

Evaluation of the influence of cutting parameters on surface deformation during a milling process.

G. Maduro^a, L. González^a, A. Porrello^{*b}, C. Alfonzo^b, S. Cabello^b

^aEscuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela.

^bCentro de Investigaciones en Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela.

Abstract.-

In this work the influence of cutting parameters was evaluated over a shoulder milling process on surface deformation in a steel AISI 1018. Twenty-seven (27) machining conditions were studied possible combinations defined by establishing three different values cutting speed and depth of cut and feed. Studied for each condition metallographic preparation it possible to observe and quantify the distorted material thickness by machining and then by analysis of variance was possible to establish the degree of contribution of each parameter on the thickness of material was deformed. Parameter was determined that less significance is the feed and that the greatest contribution is achieved with the combination of the three parameters.

Keywords: milling, surface deformation, AISI 1018.

Evaluación de la influencia de los parámetros de corte sobre la deformación superficial durante un proceso de fresado.

Resumen.-

En este trabajo se evaluó la influencia de los parámetros de corte durante un proceso de fresado en escuadra sobre la deformación superficial en una acero AISI 1018. Se estudiaron 27 condiciones de mecanizado, definidas por las combinaciones posibles al establecer tres valores diferentes de velocidad de corte, así como de profundidad de corte y avance. Para cada condición estudiada se realizó una preparación metalográfica que permitió observar y cuantificar el espesor de material distorsionado por el mecanizado y luego mediante un análisis de varianza se pudo establecer el grado de contribución de cada parámetro sobre el espesor de material deformado. Se determinó que el parámetro con menor significancia es el avance y que la mayor contribución se logra con la combinación de los tres parámetros.

Palabras clave: fresado, deformación superficial, AISI 1018.

Recibido: Enero 2015

Aceptado: Marzo 2015

1. Introducción.

El mecanizado es un proceso de fabricación que comprende un conjunto de operaciones de conformación de piezas mediante el desprendimiento de material. Existen los métodos tradicionales que

involucran corte de material y los no tradicionales que involucran desprendimiento de material, por cualquier método diferente al anterior: de naturaleza térmica, eléctrica, mecánica, química y combinaciones de estas. El mecanizado de piezas se realiza a partir de productos semielaborados como lingotes, tochos u otras piezas previamente conformadas por otros procesos como moldeo o forja. Los productos obtenidos pueden ser finales o semielaborados que requieran operaciones posteriores.

*Autor para correspondencia

Correo-e: ajporrello@gmail.com (A. Porrello)

Este trabajo presenta el estudio realizado por Maduro y González [1] como trabajo especial de grado para optar al título de Ingenieros Mecánicos.

Entre los procesos de mecanizado convencionales usados con gran frecuencia en la producción de componentes, partes y elementos de máquinas con acabado final (piezas terminadas), se encuentra el fresado, el cual es muy utilizado en la fabricación de piezas de diversas geometrías, que al cumplir su función, llegan a fallar debido a las imperfecciones superficiales ocasionadas durante el mismo proceso. Cuando un material es sometido a un proceso de mecanizado bajo condiciones de corte determinadas, pueden sufrir alteraciones mecánicas superficiales como: deformación plástica, grietas, esfuerzos residuales, rebabas, entre otras [2]. Los aceros de bajo carbono por ser uno de los materiales más utilizados en la industria, y a su vez por ser materiales relativamente dúctiles, tienden a sufrir con mayor facilidad deformaciones plásticas en la superficie mecanizada, lo cual puede afectar el funcionamiento de la pieza para la cual fue diseñada, por lo que esta investigación se basa sólo en determinar los parámetros que inciden en dicha deformación, a nivel microestructural.

Se desconoce si existe relación entre los parámetros de corte y la deformación superficial en un acero de bajo carbono, entonces, si se analizan cuáles son las condiciones de corte que favorecen o desfavorecen la deformación plástica que ocurre en el material, que altera la microestructura, el problema se puede disminuir considerablemente, razón por la cual es necesario realizar el estudio de la influencia de los parámetros de corte en la deformación superficial de una pieza, pudiéndose nombrar: velocidad, avance y profundidad.

2. Metodología.

2.1. Material.

El material utilizado fue un acero AISI 1018 el cual se obtuvo en pletinas de 1"x1/2", cuya composición química consistía de 0,18 % C, 0,89 % Mn, 0,22 % Si, 0,29 % S y 0,015 % P con una dureza máxima de 180 HBS, según lo reportado por el certificado de origen del material proporcionado por el proveedor.

