

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A DESGASTE EN ACEROS DE HERRAMIENTA:
SIMULACIÓN POR ORDENADOR Y VERIFICACIÓN EXPERIMENTAL****R. Hernández¹, M.R. Cruz¹, D. Casellas¹, M.D. Riera¹⁻², J.M. Prado¹⁻²**

¹ CTM-CENTRE TECNOLÒGIC <http://www.ctm.com.es>
Avda. Bases de Manresa, 1. 08242-MANRESA (Barcelona)
ricardo.hernandez@ctm.com.es, marlon.cruz@ctm.com.es, daniel.casellas@ctm.com.es

² Departament de Ciència dels Materials i Enginyeria Metal·lúrgica (UPC)
jm.prado@upc.edu, md.riera@upc.edu

RESUMEN

En el sector automovilístico se ha incrementado el uso de aceros de alta y muy alta resistencia para conformar piezas de carrocería. La utilización de estos nuevos aceros lleva asociada una problemática específica en la construcción de los útiles de conformado. El elevado límite elástico de estos aceros obliga a utilizar elevadas presiones de conformado, lo que provoca la aparición de roturas y desgaste prematuro en el utillaje. En este marco, se pretende obtener herramientas que permitan evaluar criterios de selección y diseño en los procesos relacionados con el desarrollo y aplicación de nuevos aceros de herramientas, con una óptima relación tenacidad-resistencia al desgaste. Si bien la mecánica de fractura permite establecer criterios de selección y diseño, no existen teorías fiables y universalmente aceptadas para la predicción del deterioro superficial de materiales (entre ellos el desgaste). En este sentido, la simulación por ordenador mediante el método de los elementos finitos de los fenómenos de fricción y desgaste se plantea como una interesante y escasamente reportada vía de aproximación al problema.

El objetivo de este trabajo es ofrecer una primera aproximación a la compleja problemática asociada con la obtención de herramientas predictivas del fenómeno de desgaste empleando simulación numérica. Los resultados obtenidos se contrastan con ensayos experimentales de desgaste de Pin sobre disco en aceros de trabajo en frío DIN W-1.2379.

ABSTRACT

The use of high strength and ultra high strength steels in the automotive sector to form body parts has been increasing. The application of these new steels creates problems associated with the construction of forming tools. The high elastic limits of these steels means that high stamping pressures must be employed, which causes the appearance of breakage and premature wear in the tools. In this context, the aim is to obtain tools to evaluate selection and design criteria in processes related to the development and application of new tool steels, with an optimum relationship between toughness and wear resistance. While fracture mechanics allows selection and design criteria to be established, there are no reliable and universally accepted theories for the prediction of material surface deterioration (including wear). Computer simulation of friction and wear using the finite elements method is an interesting and rarely reported way of dealing with the problem.

The aim of this work is to offer an initial consideration of the complex problem associated with obtaining predictive tools of the phenomenon of wear, using numerical simulation. The results obtained are contrasted with pin-on-disk experimental wear assays of DIN W-1.2379 cold work steels.

PALABRAS CLAVE: Acero de Herramienta, Desgaste, Simulación Numérica**1. INTRODUCCIÓN**

La creciente utilización de aceros de alta resistencia de nueva generación en la industria automotriz, está generando problemas importantes en las operaciones de estampación de chapa, uno de ellos es la dificultad de predecir la recuperación elástica de las piezas conformadas, y otro, el desgaste acelerado al que se ven

sometidos de los utillajes de matriceria [1-2]. Para controlar de manera efectiva el desgaste se requiere abordar este complejo fenómeno desde diferentes enfoques, uno de ellos es la distribución tensiones en las herramientas y la magnitud de las presiones de contacto, con esta información es posible predecir la cantidad de desgaste que sufrirá la herramienta y la viabilidad de utilizar determinado acero de herramienta, tanto desde

el punto de vista de resistencia al desgaste como de la resistencia a la fatiga.

La simulación numérica mediante el método de los elementos finitos (MEF) se presenta como una herramienta claramente aventajada para analizar el comportamiento mecánico de las herramientas durante operaciones de conformado.

