

Uso de herramientas de cerámica en el mecanizado de piezas endurecidas térmicamente

Use of ceramic tools in the machining process of thermally hard pieces

P. Corral*, L. Briones, J. Galdames y H. Muñoz
Universidad de Santiago de Chile
Departamento de Ingeniería Mecánica
Av. Lib. Bernardo O'Higgins 3363
Teléfono (2) 6812292 – Fax (2) 6823020
*pcorral@lauca.usach.cl

Resumen

Se presenta un estudio del mecanizado alternativo al rectificado de piezas de cuerpo de revolución con herramientas de cerámica. Se presentan resultados referentes a las condiciones óptimas de los parámetros de instalación del proceso, esto es: profundidad de corte, avances, velocidad de corte, radio de la punta de la herramienta, etc., los resultados en cuanto a la calidad superficial obtenida en un estudio comparativo de la operación de torneado realizado en un centro de torneado CNC y en rectificadoras cilíndricas con muelas abrasivas. Finalmente, se presenta el estudio económico de la comparación entre ambos procesos, como también las ventajas de un rectificado de cuerpos de revolución de formas complejas realizado con herramientas de cerámica.

Palabras claves: rectificado, torneado, herramientas de cerámica.

Abstract

This paper presents a study about one alternative procedure to grind revolution pieces with ceramic tools. Some results refer to the optimal conditions of the process installation parameters: cutting depth, feed rate, cutting speed, end tool radius, etc. Comparative results about superficial quality obtained in CNC lathes and in cylindrical grinders with abrasive tools are also presented. Finally, a comparative economic study of both processes and the advantages of grind complex form revolution bodies with ceramic tools are shown.

Key words: grinding, turning, ceramic tools

1 Introducción

Cuando, por razones funcionales se requiere mejorar las propiedades mecánicas de dureza, límite elástico, resistencia al desgaste, etc; de los materiales de las piezas, con frecuencia se recurre a los tratamientos térmicos, entre otros, el endurecimiento a través de los procesos de temple y revenido. Estos, como la mayoría de los tratamientos térmicos, tienen el inconveniente de producir deformaciones geométricas en las piezas tratadas, de manera que si las exigencias en cuanto a tolerancias geométricas y dimensionales son elevadas, se debe considerar dejar durante el mecanizado en blando excesos de material a ser removido con posterioridad tratamiento térmico.

El mecanizado tradicional de las piezas endurecidas se ha realizado mediante el proceso de rectificado, tanto para superficies planas como para superficies de revolución. Estos procesos, debido al tipo de herramienta utilizada, solo permiten la remoción de pequeños volúmenes de material por unidad de tiempo, lo cual obliga a que el exceso de material dejado en las fases de mecanizado anteriores sea el menor posible, arriesgando que la deformación producida durante el tratamiento térmico, alcance una magnitud tal que la operación de rectificado no permita corregirla. Todo lo anterior hace que la fase de rectificado en el mecanizado de una pieza sea de costo elevado por el tiempo involucrado en dicha fase.

El trabajo de investigación presentado, corresponde al estudio de un método alternativo al rectificado con muelas

abrasivas de piezas cilíndricas endurecidas térmicamente, mecanizando con herramientas de cerámica y comparando la calidad superficial resultante por ambos métodos.

Herramientas de cerámicas

Los materiales cerámicos están constituidos por elementos inorgánicos metálicos y no metálicos unidos químicamente. Su desarrollo es a base de: nitruros, carbonos y óxidos. Para herramientas de corte se usan los materiales cerámicos basados en óxidos de aluminio (Al_2O_3) y en nitruros de silicio (Si_3N_4), (ver figura 1).

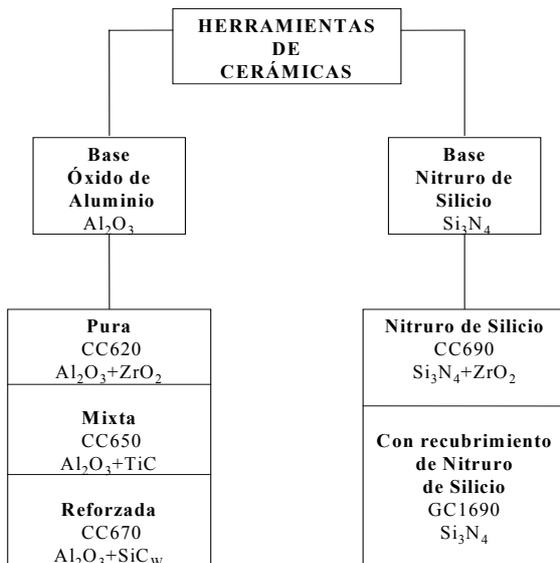


Fig.1. Materiales cerámicos para herramientas.

