PREDICCIÓN DEL ACABADO SUPERFICIAL DE PIEZAS DE ACERO TORNEADAS EN FUNCIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL Y DE LAS CONDICIONES DE CORTE

Cassier, Z; Muñoz-Escalona ,P; Castellanos, C; Payares, M. C.

Universidad Simón Bolívar, Departamento de Mecánica
Apdo. 89000, Caracas 1080 A, Venezuela.

RESUMEN

La calidad, confiabilidad y desempeño en servicio requerido de un componente mecanizado dependen significativamente del acabado superficial resultante del proceso de fabricación. La optimización de las condiciones de mecanizado es necesaria para obtener piezas de la mejor calidad al menor costo de producción.

El presente trabajo presenta el desarrollo de un modelo de rugosidad para el torneado de un acero SAE-AISI 4140, en diferentes condiciones de Dureza, usando herramientas de carburo recubierto, sin fluido de corte, y con Profundidad de Corte constante. El modelo se desarrolló en base a los parámetros del mecanizado y a las propiedades mecánicas del material de trabajo. El efecto de estos factores se investigó usando la Metodología de las Superficies de Respuesta, obteniéndose un modelo polinómico de primer grado de la rugosidad en función de las variables propuestas.

ABSTRACT

The quality and confiability of parts depends on the surface roughness obtained from an specific process. In order to obtain pieces with excellent surface finish is necessary to optimize the machining conditions.

This research develops a mathematical roughness model for turning a SAE-AISI 4140 steel under different hardness conditions, using tools of tungsten carbide, dry cut and constant depth of cut. The mathematical model was developed based on the cutting parameters and mechanical properties of the working material. The effect on these factors was investigated using Response Surface Methodology, to obtain a polynomial model of roughness as a function of the suggested variables.

INTRODUCCIÓN.

La resistencia real de las partes mecánicas resulta ser considerablemente menor que la resistencia estática aparente del material. Los estudios experimentales llevados a cabo sobre esta condición, muestran que la magnitud de esta desviación de la resistencia disponible respecto de la resistencia estática depende marcadamente de la naturaleza del proceso utilizado para generar la superficie, así como de la metalurgia mecánica y física del material de trabajo[1]. Las condiciones de esta superficie tendrán una marcada influencia en la resistencia a la fatiga de dicha parte y en el agrietamiento inducido por corrosión, comprometiendo el concepto tradicional de resistencia.

El efecto de la velocidad de corte sobre la rugosidad superficial ha sido estudiado, entre otros, por Chandiramani y Cook [2] y Shouckry [3]. Los primeros investigadores mencionados dedujeron que a bajas velocidades de corte la ruptura del material y la formación de viruta discontinua producen un aumento del valor de rugosidad superficial. Petropoulos [4] estudió el efecto del avance y del radio de punta de la herramienta en la rugosidad superficial, encontrando que ambos factores ejercen una gran influencia en ésta última. Modelos matemáticos exponenciales que relacionan la rugosidad con la velocidad de corte, el avance, el radio de punta de la herramienta y la dureza del material de trabajo fueron desarrollados por Bhattacharyya *et al.* [5], en base a pruebas de mecanizado realizadas por Olsen [6] en el acero SAE-AISI 1045. En el trabajo citado, Olsen relacionó la rugosidad con el avance y con la velocidad de corte, a través de ecuaciones exponenciales; adicionalmente, propuso curvas de corrección de la rugosidad para diferentes radios de punta y diferentes durezas del material de trabajo. Las ecuaciones desarrolladas por Bhattacharyya *et al.* [5] fueron usadas posteriormente por Malakooti y Deviprasad [7] en la selección de condiciones de corte.

La relación entre la rugosidad de la pieza torneada y la dureza del material de trabajo fue reportada por Albrecht [8], para una condición específica de mecanizado.

La Metodología de Superficies de Respuesta (MSR), es una recolección de técnicas matemáticas y estadísticas usadas para analizar problemas en los cuales variables independientes influyen sobre una variable o respuesta dependiente. El Baradie [9] desarrolló un modelo para el estudio de la Rugosidad superficial del hierro gris (154 BHN) usando la MSR.

