

EVALUACIÓN DE LA INTEGRIDAD SUPERFICIAL EN EL FRESADO DEL ACERO AISI H13, VÍA RUIDO MAGNÉTICO DE BARKHAUSEN

Freddy A. Franco G. ^{1*}, Ilson I. Harter ², Abel C. Recco ³

- 1: Ingeniero Mecánico, Ph.D., Profesor Auxiliar, Departamento de Maestría en Ingeniería mecánica, Sociedad Educacional de Santa Catarina – SOCIESC. Joinville, SC, Brasil.
- 2: Tecnólogo Mecánico, Estudiante de Maestría en Ingeniería mecánica, Sociedad Educacional de Santa Catarina – SOCIESC. Joinville, SC, Brasil.
- 3: Físico, Ph.D., Profesor Auxiliar, Universidad del Estado de Santa Catarina-Departamento de Física. Joinville, SC, Brasil.

* Contacto: frefranco@gmail.com

RESUMEN

En el presente trabajo es estudiada la posibilidad de utilizar la técnica de medición del RMB para determinar la influencia de parámetros de fresado de acabado en la integridad superficial del acero H13 en dos estados, endurecido y no endurecido. El proceso de maquinado fue realizado usando combinaciones de los parámetros de corte V_c y f_z obtenidos a través de un planeamiento factorial fraccionado 2^k , con puntos centrales y 3 réplicas. Mediciones de RMB fueron realizadas en diferentes puntos de cada una de las probetas, así como un análisis del perfil de dureza generado en la profundidad del material. El parámetro RMB_{rms} mostró alta sensibilidad a los efectos generados en el material, logrando evaluar cualitativamente diferentes niveles de tensión residual en el caso del acero H13 no endurecido. Por otro, lado los resultados del RMB en el acero H13 endurecido no mostraron correspondencia con las tensiones residuales.

Palabras Clave: *Fresado H13, Ensayo no destructivo, Integridad superficial, Ruido magnético de Barkhausen.*

ABSTRACT

In this paper is studied the possibility of using the RMB measurement technique to assess the influence of finishing milling parameters on surface integrity in two states H13 steel, hardened and non-hardened. The machining process was carried out using combinations of cutting parameters V_c and f_z obtained via a 2^k fractional factorial design with center points and 3 replicates. RMB measurements were made at different points in each of the samples, and a hardness profile analysis generated on the depth of the material. RMB_{rms} parameter showed high sensitivity to the effects generated in the material, achieving qualitatively assess different levels of residual stress in the case of non-hardened steel H13. On the other side, the RMB results in hardened H13 steel showed no correspondence with the residual stresses.

Keywords: *Milling H13, Non-destructive testing, surface integrity, Magnetic Barkhausen noise.*

1 INTRODUCCIÓN

Características presentes en el acero AISI H13 como, una elevada resistencia a procesos de ablandamiento térmico, alta templabilidad, alta resistencia y alta tenacidad, lo hacen apropiado