Las principales propiedades físicas que presentan estas herramientas de corte son: Elevada dureza en caliente; resistencia a elevadas temperaturas; gran resistencia al desgaste; buena estabilidad química; baja tenacidad, conductividad y ductilidad.

Mecanizado en acabado superficial

Para obtener un buen acabado superficial en un proceso de torneado, se debe considerar la combinación de factores que influyen en éste, como son: el radio de la punta de la herramienta y su geometría, el avance, el grado de sujeción y la estabilidad del sistema máquina herramienta pieza. Con todo, un análisis geométrico de la huella dejada por el mecanizado, se puede obtener una buena aproximación de la rugosidad media aritmética teórica usando la ecuación.

$$R_a = a^2 \cdot 0,0321/r_e \quad (1)$$

Donde:

R_a : Rugosidad media aritmética (μm)

a : avance(mm)

r_e : radio de la punta de la herramienta (mm)

Por otra parte, en la Tabla 1 se puede apreciar la relación entre la calidad superficial (norma ISO del año 1991) y el grado de rugosidad para un rectificado cilíndrico.

Tabla 1. Relación entre calidad superficial y grado de rugosidad

$R_{m\acute{a}x}$ μm	R_a μm	R_a $\mu inch$	RMS μm	RMS $\mu inch$	Rugosidad
1.6	0.30	11.8	0.33	13.1	
1.8	0.35	13.8	0.39	15.3	
2.0	0.40	15.7	0.44	17.4	N5
2.2	0.44	17.5	0.49	19.4	
2.4	0.49	19.2	0.54	21.3	
2.6	0.53	20.8	0.59	23.1	
2.8	0.58	22.7	0.64	25.2	
3.0	0.63	24.6	0.70	27.3	
3.5	0.71	27.8	0.79	30.9	
4.0	0.80	31.4	0.89	34.8	N6
4.5	0.90	35.2	1.0	39.1	
5.0	0.99	38.8	1.1	43.1	
6.0	1.2	47.2	1.3	52.4	
7.0	1.4	55.1	1.5	61.2	
8.0	1.6	63	1.8	70.0	N7
9.0	1.8	71	2.0	78.8	
10.0	2.0	79	2.2	87.7	
15.0	3.2	126	3.1	140	N8
20.0	4.4	173	4.9	192	
25.0	5.8	238	6.4	264	
27.0	6.3	247	7.0	274	N9
30.0	7.4	292	8.2	324	
35.0	8.8	346	9.8	384	
40.0	10.7	422	11.9	468	
45.0	12.5	485	13.9	538	N10
50.0	14.0	552	15.5	613	

2 Desarrollo experimental

Introducción

Los datos presentados en las tablas que siguen se obtuvieron cilindrando probetas de acero SAE 1045 y 4340 en un torno CNC de marca SAEIL, modelo TNL-35, con un montaje entre centros (ver figura N°2).

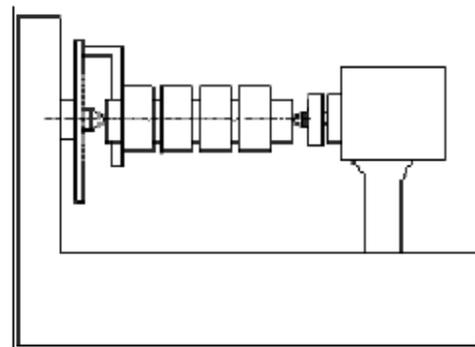


Fig.2. Montaje para los ensayos

Para la realización de los ensayos se contó con: Torno CNC, marca SAEIL modelo TNL – 35.

- Rugosímetro analógico, marca Surtronic.
- Probeta de acero SAE 1045, templado.
- Probeta de acero 4340, templado.
- Herramientas de cerámica, código TPGN 11 03 04 T01020-650.
- Herramientas de cerámica, código TPGN 11 03 08 T01020-650.
- Porta herramienta robusto, código CTGPR 2525M 11-ID.

Brida de arrastre.