En el presente trabajo se estudia, además del efecto de los parámetros de corte, la influencia de la dureza del material de trabajo sobre la rugosidad superficial de un acero endurecible SAE-AISI 4140.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño experimental factorial de tres niveles, escogiéndose las variables independientes mostradas en la Tabla 1. El número total de experiencias de mecanizado fue 135, incluyendo los cinco niveles de la variable dureza del material de trabajo. Las experiencias fueron ejecutadas siguiendo un orden aleatorio. Todas las experiencias fueron realizadas al seco, con una profundidad de corte constante e igual a 0,25 mm. Para las experiencias de mecanizado se utilizó un torno de control numérico marca LeBlond IV y como herramientas de corte, se utilizaron herramientas de carburo recubierto, marca Widia, Calidad ISO P20-P40, con tres (3) tipos de radio de punta, DNMG 150604, DNMG 150608 y DNMG 150612.

Tabla 1 Niveles de variables independientes

Factor	Bajo	Central	Alto
Velocidad (m/min.)	40	80	120
Avance (mm/rev)	0,10	0,20	0,30
Radio de punta (mm)	0,4	0,8	1,2

Las barras de acero SAE-AISI 4140, cortadas en probetas de 300 mm de largo y 51 mm de diámetro, con una dureza inicial de 265 BHN, fueron sometidas a un tratamiento térmico de

temple (austenizadas a 850°C por una hora y enfriadas en aceite con agitación moderada). Posteriormente las barras se revinieron por una hora a distintas temperaturas, según lo indicado en la Tabla 2, lográndose las diferentes durezas señaladas.

Tabla 2. Temperaturas de revenido y durezas obtenidas.

Muestra	1	2	3	4	5
Temperatura °C	200	384	530	680	-
Dureza Brinell (BHN)	496	432	398	362	265

Después de ser revenidas, las barras fueron cilindradas reduciendo su diámetro hasta 48 mm, para eliminar los efectos superficiales provocados por el tratamiento térmico. Se realizaron las experiencias de mecanizado por duplicado, para una mayor confiabilidad de los resultados.

La rugosidad media (Ra) se midió con un rugosímetro Mitutoyo, modelo 211, con un valor de longitud de recorrido o "cutt-off" de 0,25 mm. Se realizaron seis mediciones en cada banco de prueba para reportar el valor de la variable dependiente. (Ra).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Figuras 1 y 2 se muestran la variación de la variable dependiente rugosidad superficial en función de las variables independientes utilizadas.

En la Figura 1.a. y 1.b. se muestran las superficies de respuestas obtenidas, donde se observan la influencia simultánea de las variables velocidad de corte y avance sobre el acabado superficial, para dos condiciones de dureza del material de trabajo y radio de punta de la herramienta. En todos los casos, se observó el comportamiento esperado de mejora del acabado superficial con un aumento en el valor de la velocidad de corte y una disminución del avance de la herramienta.

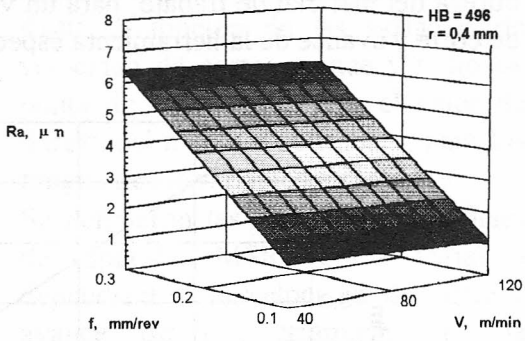


Figura 1.a. Superficie de respuesta de la rugosidad como función de la velocidad de corte y del avance para un acero AISI 4140 con dureza Brinelll, HBN = 496 y Torneado con un radio de punta, r=0.4 mm