2.2. Muestras.

Se utilizaron 27 probetas o barras rectangulares de dimensiones 2"x1"x1/2" de acero AISI 1018, donde a cada una se le realizó un fresado en escuadra de 8 milímetros (mm) a distintos parámetros de corte en un centro de mecanizado CNC, utilizando un inserto T290 LMNT 100405TR del fabricante ISCAR, para el cual los parámetros de corte recomendados por el fabricante son: Avance/diente f_z : 0,08-0,20 mm/diente; profundidad d : 3-9 mm; velocidad de corte V_c : 80-270 mm/min; ángulo de posición: 90° y las especificaciones de porta herramienta seleccionado T490 ELN D25-4W25-08: número de dientes Z_n : 4; diámetro del portaherramientas D : 25 mm; profundidad d : 8 mm. En la Figura 1 se muestra una fotografía de la herramienta utilizada.



Figura 1: Herramienta de corte seleccionada.

2.3. Determinación de los parámetros de corte.

Primeramente se realizó un análisis para determinar que parámetros se tomarían en cuenta, ya que en caso del fresado, el avance lineal es proporcional a la velocidad de corte de la herramienta, en consecuencia se puede determinar que la fuerza de corte (F_c) ejercida en un planeado es proporcional al producto de la profundidad por el avance por vuelta (f_{rev}), tal como esta expresado en la ecuación (1) [3], se puede determinar la fuerza de corte para el fresado:

$$F_c = k f_{rev} d \quad (1)$$

Donde F_c es la fuerza de corte, k la presión específica de corte f_{rev} el avance por vuelta y d la profundidad de pasada.

Entonces, para mantener bajo control los parámetros que influyen directamente en la fuerza de corte, se tienen que fijar valores de avance por vuelta (f_{rev}), lo que ocasiona una variación en el avance lineal (f_{lineal}).

Lo cual dió como resultado tres parámetros independientes como objeto de estudio: Avance por vuelta: f_{rev} (mm/rev), velocidad de corte: V_c (m/min) y profundidad de corte: d (mm). A partir de la determinación de la velocidad de corte se puede determinar las revoluciones por minuto que tendrá el husillo portaherramientas según la ecuación (2) [4].

$$V_c = (\pi D_f N) / 1000 \quad (2)$$

Donde: V_c es la velocidad de corte ($\frac{m}{min}$), N es la velocidad de rotación de la herramienta (rpm) y D_f : es el diámetro de la herramienta (mm).

La velocidad de corte es el factor principal que determina la duración de la herramienta [5]. La velocidad de avance es calculada a través de la ecuación (3) y al considerar en esa el avance por vuelta (ecuación (4)) se puede obtener también el avance lineal mediante la ecuación (5).

$$f_{lineal} = Z_n f_z n (mm/min) \quad (3)$$

$$f_{rev} = Z_n f_z (mm/vuelta) \quad (4)$$

$$f_{lineal} = f_{rev} n (mm/min) \quad (5)$$

Donde: f_{Lineal} es el avance lineal (mm/min), N velocidad de rotación de la herramienta (rpm), Z_n el número de dientes de la fresa (dientes/rev) y f_z la carga de viruta (mm/diente).

El avance o velocidad de avance en el fresado es la velocidad relativa entre la pieza y la herramienta, es decir, la velocidad con la que progresa el corte.

Profundidad de corte: o profundidad de pasada (d) es la profundidad de la capa arrancada de la superficie de la pieza en una pasada de la herramienta. Habitualmente se expresa en milímetros (mm). La anchura de corte (w), expresado en mm, es la anchura de la parte de la pieza implicada en el corte. La ecuación 6 permite determinar la profundidad de pasada en función del área

transversal y la anchura de corte como se muestra a continuación:

$$d = A/w \quad (6)$$

Donde: d es la profundidad de pasada, A el área de sección transversal y w la anchura de corte

Luego de seleccionar la herramienta y establecidos las ecuaciones que permitirán determinar y calcular los parámetros de corte, se definieron tres niveles de intensidad: baja, media y alta, para cada parámetro de corte. Luego, se realizó una combinación de los niveles de intensidad de los parámetros de corte: Velocidad (V_c), Avance por vuelta (f_{rev} (mm/rev)) y profundidad (d), manteniéndose dentro de los valores de partida, según las especificaciones del inserto, para evitar algún excesivo desgaste en la misma; Esto permitió realizar el cálculo respectivo de la velocidad de giro (RPM) de la herramienta seleccionada y el avance lineal, los cuales son datos importantes que se tuvieron que introducir en el centro de mecanizado para una correcta ejecución del fresado.

