

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD SUPERFICIAL EN PROCESOS DE TORNEADO DE PLÁSTICOS REFORZADOS CON FIBRAS DE VIDRIO”

Francisco Mata Cabrera

Francisco Mata Cabrera es:

Profesor Asociado en el Área de Ingeniería Mecánica en la Escuela Universitaria Politécnica de Almadén. Universidad de Castilla-La Mancha

Ingeniero Técnico Industrial, Ingeniero de Minas, Master en Evaluación de Impacto

Ambiental, Diplomado en Ingeniería de Materiales (CSIC), Especialista Universitario en Educación

Profesor Titular de Formación Profesional en la rama de Automoción,

Asesor Técnico y Redactor de la Editorial EDEBE

RESUMEN

La calidad superficial de los componentes mecanizados es un factor determinante en cualquier proceso de fabricación que condiciona sus características funcionales y los costes de producción.

Se presenta en este artículo un estudio sobre la influencia de los parámetros de corte en la calidad superficial en los procesos de torneado de materiales plásticos reforzados con fibras de vidrio (GFRP's). El trabajo experimental se ha desarrollado controlando el proceso de mecanizado y estableciendo unos valores fijos para los parámetros de corte en las piezas de trabajo. Se utiliza una técnica estadística, basada en matrices ortogonales (Taguchi) y análisis de varianza (ANOVA) para establecer el grado de dependencia del acabado final con los parámetros de corte (en particular la velocidad de corte y la velocidad de avance).

Palabras clave: Calidad superficial, Torneado, Plásticos reforzados con fibras de vidrio (GFRP's), análisis de varianza (ANOVA)

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de reducir peso e incrementar la funcionalidad, combinada con mínimo mantenimiento en aeronáutica, automoción y otras aplicaciones ha permitido el desarrollo de los plásticos reforzados con fibras de vidrio (GFRP's) (Krishnamurthy *et al.*, 1992). Estos materiales se caracterizan por una alta resistencia y rigidez y simultáneamente bajo peso, propiedades que resultan ser superiores a las de los materiales metálicos en muchos casos.

Adicionalmente, la relación entre la resistencia a la fatiga y el peso es excelente. Por tanto, estos materiales han reemplazado a los materiales

convencionales como componentes resistentes o estructurales en un gran número de aplicaciones.

La utilización de los GFRP's requiere el desarrollo de adecuados procesos de fabricación para obtener componentes mecánicos con características dimensionales rigurosas. El torneado es una de las operaciones de mecanizado más utilizadas en la industria para producir una gran variedad de componentes de acuerdo con estrictas especificaciones de diseño.

La obtención de relaciones experimentales que permitan asociar los parámetros funcionales del proceso de corte con las características dimensionales finales en este tipo de materiales constituye un centro de especial interés para la industria (Lee *et al.*, 2000).

El torneado de los GFRP's difiere del torneado de los metales porque los plásticos reforzados con fibras son materiales anisótropos y heterogéneos (Krishnamurthy *et al.*, 1992). Las propiedades físicas y térmicas de las fibras y de la matriz polimérica son diferentes y dependen en gran medida del tipo de fibra, del contenido o porcentaje de fibra, de la orientación de la fibra y de la variabilidad en la propia matriz (Ferreira *et al.*, 1999). Esta circunstancia tiene una gran influencia en la maquinabilidad y en el comportamiento tribológico de los GFRP's.

La aplicación de fluido de corte durante el proceso de torneado puede originar absorción en la matriz polimérica y producir alteraciones dimensionales de las piezas y modificación de sus propiedades mecánicas. En consecuencia, el proceso de torneado se debe desarrollar sin refrigeración.

El grado de acabado de las superficies tiene una importancia considerable y afecta al funcionamiento de los componentes fabricados en GFRP's (Abouelatta *et al.*, 2001). La rugosidad depende de la orientación de las fibras (45° o 180°) (Mata *et al.*, 2003), del tipo de fibras (Jahanmir *et al.*, 1998) y de la dirección de la medida (Ramulu *et al.*, 1993).