para la fabricación de moldes y matrices. El proceso de fabricación de estos componentes es uno de los más exigentes y su calidad y fiabilidad está directamente relacionada a la integridad superficial. Las Tensiones Residuales (TR) han revelado ser un parámetro importante, ya que dependiendo de su naturaleza (tracción o compresión), el desempeño de la herramienta o capacidad para soportar un elevado número de ciclos térmicos y/o mecánicos puede ser mayor [1]. En procesos de fresado los efectos de temperatura son responsables por generar TR de tracción, mientras que efectos mecánicos generan deformaciones plásticas responsables por TR de compresión [2, 3]. Dependiendo de la dinámica del proceso de corte, generalmente uno de los dos efectos resulta ser predominante. Hioki D [4] analizó la influencia de la velocidad de corte (V_c), avance por diente (f_z), profundidad de corte axial (a_p) y profundidad de corte radial (a_e) en los niveles de tensión residual y dureza generados en el fresado del acero H13 con dureza de 49HRc. Todos los resultados indicaron TR de compresión. Axinte y Dewes [5] en superficies de acero H13 endurecido, indicaron que los parámetros V_c , f_z y el ángulo de inclinación de la muestra, y sus interacciones son factores importantes que influyen en los niveles de TR, generando en todos los casos niveles de TR de compresión. Los métodos usualmente utilizados para evaluar las TR tales como análisis metalográfico, difracción de rayos X y medición de dureza son de difícil integración a los procesos de fabricación. Adicionalmente estos métodos son de carácter destructivo. No obstante, actualmente se ha estado desarrollando un nuevo Ensayo no Destructivo (END) basado en el comportamiento magnético de los materiales, presentando un elevado potencial en esta aplicación: El método de medición del Ruido Magnético de Barkhausen (RMB). El RMB actualmente está siendo aplicado como un nuevo END de materiales ferromagnéticos en la evaluación de esfuerzos residuales y aplicados [6, 7], niveles de dureza [8], degradación por fatiga [9], uniones soldadas [10] etc. En el presente trabajo son mostrados resultados de la utilización de la técnica de RMB en la evaluación cualitativa de TR generadas en el proceso de fresado del acero H13 variando los parámetros V_c y f_z .

2 METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Para la realización de los ensayos fue utilizado el acero AISI H13 en dos estados, endurecido y no endurecido. Probetas de los dos materiales fueron cortadas con dimensiones de 50X40X15mm. Para el caso del acero AISI H13 no endurecido las probetas fueron sometidas a un tratamiento térmico de alivio de tensiones (600°C 2h y enfriamiento lento). Por otro lado, para el acero AISI H13 endurecido, las probetas fueron sometidas a un tratamiento térmico de temple seguido de un doble revenimiento con la siguiente secuencia: 600°C 1h, 800°C 1h, austenización 1030°C 1h, baño de sal 550°C, revenido1 620°C 1h, revenido2 620°C 1h. En estas probetas fue obtenida una dureza de 47HRc.

2.2 Parámetros y condiciones de corte

El proceso de maquinado del acero H13 en las dos condiciones (endurecido e no endurecido) fue realizado en una fresadora marca Feller, modelo FV600. Fue utilizada una fresa Ø16mm (ref. R300-016A20L-08L) con dos pastillas intercambiables (ref. R300-0828M-PM 1030) de carburo de tungsteno con radio de 4mm. Las herramientas son fabricadas por la Sandvik Coromant. En las muestras de H13 no endurecido fue realizado un fresado de tope. En el caso de los ensayos del

acero H13 endurecido, el proceso de fresado se realizó en superficie inclinada y formando un ángulo de 30° en relación al eje de rotación de la fresa.

Tabla 1. Diseño experimental acero H13 no endurecido.

Ensayo (#probeta)	Vc (m/min)	fz (mm/diente)
1	200	0,30
2	200	0,11
3	250	0,30
4	200	0,11
5	250	0,30
6	250	0,11
7	200	0,11
8	225	0,205
9	250	0,30
10	250	0,11
11	200	0,30
12	225	0,205
13	225	0,205
14	200	0,30
15	250	0,11

Tabla 2. Diseño experimental acero H13 endurecido.

Ensayo (#probeta)	Vc (m/min)	fz (mm/diente)
1	50	0,1
2	150	0,1
3	50	0,3
4	150	0,3
5	50	0,1
6	150	0,1
7	50	0,3
8	150	0,3
9	50	0,1
10	150	0,1
11	50	0,3
12	150	0,3
13	100	0,2
14	100	0,2
15	100	0,2

Para la ejecución de los dos experimentos fue utilizado un planeamiento factorial fraccionado 2^k, donde se determinó la cantidad y orden de los ensayos a ser realizados. Se especificó un punto central y tres repeticiones para cada combinación de parámetros de corte. Los ensayos (# de probetas) y condiciones de corte para el acero H13 no endurecido y el H13 endurecido son mostrados en la tabla 1 y tabla 2 respectivamente.

