



## Simulación termomecánica de un proceso industrial de templado de un rodete de una bomba centrífuga



C.M. García–Herrera<sup>a</sup>, D.J. Celentano<sup>b,\*</sup>, M.A. Cruchaga<sup>a</sup> y C. Loewe<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Santiago de Chile, USACH Av. Bernardo O'Higgins 3363, Santiago de Chile, Chile

<sup>b</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica y Metalúrgica, Pontificia Universidad Católica de Chile Av. Vicuña Mackenna 4860, Santiago de Chile, Chile

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

#### Historia del artículo:

Recibido el 17 de octubre de 2013

Aceptado el 17 de junio de 2014

On-line el 26 de noviembre de 2014

#### Palabras clave:

Proceso de templado

Simulación termomecánica

Criterios de falla

### R E S U M E N

En este trabajo se estudia el comportamiento termomecánico durante el tratamiento térmico de templado de un rodete de una bomba centrífuga fabricada en fundición blanca. El análisis se realiza mediante una formulación termomecánica acoplada discretizada mediante el método de elementos finitos. La respuesta del material se describe por medio de un modelo termoplástico que incorpora efectos de cambio de fase. En particular, se presenta el proceso de templado desde la austenización hasta el enfriamiento del rodete con la finalidad de evaluar la ocurrencia de falla en la pieza al final del proceso. Para la determinación del daño mecánico se comparan 3 criterios diferentes escritos en función de las tensiones y de las deformaciones plásticas desarrolladas durante el proceso. El estudio se enfoca en 2 tipos de configuración de rodetes, con 4 y 5 álabes, donde la primera de ellas experimenta fractura en el proceso industrial de producción. Los resultados numéricos obtenidos en este trabajo confirman que la metodología propuesta permite predecir de manera realista las posibilidades de falla para los 2 casos analizados.

© 2013 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

## Thermomechanical simulation of an industrial quenching process applied to a centrifugal pump impeller

### A B S T R A C T

The thermomechanical behaviour during the quenching process of a centrifugal pump impeller made of white iron is studied in this work. The analysis is carried out using a coupled thermomechanical formulation that is discretized within the context of the finite element method. The material response is described by means of a thermoplastic model that includes phase-change effects. In particular, a heat treatment consisting in cooling from the austenizing temperature is presented with the aim of assessing the failure occurrence of the part at the end of the process. Three different criteria written in terms of the stresses and plastic deformations developed during the cooling stage are specifically compared to evaluate the final mechanical damage. The study is focused on two impeller configurations, with 4 and 5 blades, where fracture occurs in the former during its industrial production. The numerical results obtained in this work for these two cases confirm that the proposed methodology realistically predicts their failure possibilities.

© 2013 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

#### Keywords:

Quenching process

Thermomechanical simulation

Failure criteria

### 1. Introducción

El proceso de templado es un tratamiento térmico muy utilizado en la industria para mejorar las propiedades mecánicas de piezas fundidas tales como la tensión admisible, la tenacidad y la dureza. En la actualidad, la evolución del comportamiento del material

\* Autor para correspondencia.

durante dicho proceso se analiza mediante simulación numérica debido a la complejidad de las transformaciones físicas involucradas [1-5]. Tal como se comenta a continuación, la mayor parte de los estudios dedicados a este tema se realizaron en distintos tipos de aceros considerando modelos simplificados de laboratorio con geometrías relativamente sencillas como, por ejemplo, discos, placas y cilindros. Sin embargo, la documentación con respecto a la validación de estos modelos en piezas de carácter industrial es escasa, por lo que es difícil evitar el alto costo que significa la prueba experimental de variadas formas y diseños presentes en una cadena de producción masiva.

Cuando se templan piezas de acero o fundición, la etapa inicial del proceso es la austenización. Diversos autores han estudiado los mecanismos de cambio de fase asociados a dicha etapa, en la que la velocidad de enfriamiento juega un rol fundamental en el desarrollo de microestructuras y tensiones internas [1-21]. En este contexto, en el que es necesario cuantificar de manera adecuada la liberación de calor latente que ocurre durante la transformación, se incluyó en el análisis el acoplamiento mecánico-microestructural con especial énfasis en el efecto de la transformación plástica inducida en el comportamiento de las tensiones durante el cambio de fase [6-17]. Dicho análisis se realizó en piezas cilíndricas de diferentes aceros por medio de los siguientes modelos: termoelastoplástico incluyendo deformación debida a la transformación de fase [9], multifase para la predicción de las microestructuras ferrita, cementita, perlita, bainita y martensita [10,13], termoelastoplástico con transformaciones difusiva (ley de Johnson-Mehl-Avrami-Kolmogorov junto con la regla aditiva de Scheil) y no difusiva (leyes de Koistinen-Marburger y Yu) [11] y, además, cinético de conversión de la deformación de transformación a fracciones de fase [12].