Un inconveniente para desarrollar una adecuada estrategia orientada a prevenir (o reducir) el desgaste es el empleo de técnicas que permitan evaluar los esfuerzos y presiones realizados sobre la geometría original del utillaje. Es importante destacar que el desgaste es un fenómeno que actúa en la superficie de contacto y en el cual se modifica progresivamente a escala temporal las tensiones en el sistema. Lo anteriormente mencionado ha motivado a los autores a desarrollar una estrategia más atractiva, basada en realizar actualizaciones progresivas en la geometría de la herramienta, las cuales están asociadas a incrementos discretos de tiempo sobre la vida de la herramienta, dichas modificaciones se soportan principalmente en modelos semi-empíricos de desgaste. En trabajos anteriores se han ofrecido los primeros indicios de la eficacia de esta metodología [2-6].

Este trabajo presenta la implementación de esta metodología en el código ABAQUS 6.6-1, y su calibración mediante la comparativa simulación vs. resultados experimentales de un ensayo normalizado de pin sobre disco, discutiendo las ventajas e inconvenientes del modelado, dando así una perspectiva de su aplicabilidad práctica.

Por otra parte, se realizó un estudio de tensiones en la superficie de contacto a escala tribológica, siendo el primer paso que permitirá a lo largo de la investigación realizar una aproximación holística del problema de desgaste.

2. MODELIZACIÓN DE DESGASTE

Los mecanismos de desgaste, más importantes, presentes en los útiles de matricería son el desgaste abrasivo y adhesivo [3,7]. Como primera etapa se ha decidido sustentar la modelización del desgaste en las ecuaciones propuestas por Archard [8], por ser un modelo con aceptación general para los mecanismos mencionados y contar con una estructura sencilla, en la cual se engloban muchos aspectos relacionados al par tribológico, dentro de una constante empírica. La forma general de la ecuación de Archard viene dada por:

$$V = K F X / H \quad (1)$$

Donde V es el volumen de material perdido, F es la carga normal, X es la distancia de deslizamiento relativo entre las dos superficies en contacto, H la dureza del material y K es el coeficiente adimensional de desgaste, el cual depende de diferentes factores como la lubricación, la compatibilidad de los materiales, etc.

Si suponemos que para un incremento de tiempo pequeño el desgaste ocurre en un área que no cambia, entonces se puede dividir ambos términos por dicha área de contacto y escribir:

$$h = K P X / H \quad (2)$$

Donde h es la profundidad del desgaste, P la presión de contacto, $P X$ coincide con la energía disipada por la fricción por unidad de área. Así, conocido un número de ciclos (implícito en X) se puede predecir la profundidad del desgaste en la dirección normal a la superficie (Figura 1).

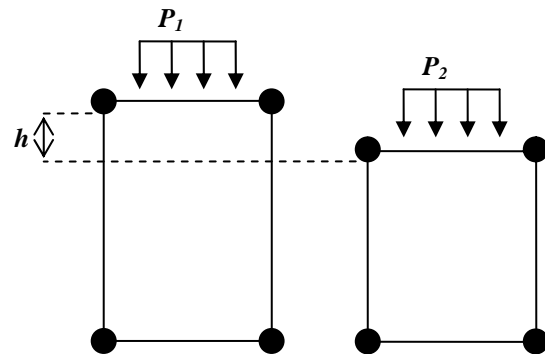


Figura 1. Esquema de la discretización del desgaste.

Con la ayuda de una máquina de desgaste bajo la configuración "pin sobre disco", se puede obtener empíricamente la constante K englobando en ella también la dureza relativa del par tribológico.

3. MODELIZACIÓN MEF DEL ENSAYO DE PIN SOBRE DISCO

La simulación numérica del ensayo de pin sobre disco se basa en un modelo bidimensional axisimétrico (Figura 2), calculado cuasistáticamente bajo la formulación implícita del código ABAQUS 6.6-1. Para implementar el efecto de remoción del material se ha desarrollado una subrutina que permite utilizar el mallado adaptativo sobre una malla mixta con formulación lagrangeana y euleriana [9]. Dicha subrutina calcula mediante el modelo de desgaste de Archard (2) la corrección de posición, en la dirección normal a la superficie, la cual se realiza en cada nodo asociado al contacto, para luego aplicar un ajuste general en la malla del conjunto. La superficie se discretizó con elementos de 20 μm de longitud y la malla se ajustó progresivamente en la dirección vertical hasta colocar en la superficie superior elementos de 0,5 mm.