2.3 Medición de Ruido Magnético de Barkhausen

La cadena de medida del sistema de RMB es mostrada en la figura 1a. La sonda de RMB utilizada es compuesta por un núcleo en forma de “U” (Yoke), en el cual se encuentra enrollada una bobina que genera inducción magnética en la probeta. Una bobina lectora de RMB es colcada entre los polos del Yoke. La salida de voltaje de la bobina lectora va conectada a un acondicionador de señal que amplifica y filtra la señal en una banda de 1.2 - 100 kHz. La amplitud y frecuencia de la corriente (proporcional a campos magnéticos) que debe ser aplicada dependen de la aplicación que a ser estudiada [11]. Las señales de RMB son registradas en un PC con la ayuda de una placa A/D (NI-PCI-6143) con una frecuencia de adquisición de 200kHz y utilizando el programa LabView. Para las mediciones del acero H13 no endurecido fueron utilizados los parámetro de medida, frecuencia = 20Hz y amplitud de corriente 0.8A. En el caso del acero H13 endurecido fueron utilizados los parámetros, frecuencia = 10Hz y amplitud de corriente 1A. La Figura 1b muestra la posición donde fueron medidas las señales de RMB en cada una de las probetas.

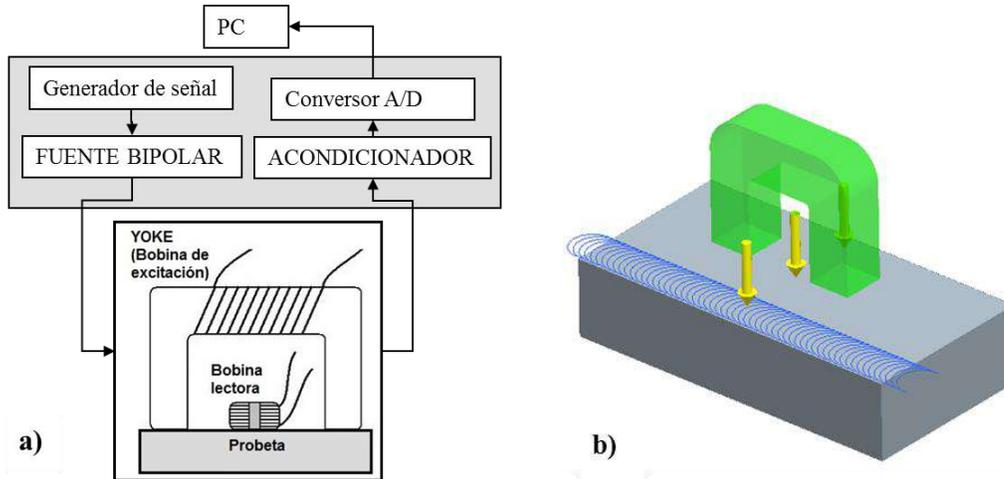


Figura 1. a) Cadena de medida del RMB.

b) Posicionamiento de la sonda de RMB.

2.4 Medición de nanodureza

Fue realizado en una de las probetas de acero H13 endurecido un perfil de dureza en la profundidad del material. Para esto se realizó un corte perpendicular a la superficie fresada y transversal al sentido de avance de la fresa. Las medidas fueron realizadas utilizando un equipo de la marca CETR. Parámetros utilizados: carga 15 mN, velocidad de carga 1,0 mN/s, duración de la indentación 10s, indentador tipo Berkovich.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 2 muestra los resultados del parámetro RMB_{rms} de las mediciones realizadas en las probetas de acero H13 no endurecido y maquinadas con diferentes parámetros de fresado. Adicionalmente también fueron realizadas medidas de RMB en las probetas antes de realizar el proceso de fresado y después de haber sido sometidas al tratamiento térmico de alivio de tensiones (teóricamente con el material en un estado libre de TR). Para estas medidas, el parámetro RMB_{rms} fluctuó entre 0,14 y 0,15 entre todas las muestras. Por tanto, según la distribución de medidas observadas en la Figura 2, todos los valores RMB_{rms} de las muestras fresadas fueron menores a las amplitudes de RMB relativas a un estado libre de TR. Ya que las amplitudes de RMB aumentan con TR de tracción y disminuyen con TR de compresión, puede ser afirmado que todas las amplitudes del parámetro RMB_{rms} mostrados en la Figura 2 son relativas a diferentes niveles de TR de compresión. Analizando el comportamiento del gráfico de superficie de la Figura 2, es observado que un aumento de f_z en combinación con V_c relativamente bajas, aumenta los niveles de TR de compresión, mientras que f_z menores en combinación con velocidades altas disminuye dichas tensiones. Estudios correlacionados han encontrado resultados similares [3-5, 12]. Un aumento de f_z genera mayores esfuerzos de corte y por tanto aumenta el efecto mecánico en el proceso, induciendo consecuentemente mayores TR de compresión. Por otro lado, un aumento de V_c , aumenta la temperatura del proceso, efecto que compensa en parte el efecto mecánico y entonces son inducidas menores TR de compresión.

