
5.1 Descripción general del proceso de rectificado

El rectificado es un proceso de mecanizado por abrasión en el que se emplean duras partículas abrasivas para modificar la forma y el acabado de las piezas.

El objetivo de los procesos abrasivos en general, es la de fabricar piezas con alta precisión dimensional y un buen acabado superficial, que no suele ser posible obtener por otros métodos de arranque de viruta.

Mediante estos procesos también es posible el mecanizado de materiales que son muy difíciles de realizar por otros métodos a causa de una alta dureza o fragilidad en las piezas. Se trata de un proceso que se sitúa en las últimas etapas del proceso productivo y por lo tanto va a dotar a las piezas rectificadas de un alto valor añadido.

La herramienta utilizada en el proceso es la muela. En general, las muelas abrasivas están compuestas por dos elementos, granos abrasivos y material de unión. Atendiendo a estos parámetros existen una gran variedad de muelas. Una elección adecuada de la misma será indispensable para llevar a cabo el proceso de manera satisfactoria.

El encargado de llevar a cabo el arranque de material es el grano abrasivo. Es posible, por tanto, considerar el proceso de rectificado a nivel macrogeométrico con un conjunto infinito de procesos de micromecanizado llevados a cabo por una gran cantidad de granos abrasivos simultáneamente.

En la figura 5.1, se pueden observar la acción de una herramienta convencional en una operación de corte ortogonal y la acción de un grano abrasivo tipo en una operación de rectificado. Como se puede ver, el grano abrasivo se caracteriza por tener un ángulo de desprendimiento muy negativo y un ángulo de incidencia prácticamente nulo.

Este hecho generará una relación de fuerzas diferente a la que se da en mecanizado convencional así como una gran cantidad de rozamiento entre herramienta y pieza. Esto va a traducir en que el rectificado será un proceso poco eficiente atendiendo a la energía consumida por volumen de material eliminado y a que las temperaturas que alcance la pieza tenderán a ser altas.



Figura 5.1. Corte ortogonal de una herramienta de corte y de un grano abrasivo.

De acuerdo con esto, si compara la energía específica de los diferentes procesos de mecanizado por arranque de material frente al espesor de viruta aproximado de cada uno de ellos se da una situación como la que se puede apreciar en la figura 5.2. En dicha figura se hace una estimación de la energía específica para el torneado, fresado y rectificado. Dicha figura pone de manifiesto que el rectificado es un proceso poco eficiente desde el punto de vista energético, ya que su energía específica es considerablemente mayor que la del fresado y la del torneado.

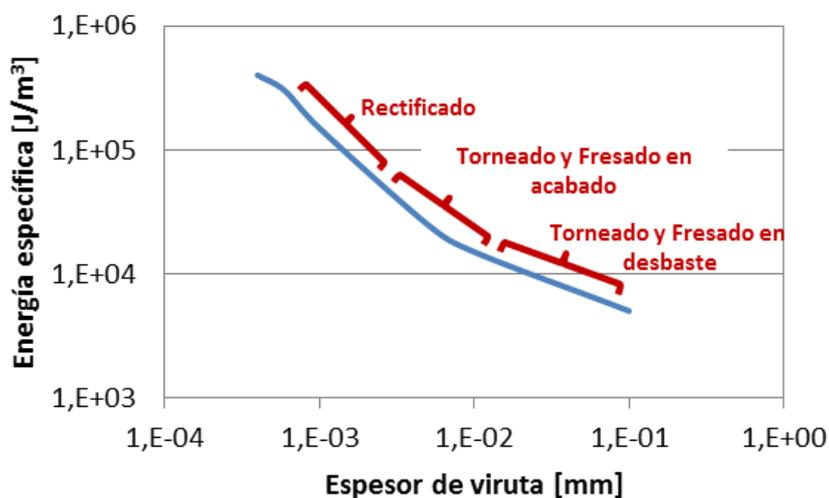


Figura 5.2. Relación entre energía específica de corte y espesor de viruta para distintos procesos de mecanizado.

Las piezas que sufren un proceso de rectificado durante su fabricación serán, en general, piezas con un alto valor añadido. Tanto es así, que los costes derivados del proceso llegan a suponer un 25% del total de los gastos de mecanizado en los países industrializados.

Ejemplos de piezas rectificadas se pueden encontrar en prácticamente todos los sectores industriales, desde la aeronáutica hasta la electrónica, pasando por la automoción, herramientas de corte, matricería y troquelería o en el campo de la óptica (acabado de las superficies de las lentes).