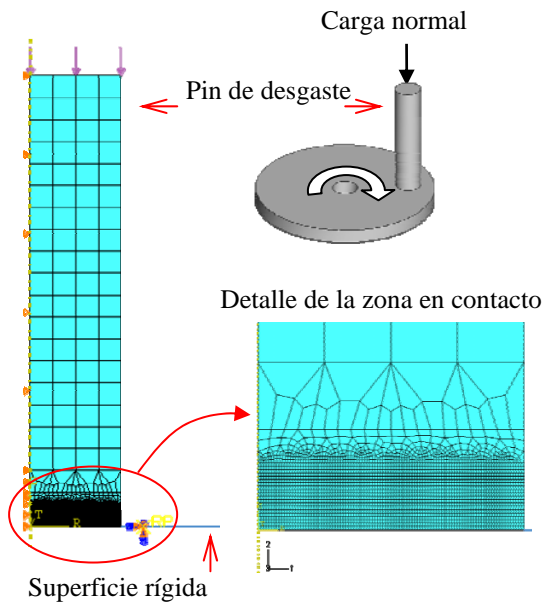


Figura 2. Modelo y su respectivo mallado.

El pin se modeló de forma elástica lineal con módulo de Young de 210 GPa y coeficiente de Poisson de 0,3, mientras el disco se modeló como una superficie plana y rígida. Se aplicó una carga constante de 52 N sobre el pin mediante una presión uniforme en la superficie superior. El diámetro del pin fue de 4 mm. La condición de axisimetría del pin impidió el desplazamiento horizontal. Al disco se le aplicó una condición de empotramiento total, con lo cual no se observa el efecto real de rotación, el cual queda implícito en cada incremento de tiempo.

4. ENSAYOS EXPERIMENTALES

Se realizaron ensayos experimentales del desgaste empleando un acero de herramientas de trabajo en frío DIN W-1.2379 con dos diferentes orientaciones de los carburos como contraparte estática (pin) y como contraparte dinámica (disco) se utilizó una chapa de acero TRIP 800.

Como parámetros operacionales del desgaste se emplearon cargas normales de 52N, velocidad lineal de 0,23 m/s, 8000 metros de distancia recorrida y condiciones ambientales de alrededor de 25°C y 35% de humedad relativa.

La evaluación posterior del desgaste sufrido por el pin se realizó mediante la determinación del ratio de desgaste (mm^3/m) a partir de las gráficas experimentales del volumen desgastado vs. distancia de deslizamiento.

La evaluación del perfil de ondulaciones en los pines ensayados se realizó con la finalidad de corroborar la evolución temporal del estado tensional en la simulación. Dicha medición de ondulaciones se realizó

empleando un perfilmetro de contacto marca MITUTOYO.

5. RESULTADOS Y ANALISIS

En la Figura 3 se muestra el ratio de desgaste vs. la distancia de deslizamiento para los resultados experimentales y los obtenidos mediante la simulación (100 y 1000 correcciones de la superficie). Desde el punto de vista experimental se puede apreciar una diferencia en la resistencia al desgaste asociada a la orientación de los carburos en el pin.

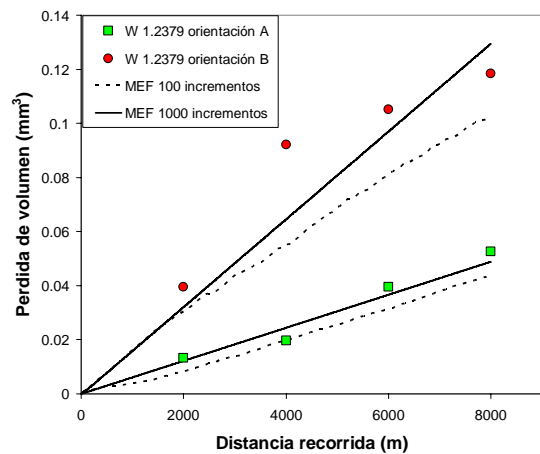


Figura 3. Volumen desgastado, experimental y simulado, para un pin de acero de herramientas DIN W1.2379 con carburos orientados en dos direcciones.