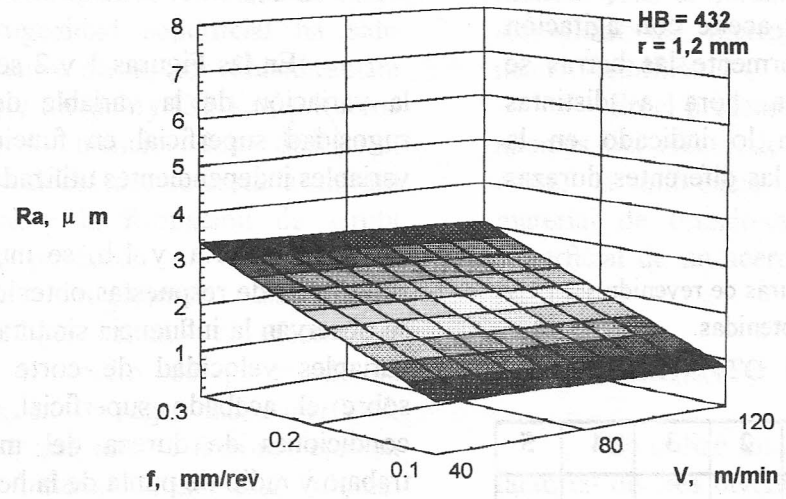


Figura 1.b. Superficie de respuesta de la rugosidad como función de la velocidad de corte y del avance para un acero AISI 4140 con dureza Brinelll, HBN = 432 y Torneado con un radio de punta, r=1.2 mm

En la Figura 2. se refleja la variación de la rugosidad superficial en función de la dureza del material de trabajo, para un valor de radio de punta de la herramienta, velocidad de corte y avance de la herramienta específico.

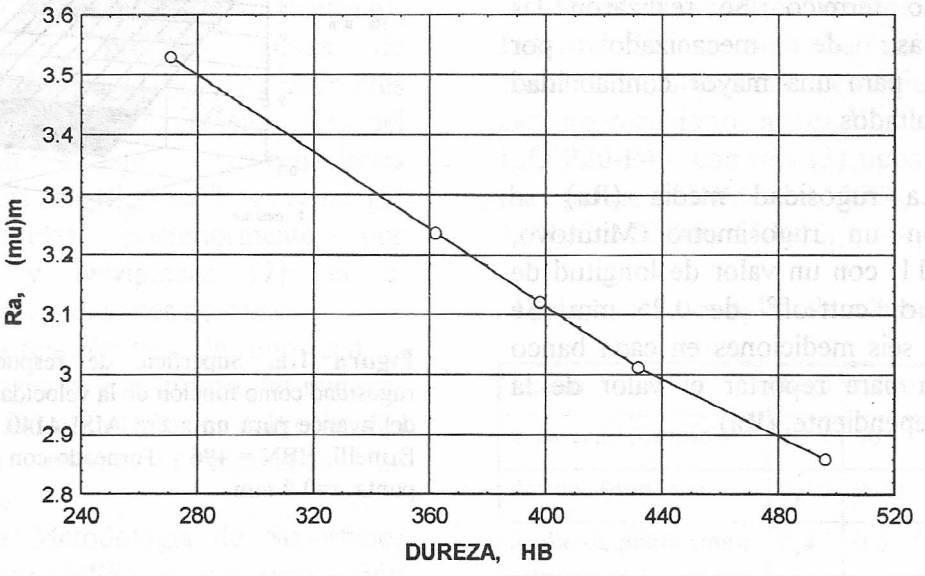


Figura 2. Relación entre la rugosidad media y la dureza del material de trabajo para el acero AISI 4140 en sus diversas condiciones metalúrgicas. Condiciones del corte: V = 80 m/min; f = 0.2 mm/rev; r = 0.8 mm; d = 0.25 mm.

Tal como era de esperarse, se observan valores menores de rugosidad para valores de radio de punta mayores y avance de la herramienta pequeños.

En la Figura 2. se puede observar, en mayor detalle, que el aumento en el valor de dureza del material de trabajo se refleja en una mejora del acabado superficial obtenido.

