

Application of ISO 3685 in the evaluation of the machinability of steel SAE 1020 during the turning process

R. Castellanos Díaz¹, D. Martínez Krahmer², R. Ávila Rondón³

¹Instituto Universitario Experimental de Tecnología de La Victoria. Av. Universidad (al lado del Comando de FANPeaje), municipio José F. Ribas, Aragua, Venezuela. Teléf. 0058- 244- 3214620 - 3211856 Apartado 109 - Código Postal 2121 - IUET-LV. castellanosr_di@yahoo.com

²Centro de Investigación y Desarrollo en Mecánica, Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Avenida General Paz 5445, (1650) Miguelote, Provincia de Buenos Aires, Argentina, TE: 0054-011- 4754-4072. mkrahmer@inti.gov.ar

³Centro de Estudios - CAD/CAM, Facultad de Ingeniería. Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya". Ave. XX Aniv. Gaveta postal 57. CP. 80 100. Holguín, Cuba. ricardo@cadcam.uho.edu.cu

Abstract

During the machining process there are some factors which determine cutting tool wear, among the parameters most well known are cutting tool speed, feed, cutting deep, tool geometry, part's material structure to be machined. Due to the diversity of technological parameters involved in the machining process, the machinability of the deferent material has been researched by a lot of researchers. In this paper it is presented a new methodology to evaluate the machinability in turning steel marked as SAE 1020 produced in Venezuela. The procedure and material utilized are also described. The results were analyzed according to: data sheets and evaluation of tool life data, which belong to ISO 3685:1993 standard. With the experiments the tool wear was obtained just in time for three different speed values, and C's Taylor for the same time unit was calculated. Surface quality and chip type were also analyzed.

Key words: Tool wear, turning, machinability, ISO 3685.

Aplicación de la norma ISO 3685 en la evaluación de la maquinabilidad del acero SAE 1020 durante el proceso de torneado

Resumen

En el proceso de mecanizado existen varios factores que intervienen en el desgaste de las herramientas de corte: la velocidad de corte, el avance, la profundidad, la geometría de la herramienta y la estructura del material de la pieza a maquinar. Debido a la variedad de parámetros tecnológicos involucrados en el proceso de mecanizado, la maquinabilidad de los diferentes materiales metálicos ha sido investigada por diferentes autores. Este artículo presenta una metodología para evaluar la maquinabilidad en el torneado de un acero SAE 1020 fabricado en Venezuela. El procedimiento que se emplea se describe así como el instrumental utilizado. Los datos obtenidos fueron analizados según: Data sheets y F: Evaluation of tool-life data, de la Norma ISO 3685:1993. A partir de los ensayos se obtuvo el desgaste de la herramienta de corte en el tiempo para tres valores de velocidades, además de la constante C de Taylor, correspondiente a una

duración de la herramienta de una unidad de tiempo. También se analizó la rugosidad y los tipos de virutas obtenidos durante el ensayo.

Palabras clave: Desgaste de herramientas, torneado, maquinabilidad, ISO 3685.

1. Introducción

A diferencia de otras propiedades mecánicas, la maquinabilidad de un material, es muy difícil de definir, dada su dependencia con muchas variables, a saber: el material a mecanizar y su estado (microestructura, dureza, composición química, método de conformación), el material de la herramienta a utilizar, si esta es recubierta o no, la geometría de corte, el tipo de proceso de mecanizado, el estado de conservación de la máquina-herramienta empleada en el ensayo, la utilización o no de fluido de corte. López [1] se refiere a aquellos "Factores que contribuyen a la variabilidad en el análisis de la maquinabilidad", asignándole mayor importancia al desgaste de la herramienta, a las variaciones en las propiedades metalúrgicas del material a trabajar y de la herramienta, y la facilidad que tiene el material a mecanizar para formar virutas cortas.