Por otro lado, se han realizado estudios para la determinación de esfuerzos residuales producto del templado en tuberías y piezas cilíndricas [14-21]. Diversos autores revisaron los esfuerzos asociados al cambio de fase y sus transformaciones y, a partir de ello, propusieron algunos principios básicos involucrados en la generación de tensiones internas durante el proceso [14-17]. En particular, se ha analizado exhaustivamente mediante simulación numérica la influencia del efecto de la transformación de fase austenita-martensita en el desarrollo de tensiones residuales en aceros suponiendo un modelo de comportamiento termoelastoplástico del material [16]. Los resultados numéricos de este tipo de modelos solo se han podido validar experimentalmente con mediciones de tensiones residuales obtenidas con la técnica de difracción de rayos X en cilindros de acero [17,19]. También se ha estudiado la sensibilidad de ciertas propiedades termomecánicas (por ejemplo, la densidad, el calor específico, la conductividad térmica, los módulos volumétrico y de corte, el límite elástico y el módulo de endurecimiento) y metalúrgicas (por ejemplo, la temperatura y el coeficiente de la transformación martensítica) del material en la distorsión y el nivel de tensiones residuales en una pieza de acero [20].

Es bien sabido que el proceso de templado afecta a algunas de las propiedades mecánicas del material. Específicamente, se ha predicho la distribución de la dureza final a partir de un modelo basado en la ley de mezclas que tiene en cuenta la composición del material, la distribución final de cada fase y la tasa de enfriamiento local [21] y, más recientemente, se ha propuesto y validado experimentalmente a partir de mediciones obtenidas del ensayo Jominy, un modelo de predicción de dureza y resistencia a la fatiga en aceros [22]. Por último, se han analizado, por medio de la técnica numérica conocida como XFEM, la generación de fisuras durante el proceso de templado en laboratorio de una placa gruesa y su influencia en las tensiones residuales resultantes [23].

En el presente estudio se simula el proceso industrial de templado de rodetes de fundición blanca por medio de una formulación termomecánica que incorpora efectos de cambio de fase. Dicha

formulación, previamente validada en situaciones de laboratorio [24], se utiliza y extiende en el presente trabajo para predecir fallas en la pieza al final del proceso. Con esa finalidad, se propone evaluar el daño mecánico en régimen no isotérmico aplicando 3 criterios diferentes previamente utilizados en problemas isotérmicos de conformado plástico [25]. Los resultados calculados con estos criterios se comparan para 2 configuraciones distintas de rodets de bomba centrífuga, con 4 y 5 álabes, obteniendo en la primera de ellas índices mayores de daño, lo que confirma en este caso el hecho observado experimentalmente de presencia de fractura al finalizar el proceso. En la sección 2 se describe de manera sucinta el proceso de templado estudiado. La formulación termomecánica utilizada en el análisis se presenta en la sección 3. Dicha formulación se resuelve en el contexto del método de elementos finitos. La sección 4 detalla los aspectos relacionados con la simulación numérica de dicho proceso. En la sección 5 se presentan y discuten los resultados numéricos obtenidos. Por último, en la sección 6 se resumen las principales conclusiones de este trabajo.

## 2. Descripción del proceso de templado

El procedimiento industrial de templado seguido por la empresa proveedora del rodete en estudio se inicia austenizando la pieza en un horno especial de aleación Kanthal A1. Para esto, el rodete se lleva a una temperatura de 1.060 °C y se lo mantiene en este estado por un tiempo suficiente (se recomiendan al menos 4 horas de horno), de manera que permita homogeneizar todas las zonas del rodete a dicha temperatura.

A partir del estado homogéneo del material austenizado, se inicia el proceso de templado inyectando aire a presión a través del orificio que se aprecia en la figura 1 durante 10 min hasta alcanzar temperaturas de entre 550 °C y 600 °C. Algunas veces es necesario llevar la pieza nuevamente al horno para homogeneizar la temperatura a esos valores. Posteriormente, el rodete se enfría lentamente al aire por convección natural para finalmente obtener una estructura martensítica al final del proceso.

La empresa fabricante reportó que el rodete de 4 álabes sufrió fractura por tensiones de origen termomecánico presentando grietas y distorsiones mayores que las admisibles. Esta situación no se vio mejorada al ensayar otras configuraciones para realizar el tratamiento térmico con el objetivo de evitar la fractura de la pieza. En la figura 1 se muestra una de tales configuraciones donde es posible apreciar el aislante (de color blanco) colocado para obtener tasas de enfriamiento diferenciadas en las distintas zonas del rodete. Sin embargo, es importante destacar que el rodete de 5 álabes pudo ser templado sin inconvenientes. Esta diferencia en el comportamiento termomecánico de la pieza fundida motiva el presente estudio.



Figura 1. Rodete preparado para ser templado

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/1702540>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/1702540>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)