

REPRODUCCIÓN Y ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS DE UNA FALLA EN UN PROCESO DE EXTRUSIÓN EN CALIENTE DE TITANIO GRADO 2

G. Abate, N. Deferrari, D. Martínez Krahmer, C. Bunte

INTI Mecánica
gabate@inti.gov.ar

Introducción

La simulación de procesos por elementos finitos (FE / FEA) requiere de un proceso previo de validación, cuyo objetivo es verificar que los parámetros cargados en la etapa de pre procesamiento sean correctos. Una vez validado, este análisis asiste al diseñador durante todo el proceso de fabricación desde la concepción hasta la optimización del producto. De esta manera es posible mejorar los procesos evitando el tradicional método de prueba y error, reduciendo el costo final de los productos y mejorando notablemente la calidad de los productos industriales.

En este trabajo se propuso reproducir una falla por sobrecarga en una prueba piloto de extrusión de barras y tubos de Titanio grado 2. A partir de la modelización del proceso, del estudio de los productos extrudados y sus defectos se pudo encontrar una buena correlación entre los esfuerzos calculados en la simulación y los valores registrados a pie de máquina. Se pudieron identificar los factores determinantes que llevaron a superar la capacidad nominal de la prensa: enfriamiento excesivo del material de partida (billet) previo a la extrusión e incorrecto comportamiento del lubricante utilizado. A futuro, la evolución del modelo servirá para asistir en el diseño de productos extruídos de titanio (y de otros materiales); un mercado con pocos proveedores a nivel mundial.

Objetivo

El objetivo de este trabajo es reproducir una falla en una prueba piloto de extrusión de tubos de titanio grado 2, y así validar los resultados obtenidos por FEA para la optimización de futuras pruebas asistidas por simulación. La falla se manifestó como el enclavamiento de la prensa seguido por la rotura de la matriz.

Descripción

Para la modelización se utilizaron los datos registrados durante los ensayos, provistos por la empresa operadora de la prensa.

Para la caracterización del comportamiento del material se realizaron ensayos de torsión y compresión en caliente que permiten determinar la resistencia a la deformación y

ductilidad del material a la temperatura de trabajo, así como las microestructuras esperables en la prueba de extrusión.

Para determinar el comportamiento del lubricante se realizaron ensayos de "Ring Test" junto con otro lubricante de base gráfica y con una solución de vidrio de uso comercial. Por otro lado se utilizaron termocuplas para realizar un relevamiento de la distribución y evolución térmica del material de partida a la salida del horno a fin de ajustar los parámetros operativos del mismo y las propiedades térmicas del material en el modelo computacional.

Finalmente, ajustados los parámetros del modelo, se simuló el proceso completo para así validar los resultados obtenidos y poder realizar propuestas futuras de mejora basadas en la simulación por FEA.

Resultados

En la prueba piloto en planta realizada con anterioridad se habían obtenido 3 diferentes productos extrudados de Titanio grado 2.

Se utilizó una prensa hidráulica horizontal de 1600 t de capacidad máxima; con una velocidad de desplazamiento de 40 mm/s. El cilindro contenedor del material posee un diámetro interno de 175 mm, con un sistema de precalentamiento por resistencia eléctrica.

El calentamiento del material de partida fue realizado por un horno de inducción horizontal y la temperatura a la salida del horno fue medida con un pirómetro óptico. Como lubricante se utilizó grafito en solución acuosa aplicado directamente sobre la matriz. Tanto el relevamiento metrológico del herramental como las variables del proceso relevadas durante las pruebas fueron provistas por el operador del equipo y se detallan en la tabla 1.

	Barra Ø 52 mm	Tubo Ø int. 65 mm Ø ext 40 mm	Tubo Ø int. 65 mm Ø ext 53 mm
# de prueba	1	2	3
T° en horno [°C]	1000	950	975
tiempo alimentación [s]	165	180	180
Fuerza de extrusión [t]	800	1500	1650

Tabla 1: Datos experimentales.

Conforme a los datos relevados durante la prueba se realizaron 3 simulaciones considerando el enfriamiento durante el tiempo real de alimentación del material de partida a la prensa. También se realizaron otras 3 simulaciones equivalentes, pero considerando la temperatura como homogénea e igual a la medida a la salida del horno.

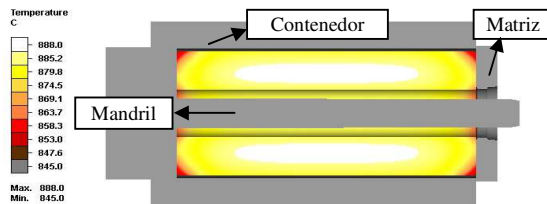


Figura 1: Perfil de temperaturas al inicio de la extrusión. Ejemplo de modelo de FEM.