2.4. Cuantificación del espesor de superficie deformada.

Las probetas se prepararon por las técnicas convencionales de desbaste y pulido regido por la norma ASTM E3-01 [6], se utilizó como reactivo de ataque Nital al 2% diluido en alcohol de acuerdo a la Norma ASTM E407 [7]. Para la observación microscópica se utilizó el microscopio óptico, (Marca Unión MC 86267 con cámara Panasonic modelo WV- Cp230. Modelo N° WV - CP230) y de los valores que arrojaron los equipos de ensayo utilizados. Estos resultados fueron presentados a través de tablas, gráficos y fotografías a resolución 1000X.

2.5. Determinación de la variación de dureza del acero 1018 una vez mecanizado.

La medición de la dureza se realizó con parte de la probeta cortada antes de ser preparada metalográficamente, para ello se realizó un ensayo de dureza Rockwell superficial 30T (marca Buehler modelo Macromet 5100T) a cada probeta, con una precarga de 30 kilogramos utilizando una bola

de 1/16" de diámetro. Estos resultados fueron comparados con el valor de dureza promedio inicial obteniéndose un valor de discrepancia promedio.

2.6. Análisis de varianza del espesor de superficie deformada.

Los valores experimentales obtenidos se analizaron en dos partes, la primera hecha por análisis en gráficos, los cuales permitieron visualizar el comportamiento de las variables involucradas en los tratamientos y luego el análisis de la varianza factorial (ANOVA) mediante un software de computo estadístico y hojas de cálculo, para el ordenamiento de las mediciones para obtener la correlación que existe entre las variables de estudio y el espesor de deformación. Se determinó específicamente la varianza factorial (3 factores fijos independientes y una variable dependiente) haciendo cinco repeticiones para cada tratamiento.

3. Resultados y discusión.

3.1. Determinación de los parámetros de corte.

A continuación se presenta los cálculos de los parámetros por niveles, cuyos resultados se encuentran expresados en la 1.

Luego, se realizó una combinación de los niveles de intensidad de los parámetros de corte: Velocidad (V_c), Avance por vuelta (f_{rev} (mm/rev)) y profundidad (d), lo cual dio como resultado un total de 27 condiciones de estudio.

3.2. Cuantificación del espesor de la superficie afectada por deformación.

Una vez establecidos los parámetros de corte, se realizó el mecanizado de cada probeta, en la Figura 2 se puede observar una fotografía de las muestras mecanizadas.

3.2.1. Preparación metalográfica de probetas.

Posterior al mecanizado de las 27 probetas y usando los parámetros establecidos en la Tabla 1, se realizó la preparación metalográfica de las probetas de tal forma lograr visualizar y posteriormente cuantificar el espesor de la superficie



Figura 2: Probetas mecanizadas.

afectada por deformación debido al mecanizado para diferentes combinaciones de parámetros. Con la finalidad de minimizar el efecto de redondeo del borde provocado por la preparación metalográfica, y poder observar la distorsión del mismo provocada por el corte, se adoptó una configuración de montaje de las muestras en lucita disponiendo de dos probetas solapadas con las superficies mecanizadas contrapuestas como se muestra en la Figura 3.

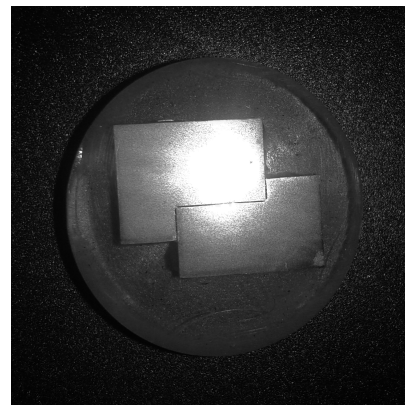


Figura 3: Probeta solapada embutida en lucita.

Luego se aplicó el procedimiento para la preparación metalográfica, obteniendo como resultado la visualización de la microestructura deformada en el borde mecanizado, como se muestra en la Figura 4.

