

Influencia de la altura de cresta del mecanizado previo sobre la rugosidad obtenida con el bruñido

H.A. González Rojas, J.A. Travieso Rodríguez, A. Nápoles Alberro, A.J. Sánchez Egea, G. Gómez Gras

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universitat Politècnica de Catalunya
amelia.napoles@upc.edu

Este trabajo tiene el objetivo de analizar la influencia de la altura de cresta del fresado previo, en la rugosidad superficial resultante del proceso de bruñido con bola en piezas de aluminio (A92017 y A96351) con superficies cóncavas y convexas. El trabajo se basa en datos experimentales, donde a través de técnicas de DOE, se realizan diferentes ensayos en los que se mide la rugosidad en las direcciones paralela y perpendicular al fresado previo. Se comparan los resultados y se analiza la incidencia de la altura de la cresta obtenida en el mecanizado previo, sobre los valores de rugosidad alcanzados en el bruñido. Se concluye que la altura de cresta del mecanizado previo al bruñido influye sobre la rugosidad dejada por dicho proceso. Las mejoras están entre un 33 y un 71% dependiendo de la estrategia seguida en el bruñido y de la geometría de la pieza. Además se plantean recomendaciones sobre las estrategias para bruñir y los parámetros de corte óptimos a utilizar en las piezas con las geometrías estudiadas.

1. INTRODUCCIÓN

Existen diversas piezas con superficies complejas, como algunos moldes y matrices, piezas para la industria aeronáutica, de la automoción, etc., las cuales tienen importantes prestaciones, que enfrentan continuamente a los ingenieros a la problemática de conseguir calidades superficiales que minimicen la fricción, optimicen los ajustes y las precisiones de las mismas. Dentro de los múltiples procedimientos existentes que persiguen satisfacer estos requerimientos se destaca el bruñido con bola, que como muestra la figura 1, es una operación tecnológica que consiste en deformar plásticamente las irregularidades de una superficie por la acción de la fuerza ejercida por un cilindro o bola [8]. Este proceso tiene por finalidad mejorar el acabado superficial, pudiéndose obtener valores de rugosidad recomendables en usos diversos, además se persigue conseguir elevar la dureza superficial y mejorar las tensiones superficiales a compresión en capas más o menos profundas.

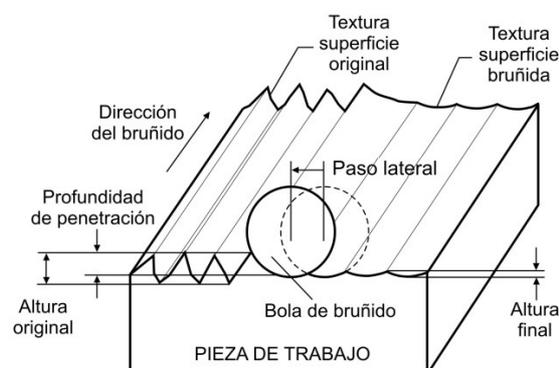


Figura 1. Representación de una pieza sometida al proceso de bruñido con bola

A través de una operación de bruñido con bola [1] podrían ser mecanizadas superficies de configuración compleja para obtener un buen acabado superficial. En este trabajo se ha estudiado la mejora del acabado superficial de configuraciones cóncavas y convexas mediante un proceso de bruñido con bola, realizado en la misma máquina en la que ha sido fresada la pieza de trabajo. Como se muestra en la figura 2, este proceso se desarrolla utilizando una herramienta, en la que la acción de una bola, sobre la que se está ejerciendo una presión hidráulica, cuando esta se desliza sobre el contorno de la pieza hace que se deformen los crestas de las irregularidades superficiales, aplanando el perfil y consiguiendo que ésta tenga mejor acabado al que tenía antes de ser bruñida.

En los resultados de rugosidad superficial obtenidos en las piezas procesadas mediante un proceso de bruñido con bola, influyen diferentes variables. Algunas de estas son los parámetros del proceso (velocidad de avance, paso lateral de la herramienta, presión), pero hay una influencia directa del proceso de mecanizado anterior al bruñido y específicamente la rugosidad superficial del producto en ese paso previo. Esta rugosidad puede ser evaluada a través de la altura de la cresta obtenidas en el proceso de fresado previo al bruñido. En este trabajo se diseñó un experimento para demostrar la influencia de la altura de cresta, en los resultados de la rugosidad superficial que puede obtenerse después de la aplicación del bruñido con bola.