Y se realizaron las siguientes actividades:

i. Se utilizaron probetas de dos aceros diferentes endurecidos por temple, con una dureza de 58 Rc, de manera que en los mecanizados sucesivos al variar la geometría, no cambien las condiciones de estabilidad dinámica.

ii. Se torneó con una profundidad de corte constante, variando los parámetros de instalación del proceso como: Avance, velocidad de corte y el radio de la punta de la herramienta de corte.

iii. En cada ensayo se midió la rugosidad media aritmética Ra de la superficie mecanizada.

iv. Se analizaron los datos experimentales, comparándolos con los datos obtenidos por medio de la teoría de textura de superficies.

v. Finalmente, se realizó un análisis comparativo, con respecto al uso de muelas abrasivas para rectificado cilíndrico y con respecto, al rango de grados de rugosidad, según la norma ISO del año 1991.

La profundidad de corte se fijó en un valor de 0,2 mm, por los siguientes propósitos:

i. Eliminar en una sola pasada, las posibles deformaciones ocasionadas por el tratamiento térmico.

ii. Considerar que la herramienta de corte no soporta grandes presiones en su arista de corte y menos aún fuerzas de impacto debido a su baja tenacidad.

iii. Se debe tener presente que a medida que se aumenta la profundidad de corte también lo hace la fuerza de mecanizado, y por ende, la tendencia a las vibraciones aumenta y podría resultar la ruptura de la herramienta.

3 Presentación de resultados

Las figuras 3 y 4 muestran la rugosidad media aritmética con respecto al avance para distintas velocidades de corte, al mecanizar acero SAE 1045 templado con herramienta de cerámica y radio de la punta 0,8 y 0,4 mm respectivamente.

La figura 3 muestra la rugosidad media con respecto al avance para distintas velocidades de corte, al mecanizar Acero SAE 1045 con herramienta de cerámica con radio de punta R = 0.8 mm

La figura 4 muestra la Rugosidad media con respecto al avance, para distintas velocidades de corte, al mecanizar Acero SAE 1045 con herramienta de cerámica y radio de punta R = 0.4 mm.

De la figura 3 se desprende que las menores rugosidades se producen con un avance entorno a 0,08 mm/revolución y para todos los casos calidades N6 (correspondiendo a rectificado cilíndrico fino) o mejores. Se aprecia una tendencia al aumento en la rugosidad para velocidades de corte mayores, (particularmente para 55 m/min), esto puede deberse a un mayor efecto del factor vibración del sistema máquina herramienta pieza, como también a un mayor desgaste de la herramienta aunque se usara una herramienta nueva por cada pasada.

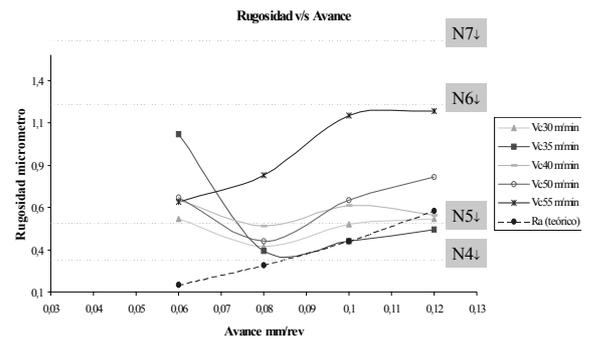


Fig.3. Acero SAE 1045, diámetro de punta 0.8

De la figura 4 se tienen menores rugosidades para avances no superiores a 0,07 mm/revolución, con calidad superficial N5 y N6, que corresponde a un rectificado cilíndrico fino.

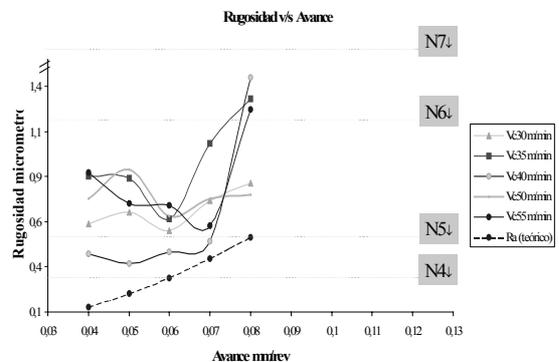


Fig.4. Acero SAE 1045, diámetro de punta 0.4

En general, las curvas obtenidas muestran una rugosidad mayor a la curva teórica de Ra, (caso idealizado), lo que confirma que en la rugosidad influyen también la estabilidad de la pieza a trabajar, la sujeción y las condiciones generales de la máquina.