Adicionalmente se realizaron cálculos analíticos según los métodos de campo de líneas de desplazamiento y deformaciones homogéneas. Las cargas máximas estimadas por simulación coincidieron dentro de un 2-3% en 2 de los 3 casos (52mm y 65x53mm). En el restante la diferencia fue de un 11,5% (Fig. 2).

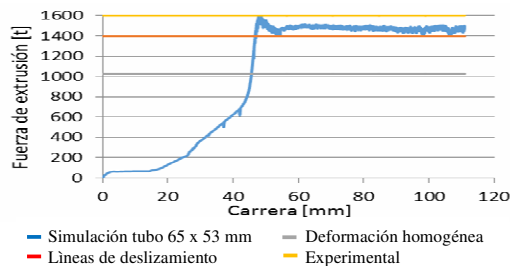


Figura 2: Fuerza de extrusión en toneladas.

A partir de las simulaciones se pudo cuantificar también el efecto que tiene el enfriamiento que sufre el material durante la alimentación a la prensa. En todos los casos se observa que la carga aumenta por lo menos un 25%.

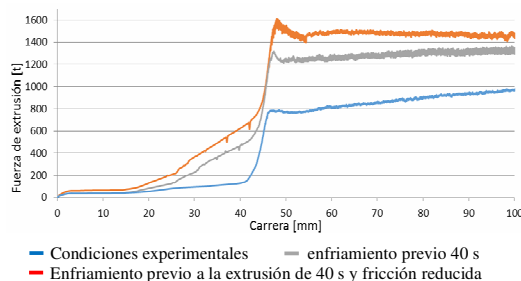


Figura 3: Efecto del enfriamiento y la lubricación durante la alimentación del semielaborado.

En la Fig. 3 puede observarse la influencia de la fricción y el tiempo en la extrusión del tubo de 65 mm de diámetro exterior y 55 mm de diámetro interior. Existen diferencias significativas en la carga de extrusión conforme aumenta el tiempo desde la salida del horno hasta la alimentación del material al cilindro, así

también conforme aumenta la fricción. En consecuencia, es indispensable el control de ambas variables durante el proceso. Cuando luego del enfriamiento la temperatura del material se mantiene sobre la temperatura de cambio de fase, las cargas simuladas son relativamente bajas, lo que indica que la extrusión es posible. Simulando las condiciones de proceso bajo las cuales se produjo la rotura de la máquina se pudo observar que el enfriamiento durante la alimentación del semielaborado provocaba un aumento de la resistencia del material que, asistido por el cambio de fase del Titanio grado 2 y la selección no óptima del lubricante, exigió a la prensa considerablemente por sobre su capacidad nominal (1600 t).

Conclusiones

1. El tiempo de manipulación tiene un rol importante, en particular en el caso de la extrusión de tubos en donde la velocidad de enfriamiento es mayor. La temperatura del material de partida a la salida del horno debe contemplar tanto el enfriamiento al aire como la transferencia de calor al herramental en los pasos previos a la extrusión. De ser posible, aumentar la velocidad de extrusión y/o aumentar la temperatura del contenedor o liner, podrían favorecer la extrusión de tubos.
2. Asimismo es importante mejorar el tiempo de manipulación evitando el soldado del material de partida dentro del horno y evitando tener que posicionarlos manualmente en las bandejas de alimentación.
3. Se debe establecer un tiempo máximo de manipulación entre la salida del horno y la colocación del material de partida en el cilindro, y evitar relizar la extrusión cuando el tiempo de enfriamiento haya excedido el máximo. Este tiempo debe seleccionarse en función de la temperatura de salida del horno.
4. La lubricación puede optimizarse para reducir la presión de extrusión, en particular en el caso de tubos de pequeño espesor. Si bien los datos relevados durante los ensayos no son suficientes para sacar conclusiones cuantitativas, resulta evidente que utilizar los lubricantes convencionales descriptos en la bibliografía y lubricar el material de partida completamente permitirán reducir la carga notablemente.

Bibliografía

- [1] DIETER G. Mechanical Metallurgy. 3ra Ed. New York: McGraw-Hill Education; 1986, 978-1259064791.
- [2] DIETER G. Handbook of Workability and Process Design. Illustrated Edition. Semiatin SL, Kuhn HA, editors. Materials Park, OH: ASM International; 2003, 978-0871707789.
- [3] DEFERRARI N., BUNTE C. Estudio de la trabajabilidad de aleaciones de Titanio a través del ensayo de torsión y su aplicación a la optimización de procesos de forja y extrusión. Trabajo de Seminario, Instituto Sábado, Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), 2016.