A pesar de la resistencia que evidencian algunos autores como Trent [2] o Micheletti [3] para precisar su definición, existen otros como López [1], que más allá de la falta de una definición universal del término, se apoya en la ASM [4] para expresar que se trata de "la cualidad o estado de ser maquinable". De nuestra parte, podríamos decir en forma sencilla que, es la capacidad que posee el material para dejarse mecanizar. La simple intuición nos señala que un material de "buena" maquinabilidad, gastará poco el filo de la herramienta de corte, producirá menores esfuerzos durante el mecanizado, consumirá menos potencia y por supuesto generará menor cantidad de calor, que un material de "pobre" maquinabilidad.

En relación con las evaluaciones de maquinabilidad por torneado, el documento de referencia es la Norma ISO 3685 [5], la cual establece los requerimientos generales para este tipo de ensayo. La citada Norma contempla la posibilidad de utilizar bits de acero rápido (herramienta de difícil implementación dada la forma compleja y precisa de su afilado, requiriendo para efectuarlo, de un equipamiento especial y personal altamente calificado), así como también da la opción de uti-

lizar insertos de metal duro (constituye una herramienta de simple implementación, dado que el inserto presenta geometría de corte terminada y precisa, proveniente de su propio proceso de fabricación), aunque expresa claramente que no deben poseer recubrimiento alguno.

En el caso de emplear insertos recubiertos en este tipo de ensayo, los trabajos de Godoy [6] muestran que, estando el inserto constituido por dos materiales, cada uno de ellos posee una velocidad de desgaste propia y muy diferentes entre sí. A esta dificultad, se adiciona el hecho que el material del recubrimiento entorpece la medición del desgaste, y por otro lado, como el recubrimiento posee una tasa de desgaste reducida, alarga la duración del ensayo, generando un aumento en el consumo de material y de las horas-hombre de ensayo.

A pesar de lo comentado, y debido a razones más comerciales que técnicas, los principales fabricantes de insertos intercambiables de metal duro, han prácticamente discontinuado de su línea de fabricación los insertos sin recubrimiento, de manera que, se torna muy dificultoso conseguirlos, o hay que hacerlos fabricar en forma especial, con el consiguiente costo adicional que ello supone.

Otro aspecto a mencionar, se relaciona con el tipo de desgaste a medir. En el caso de mecanizado de acero, es decir, un material que por su tenacidad tiene tendencia a originar viruta larga, esta clase de material, produce en la zona del filo de corte, dos tipos de desgaste claramente diferenciados, el primero de ellos, sobre el plano de incidencia de la herramienta (aquella cara de la herramienta que enfrenta la superficie mecanizada sobre la pieza), y se denomina desgaste en incidencia (VB), como se puede ver en la Figura 1. Este desgaste se manifiesta por la progresiva pérdida de material, formando el labio de desgaste. Este primer desgaste puede ser evaluado sencillamente mediante el empleo de un instrumento óptico de bajo aumento, aunque algunos autores utilizan otros equipos como el microscopio electrónico, como Shao [7] que lo usó para estudiar la

maquinabilidad de un acero inoxidable con 3%Co-12%Cr durante el proceso de fresado, o Pereira [8], que ha estudiado la influencia del azufre en la maquinabilidad de la fundición gris FC25, o Paro [9], que hace referencia a un trabajo similar, sobre el acero inoxidable X5 CrMnN 18 18.

El segundo tipo de desgaste, denominado desgaste por craterización, se produce sobre el plano de ataque o desprendimiento de viruta, por la acción que la viruta ejerce sobre esta zona de la herramienta. Este tipo de desgaste, se manifiesta particularmente sobre materiales tenaces, que forman viruta larga, y la geometría del cráter es más difícil de medir, debiendo emplearse técnicas de medición especializadas. Una de las técnicas de medición aplicadas para este caso, es el análisis por perfilometría, usado por Godoy [6], o la interferometría de luz blanca, aplicada por Devillez [10], con el objeto de establecer la profundidad del cráter (KT), y las cotas que determinan su posición con respecto al filo de corte (KF, KM y KB) (Figura 1). En el presente trabajo, y dada la inexistencia de antecedentes en aquellos países al norte de Sudamérica sobre este tipo de evaluaciones, se quiere dar un aporte sobre el proceso de torneado cuando se trabaja con acero SAE 1020, ampliando un poco más, los conocimientos sobre cómo evaluar la maquinabilidad, tomando en cuenta los recursos naturales de la citada región, y los procesos productivos actuales.