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para alcanzar el objetivo de este trabajo experimental, esto es, la determinación de la influencia de los parámetros funcionales de corte (velocidad de corte y velocidad de avance) sobre la calidad superficial en el proceso de torneado de GFRP's utilizando plaquitas de diamante policristalino, los ensayos de mecanizado se han efectuado con diferentes condiciones de corte sobre dos tubos de plástico reforzados con fibras de vidrio (resina de poliéster isoftálica reforzada con 65% de fibras). En el primero de ellos, la fibra está dispuesta formando 45° con respecto al eje longitudinal (proceso "*filament winding*" o "*bobinado*", en adelante FW), mientras que en el segundo la disposición de las fibras es paralela al eje longitudinal del tubo (proceso "*hand lay-up*" o "*laminado manual*", en adelante HLU), según se puede observar en la figura 1.

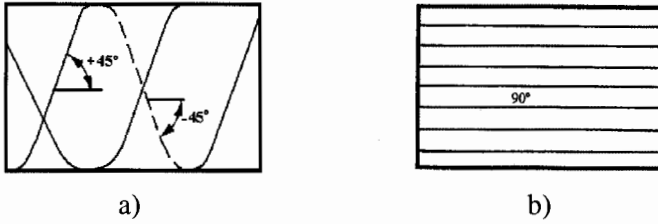


Figura 1. Tubos producidos por FW (a) y HLU (b).

Los ensayos se han realizado sobre tubos de 110 y 113 mm de diámetro y espesor de 4 mm y 6 mm, respectivamente, utilizando una herramienta de diamante policristalino (DCMW 04-PCD, de acuerdo con ISO 1832) y un porta-herramientas tipo PD JNR44 M15 (ISO).

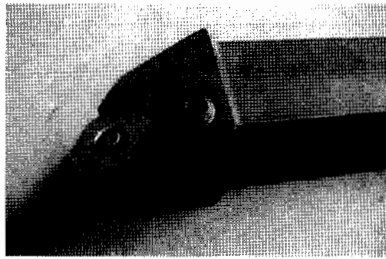


Figura 2. Herramienta utilizada en los ensayos

Se ha utilizado un torno convencional de 4 kW de potencia, marca Pinacho. Para fijar convenientemente el tubo durante el proceso de mecanizado y evitar la generación de vibraciones, se ha diseñado un sistema específico de fijación consistente en una pieza maciza de aluminio a la que se une el tubo en ensayo mediante 6 tornillos distribuidos a 120° en los dos extremos. Esto ha permitido fijar el conjunto formado por la barra-tubo (conjunto rígido) entre la mordaza y el contrapunto, tal y como se puede ver en la figura 3.

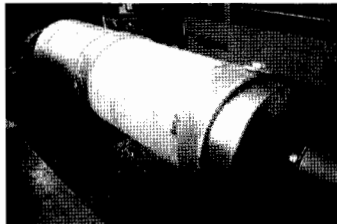


Figura 3. Sistema de fijación de los tubos de GFRP's

Para medir la rugosidad (Ra), de acuerdo con la norma ISO 4287/1, se ha utilizado un rugosímetro modelo 201, serie 178 de Mitutoyo, con una longitud "cut-off" de 0.8 mm. Sobre cada pista mecanizada se han realizado 5 medidas y se ha utilizado, finalmente, el valor medio en los análisis posteriores.

El tratamiento de los datos experimentales está basado en el análisis de varianza (ANOVA) (Ross, 1988). Se ha utilizado una matriz ortogonal con dos factores y tres niveles. La tabla I indica la relación de niveles para cada factor analizado.

Tabla I. Asignación de niveles a los factores

Nivel	Velocidad de corte Vc (m/min)	Velocidad de avance Va (mm/rev)
1	155	0,05
2	285	0,1
3	571	0,2

Se ha utilizado la matriz L₉ (2⁴), de acuerdo con el número de ensayos realizados (8 grados de libertad), según se aprecia en la tabla II.

Tabla II. Matriz ortogonal L₉ (2⁴) (Ross, 1988).

L ₉ (2 ⁴) Ensayo	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

3. Resultados y discusión

La tabla III refleja los resultados experimentales para profundidades de pasada constantes de 0.5 mm y pistas de ensayo de 10 mm de ancho. De las 5 medidas realizadas sobre cada pista (mecanizada con una pareja (Vc, Va) prefijada) se ha determinado el valor medio, en cada uno de los procesos estudiados (FW y HLU).