3.2.2. Medición del espesor deformado a nivel microestructural.

Para lograr medir el espesor de la superficie afectada por deformación debido al mecanizado para diferentes combinaciones de parámetros,

Tabla 1: Niveles de parámetros de corte.

Intensidad	Nivel	f_z	V_c (m/min)	f_{rev} (mm/rev)	d (mm)	f_{lineal} (mm/min)	N (RPM)
Baja	1	0,08	80	0,32	1	325,7	1018
Media	2	0,10	120	0,40	2	610,8	1527
Alta	3	0,12	160	0,48	3	977,7	2037

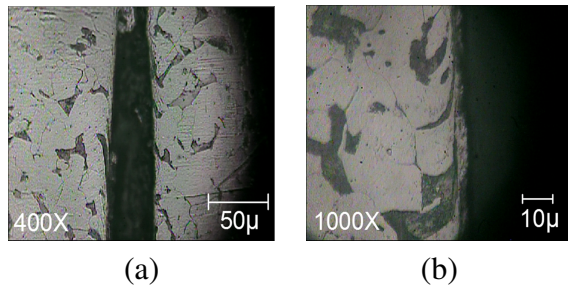


Figura 4: Deformación superficial de la microestructura para una de las muestras estudiadas: 400x (a) y 1000X (b).

una vez preparadas metalográficamente las 27 probetas, se tomaron imágenes fotográficas de la misma para los catorce pares mediante el microscopio óptico para metalografía, solo en aumento a 1000X. Se realizó el mismo procedimiento anterior para colocar la imagen de la muestra mecanizada en el software CAD y se realizó cinco acotaciones del espesor de la microestructura deformada obteniendo así cinco valores a escala del espesor (e), tal como se muestra en la Figura 5.

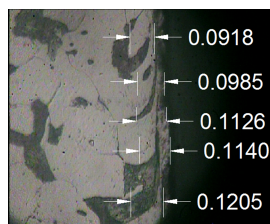


Figura 5: Cotas en los distintos puntos de la imagen.

Seguidamente se determinó el promedio de estas mediciones y luego se llevó a micrómetros (μm) mediante el factor de conversión expuesto anteriormente, este procedimiento de medición fue aplicado a cinco imágenes fotográficas aleatorias de cada muestra, y así determinar el promedio de las cotas promedios para disminuir el sesgo de error en cada tratamiento, En la Tabla 2 se puede observar las 27 condiciones de estudio y en

la Tabla 3 se observan los diferentes valores de espesor deformado obtenidos para cada condición.

Tabla 2: Condiciones de estudio.

Condición	V_c (m/min)	f (mm/rev)	d (mm)
1	80	0,32	1
2	80	0,32	2
3	80	0,32	3
4	80	0,40	1
5	80	0,40	2
6	80	0,40	3
7	80	0,48	1
8	80	0,48	2
9	80	0,48	3
10	120	0,32	1
11	120	0,32	2
12	120	0,32	3
13	120	0,40	1
14	120	0,40	2
15	120	0,40	3
16	120	0,48	1
17	120	0,48	2
18	120	0,48	3
19	160	0,32	1
20	160	0,32	2
21	160	0,32	3
22	160	0,40	1
23	160	0,40	2
24	160	0,40	3
25	160	0,48	1
26	160	0,48	2
27	160	0,48	3

3.3. Determinar la variación de dureza del acero 1018 una vez mecanizado.

Para el ensayo desarrollado con el fin de determinar la variación de dureza del acero 1018, se realizaron tres mediciones de dureza después del mecanizado, en base a ello se calculó un promedio para cada probeta. Seguidamente se comparó dicha cantidad con el promedio de dureza inicial que fue de 73,6 Rockwell 30T, resultando una discrepancia entre dichas cantidades, la cual se expresó en términos porcentuales, cuyos resultados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 3: Promedio de espesor deformado para cada condición de estudio.