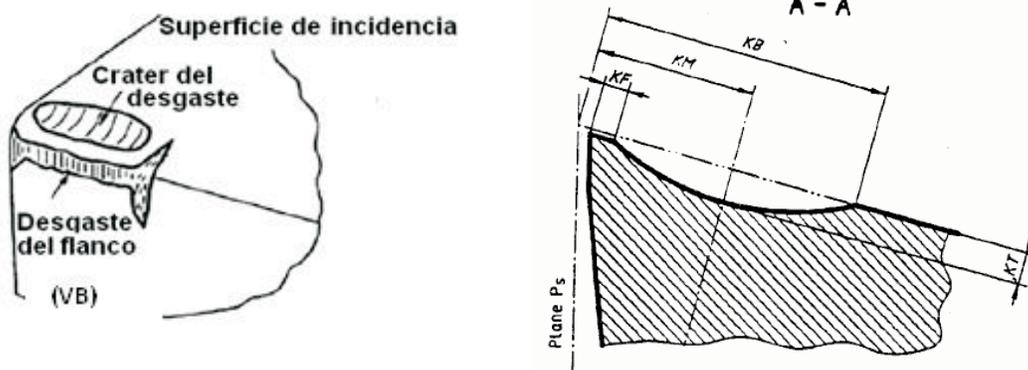


Figura 1. Tipos de desgaste del inserto (Norma ISO 3685).

Tabla 1
Composición química del acero SAE 1020

Material	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Ni	%Cr	%Mo	%Cu	%Sn	%V
SAE 1020	0,20	0,55	0,02	0,02	0,23	0,08	0,15	0,02	0,19	0,02	0,001

2. Procedimiento experimental

2.1. Materiales y equipos

2.1.1. Material de trabajo

El material evaluado fueron barras de acero trefilado-rectificado grado SAE 1020, de 38.1mm de diámetro por 1500mm de longitud, cuya composición química se muestra en la Tabla 1.

Se prepararon probetas metalográficas, conteniendo una sección longitudinal y otra transversal de la barra. Las probetas fueron atacadas empleando nital 2%. Las inclusiones se clasificaron de acuerdo con la Norma ASTM E 45-01, mientras que el tamaño de grano lo fue según la Norma ASTM E 112-96 (04). Las observaciones, se hicieron con un microscopio óptico marca ZEISS, AXIOTECH, mientras que la microdureza fue determinada con un microdurómetro Vickers, marca Shimadzu HMV 2000.

2.1.2. Máquina y herramienta empleada

Para efectuar los ensayos de evaluación de maquinabilidad, se utilizó un torno CNC Promecor SMT-19, dotado de un alimentador de barra hidráulico. La herramienta de corte usada, fue un inserto Kennametal sin recubrimiento código CNMG 432 calidad K420 (equivalente a una calidad ISO P40), con montaje en portainserto MCLNL-2525M12.

2.2. Condiciones operativas del proceso de torneado

En primer lugar, se analizaron las propiedades mecánicas del material a ser maquinado, para que en base a ello manejar los rangos de valores de los parámetros de corte. Luego se realizaron pruebas preliminares donde se estudio la formación de virutas y además se tomo en cuenta la rigidez de la muestra a tornear de 300mm de largo y 38,1mm de diámetro. De acuerdo con todo lo anterior se utilizó una profundidad de corte de 1,25mm con un avance de 0,24mm/rev y se fijaron las velocidades de corte en 200, 240 y 280 m/min (Tabla 2), estas velocidades y revoluciones fueron controladas a través del programa ISO introducido al control del torno. El ensayo consistió en mecanizar barras de acero en seco, bajo las condiciones ya especificadas durante distintos tiempo, finalizado cada tiempo se procede a medir el desgaste que pudo haber ocurrido en la herramienta de corte, así hasta que el desgaste medido alcance el criterio tomado en la superficie de incidencia, es decir VB: 0,3mm, según la Norma ISO 3685. Cuando se llega a mínimo diámetro a maquinar (Tabla 2), el alimentador de barras del torno CNC utilizado, cambia la muestra por una nueva. El control de torno se programó bajo las condiciones del ensayo. Durante los ensayos se mantienen constantes el avance y la profundidad de pasada