Tabla III. Valores de Ra en función de los parámetros funcionales de corte

Ensayo	Vc (m/min)	Va (mm/rev)	Rugosidad (Ra) en μm (*)	
			FW	HLU
1	155	0.05	1.36	0.80
2	155	0.1	1.43	1.47
3	155	0.2	1.75	1.53
4	285	0.05	1.20	0.79
5	285	0.1	1.41	1.25
6	285	0.2	1.65	1.47
7	571	0.05	1.20	0.76
8	571	0.1	1.35	1.14
9	571	0.2	1.39	1.40

(*) Valor medio de cinco medidas

En la Figura 4 se representa la evolución de la rugosidad (Ra) en función de la velocidad de avance, para diferentes velocidades de corte, y se pone de manifiesto que Ra aumenta a medida que aumenta la velocidad de avance y disminuye, para la misma velocidad de avance, a medida que aumenta la velocidad de corte. Como se puede observar, en el proceso HLU se obtienen menores valores de rugosidad.

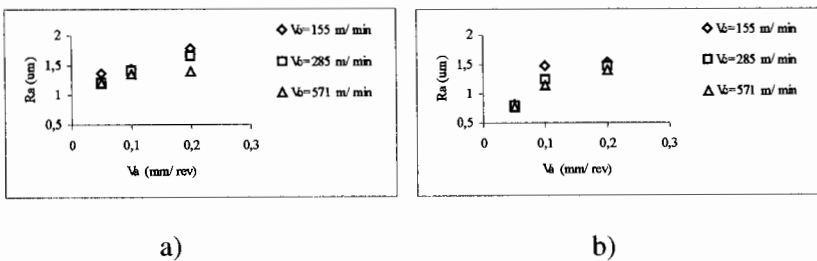


Figura 4. Evolución de la rugosidad (Ra) en función de la velocidad de avance, para diferentes velocidades de corte: a) FW, b) HLU

A partir de los valores de rugosidad (Ra) obtenidos se ha efectuado un análisis de varianza para determinar la influencia de las condiciones funcionales de corte (Vc y Va) en los resultados.

Tabla IV. Tabla ANOVA para el proceso FW.

Fuente de variación	SDQ	Gl	Varianza	Test F	F $\alpha = 5\%$	P (%)
Vc (m/min)	0.060	2	0.030	31.44	6.94	21.7
Va (mm/rev)	0.178	2	0.089	93.36	6.94	65.9
Error	0.004	4	0.009	/	/	12.4
Total	0.268	8	/	/	/	100

SDQ – Suma de cuadrados, Gl -Grados de libertad, P- Porcentaje de contribución

Tabla V. Tabla ANOVA para el proceso HLU.

Fuente de variación	SDQ	Gl	Varianza	Test F	F $\alpha = 5\%$	P (%)
Vc (m/min)	0.042	2	0.021	7.29	6.94	5.5
Va (mm/rev)	0.752	2	0.379	112.72	6.94	91.1
Error	0.013	4	0.003	/	/	3.4
Total	0.818	8	/	7	/	100

SDQ – Suma de cuadrados, Gl -Grados de libertad, P- Porcentaje de contribución

Las tablas IV y V presentan los resultados del análisis de varianza del parámetro de rugosidad estudiado (Ra). El análisis se ha realizado con un nivel de confianza del 95%. La última columna de las tablas corresponde a los porcentajes de contribución (P) para cada factor, que indican el grado de influencia en los resultados. Como se puede observar, tanto la velocidad de corte como la velocidad de avance tienen significado físico y estadístico ($\text{Test F} > F_{\alpha=5\%}$ y $P(\%) > \text{error}$) en la rugosidad obtenida, en especial la velocidad de avance. Queda también de manifiesto que la velocidad de avance tiene una influencia mayor en los resultados para el proceso HLU ($P=91.1\%$) que para el proceso FW ($P=65.9\%$).

En la figura 5 se pueden observar los porcentajes de contribución de cada factor en la rugosidad (Ra) para los dos procesos estudiados.