Un proceso de bruñido con bola es recomendado debido a que la herramienta utilizada, puede ser fácilmente instalada en la misma máquina de CNC. La bola, que puede tener un diámetro comprendido entre 3 y 12 mm, opera bajo la acción de una fuerza normal lo suficientemente alta como para deformar los crestas del perfil de la superficie a tratar. Para el bruñido la bola está en contacto con la superficie, pero que puede girar libremente sobre sí mismo, porque los valores de la fuerza de fricción son muy pequeños. Como sucede en el proceso de corte, la deformación plástica se produce en toda la superficie debido a que la herramienta está constantemente en contacto con la pieza de trabajo [2, 3, 4, 5, 6,7].

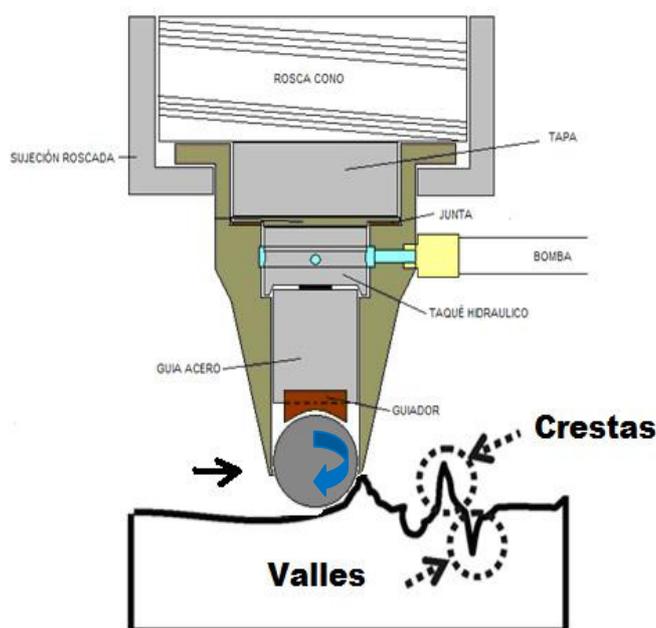


Figura 2. Representación esquemática del proceso de bruñido con bola [8]

2. EXPERIMENTOS

Los experimentos se realizaron en piezas de dos aluminios diferentes, el A92017 y el A96351. Las características de estos materiales están dadas en la Tabla 1, 2 y 3. Las superficies cóncavas o convexas de las piezas de trabajo, mostradas en la figura 3, se componen de tres zonas, cada una de ellas con tres radios r de curvaturas diferentes, estos son 50, 90 y 50mm respectivamente.

% Al	%Si	%Fe	%Mn	% Mg	%Cu	%Ti	%Zn
95.9-98.5	0,7-1,3	0,5 max	0,4-0,8	0,4-0,8	0,1 max	0,2 max	0,2 max

Tabla 1. Composición química del aluminio A96351

% Al	%Si	%Fe	%Mn	% Mg	%Cu	%Cr	%Ti	%Zn
91.5 - 95.5	0,2-0,8	0,7 max	0,4-1,0	0,4-0,8	3,5-4,5	0,1 max	0,15 max	0,25 max

Tabla 2. Composición química del aluminio A92017

Parámetro	A92017	A96351
Dureza Brinell	105	67
Límite resistencia a tracción	427MPa	248MPa
Límite resistencia a fluencia	275MPa	152MPa
Elongación	22%	20%
Módulo de elasticidad	72,4GPa	68,9GPa

Tabla 3. Propiedades mecánicas de los aluminios A96351 y A92017

Las curvaturas se han mecanizado mediante una fresa esférica de 8mm de diámetro que gira a una velocidad de 3000min⁻¹, con una profundidad de corte de 1mm. El fresado se realizó con tres condiciones de velocidad de avance para obtener tres áreas en la pieza (figura 3 y 4) con diferente altura de cresta. Estos valores de Va los determinó el programa CAM en función de las alturas de cresta hc elegidas, las cuales están dadas en la Tabla 4.