Dependiendo de la geometría obtenida en la pieza y de la disposición de la propia máquina dentro del rectificado convencional se pueden distinguir tres tipos de procesos: rectificado plano, cilíndrico y sin centros. Para el objeto de este proyecto sólo se ha estudiado el rectificado cilíndrico de exteriores.

El rectificado cilíndrico se utiliza para el rectificado de piezas de revolución, tanto exteriores como interiores. En la figura 3 se puede ver un esquema del proceso. En dicha figura se pueden apreciar los principales parámetros a definir: velocidad periférica de la muela (v_s), velocidad periférica de la pieza (v_w), ancho de muela (a_f) y velocidad de penetración (v_f). En este caso se trata de un proceso de rectificado cilíndrico en plongeé. También puede darse el caso de un rectificado cilíndrico transversal en el que se tendría una profundidad de pasada (a_e) y una velocidad de avance axial (v_f).

Este proceso se emplea normalmente para realizar el acabado de piezas cilíndricas provenientes de un torneado. La principal diferencia frente al rectificado plano, es la geometría de la pieza: en lugar de mecanizar una superficie plana se mecaniza una superficie cilíndrica. Para ello se hace girar la muela y la pieza en dos ejes paralelos y con el mismo sentido de giro. En este tipo de proceso la profundidad de pasada suele medirse en diámetro.

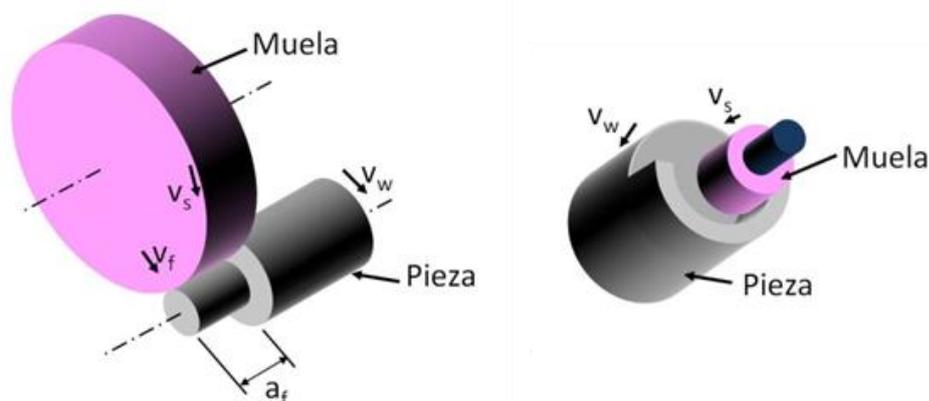


Figura 5.3. Parámetros característicos del rectificado cilíndrico exterior.

5.2 Objeto del proyecto

El rectificado es un proceso de mecanizado por abrasión con el que se busca obtener piezas con una alta precisión dimensional y una buena calidad superficial. Para ello se emplean las muelas, que son herramientas de corte compuestas de duras partículas abrasivas unidas entre sí por un material aglomerante. Estas pequeñas partículas, que actúan como microscópicos filos de corte, son las encargadas de eliminar el material en pequeñas cantidades. El aglomerante tiene como misión mantener los granos abrasivos unidos y arrancando material hasta que pierdan el filo, momento en el que la fuerza de arranque aumenta y es conveniente que el elemento abrasivo se desprenda del aglomerante, dejando paso a una nueva capa de partículas listas para continuar con el arranque del material.

Además, este proceso también es ideal para el mecanizado de materiales que no pueden ser mecanizados por otros procesos a causa su baja maquinabilidad. Dentro de estos materiales se encuentran principalmente los que presentan una excesiva dureza como las cerámicas o aceros especiales.

De esto se puede deducir que el rectificado es un proceso de alto valor industrial que nos permite obtener piezas muy precisas y de alto valor añadido. Representa un importante porcentaje de la inversión económica de las empresas del sector. Por eso resulta fundamental la optimización de este tipo de procesos.

El rectificado es un proceso muy complejo donde actúan un número muy elevado de micro herramientas de corte llamados granos, que se comportan cada uno de manera independiente. Se trata, en general, de un proceso de mecanizado sobre el cual se tiene muy poco conocimiento científico a nivel industrial. Este hecho lleva a que la única manera de ajustar el proceso de manera adecuada sea mediante ensayos de prueba y error. Esto conlleva un elevado gasto económico en instrumentación, tiempo y en recursos.

Una puesta a punto de este tipo conduce a la elección de parámetros de rectificado, en general, conservadores alejados del punto de máximo rendimiento del proceso.