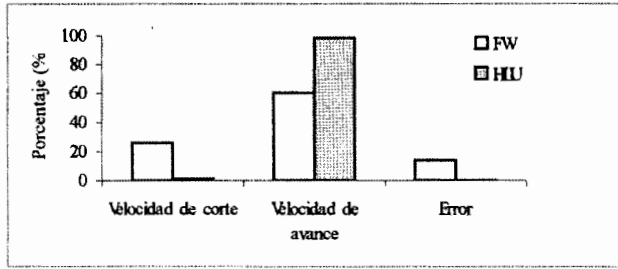


Figura 5. Porcentajes de contribución de los parámetros funcionales de corte en la rugosidad (R_a)

El valor de la precisión dimensional (IT) en μm se puede obtener mediante la siguiente ecuación empírica, de acuerdo con la norma ISO 3963:

$$IT \cong 30 \times Ra \quad (1)$$

En la Figura 6 se puede observar la evolución de IT en función de la velocidad de avance, para diferentes velocidades de corte. IT aumenta con la velocidad de avance y disminuye con la velocidad de corte.

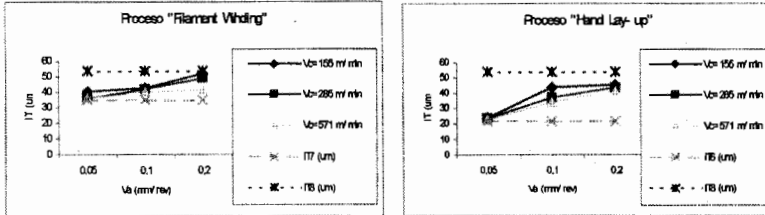


Figura 6. Evolución de IT en función de las condiciones de corte

Las superficies mecanizadas presentan valores de IT comprendidos entre 36 y 52.5 μm para el proceso FW, y valores entre 22.8 y 45.9 μm para el proceso HLU. En consecuencia, se pueden conseguir superficies con acabado suficiente para las necesidades habituales de construcción mecánica, esto es, calidades correspondientes a las tolerancias IT 6, 7 y 8.

4. CONCLUSIONES

Contemplando los resultados obtenidos en este trabajo experimental, es posible extraer las siguientes conclusiones:

- Con las condiciones de corte utilizadas se pueden obtener superficies con valores de rugosidad (Ra) comprendidos entre 0.80-1.75 μm
- La rugosidad crece con la velocidad de avance (V_a) y decrece con la velocidad de corte (V_c)
- Mediante el proceso HLU se obtienen valores de rugosidad inferiores, debido a la orientación de la fibra
- La velocidad de avance es el parámetro de corte con significado físico y estadístico que mayor influencia tiene sobre la calidad superficial
- Las condiciones de corte y la geometría de la herramienta utilizadas permiten obtener acabados superficiales adecuados para construcción mecánica en estos materiales.

REFERENCIAS

- Abouelatta, O.B., Mádl, J. (2001), "Surface roughness prediction based on cutting parameters and tool vibrations in turning operations", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.118, pp.269-277.
- Ferreira, J.R., Coppini, N.L., Miranda, G.W.A. (1999), "Machining optimisation in carbon fibre reinforced composite materials", *Journal of Material Processing Technology*, Vol.92-93, pp. 135-140.
- Jahanmir, S., Ramulu, M., Koshy, P. (1998) "Machining of ceramics and composites", Marcel Dekker Inc., New York, pp.238-243.
- Krishnamurthy, R., Santhanakrishnan, G., Malhotra, S.K. (1992), "Machining of Polymeric composites", *Proceedings of the Machining of Composite Materials Symposium, ASM Materials Week, Chicago, Illinois*, pp. 139-148.
- Lee, B.Y., Tarnag, Y.S., Lii, H.R. (2000), "An Investigation of Modelling of the Machining Database in Turning Operations", *Journal of Materials Processing Technology* Vol. 105, pp.1-6.
- Mata, F., Davim, J.P. (2003), "An investigation about the precision turning fiber reinforced plastics (FRP's) with diamond cutting tools using multiple analysis regression", *II Iberian Conference of Tribology*, Valencia, (in press).
- Persson, U. (1999), "A fibre-optic surface-roughness sensor", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 95, pp. 107-111.
- Ramulu, M., Wern, C.W., Garbini, J.L. (1993), "Effect of the direction on surface roughness measurements of machined graphite /epoxy composite", *Composites Manufacturing*, Vol. 4 No 1, pp. 39-51.
- Ross, P. (1988), "Taguchi Techniques for Quality Engineering- Loss Function, Orthogonal, Parameter and Tolerance Design", *McGraw-Hill*, New York, pp. 10-50.