2.3. Medición de desgaste

El desgaste VB sobre la superficie de incidencia del inserto, fue determinado usando un banco de medición óptico marca Dormer.

2.4. Medición de rugosidad

Para cada velocidad de corte, se midió la rugosidad media aritmética Ra de la superficie mecanizada, en dos ocasiones, al principio del ensayo (Ra/1°), y una vez alcanzado el criterio de desgaste sobre el filo del inserto (Ra/u). En tal sentido, se empleó un rugosímetro portátil marca Taylor Hobson modelo Surtonic 3+.

3. Resultados y discusión

3.1. Material a mecanizar

Sobre el material a ensayar, se realizaron mediciones de microdureza Vickers, según la Norma ASTM E 384-08, empleando un aumento de 500X y una carga de 1000 gf, sobre una sección transversal de la muestra, obteniéndose los valores indicados en la Tabla 3.

El análisis metalográfico reveló que, el material presenta una microestructura laminada en caliente, constituida por granos recristalizados de ferrita y perlita levemente orientada; correspondiéndole un tamaño de grano equivalente al N° 8.5 (Figura 2). Las inclusiones corresponden al tipo A (sulfuro), serie fina; N° 1 ½, y tipo D (óxi-

Tabla 2
Revoluciones para cada velocidad de corte y diámetro

D(mm)	Revoluciones		
	Vc=280m/min	Vc=240m/min	Vc=200m/min
38,1	2340	2006	1672
35,6	2505	2147	1789
33,1	2694	2309	1924
30,6	2914	2498	2082

Tabla 3
Valores de microdureza Vickers

Lugar de la determinación	Núcleo				Borde	
	HV 1000 gf	166	167	163	201	209

do), serie fina; N° 1. La microestructura del borde correspondiente a la superficie exterior de la muestra es similar a la del núcleo, observándose granos deformados plásticamente (Figura 3), proveniente del trabajo de deformación plástica en frío (trefilado).

3.2. Resultados del mecanizado

En las Tablas 4, 5 y 6, se observan los valores de desgaste VB, para las velocidades de 200, 240 y 280 m/min. Las mismas se acompañan con las Figuras 4, 5 y 6, correspondientes a imágenes del área de desgaste, para cada velocidad, obtenidas una vez que fue alcanzado el criterio de desgaste del flanco del inserto VB=0.3mm (según la Norma ISO 3685). En las Figuras 7 (a), 7 (b) y 7 (c), se presentan los valores medidos para las curvas de desgaste de duración de filo T versus desgaste VB, así como las curvas de ajuste polinómico y su ecuación correspondiente.

3.3. Rugosidad superficial

La rugosidad fue medida con una longitud de referencia $L_c = 0.8$ mm y una longitud de evaluación $L_n = 4$ mm. Los valores promedios obtenidos, según cada velocidad de corte, se presentan en la Tabla 7, y en la Figura 8.

En la Figura 7 se observa que, la rugosidad cambia sustancialmente cuando es medida

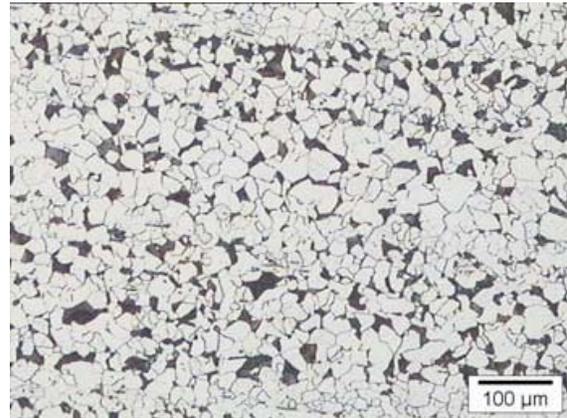


Figura 2. Microestructura (100x).