De estos ensayos, se puede concluir que al cilindrar acero SAE 1045 se obtiene mejor calidad superficial al utilizar una herramienta de cerámica con radio de la punta mayor, lo cual tiene congruencia con la teoría al observar la ecuación de Ra. Además, se puede concluir que la zona de un mejor acabado superficial en acero SAE 1045 es la de

avances de 0,06 y 0,08 mm/revolución para herramientas de cerámica de radio de la punta 0,4 y 0,8 mm respectivamente, para todas las velocidades experimentadas. Al analizar la ecuación teórica en estos puntos, se puede apreciar que al reemplazar estos valores en dicha ecuación, se obtienen relaciones aproximadamente iguales, esto es:

$$R_a = C \cdot 0,06^2 / 0,4 \approx C \cdot 0,08^2 / 0,8 \Rightarrow 0,009_{R=0,4} \approx 0,008_{R=0,8}$$

En general, las curvas de rugosidad siguen una tendencia creciente para los valores más bajos. Esto se puede deber, a que para avances pequeños se está cercano al espesor mínimo de viruta para corte continuo.

Las figuras 5 y 6 muestran la rugosidad media aritmética con respecto al avance para distintas velocidades de corte, al mecanizar acero 4340 templado con herramienta de cerámica y radio de la punta 0,8 y 0,4 mm respectivamente.

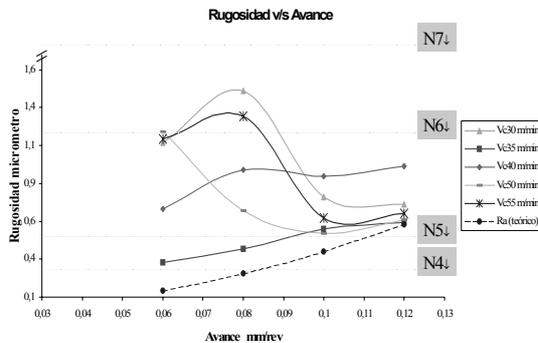


Fig.5. Acero 4340, diámetro de punta 0.8

La figura 5 muestra la rugosidad media con respecto al avance para distintas velocidades de corte, al mecanizar Acero 4340 con herramienta de cerámica y radio de punta $R = 0.8$ mm

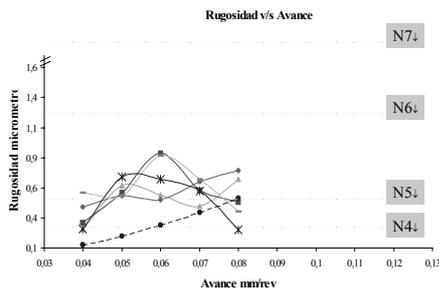


Fig.6. Acero 4340, diámetro de punta 0.4

La figura 6 muestra la rugosidad media con respecto al avance para distintas velocidades de corte, al mecanizar Acero 4340 con herramienta de cerámica y radio de punta $R = 0.4$ mm

De la figura 5 se desprende que las menores rugosidades se producen con un avance entorno a 0,1 mm/revolución, mientras que de la figura 6 se tienen menores rugosidades con un avance aproximado a 0,07 mm/revolución. Se aprecia un comportamiento más errático en las curvas de la figura 6, pero igual resultan rugosidades con calidades N5 y N6 que corresponde a un rectificado cilíndrico fino.

Observando las figuras 5 y 6 se puede decir que al torneear Acero 4340 se obtuvo una mejor calidad superficial al utilizar una herramienta de cerámica con radio de la punta de 0,4 mm. Esto no es lo que se esperaría según la teoría o como ocurrió al mecanizar acero SAE 1045, lo cual puede deberse a la mayor tenacidad y menor maquinabilidad que posee el acero 4340 respecto al acero SAE 1045, resultando una mayor fuerza de corte y una mayor vibración. Se concluye que en el caso del acero 4340, el aumento del radio de la punta de la herramienta incrementa las vibraciones, además por lo desfavorable de los factores direccionables de la fuerza de mecanizado, lo cual desmejora la calidad superficial.

La zona de mejor acabado superficial en acero 4340 es la de avances de 0,07 y 0,1 mm/revolución para herramienta de cerámica de radio de la punta de 0,4 y 0,8 mm respectivamente, para todas las velocidades experimentadas. Al reemplazar estos valores en la ecuación teórica de rugosidad, se obtienen nuevamente relaciones aproximadamente iguales, esto es:

$$R_a = C \cdot 0,07^2 / 0,4 \approx C \cdot 0,1^2 / 0,8 \Rightarrow 0,01225_{R=0,4} \approx 0,0125_{R=0,8}$$

4 Conclusiones

Por lo frágil de la herramienta de cerámica, se seleccionaron parámetros de instalación de avance, velocidad de corte, profundidad de corte y radio de la punta de la herramienta para que el proceso de mecanizado se realizara en condiciones de estabilidad y con desprendimiento de viruta continuo. Además no se presentó en los ensayos el fenómeno de filo recrecido que afecta directamente a la calidad superficial.