Los resultados obtenidos fueron utilizados para establecer una expresión matemática que permita la predicción del valor de rugosidad superficial media Ra (μm), en función de las variables dependientes utilizadas. Se utilizó regresión lineal múltiple para estimar por mínimos cuadrados los coeficientes de regresión del modelo matemático. El modelo de partida lo constituyó el polinomio completo de segundo grado en cuatro variables (V, f, r y BHN), el cual incluye los términos lineales, los cuadráticos y los de interacción. Este modelo inicial se refinó tomando como criterio la optimización del coeficiente de determinación múltiple (R^2). El ajuste se evaluó en base al análisis de residuos, cuidando además de mantener cercanos los valores de R^2 y del coeficiente de determinación múltiple ajustado (R^2_{adjust}), para evitar la inclusión de términos innecesarios en el modelo.

El modelo inicial se refinó hasta obtener el siguiente modelo polinómico de primer grado:

$$\mathbf{Ra} = -0{,}046*V + 30{,}0637*f + 1{,}1780*r - 0{,}0164*BHN - 17{,}0415*f*r \qquad (1)$$

R^2= 0,968
R= 0,984
R^2_{adjust}= 0,966

donde :
- Ra: Rugosidad media [μm]
- V: Velocidad de Corte [m/min]
- f: Avance de la herramienta [mm/rev]
- r: Radio de punta de la herramienta [mm].
- HBN: Dureza del material de trabajo

La ecuación (1), obtenida en la presente investigación, fue construida a partir de las pruebas de mecanizado realizadas, incluyendo la variación del valor de dureza del material de trabajo como parte del diseño experimental empleado.

CONCLUSIONES

- La ecuación [1] logra predecir el valor de la rugosidad media de superficies torneadas de acero endurecible AISI 4140 en función de las variables de velocidad de corte, avance y radio de punta de la herramienta y el valor de dureza del material de trabajo, para los rangos de las variables utilizadas.
- Se definieron las diferentes superficies de respuestas (MSR) para las variables dependientes de velocidad de corte y avance de la herramienta en la rugosidad superficial, para distintas combinaciones de valores de radio de punta de herramientas y dureza del material de trabajo.
- En todos los casos, se ratificó el efecto de mejora del Acabado Superficial con un aumento del valor de la Velocidad de corte, del Radio de punta de la herramienta y de la Dureza del material de trabajo y un aumento de la Rugosidad con un incremento en el valor del Avance de la herramienta.

REFERENCIAS

1. Ramalingam, S., y Black, J. T., On the Metal Physical Considerations in the Machining of Metals, ASME Journal of Engineering for Industry, (94), 1215 (1972).
2. Chandiramani, K. L. y Cook, N. H., Investigations on the Nature of Surface Finish and its Variation with Cutting Speed, ASME Journal of Engineering for Industry, (86), 134 (1964).
3. Shouckry, A.S, The Effect of Cutting Conditions on Dimensional Accuracy, Wear, (80)), 197 (1982).
4. Petropoulos, P. G., The Effect of Feed Rate and Tool Nose Radius on the Roughness of Oblique Finish Turned Surfaces, Wear, (23), 299 (1973).
5. Bhattacharyya, A., Faría-González, R. y Ham, I., Regression Analysis for Predicting Surface Finish and its Applications in the Determination of Optimum Machining Conditions, ASME Journal of Engineering for Industry, v. (92), 711 (1970).
6. Olsen, K. F., Surface Roughness as a Function of Cutting Conditions when Turning Steel, Machine Tool and Production Trends, Engineering Proceedings, I -43, The Pennsylvania State University, 149-160. (1965).
7. Malakooti, B. y Deviprasad, J., An Interactive Multiple Criteria Approach for Parameter Selection in Metal Cutting, Operations Research, 5 (37), (1989).
8. Albrecht, A., How to Secure Desired Surface Finish in Turning Operations, American Machinist, 133 (Oct. 1956).
9. El Baradie, M. A., Surface Roughness Model for Turning Grey Cast Iron (154 BHN), Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers (part B), (207) 43 (1993)