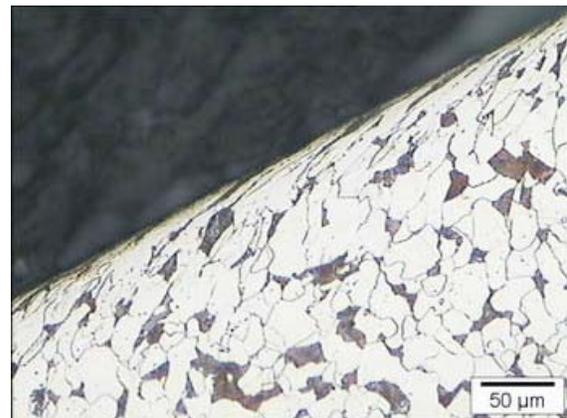


Figura 3. Microestructura del borde (200x).

Tabla 4
Valores de desgaste VB para $V_c = 200$ m/min

VB (mm)	0	0,12	0,12	0,14	0,17	0,19	0,19	0,2	0,21	0,22	0,22	0,24	0,25	0,28	0,3
T(min)	0	2,7	5,39	8,09	10,79	13,48	16,18	18,87	21,57	24,27	26,96	29,66	32,36	35,05	37,75

Tabla 5
Valores de desgaste VB para $V_c = 240$ m/min

VB(mm)	0	0,11	0,16	0,17	0,19	0,22	0,26	0,28
T(min)	0	2,25	4,50	6,75	9,00	11,25	13,50	15,75

Tabla 6
Valores de desgaste VB para $V_c = 280$ m/min

VB(mm)	0	0,15	0,19	0,26	0,30
T(min)	0	1,93	3,85	5,78	7,70

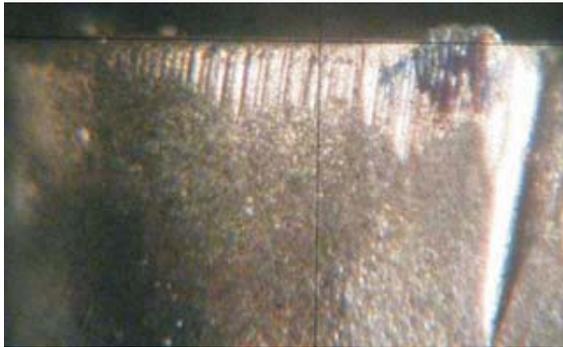


Figura 4. Desgaste de la herramienta para $V_c = 200\text{m/min}$.



Figura 5. Desgaste de la herramienta para $V_c = 240\text{m/min}$.

en la primera barra mecanizada respecto de la última, como consecuencia del desgaste gradual del inserto. También se aprecia que la variación (inclinación de la curva), es más pronunciada una vez alcanzado el criterio de interrupción del ensayo, esto es, con el filo del inserto desgastado.

Además, en ambos casos, a medida que aumenta la velocidad de corte, disminuye la rugosidad.

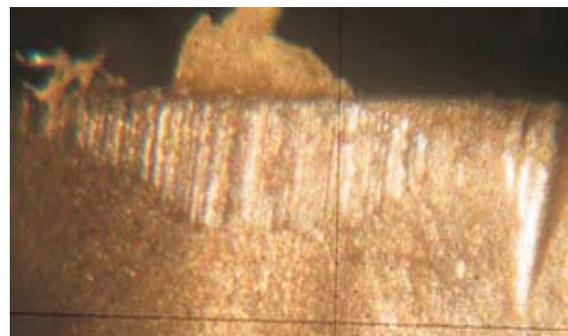


Figura 6. Desgaste de la herramienta para $V_c = 280\text{m/min}$.