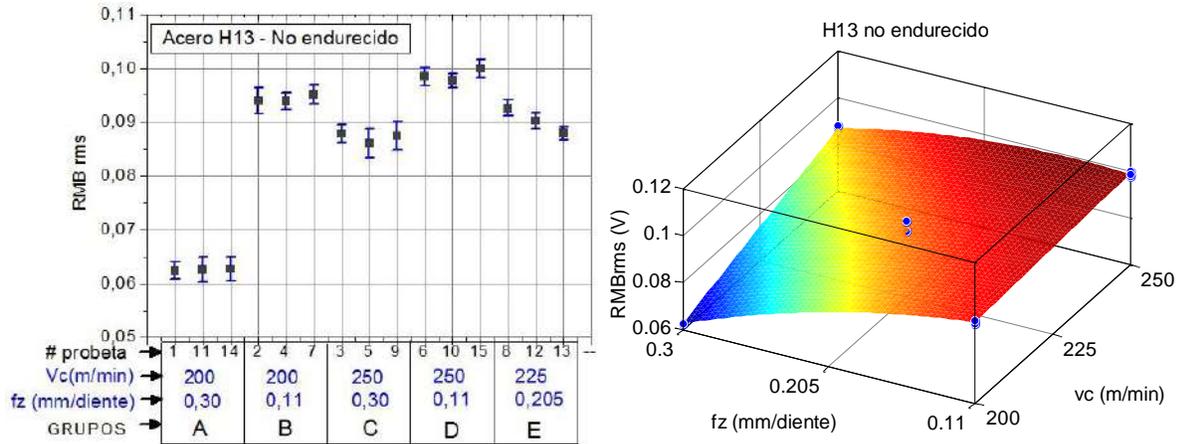


Figura 2. Mediciones de RMB en probetas maquinadas con diferentes parámetros de fresado. Acero H13 no endurecido.

La Figura 3 muestra los resultados del parámetro RMB_{rms} de las mediciones realizadas en las probetas de acero H13 endurecido en las condiciones “Antes” y “Después” del proceso de fresado. Como puede ser observado en la Figura 3, todas las amplitudes de RMB obtenidas en las probetas maquinadas resultaron mayores a los valores de RMB relativos a un estado libre de tensión (Antes del proceso de fresado). Según ese comportamiento del RMB, apresuradamente se podría pensar que en todas las muestras fueron inducidos TR de tracción, aun así, la gran mayoría de estudios realizados en acero H13 endurecido en condiciones de maquinado similares han demostrado que son generados TR de compresión [3-5]. El RMB es sensible a diferentes efectos producidos en la microestructura del material, por lo cual se cree que durante el proceso, además de las TR, fueron generados otros cambios en el material que pudieron alterar las medidas de RMB.