En la Figura 3 cabe destacar la relación directa entre el número de correcciones sucesivas (incrementos) con el ajuste de los mismos a los resultados experimentales.

Con el objeto de mostrar una comparativa más amplia y realizar un análisis de la superficie de contacto, se extrajo el perfil simulado de la superficie desgastada.

Para conseguir un ajuste del perfil superficial del pin desgastado se han manejado dos variables del cálculo: (i) número de incrementos (número de correcciones realizadas a la superficie), el cual está relacionado a la distancia pico valle del perfil de ondulación; (ii) densidad de la malla, la cual está asociada a la periodicidad del patrón de ondulación del perfil.

A partir de la evaluación de los perfiles obtenidos por simulación se puede ver en la Figura 4, que, aumentando el número de incrementos la amplitud del perfil desgastado tiende a aumentar e incrementando la densidad de la malla el periodo entre crestas aumenta.

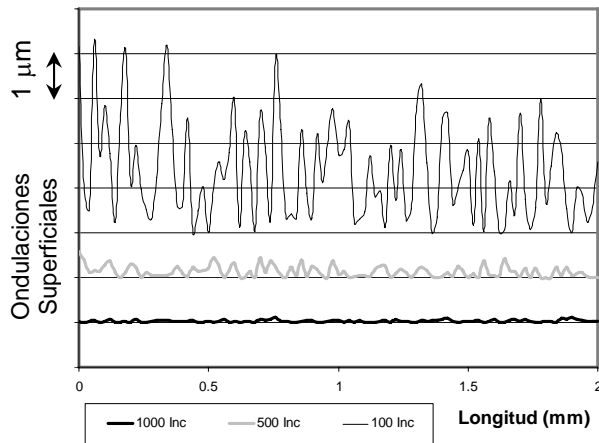


Figura 4. Perfil de las ondulaciones superficiales obtenido mediante simulación MEF para 3 tiempos de incremento.

Por otro lado, en la Figuras 5 y 6 se contrastan los perfiles experimentales de ondulaciones y el obtenido por MEF al final del ensayo, observándose una buena similitud, desde el punto de vista cualitativo, en las tendencias de las curvas. Claramente esta similitud esta asociada a el ratio de desgaste obtenida experimentalmente

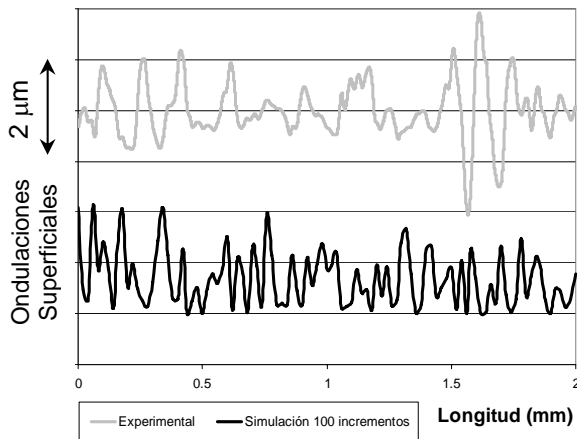


Figura 5. Comparativa entre el perfil de las ondulaciones superficiales obtenido mediante simulación MEF con 100 incrementos y medición experimental (pin en la orientación A)

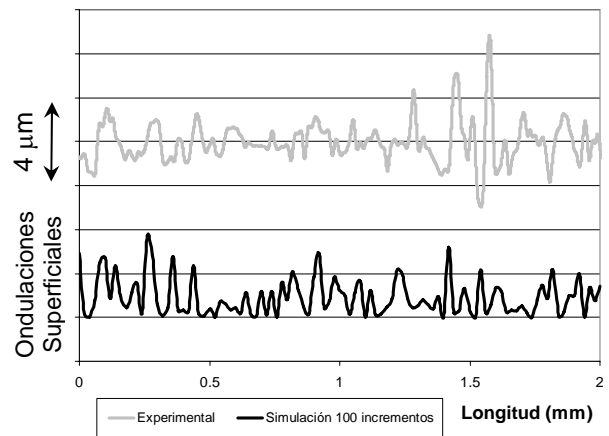


Figura 5. Comparativa entre el perfil de las ondulaciones superficiales obtenido mediante simulación MEF con 100 incrementos y medición experimental (pin en la orientación B)

Asumiendo que la simulación refleja acertadamente el perfil en la superficie de contacto, se puede estimar el nivel de tensiones real al cual esta sometida la superficie, en la Figura 6 se muestra un diagrama de contornos de la tensión equivalente al final de una rutina de simulación, observándose concentración de esfuerzos en las zonas donde las asperezas entran en contacto con la contraparte.

