

Departamento de Ingeniería Metalúrgica

Asignatura: Proyecto (clave 1909)

Semestre 2021-1

Propuesta bajo el esquema A

Título del proyecto:

“Modelado matemático del enfriamiento de una placa mediante una esprea de agua”

Profesor responsable del proyecto:

Dr. J. Bernardo Hernández Morales

Introducción

Para aumentar la rapidez de extracción de calor en procesos metalúrgicos es común utilizar espreas, ya sea de agua o de mezclas aire-agua. Como estos dispositivos generan una distribución bidimensional del impacto del medio de enfriamiento sobre la superficie a enfriar, la extracción de calor también es bidimensional sobre esa superficie y variable con el tiempo. Para efectos de modelado matemático de la respuesta térmica de la placa durante el enfriamiento, la condición a la frontera puede establecerse tanto en términos de un coeficiente de transferencia de calor como de un *flux* de calor en la superficie; en ambos casos con una variación tanto espacial como temporal.

Para comprender la respuesta térmica de este tipo de sistemas, es común estudiar en el laboratorio el caso de placas (ya sea colocadas en posición vertical u horizontal) enfriadas mediante una esprea – de agua o de aire/agua – colocada a 90° de la placa. De las curvas de enfriamiento que se obtienen en esos experimentos es posible caracterizar a la frontera térmica mediante la solución numérica del problema inverso de conducción de calor (*IHCP*). Una metodología para resolver numéricamente el *IHCP* es el método secuencial de especificación de la función, que utiliza internamente la solución al problema directo de conducción de calor (*DHCP*).

Dado que el desarrollo de la solución al *IHCP* para el caso de interés (condición a la frontera variante con el tiempo y sobre el plano de impacto) está más allá de los alcances de una tesis de licenciatura, en este

proyecto se propone implementar la solución numérica del *DHCP* correspondiente, como un antecedente a un trabajo posterior de posgrado.

Dado que los sistemas que se utilizan para experimentos de laboratorio de este tipo utilizan materiales tales como acero inoxidable o Inconel, el *DHCP* no incluye transformaciones de fase. Por tanto, el modelo a desarrollar será un modelo sin “generación” de calor. Las propiedades de la placa se considerarán como variables.

Hipótesis

El cambio en valores de la condición de frontera térmica tendrá mayor influencia sobre el campo térmico simulado que el cambio en las propiedades termofísicas del material.

Objetivo

Predecir, con ayuda de un modelo matemático determinístico, la evolución del campo térmico en una placa (fabricada con un material que no transforma) sometida a enfriamiento mediante una esprea de agua.

Metas

- Implementar la solución analítica de la evolución del campo térmico, para el caso hipotético de coeficiente de transferencia de calor uniformemente distribuido en la superficie, para verificar el modelo matemático
- Diseñar diagramas de flujo para la solución numérica mediante el método de diferencias finitas implícito
- Implementar los diagramas de flujo en un código construido en *Mathematica*
- Validar y aplicar el modelo térmico
- Escribir el reporte del Proyecto

Metodología

Se desarrollará un programa de cómputo que calcule la evolución del campo térmico resultante del enfriamiento de una placa mediante una esprea de agua colocada perpendicularmente a la placa. Dado que la extracción de calor no es uniforme sobre la superficie de contacto el campo térmico al interior de la placa es no estacionario y 3D. La ecuación de conducción de calor en el sólido se resolverá mediante el método implícito de diferencias finitas, para un sólido de propiedades térmicas variables y sin

“generación”. La condición de frontera activa del problema térmico será el coeficiente de transferencia de calor (distribuido espacialmente sobre la superficie de la placa), que se obtendrá de la literatura.

Para verificar el modelo se desarrollará un programa de cómputo para implementar la solución analítica de un *DHCP* que considera una distribución uniforme del coeficiente de transferencia de calor sobre la superficie de la placa, propiedades constantes y sin “generación”; la validación del código se realizará comparando las predicciones con curvas de enfriamiento experimentales reportadas.

El programa de cómputo se desarrollará en varias etapas:

- Versión 1.0: flujo de calor 1D, no estacionario, propiedades termofísicas constantes, sin transformación de fase
- Versión 2.0: flujo de calor 3D, no estacionario, propiedades termofísicas constantes
- Versión 3.0: flujo de calor 3D, no estacionario, propiedades termofísicas variables

Esta estrategia facilitará la planeación, ejecución y seguimiento del proyecto. Si el tiempo lo permite, se usará la capacidad de *Mathematica* para construir una interfaz de usuario mediante el comando *Manipulate*.

Una vez que el código esté verificado y validado, se procederá a realizar un análisis de sensibilidad.

Cronograma de actividades

[illegible]

Comentarios adicionales

Se requiere de un(a) alumn@ que tenga disponibilidad en su casa de una computadora y que descargue el *software* Mathematica (https://www.software.unam.mx/?s=mathematica&post_type=product).