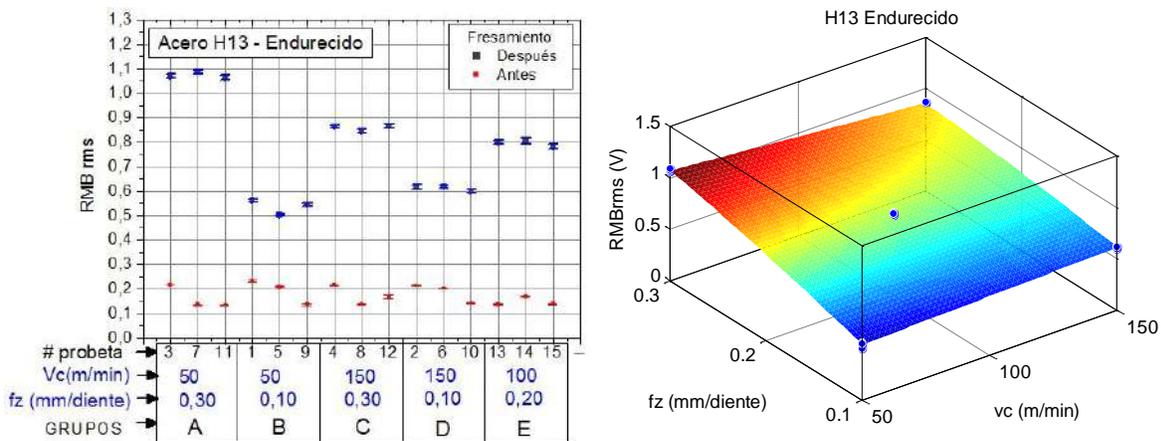


Figura 3. Mediciones de RMB en probetas maquinadas con diferentes parámetros de fresado. Acero H13 endurecido.

Una de las posibilidades es que debido a las elevadas temperaturas producidas en el proceso, puede haberse generado una pérdida de dureza en la superficie fresada. Con el objetivo de verificar esta hipótesis fue realizado un análisis de dureza en un área perpendicular en una de las

probetas de acero H13 endurecido. La Figura 4 muestra el aspecto de las indentaciones realizadas y el perfil de dureza encontrado abajo de la superficie maquinada en la probeta 8. El corte y pulimiento utilizados en el proceso de preparación de la muestra pueden influenciar las mediciones de nanodureza [13]. Al observar las marcas de la primera línea de indentaciones realizadas próximas de la superficie (fotografía izquierda, Figura 4), se aprecia una distorsión de la huella generada por el indentador, consecuencia esto del efecto de borde. Consiguientemente las primeras 5 mediciones fueron desconsideradas. El perfil encontrado indica que no hubo cambios considerables de dureza abajo de 10 μ m de profundidad. Cambios de dureza en la superficie no fueron evaluados. Para lograr corroborar y entender las tendencias del RMB obtenidas en el acero H13 endurecido, se hace necesario realizar análisis adicionales para identificar los posibles cambios generados en la microestructura del material (transformaciones de fase, dureza superficial, aparición de capa blanca, etc), además de medidas de TR utilizando la técnica de Rayos-X.

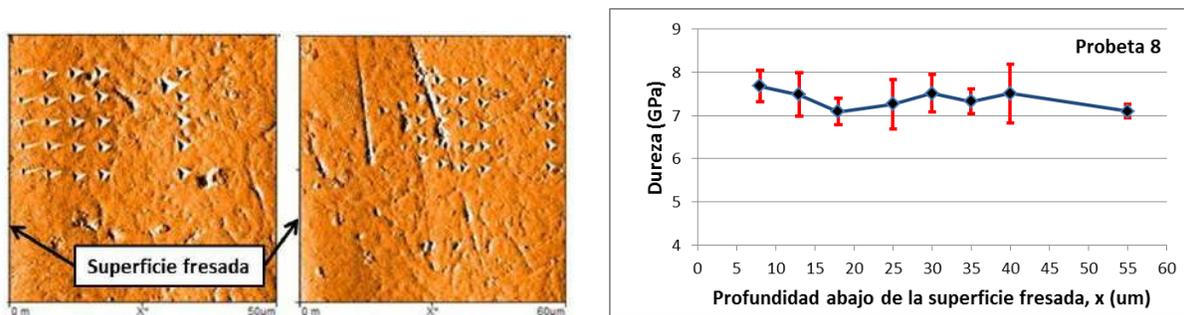


Figura 4. Aspecto de las indentaciones y Perfil de dureza abajo de la superficie fresada. Muestra 8, acero H13 endurecido.

