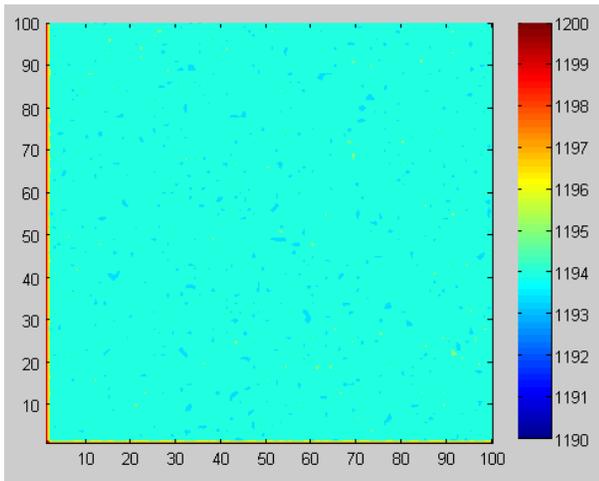


IMAGEN 6: Superficie de acero a 1194 °C aprox. (MATLAB)

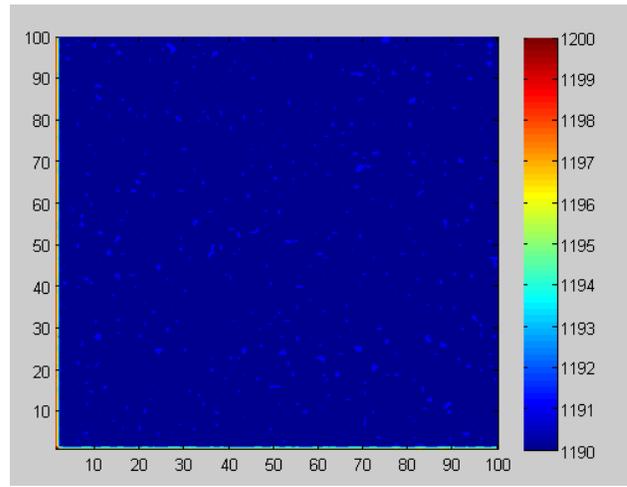


IMAGEN 8: Superficie de acero a 1190 °C aprox. (MATLAB)