

ESTIMACIÓN DE LA FUERZA DE FORJADO EN CALIENTE POR MÉTODOS EMPÍRICOS Y SIMULACIÓN COMPUTACIONAL

Germán Abate^{1,2}; Daniela Perez^{1,2}; Daniel Martínez Krahmer^{1,2}; Régis Bigot³

¹ Centro de Mecánica, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires, Argentina

² Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Buenos Aires, Argentina

³ Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Metz, Francia

mkrahmer@inti.gob.ar ; regis.bigot@ensam.eu

OBJETIVOS

- Comparar los valores de fuerzas de forjado sobre matrices cerradas, usando métodos empíricos y de simulación computacional.
- Mostrar las diferencias y comentar las características de ambos métodos.

DESCRIPCIÓN

A excepción de pocas empresas argentinas, la mayoría recurre aún a experiencias prácticas previas y métodos empíricos, para usar como referencia en el desarrollo de nuevas piezas forjadas. Esta metodología puede poner en riesgo tanto las matrices, como la prensa.

Sin embargo, como dice Arfmann [1], “*si bien es cierto que, hace 25 años las forjas alemanas dudaban del empleo de las herramientas de simulación para el desarrollo de nuevas piezas, hace mucho tiempo ya, que las han incorporado a sus procesos*”.

Por otro lado, una revisión de la bibliografía muestra que, existen algunas modalidades empíricas para el cálculo de las fuerzas [2-3] de aplicación sencilla, así como publicaciones que detallan como determinarlas por simulación computacional [4-5]. Para vincularlas, es que hemos considerado realizar un trabajo comparativo por ambos métodos.

Por ello, se seleccionó una brida de acero SAE 1045, forjada a partir de una barra de $\varnothing 62$ mm por 75 mm de largo, con un peso de corte de 1,77 kg. Una vez terminada, la pieza presenta un peso neto de 1,40 kg.

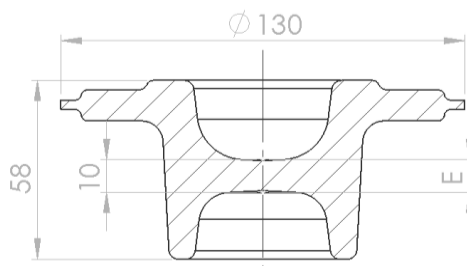


Figura 1: Dimensiones principales de la brida

Como ya se comentó antes, los métodos empíricos de cálculo se obtuvieron de la bibliografía [2-3], en tanto que como herramientas de simulación numérica se han empleado tanto el software Simufact Forming [6] como el Forge [7], habiendo efectuado con ellos al menos análisis en 2D, dado que se

trata de un material de partida y una pieza, ambos con forma de revolución.

Los datos necesarios para determinar la carga para uno y otro método fueron los siguientes:

Tipo de pieza: brida

Geometrías: archivos CAD 3D de las matrices

Material de partida: barra de acero

SAE 1045, dimensiones $\varnothing 62$ mm por 75 mm

Espesor y longitud de flash: 3 mm – 4,5 mm

Espesor de la pieza en el fondo de las cavidades: 10 mm (ver figura 1 cota “E”)

Resistencia a la deformación: 68 MPa [2]

Factor de complejidad geométrica: 7 [3]

Prensa mecánica de 230 mm de carrera, 842 mm de largo de biela y 100 golpes por min

Velocidad de deformación: 2 m/s

Temperatura de precalentamiento de las matrices: 170°C

Temperatura de forja: 1200°C

Coefficiente de rozamiento: 0,3 [8]

RESULTADOS

Abajo, se presentan los valores de cálculo obtenidos para cada caso (las estimaciones resultaron de conformar la pieza en un paso):

Tabla 1: Cargas de forjado obtenidas por métodos empíricos y de simulación numérica

Método	Herramienta de cálculo	Fuerza de forjado (t)
Empírico	Smeral [2]	~ 500
Empírico	Kalpakjian [3]	~ 632
Simulación	Forge (2D)	700
Simulación	Simufact (2D)	950
Simulación	Simufact (3D)	1000

Del análisis de los resultados se desprende que, los valores logrados por simulación numérica, son más elevados. Que las diferencias obtenidas por simulación en 2D, se deben probablemente a distintas ecuaciones constitutivas del comportamiento del material. Que los valores en 2D y 3D fueron muy similares. Que de considerar válido aquel valor menor (empírico de 500 t), se podría correr el riesgo de, elegida una prensa de una capacidad similar, dañar las matrices y/o la prensa, por falta de tonelaje.

Adicionalmente, en la figura siguiente se observa una salida gráfica que muestra la variación de la carga de forjado, con el progreso de la deformación del material.