4 CONCLUSIONES

En el presente trabajo fue estudiada la posibilidad de aplicar la técnica del RMB en la evaluación cualitativa de TR generadas en el proceso de fresado del acero H13 en dos condiciones, endurecido y no endurecido.

En el caso del acero H13 en estado no endurecido, la técnica de medición del RMB mostró alta sensibilidad en la detección de diferentes niveles de TR producidas por las diferentes condiciones de corte. Por otro lado, al aplicar la técnica en el análisis del acero H13 endurecido, las tendencias mostradas por las amplitudes del parámetro RMB_{rms} en relación a las TR producidas no correspondieron con estudios encontrados en la literatura. Se cree que durante el proceso de fresado del acero H13 endurecido, posiblemente otros cambios además de las TR fueron generados en la microestructura del material. Cambios adicionales como transformaciones de fase, dureza superficial y aparición de camada blanca, influyen las amplitudes del RMB. En este caso, es necesario realizar análisis adicionales que permitan entender y corroborar la dependencia del RMB con los efectos generados.

5 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la agencia Brasileira CNPq (Proceso No. 472745/2012-3) y SOCIESC por el apoyo económico.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Outeiro J.C., “Optimization of Machining Parameters for Improved Surface Integrity of AISI H13 Tool Steel”, ENISE – CETIM, Saint-Etienne, 2012.
2. Totten G., et al. “Handbook of Residual Stress and Deformation of Steel”. ASM International, 2002.
3. Brinksmeier E., et al. “Residual Stresses - Measurement and Causes in Machining Processes”. Annals of the CIRP Vol. 31, No. 2, 1982.
4. Hioki D., Diniz A. E., Sinatora A., “Influence of HSM cutting parameters on the surface integrity characteristics of hardened AISI H13 steel”, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 2013.
5. Axinte D. A., Dewes R. C.. “Surface integrity of hot work tool steel after high speed milling- experimental data and empirical models”. Journal of Materials Processing Technology. Vol. 127, 2002.
6. Jiles, D. C. “The effect of stress on magnetic barkhausen activity in ferromagnetic steels. IEEE Transactions on Magnetics”, Vol. 25, No. 5, páginas. 3455-3457, 1989.
7. Moorthy V., “Magnetic Barkhausen emission technique for evaluation of residual stress alteration by grinding in case-carburised En36 steel”, Acta Materialia 53, 4997–5006, 2005
8. Franco, F. A. et al . “Relation Between Magnetic Barkhausen Noise and Hardness for Jominy Quench Tests in SAE 4140 and 6150 Steels”. Journal of Nondestructive Evaluation, Vol. 32, páginas. 93-103, 2013.
9. Moorthy, V. et al. “Magnetic Barkhausen emission technique for detecting the overstressing during bending fatigue in case-carburised En36 steel”. Ndt & E International , Vol. 38, No. 2, páginas. 159-166, 2005.
10. Yelbay H. I., “Non-destructive determination of residual stress state in steel weldments by Magnetic Barkhausen Noise technique”, NDT&E International, 43, 29–33, 2010.
11. Grijalba, F.A.F., “Desenvolvimento de Ensaio não destrutivo baseado no Ruído Magnético de Bakhausen para caracterização de tensões elásticas e deformações plásticas em aços”, Tesis de Doc torado, Universidad de Sao Paulo, Sao Paulo, Brasil, 2010.
12. Sridhar B. R. et al, “Effect of machining parameters and heat treatment on the residual stress distribution in titanium alloy IMI-834”, Journal of Materials Processing Technology 139,628–634, 2003.
13. Paulo D. J., “Machining of Hard Materials”, London, Springer, 2011.