Área	hc (mm)
1	0,02
2	0,06
3	0,10

Tabla 4. Alturas de cresta hc para las áreas 1,2,3

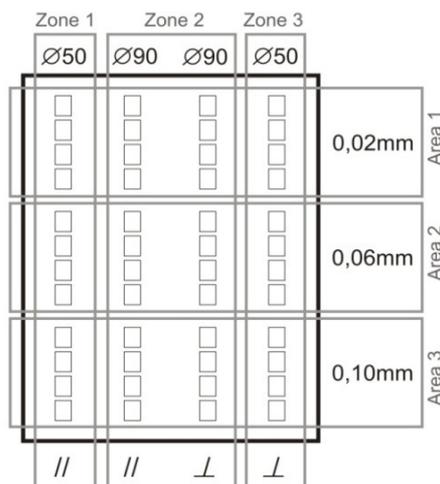


Figura 3. Esquema de la distribución de las áreas bruñidas en las probetas

De estudios anteriores [8] se conoce que las condiciones óptimas para el bruñido de estas piezas son:

- Velocidad de avance de la herramienta de bruñido con bola (Va) = 500mm/min.
- Estrategia de mecanizado E=perpendicular a la dirección del fresado.
- Paso lateral de la herramienta b=0,08mm.
- Presión de trabajo de la herramienta P=1,5bar.

A partir de estos parámetros de operación de valores constantes, sólo se deja como variable la altura de la cresta del pre-mecanizado, siendo objeto de estudio el análisis de su influencia en el resultado del proceso de bruñido.

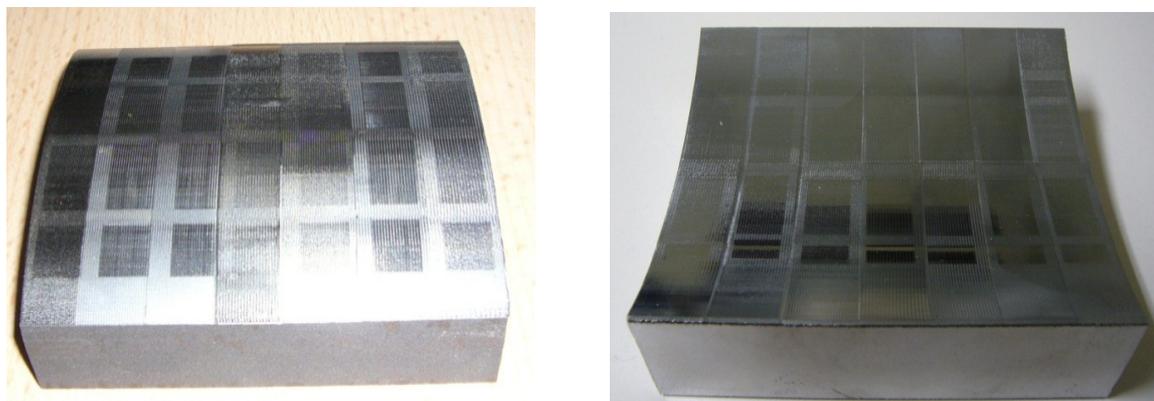


Figura 4. Piezas utilizadas para evaluar la rugosidad superficial después del bruñido

En cada pieza se llevan a cabo seis experimentos, dos por área. El objetivo de la duplicidad de los experimentos es mostrar que estadísticamente existe una correlación entre la altura de la cresta variable y los resultados de rugosidad en cada caso. En cuanto a las mediciones, se han tenido en cuenta cuatro indicadores de rugosidad de la superficie: Ra (rugosidad superficial media) y Rt (rugosidad superficial máxima entre pico y valle), tanto en la dirección paralela a la dirección de la velocidad de avance de la herramienta (Ra// y Rt//), como en la dirección perpendicular a la dirección de la velocidad de avance de la herramienta (Ra⊥ y Rt⊥).

Se ha utilizado la prueba F de Fisher para encontrar la correlación entre la variable altura de cresta y los resultados de Ra y Rt (para cada uno de los indicadores mencionados anteriormente). En el caso de la Rt paralela (//) en el cilindro de aluminio A92017 y radio 50mm, los resultados obtenidos se muestran en el gráfico de la figura 5, en la cual se puede ver en color negro la regresión lineal ajustada y en color azul, el intervalo de confianza para esta regresión.