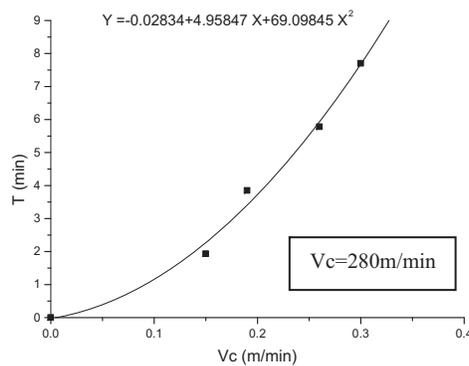
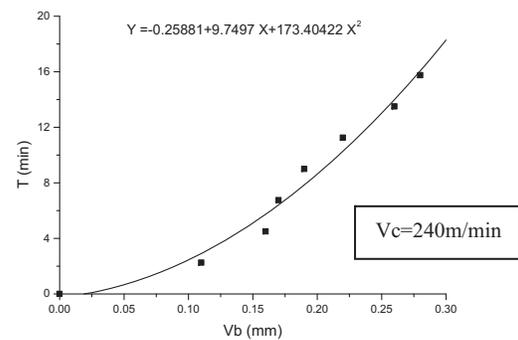
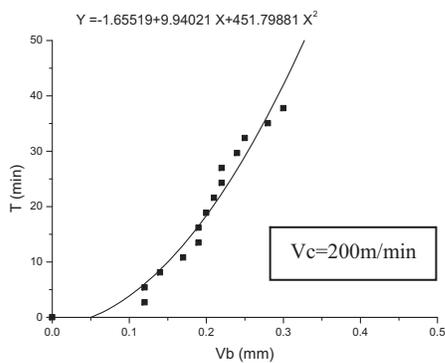


Figura 7. Curvas de desgaste T (min) vs V_B (mm), (a) $V_c = 200\text{m/min}$, (b) $V_c = 240\text{m/min}$ y (c) $V_c = 280\text{m/min}$.

Tabla 7
Rugosidad superficial según la velocidad de corte

Vc (m/min)	Ra/1° (µm)	Ra/u (µm)
200	2,69	6,23
240	2,49	4,96
280	2,15	4,20

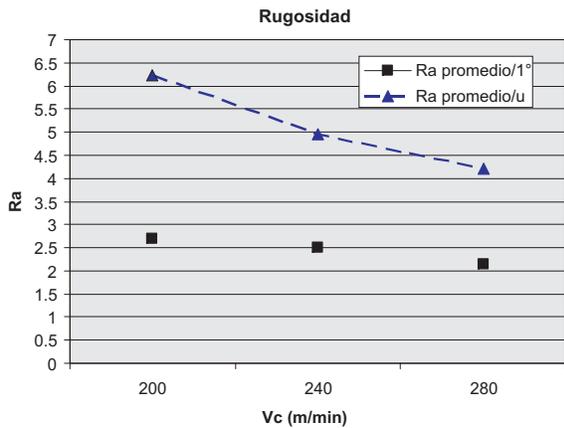


Figura 8. Rugosidad promedio Ra, para las distintas velocidades de corte, al principio y fin de cada ensayo.

3.4. Tipo de viruta

En lo que respecta a las virutas generadas durante las pruebas (Tabla 8), se puede apreciar que las formas predominantes correspondieron a los tipos 4.1 (helicoidal larga), y la 4.2 (helicoidal corto), según el anexo G: Chip Characteristics, Table G.1- Chip forms, de la Norma ISO 3685: 1993(E). También es interesante comentar que la forma 6.2 (viruta en arco corto), se presentó en las primeras barras mecanizadas para las tres velocidades de corte, mientras que la viruta tipo 1.3 (viruta en forma de listón enredado), comenzaba a tomar preponderancia, cuando el rompeviruta del inserto, veía modificada significativamente su forma original. En las Figuras 9 y 10, se presentan algunas de las formas obtenidas, para las distintas velocidades de corte.