La rugosidad media aritmética R_a calculada, presenta el mejor acabado superficial para una forma de herramienta y avance dado. Se puede considerar que esto se cumplió en los ensayos, ya que las rugosidades empíricas resultantes fueron mayores a las calculadas por la relación teórica.

Usando el modelo de la rugosidad media aritmética, ésta no depende de la velocidad de corte. Sin embargo, al observar los gráficos se aprecia un efecto importante de la velocidad de corte, lo cual confirma que las ecuaciones teóricas son reducciones de todas las variables que influyen en el proceso.

De esto se puede concluir, que dada la combinación de las condiciones de corte con la velocidad, se observa la presencia de una menor o mayor vibración inducida en el

mecanizado, acercándose en mayor o menor medida a la zona de inestabilidad dinámica.

Se deberá seleccionar las condiciones de corte óptimas para realizar el mecanizado en el menor tiempo posible y con la calidad superficial especificada por diseño. Para ello, se debe tener en cuenta que el tiempo de mecanizado en procesos de torneado depende de la velocidad de corte y del avance; mientras que en la rectificadora cilíndrica, el tiempo de mecanizado depende de la velocidad de avance.

De acuerdo al proceso de rectificado con máquina rectificadora, la profundidad de corte recomendada es del orden de 0,02 mm. Así, para hacer comparable el proceso de rectificado convencional con el rectificado en el torno usando herramienta de cerámica, en el primero se debe dar diez pasadas para lograr una profundidad de corte acumulada de 0,2 mm y diez movimientos de retorno al punto de partida, ya que no se puede modificar la velocidad de avance, esto implica un total de veinte pasadas.

Si se compara el tiempo de rectificado convencional con el tiempo de mecanizado con herramienta de cerámica con radio de la punta de 0,8 mm, en ambos casos mecanizando acero SAE 1045 y con una rugosidad media aritmética de diseño de 0,34 μm , se tiene que el tiempo de rectificado convencional fue de 7 minutos y el tiempo de mecanizado con herramienta de cerámica resultó de 4,92 minutos, estos valores usando un avance de 0,08 mm/revolución y una velocidad de corte de 35 m/min, ambos tiempos en una longitud de 100 mm.

Así, se puede concluir que el uso de herramientas de cerámica para el torneado de aceros templados, permite calidades superficiales de calidad comparable con el rectificado convencional, resultando las siguientes ventajas:

El tiempo de rectificado convencional es mayor que usando herramienta de cerámica.

En el mecanizado con herramienta de cerámica se pueden realizar piezas de geometría compleja, mientras que usando una máquina rectificadora cilíndrica solo se puede

mecanizar piezas cilíndricas y cónicas, y con un tiempo de montaje mucho mayor.

El empresario, al contar con un torno no tendría que invertir en una máquina rectificadora, considerando además que el tiempo de recuperación de la inversión es mayor.

Resumiendo, el mecanizado con herramientas cerámicas es un método alternativo al rectificado convencional, ya que se obtienen rigosidades bajas, que se encuentran dentro del rango de este (según norma ISO); además, ofrece ventajas frente al rectificado, como por ejemplo, en montaje, mecanizado de geometrías complejas, costos, tiempos de mecanizado, etc.

Referencias

- Doyle L, 1988, Materiales y procesos de manufactura para ingenieros, Editorial Prentice-Hall, México.
- Boothroyd G, 1975, Fundamentos del corte de metales y de las máquinas herramientas, Universidad de Massachusetts, Editorial Mc Graw-Hill, USA.
- Ferraresi D, 1977 Fundamentos de usinagem dos metais, Editorial Edgard Blücher, Sao Paulo.
- Corral P, 1990, Aporte a la determinación en forma continua del desgaste de la herramienta de torneado, Tesis para optar al grado de Magister en Ingeniería Mecánica, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.
- Preisler W y Rojas J, 1996, Diseño y fabricación de contrapunta giratoria, trabajo de titulación en Ingeniería de Ejecución en Mecánica, Universidad de Santiago de Chile.
- Apraiz J, 1971, Tratamientos térmicos de los aceros, Editorial Dossat, España.
- Sandvik Coromant, 1996, Guía de aplicación torneado en acabado.
- Sandvik Coromant, 1995, Catálogo herramientas para torneado.
- Wolf M, 1998, Método alternativo al rectificado cilíndrico de piezas endurecidas térmicamente, mecanizado con herramientas cerámicas, memorias.