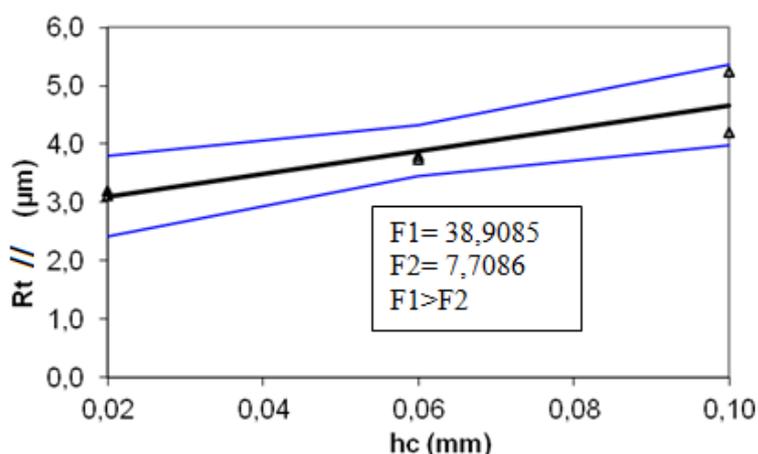


Figura 4. Gráfico de regresión lineal e intervalos de Rt paralela (//) en la pieza de aluminio A96351 con superficie convexa de radio 90mm

Después de haber demostrado que existe una correlación entre el mecanizado previo y los valores obtenidos para cada indicador, se puede proceder a analizar los resultados. Estos resultados se resumen en las Tablas 5 y 6 para las piezas de superficie cóncava y convexa, respectivamente.

Material	r	hc	Ra //	Rt //	Ra ⊥	Rt ⊥
----------	---	----	-------	-------	------	------

	(mm)	(mm)	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)
A92017	50	0,02	1,974	15,085	0,898	6,278
A92017	50	0,02	1,904	14,933	0,786	6,492
A92017	50	0,06	2,058	15,266	1,068	9,610
A92017	50	0,06	2,150	15,250	1,006	8,288
A92017	50	0,10	2,206	15,670	1,100	9,672
A92017	50	0,10	2,220	15,700	1,158	9,070
A92017	90	0,02	0,662	3,133	0,956	5,956
A92017	90	0,02	0,502	3,030	1,086	6,548
A92017	90	0,06	0,740	3,315	1,366	6,912
A92017	90	0,06	0,725	3,390	1,438	6,658
A92017	90	0,10	0,826	4,108	2,590	10,752
A92017	90	0,10	0,800	4,252	2,486	12,404
A96351	50	0,02	0,775	4,524	1,076	5,516
A96351	50	0,02	0,806	4,995	0,998	4,792
A96351	50	0,06	0,855	7,450	1,244	6,116
A96351	50	0,06	0,852	7,930	1,018	5,170
A96351	50	0,10	0,913	8,430	2,414	10,194
A96351	50	0,10	0,905	8,640	2,196	9,666
A96351	90	0,02	0,516	4,535	1,098	6,402
A96351	90	0,02	0,376	4,570	1,132	6,042
A96351	90	0,06	0,906	5,210	1,268	7,336
A96351	90	0,06	0,846	5,327	1,580	8,610
A96351	90	0,10	0,930	5,974	2,334	11,616
A96351	90	0,10	0,975	5,438	2,760	13,378

Tabla 5. Resultados de rugosidad medidos en piezas cóncavas

Material	r (mm)	hc (mm)	Ra // (μm)	Rt // (μm)	Ra \perp (μm)	Rt \perp (μm)
A92017	50	0,02	0,898	4,992	0,656	3,444
A92017	50	0,02	0,786	4,898	0,538	3,490
A92017	50	0,06	1,068	5,122	0,734	4,580
A92017	50	0,06	1,006	5,130	0,918	4,090
A92017	50	0,10	1,100	5,708	1,260	5,195
A92017	50	0,10	1,158	5,996	1,690	6,755
A92017	90	0,02	0,516	3,650	1,400	7,820
A92017	90	0,02	0,448	3,460	1,242	7,746
A92017	90	0,06	0,526	4,078	1,802	8,926
A92017	90	0,06	0,502	3,492	1,822	8,280
A92017	90	0,10	0,590	4,224	2,330	9,216
A92017	90	0,10	0,562	4,516	2,400	9,564
A96351	50	0,02	0,510	5,322	0,334	2,546
A96351	50	0,02	0,562	5,460	0,396	2,336
A96351	50	0,06	0,710	5,680	0,556	2,868
A96351	50	0,06	0,745	5,400	0,544	3,396
A96351	50	0,10	0,752	5,832	0,668	3,660
A96351	50	0,10	0,776	5,906	0,572	3,462
A96351	90	0,02	0,554	3,126	0,676	3,284
A96351	90	0,02	0,650	3,200	0,610	3,202
A96351	90	0,06	0,634	3,740	1,492	6,800
A96351	90	0,06	0,646	3,790	1,444	7,826
A96351	90	0,10	0,748	4,198	1,276	8,394
A96351	90	0,10	0,784	5,250	1,580	10,450

Tabla 6. Resultados de rugosidad medidos en piezas convexas

3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE.