Tabla 8
Tipos de virutas obtenidas para las distintas velocidades de corte

Vc (m/min)	Tipo de viruta
200	4.2 - 4.1 - 6.2 - 1.3
240	4.2 - 4.1 - 2.3
280	4.2 - 6.2 - 1.3



(a)



(b)

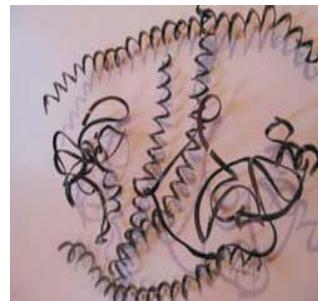
Figura 9. Tipos de virutas obtenidas: (a) para 200 m/min. y (b) para 240 m/min.



(a)



(b)



(c)

Figura 10. Tipos de virutas obtenidas para Vc = 280 m/min: (a) para T = 1,3 min, (b) para T = 3,5 min y (c) para T = 7,7 min.

3.5. Recta de Taylor

Como se observa en la Tabla 9, para la velocidad de 280 m/min, el tiempo de vida del inserto es de 7,7 min, lo que indica que resultaría poco económica su utilización, y se puede inferir que es una velocidad alta para esta combinación material de trabajo-inserto utilizada, en este caso se puede hablar de baja maquinabilidad del acero SAE 1020 con estas condiciones de trabajo. Las otras velocidades de corte utilizadas tienen desempeño diferente, presentando una mejor maquinabilidad bajo estas condiciones de corte, ver Tabla 9. En el ensayo como se dijo anteriormente se tomo el criterio de desgaste en la superficie de incidencia $VB=0,3$ mm.

A partir del trazado de la recta de Taylor, y de su análisis correspondiente según la Norma ISO 3685, se obtuvieron los parámetros calculados según los anexos D y F, de la citada Norma (Tabla 10).

3.6. Desgaste en la cara de incidencia

En la Figura 11, se representa el comportamiento del desgaste por incidencia VB del inser-

Tabla 9
Duración de filo para las distintas velocidades de corte

Vc (m/min)	T (min)
200	42,0
240	18,3
280	7,7

to en función del tiempo de mecanizado. Cuando se utilizó en el ensayo la velocidad de corte igual a 200 m/min, la gráfica presentó un comportamiento donde se pueden ver claramente las tres zonas características del desgaste a saber [7]: zona de desgaste inicial, zona de desgaste gradual y la zona de desgaste acelerado. En las curvas para las velocidades de corte restantes se tiende a confundir el desgaste inicial con el gradual. Otro detalle es que la curva para $Vc = 200$ m/min en el rango de 0 a aproximadamente 2,5 min está menos inclinada que la de 240 m/min, lo que indica que el inserto se desgastó más en esa etapa.

Tabla 10
Parámetros de la recta de Taylor

Material	Exponente	Constante (m/min)	$V_{15'}$ (m/min)	$V_{30'}$ (m/min)	Coefficiente de Correlación R_2
Acero SAE 1020	0.2	422	247	215	0.998

