



Desgaste de Herramientas en Mecanizado: Análisis de Sensibilidad a la Fricción

Autor: Miguel Tomás Martínez Ysern

Tutor: Dr. Javier García-Lomas Jung

Índice general

1. Preámbulos	5
2. Introducción	8
2.1. Antecedentes	8
2.2. Estado del Arte	11
2.3. Objeto y alcance del Trabajo	13
3. Teoría: mecanizado y desgaste	14
3.1. Mecanizado	14
3.1.1. Introducción	14
3.1.2. Corte Ortogonal	16
3.2. Desgaste	17
3.2.1. Mecanismos de desgaste	18
3.2.2. Tipos de desgaste	19
3.2.3. Modelos de desgaste	19
4. Cálculos realizados	23
4.1. Software	23
4.2. Metodología aplicada	23
4.2.1. Definición de caso	24
4.2.2. Diferencias entre casos	25
4.2.3. Paso a paso	25
4.3. Datos Utilizados	25
4.4. Justificaciones	27
4.4.1. Software de simulación: Deform-2D	27
4.4.2. Modelo de desgaste: Usui	27
4.4.3. Constantes de Usui	28
4.4.4. Geometría de herramienta y pieza	28
4.4.5. Malla	29
4.4.6. Longitud de viruta aceptable: inicio y fin de datos	32
4.4.7. Puntos de estudio	32
4.4.8. Otras variables	34

5. Resultados Obtenidos	35
5.1. Aceros	35
5.1.1. Caso 1: Acero AISI 1013	35
5.1.2. Caso 2: Acero AISI 1020	39
5.1.3. Caso 3: Acero AISI 1025	41
5.1.4. Caso 4: Acero AISI 1030	43
5.1.5. Caso 5: Acero AISI 1045	45
5.1.6. Caso 6: Acero AISI 4140	47
5.1.7. Caso 7: Acero AISI 4340	49
5.1.8. Caso 8: Acero ASTM A533B	51
5.2. Otros materiales: Aluminio	53
5.2.1. Caso 9: Aluminio AL 6061	53
5.3. Cálculos secundarios	55
6. Conclusiones	56
6.1. El desgaste como función de la fricción	56
6.2. Comportamiento de la viruta	56
6.3. Zonas de desgaste	61
6.3.1. Desgaste de flanco	61
6.3.2. Desgaste de cráter	61
7. Trabajos Futuros	63
7.1. Sobre el estudio del desgaste	63
7.2. Sobre los datos de entrada	63
8. Anexos	65

Índice de figuras

3.1. Clasificación de herramientas de corte.	15
3.2. Esquema de corte oblicuo.	16
3.3. Corte ortogonal.	17
3.4. Distribución aproximada de mecanismos de desgaste.	18
3.5. Tipos de desgaste más frecuentes.	19
4.1. Datos utilizados: Geometría de la herramienta.	26
4.2. Datos utilizados: Geometría de la pieza.	26
4.3. Criterios de parada en tiempos según el coeficiente de fricción.	26
4.4. Tabla de características de cada malla.	30
4.5. Comparativa de errores entre mallas: malla gruesa vs. malla normal.	31
4.6. Comparativa de errores entre mallas: malla normal vs. malla fina.	31
4.7. Comparativa de errores entre mallas: malla normal vs. malla muy fina.	32
4.8. Tabla de puntos utilizados.	33
4.9. Ubicación de los puntos de estudio.	33
5.1. Puntos de estudio de AISI 1013.	35
5.2. Puntos de estudio sobre la herramienta en caso AISI 1013.	36
5.3. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 1 del acero AISI 1013.	36
5.4. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 2 del acero AISI 1013.	37
5.5. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 3 del acero AISI 1013.	37
5.6. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 4 del acero AISI 1013.	38
5.7. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 1 del acero AISI 1020.	39
5.8. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 2 del acero AISI 1020.	39
5.9. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 3 del acero AISI 1020.	40
5.10. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 4 del acero AISI 1020.	40
5.11. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 1 del acero AISI 1025.	41
5.12. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 2 del acero AISI 1025.	41
5.13. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 3 del acero AISI 1025.	42
5.14. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 4 del acero AISI 1025.	42
5.15. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 1 del acero AISI 1030.	43
5.16. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 2 del acero AISI 1030.	43