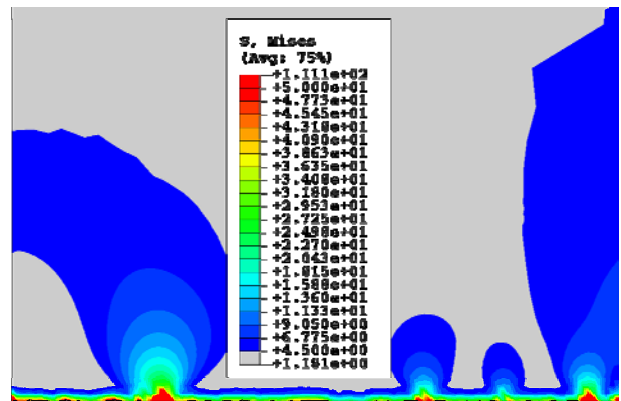


Figura 6. Diagrama de contornos de la tensión equivalente en la superficie de contacto.

Las tensiones máximas reportadas son relativamente constantes a lo largo del proceso, sólo varía su ubicación, ya que esta directamente relacionada con el perfil de ondulaciones que se modifica a lo largo del tiempo obedeciendo a las condiciones de contorno establecidas (desplazamiento en la dirección normal de los nodos).

6. CONCLUSIONES

- Cada sistema tribológico tiene unas condiciones específicas de optimización numérica, estos criterios de optimización pueden ser obtenidos a partir de ensayos simples de desgaste y eventualmente podrían ser empleados en la simulación de sistemas más complejos (embutición y doblado de chapas, extrusión, trefilado, entre otros).
- Hay que tomar en cuenta que una superficie desgastada no ofrece un patrón de desgaste sencillo de modelizar y que en este trabajo las buenas correlaciones obtenidas pueden estar asociadas a los mecanismos de desgaste predominantes, los cuales fueron principalmente abrasivos.
- A partir de un patrón de perfil de ondulaciones (o rugosidad, dependiendo de la escala de las asperezas) el MEF aquí planteado puede ofrecer información valiosa de los niveles tensionales sobre una superficie dada para la estimación de los procesos de desgaste y el estudio de nuevos aceros con y sin modificaciones superficiales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo recibido por el Ministerio de Educación y Ciencia a través del programa Torres Quevedo a el Ing. Ricardo Hernández y al Dr. Marlon Cruz.

REFERENCIAS

- [1] B. Högman, 6th International Tooling Conference, The Use of the Tool Steel: Experience and Research, Ed Bergström et al, Karsltad University, 2002, p 203-216.
- [2] D. Hortig, D. SchmoেকেL, "Analysis of local loads on the draw die profile with regard to wear using the FEM and experimental investigation" Journal of Materials Processing Technology, 115, (2001), pp 153-158.
- [3] M.R. Jensen, F.F. Damborg, K.B. Nielsen y J. Danckert, "Applying the finite element method for determination of tool wear in conventional deep-drawing" Journal of Materials Processing Technology, 83, (1998), pp 98-105.
- [4] M. Öqvist, "numerical simulation of mild wear using updated geometry with different step size approaches", WEAR, 249 (2001) 6-11.
- [5] P.Podra, S. Andersson, "Simulating sliding wear with finite element method", Tribology International, 32 (1999) 71-81.
- [6] I.R. McColl, J. Ding, S.B. Leen, "Finite element simulation and experimental validation of fretting wear" Wear, 256, (2004), pp 1114-1127.
- [7] D. Attaf, L. Penazzi, C. Boher, C. Levailant, "Mechanical study of a sheet metal forming dies wear", 67 TH international tooling conference.
- [8] Archard, J. F. "Contact and rubbing of flat surface" J. Appl. Phys. 24:981-988, (1953).
- [9] Defining ALE adaptive mesh domains in ABQUS/Standard, ABAQUS Analysis User's manual, section 12.2.6.