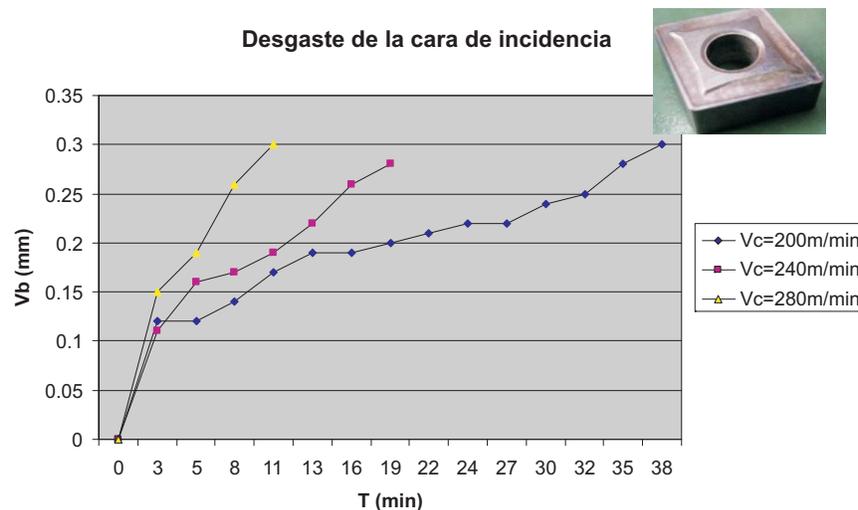


Figura 11. Desgaste en la cara de incidencia en función del tiempo de mecanizado.

4. Conclusiones

- Existe una relación estrecha entre la forma de la viruta generada durante el mecanizado y la maquinabilidad del mismo, mientras más uniforme y regular sea las virutas, más facilidad brinda el material a ser mecanizado.
- Los parámetros de la recta de Taylor, es decir, una velocidad V15' de 247m/min, una V30' de 215/min con una constante C de 422m/min, representan valores aceptables para un acero SAE 1020.
- De las tres velocidades de corte utilizadas durante los ensayos, las velocidades de 200 y 240m/min presentaron el mejor comportamiento en términos de la duración de filo y por lo tanto una mejor maquinabilidad para las condiciones de trabajo utilizadas.
- Las rugosidades superficiales encontradas disminuyeron a medida que se aumentó la velocidad de corte.
- Los tipos de viruta preponderantes fueron del tipo 4.1 y 4.2 (helicoidal larga y corta respectivamente).
- El desgaste de la herramienta de corte para una velocidad de corte de 200m/min, presentó un comportamiento dividido en 3 zonas: una inicial de desgaste lineal, una segunda de desgaste gradual segunda y la tercera de desgaste acelerado.
- Con la metodología para la aplicación de la normas 3586, presentada en este trabajo se pretende comprender mejor el comportamiento de los aceros de la región con respecto al desgaste de los insertos, todo esto con la finalidad de producir piezas que cumplan con los especificaciones de diseño y de una manera económica de mecanizado.
- Se recomienda realizar ensayos de maquinabilidad con otros tipos de aceros por ejemplo AISI 4140.

Agradecimiento

Este trabajo se realizó en los talleres y laboratorios de la Unidad Técnica de Máquinas y Herramientas del Instituto Nacional de Tecnología Industrial de Buenos Aires-Argentina. De manera especial se desea dejar constancia de la valiosa colaboración recibida de todas las personas pertenecientes a esta unidad en la realización de este trabajo.

Referencias

1. López E., Estudio de Maquinabilidad para Aleaciones de Aluminio Al-MgSi 6063. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. Diciembre (2002).
2. Trent E. and Wright P., Metal Cutting, Fourth Edition, Butterworth Heinemann, USA (2000).
3. Micheletti G., Mecanizado por Arranque de Viruta, Editorial Blume, Barcelona, España (1980).
4. ASM, Metals Handbook 9th edition, Vol. 16 "Machining". ASM International, 1989.
5. ISO 3685:1993(E), International Standard, Tool testing with single point turning tools.
6. Godoy C. and Avila R., Topographic Analysis of the Crater Wear on TiN, Ti (C, N) and (Ti, Al)N coated carbide tools. *Wear* 265 (2008) 49-56.
7. Shao H., Machinability study on 3% Co-12%Cr stainless steel in milling. *Wear* 263 (2007) 736-744.
8. Pereira A., The influence of Sulfur on the Machinability of Gray Cast Iron FC25. *Journal of Materials Processing Technology*. 179 (2006) 165-171.
9. Paro J., Tool Wear and Machinability of X5 CrMnN 18 18 Stainless Steels. *Journal of Materials Processing Technology* 119 (2001) 14-20.
10. Devillez A., Cutting Tool Crater Wear Measurement with White Light Interferometry. *Wear* 256 (2004) 56-65.

Recibido el 27 de Abril de 2010

En forma revisada el 11 de Julio de 2011