Analizando la relación entre la rugosidad superficial previa y la posterior al bruñido, se observó que cuanto mayor es la altura de la cresta del fresado previo, mayor rugosidad se obtiene al final, para todos los indicadores medidos ($Ra//$, $Ra\perp$, $Rt//$ & $Rt\perp$). Esto significa que la rugosidad de la superficie final que queda después del bruñido con bola depende de la que se obtuvo en el mecanizado anterior. Aunque, como se observa la influencia no es precisamente lineal como se podría pensar. En el área previa de $hc=0,02\text{mm}$, la rugosidad de la superficie obtenida es menor que en las otras dos áreas ($hc=0,06\text{mm}$ y $hc=0,10\text{mm}$). Se evalúa porcentualmente la diferencia detectada entre ellas. Esta evaluación se puede observar para cada parámetro en la Tabla 7, teniendo en cuenta que se compara qué tan bajo es el valor en el área de $hc=0,02\text{mm}$ respecto a la zona de $hc=0,10\text{mm}$.

Pieza de trabajo	Parámetro			
	$Ra//$	$Ra\perp$	$Rt//$	$Rt\perp$
Cóncava	25%	50%	15%	50%
Convexa	20%	7,5%	40%	45%

Tabla 7. Porcentaje de mejora de la rugosidad superficial

4. CONCLUSIONES

Una vez realizados los experimentos y analizados sus resultados se concluye:

- La altura de la cresta del fresado realizado sobre las piezas de trabajo influye en los resultados finales obtenidos en las mismas después de haber sido bruñidas.
- Cuanto menor es la rugosidad obtenida después del fresado, mejor es la calidad superficial resultante en las superficies trabajadas.
- Se evidencia la necesidad de controlar el proceso de mecanizado previo para que el resultado final sea el óptimo.
- Se comprueba que la respuesta en los dos tipos de materiales ensayados es similar. Sucede lo mismo para ambos tipos de superficies mecanizadas: cóncavas y convexas.

5. AGRADECIMIENTOS

Este documento es el resultado del trabajo del grupo TECNOFAB UPC Agradecemos la colaboración de Sergio Calles y Daniel Romanillos.

6. REFERENCIAS

- [1] Y. C. Yen, P. Sartkulvanich, T. Altan, *Finite Element Modelling of Roller Burnishing Process*. CIRP Annals Manufacturing Technology, (2005), 54, Issue 1, 237-240.
- [2] K. Roettger, *Walzen Hartgedrehter Oberflaechen*. PhD Dissertation, WZL, RWTH Aachen, (2002).
- [3] F. Klocke, J. Liermann, *Roller Burnishing of Hard Turned Surfaces*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, (1998), 38/56, 419-423.
- [4] P. S. Prevey, R. A. Ravindranath, M. Shepard, T. Gabb, *Case Studies of Fatigue Life Improvement Using Low Plasticity Burnishing in Gas Turbine Engine Applications*. Proceedings of ASME Turbo Expo, June 16-19, Atlanta, Georgia, USA, (2003).
- [5] M. Nemat, A. C. Lyons, *An Investigation of the Surface Topography of Ball Burnished Mild Steel and Aluminium*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, (2000), 16, 469-473.
- [6] Y. C. Yen, T. Altan, *Finite Element Modelling of Ball Burnishing - Prediction of Surface Deformation and Residual Stress*. ERC Report No. HPM/ERC/NSM-04-R-04, Ohio State University, (2004).

- [7] A. Celaya, A. Rodríguez, J. Albizuri, L. N. López de la Calle, R. Alberdi. *Modelo de elementos finitos del bruñido*. Proceedings of 9° Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, Las Palmas de Gran Canaria, Spain, (2009), 147-154.
- [8] J. A. Travieso-Rodríguez, G. Dessenin, H. A. González-Rojas, *Improving the Surface Finish of Concave and Convex Surfaces Using a Ball Burnishing Process*. Materials and Manufacturing Processes, (2011), 26:12, 1494-1502.
- [9] F. J. Shiou & C. H. Chen, *Freeform surface finish of plastic injection mould by using ball-burnishing process*. Journal of Materials Processing Technology (2003), 140, 248-254.