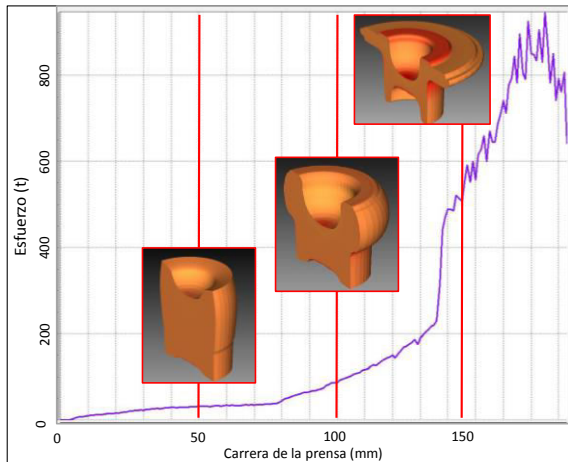


Figura 2: Diagrama carga-carrera con el avance de la deformación

Del análisis de la figura anterior resulta notorio que el incremento exponencial de la carga se inicia cuando el flujo del material alcanza el flash, durante el proceso de deformación. Finalmente, el software también permite apreciar que la pieza no tendrá defectos, que el flujo es adecuado, y que el llenado de la matriz es completo (color azul = hay contacto entre material y matriz, color rojo = falta de contacto), tal como lo indica la figura siguiente.

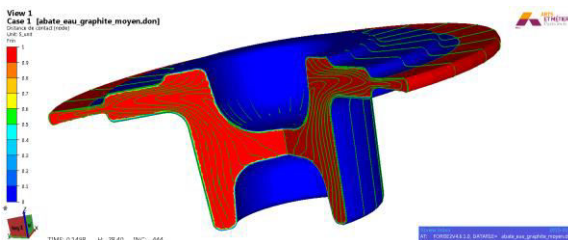


Figura 3: Contacto del material con la matriz y líneas de flujo

CONCLUSIONES

- Es necesario estimar la carga de forjado con un buen grado de aproximación al valor real, para conocer la capacidad mínima requerida de la máquina principal de forja.
- Este proceso de cálculo sirve para modificar el diseño de la pieza y adaptarlo a la capacidad de la máquina disponible, como para protegerla de posibles sobrecargas.
- Los métodos empíricos no consideran en el valor de la carga final, al menos tres variables determinantes: el espesor en el centro de la pieza (cota "E" en figura 1), el espesor y el largo del flash.
- La mayoría de ellos tampoco tienen en cuenta la velocidad de la deformación.
- Para forjar esta pieza, con un espesor-largo de flash de 3 mm y 4,5 mm respectivamente, una prensa de 1000 t sería apropiada.

- Al trabajar con el software, también es factible verificar el correcto llenado de la matriz, las líneas de flujo, y la no aparición de defectos. Es decir que, su empleo colabora con la obtención de piezas buenas.
- Los métodos por simulación numérica son precisos, y los pequeños errores pueden proceder de las dificultades para conocer el coeficiente de rozamiento.
- En el caso de disponer de una prensa instrumentada, se podrían ajustar los resultados del software.
- Si bien en el caso de la pieza analizada, las diferencias encontradas entre ambos métodos no fueron tan significativas, posiblemente pudieran incrementarse en piezas de geometría más compleja (tener en cuenta que el caso analizado, se trata de una pieza con geometría de revolución).
- Los sistemas informáticos necesarios para la simulación computacional, implican un costo elevado en razón de los valores económicos asociados al software y hardware, además de la necesidad de disponer de personal altamente capacitado.
- Al margen de la idea anterior, es evidente que el uso de estas herramientas informáticas, generan una ventaja competitiva, reduciendo los tiempos de desarrollo, y los costos de producción, además de facilitar la comprensión del proceso (podemos "ver" dentro de la matriz).

BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. Arfmann, Cold forging process and tool design. How to use the simulation method most effectively, Congreso SENAFOR, Porto Alegre, Brasil, 2012 (paper).
- [2] Alfredo Bonnemazón y Daniel Martínez Krahmer, Práctica industrial de la forja en caliente, Editorial Nueva Librería, Buenos Aires, Argentina, 2012 (libro).
- [3] S. Kalpakjian, Manufactura, ingeniería y tecnología, Prentice Hall, Méjico, 2002 (libro).
- [4] A. Kocanda and P. Czyewski, Numerical analysis of lateral forces in a die for turbine blade forging, Archives of civil and mechanical engineering, 2009 (paper).
- [5] D. Simoes e A. Moraes, Simulación numérica na predição de carga de conformação, Revista Forge, 2010 (artículo).
- [6] www.simufact.de/en
- [7] www.transvalor.com/fr
- [8] V. Martynenko, D. Martínez Krahmer, Determinación de coeficientes de fricción, para la simulación numérica de los procesos de forjado, por el método pin-on disk, Congreso TriBaires, Buenos Aires, Argentina (2013).