5.17. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 3 del acero AISI 1030.	44
5.18. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 4 del acero AISI 1030.	44
5.19. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 1 del acero AISI 1045.	45
5.20. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 2 del acero AISI 1045.	45
5.21. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 3 del acero AISI 1045.	46
5.22. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 4 del acero AISI 1045.	46
5.23. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 1 del acero AISI 4140.	47
5.24. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 2 del acero AISI 4140.	47
5.25. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 3 del acero AISI 4140.	48
5.26. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 4 del acero AISI 4140.	48
5.27. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 1 del acero AISI 4340.	49
5.28. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 2 del acero AISI 4340.	49
5.29. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 3 del acero AISI 4340.	50
5.30. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 4 del acero AISI 4340.	50
5.31. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 1 del acero A533B.	51
5.32. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 2 del acero A533B.	51
5.33. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 3 del acero A533B.	52
5.34. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 4 del acero A533B.	52
5.35. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 1 del aluminio AL6061.	53
5.36. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 2 del aluminio AL6061.	53
5.37. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 3 del aluminio AL6061.	54
5.38. Resultados: Gráfica desgaste-fricción del punto 4 del aluminio AL6061.	54
6.1. Evolución de la viruta, fricción 0 y 0,1.	57
6.2. Evolución de la viruta, fricción 0,2, 0,3, 0,4.	58
6.3. Evolución de la viruta, fricción 0,5, 0,6, 0,7.	59
6.4. Evolución de la viruta, fricción 0,8, 0,9, 1.	60
6.5. Desgaste de flanco de un AISI 4340.	61
6.6. Desgaste de cráter de un AISI 1030.	62

Capítulo 1

Preámbulos

En este capítulo se pretende realizar un recorrido breve, de lo general a lo particular, sobre los aspectos básicos relativos al estudio del desgaste. Para ello se tratan varios conceptos, empezando por el mecanizado, sobre el que se concretan algunas características y ejemplos. Se continúa con el desgaste, mostrando sus causas y un poco de historia. Y por último se incide en la importancia del estudio del desgaste.

El mecanizado

El mecanizado puede ser considerado como uno de los procesos de fabricación más importantes, quizá el que más, si nos ceñimos sólo a términos económicos. Una definición de mecanizado es, según Molian¹:

“Machining is a process designed to change the size, shape, and surface of a material through removal of material that could be achieved by straining the material to fracture or by thermal evaporation.”

Si se restringe y precisa esta definición, para adaptarla al caso referente al presente Trabajo Fin de Máster, se entiende el mecanizado como el proceso de arrancar material de una pieza en forma de viruta.

En la mayoría de los casos, el mecanizado tiene un coste de preparación muy bajo comparado con otros procesos como el moldeo o la fundición. Sin embargo, para volúmenes grandes el mecanizado resulta muy caro, y sólo tiene sentido cuando se han de aplicar ajustadas tolerancias en las dimensiones y acabados.

Ejemplos de procesos de mecanizado son: torneado, brochado, fresado, taladrado, limado... El abanico de posibilidades es amplio como diferentes son las aplicaciones; desde el desbarbado de una llanta de aluminio, hasta el pulido de un acero para una superficie de contacto, pasando por el moleteado de una tuerca.