El objetivo principal de este proyecto consiste en presentar una metodología experimental, que permita caracterizar el comportamiento de un conjunto de muelas en el rectificado cilíndrico exterior en penetración, para un acero especial típico de sistemas de transmisión (AISI 52100), utilizado especialmente en el sector de la automoción, empleándose en elementos como rodamientos.

Éste tipo de acero, debido a su composición química y propiedades mecánicas, obligará a seguir una metodología determinada y precisa, adaptada al comportamiento particular de éste tipo de acero especial para obtener los resultados de la manera más exacta y precisa posible.

Según lo expuesto hasta el momento, los objetivos que se persiguen con el presente proyecto son los siguientes:

- Definir una batería de ensayos adecuada que permita realizar el trabajo de experimentación, cuyo procedimiento haya sido estudiada e ideada con precisión y exactitud para la obtención de datos de forma efectiva.
- Definir un sistema de monitorización del proceso que permita obtener los parámetros más importantes del proceso: Potencias, Rugosidades, desgastes de muela, diámetros y profundidades de pasada.
- Determinar la influencia de las características de la muela empleada en la pieza mecanizada atendiendo a los resultados obtenidos en el trabajo experimental.

5.3 Conclusiones generales

En este proyecto se ha llevado a cabo el análisis de dos muelas de rectificado con diferentes características constructivas en un entorno industrial. Para ello se han llevado a cabo ensayos experimentales en rectificado cilíndrico en *plongee* variando la relación de velocidades entre pieza y muela y la tasa de arranque de viruta del proceso.

Para cada prueba se han medido la potencia, desgaste y rugosidad a diferentes puntos de volumen específico de material mecanizado.

Para la primera muela se han obtenido las siguientes conclusiones:

- A medida que el caudal específico de viruta Q' es mayor, disminuye e_c . Esto se debe a que al aumentar el caudal de viruta Q' , aumentamos el tamaño de viruta arrancada por cada grano, mejorando la eficiencia energética del proceso.
- A medida que aumenta el valor de V_w' , e_c crece ligeramente debido al desgaste de la muela. Esto se puede ver claramente en todos los ensayos con un valor de $Q'=1$ mm³/mm., mientras que para el resto de casos, a diferentes tasas de arranque de viruta, como $Q'2,5$ y sobre todo $Q'4$ ocurre hasta cierta cantidad de material mecanizado donde e_c comienza a descender a causa del desprendimiento de los granos causado por el aumento de las fuerzas de rectificado.
- La rugosidad aumenta a medida que mecanizamos más material a causa de la pérdida de capacidad e corte de la muela. En algunos casos permanece estable o incluso disminuye ligeramente si el fenómeno de autodiamantado compensa los efectos de la pérdida de capacidad de corte.
- Una mayor Q' empeora la rugosidad de forma muy notable. El ratio de velocidades periféricas entre la pieza y la muela lo hace de forma mucho menos acusada, resultando en general, en una menor rugosidad a medida que aumenta Q . Esto se debe a un aumento del ratio de velocidades que hace que el espesor de viruta sea menor, lo que favorece un acabado con menor rugosidad. A medida que aumenta el valor de Q' el desgaste que sufre la muela aumenta de manera apreciable, lo que se refleja en el descenso del parámetro G .

Para la segunda muela se han obtenido las siguientes conclusiones:

- El comportamiento de la energía específica es similar, pero más constante que en la muela 1, e_c tiende a subir de forma menos pronunciada.
- La rugosidad es muy alta en todos los casos, y los valores son poco estables para tasas de arranque de viruta de Q^4 . Estos resultados se explican por el alto grado de desgaste de los granos de abrasivo. La rugosidad en general es algo peor que la muela 1 pese a ser de grano más fino.
- La rugosidad se mantiene más constante para valores de Q^1 y $Q^{2,5}$ $\text{mm}^3/\text{mm.s}$, mientras que para Q^4 la rugosidad crece rápidamente y es mucho más variable.
- El desgaste para todos los casos de Q' es excesivo para cualquier valor de q .
- Para valores mayores de Q' la energía específica es notablemente menor y con un comportamiento más estable. Esto se debe a que un aumento en la tasa de arranque de viruta favorece que el proceso de desgaste y autodiamantado de la muela se dé más rápidamente.
- Todos los ensayos realizados con esta muela se han tenido que terminar mucho antes de llegar a $V_w' 2000 \text{ mm}^3/\text{mm}$ a causa de los elevados fenómenos vibratorios manifestados durante el proceso.