¹Ph.D. Materials Science and Engineering, Profesor en la Iowa State University, EUA

El desgaste

Sea cual fuere el objetivo del proceso de mecanizado, éste se realiza mediante el contacto entre la herramienta y la pieza a modificar. En este contacto se somete a la herramienta a condiciones de fuerzas de gran magnitud, altas presiones de contacto, fuertes temperaturas e incluso cierto ataque químico. Si se tienen en consideración otros aspectos, como que se presenta una geometría delicada, hay aristas vivas y las cargas suelen ser cíclicas, se deduce que los materiales de las herramientas son utilizados hasta su total agotamiento, tanto térmica como mecánicamente. Resulta, pues, lógico que el estudio del corte para alargar la vida de dichas herramientas sea crítico para el desarrollo del mecanizado, y se busquen afanosamente las condiciones óptimas de utilización.

Sin embargo hoy en día eso puede no ser suficiente. Las herramientas utilizadas pueden sufrir variaciones en sus características mecánicas que impliquen un cambio sustancial en el resultado del proceso. Se introduce, por tanto, el concepto de desgaste como pérdida progresiva de material de la superficie de un cuerpo por acción mecánica.

Dados los cambios que se dan en las herramientas debidos al desgaste, además de estudiar cuánto tiempo dura una herramienta, hemos de conocer cómo varía la misma en ese tiempo, esto es, cómo varían las características mecánicas y otras propiedades de dicha herramienta. El estudio del desgaste es, por todo ello, básico para obtener un conocimiento amplio de lo que ocurre a lo largo de la vida útil de la herramienta.

Históricamente se entiende generalmente el estudio del desgaste como connatural al comienzo de los estudios del desplazamiento relativo y la fricción, siendo los primeros pasos hacia el descubrimiento del desgaste las obras faraónicas del Antiguo Egipto, alrededor del 1880 antes de nuestra Era[1]. No es hasta mucho más tarde cuando Leonardo Da Vinci hace una primera aproximación científica al problema de la fricción en el siglo XV, siendo, sin embargo, Stribeck[2, 3] a principios del siglo XX quien empieza a categorizar las relaciones de fricción entre dos superficies en contacto.

Aún así, el modelado de ecuaciones para describir el comportamiento a fricción es más tardío, siendo Archard[4] uno de los pioneros a la hora de establecer, en 1953, una ecuación que modelara el proceso de desgaste entre superficies rugosas, para concluir que la cantidad de material retirado es proporcional a la fricción entre las mismas, y función de la carga, el contacto y la dureza de los materiales. Esta relación aparentemente simple se muestra a todas luces insuficiente cuando se tiene en cuenta lo reducido de las hipótesis de partida y la relativamente baja aplicabilidad de la ecuación. Otros modelos como el de Usui[5] o Huang[6], se aplican en diferentes casos, con resultados dispares. Como conclusión, se debe indicar que hoy en día se sabe que no hay una relación sencilla entre el desgaste y las características mecánicas de los materiales.

La importancia del estudio del desgaste en el mecanizado

En general se acepta que el estudio del desgaste es de una complejidad mayúscula[7], por lo localizado del fenómeno y la dificultad de la toma de algunas medidas, además de la multitud de variables implicadas en el proceso del desgaste, por ello la aplicación del Método de los Elementos Finitos (MEF o en sus siglas en inglés FEM, Finite Element Method) para su estudio parece adecuada. Algunos estudios recientes, como los realizados por Ruan[8] o Wassdahl[9], utilizan códigos FEM para poder obtener conclusiones acerca del fenómeno del desgaste, con un coste material sensiblemente más bajo que la pura experimentación. En algunos casos el Método de los Elementos Finitos se ha utilizado junto con la experimentación para obtener modelos de desgaste fieles a la realidad.

El papel del desgaste es determinante en la vida de las herramientas de mecanizado, su estudio complejo y la literatura no es excesivamente amplia, por lo que el campo por explorar es todavía muy grande. Por todo esto, en el presente Documento se procede al estudio de la influencia de la fricción en el desgaste en la herramienta de un proceso de mecanizado con corte ortogonal mediante el Método de los Elementos Finitos a través del programa Deform 2D.