#	E (μm)					e
	e ₁	e ₂	e ₃	e ₄	e ₅	
1	10,802	7,270	5,712	6,982	4,604	7,074
2	8,568	8,093	4,435	5,210	5,420	6,345
3	4,532	5,149	4,520	5,811	4,703	4,943
4	6,694	9,577	8,135	9,645	7,768	8,364
5	6,559	7,108	5,546	7,132	6,964	6,662
6	8,919	9,914	6,811	8,631	7,762	8,407
7	5,528	3,922	4,829	5,212	4,651	4,828
8	7,198	6,766	4,462	5,987	5,471	5,977
9	8,586	8,784	9,577	7,144	7,802	8,379
10	3,928	5,180	3,599	4,590	4,466	4,353
11	3,842	3,986	4,689	3,748	4,090	4,071
12	5,973	6,009	6,613	5,973	5,396	5,993
13	4,180	6,261	6,883	6,450	7,090	6,173
14	6,054	4,568	4,333	5,532	5,793	5,256
15	7,204	6,299	5,213	6,190	5,900	6,161
16	4,056	3,942	4,018	4,079	4,814	4,182
17	4,973	9,243	7,153	6,351	8,405	7,225
18	3,243	3,550	4,081	4,559	4,703	4,027
19	5,261	3,468	5,009	4,252	4,081	4,414
20	5,441	5,495	5,910	6,207	5,396	5,690
21	5,108	4,495	5,892	6,108	5,108	5,342
22	6,405	5,541	6,532	6,207	6,072	6,151
23	3,009	3,279	4,072	4,964	4,207	3,906
24	3,423	3,171	3,189	2,685	3,108	3,115
25	4,991	4,892	5,613	4,486	5,072	5,011
26	4,351	3,811	4,108	3,712	4,288	4,054
27	9,730	9,595	9,216	11,901	13,721	10,833

#: Probeta

e: Espesor promedio

Como puede observarse en la Tabla 4, los valores de dureza no mostraron un cambio significativo para el intervalo de parámetros estudiado, mostrando una diferencia máxima de 13 % menor a la registrada en el material sin mecanizar.

3.4. Análisis de varianza del espesor de superficie deformada con respecto a los parámetros de corte.

3.4.1. Análisis gráfico.

Para el análisis gráfico de la varianza del espesor de superficie deformada con respecto a los parámetros de corte, se representó gráficamente el comportamiento de la deformación (presentada en la Tabla 3) de acuerdo a un parámetro en común. Para observar el comportamiento de estos datos, se realizó un gráfico por cada avance por vuelta f (mm/rev) empleado, dando como resultado tres gráficos para mediciones en aumento de 1000X.

Primero se muestran los resultados con un parámetro constante de avance por vuelta (mm/rev) de 0,32; luego de 0,40 y 0,48 relacionados con el promedio de medidas de espesor de la microestructura deformada y para cada velocidad de corte estudiada, en las Figuras 6, 7 y 8, respectivamente.

Tabla 4: Medidas de dureza Rockwell superficial.

#	Medición			P	D
	1	2	3		
	1	77,30	79,90		
2	72,50	79,50	77,30	76,43	4%
3	72,10	78,60	79,90	76,87	4%
4	67,90	72,50	74,30	71,57	-3%
5	70,70	75,90	76,90	74,50	1%
6	79,90	77,70	79,90	79,17	8%
7	72,30	74,50	76,10	74,30	1%
8	67,90	78,10	77,50	74,50	1%
9	74,90	79,10	77,70	77,23	5%
10	74,90	74,10	76,90	75,30	2%
11	71,10	72,50	72,10	71,90	-2%
12	66,70	75,50	75,90	72,70	-1%
13	71,90	75,90	75,90	74,57	1%
14	74,30	76,50	74,50	75,10	2%
15	69,30	67,10	76,70	71,03	-3%
16	59,60	72,30	59,50	63,80	-13%
17	72,10	75,50	69,70	72,43	-2%
18	67,90	74,70	71,30	71,30	-3%
19	66,70	70,90	67,90	68,50	-7%
20	69,70	70,10	75,10	71,63	-3%
21	77,10	76,90	76,40	76,80	4%
22	74,90	74,70	71,30	73,63	0%
23	76,90	76,40	74,70	76,00	3%
24	65,90	75,10	68,10	69,70	-5%
25	74,10	75,30	79,30	76,23	4%
26	70,30	75,10	77,10	74,17	1%
27	76,90	81,30	79,70	79,30	8%

#: Probeta

P: Promedio

D: Porcentaje de discrepancia respecto a la dureza inicial

rev) de 0,32; luego de 0,40 y 0,48 relacionados con el promedio de medidas de espesor de la microestructura deformada y para cada velocidad de corte estudiada, en las Figuras 6, 7 y 8, respectivamente.

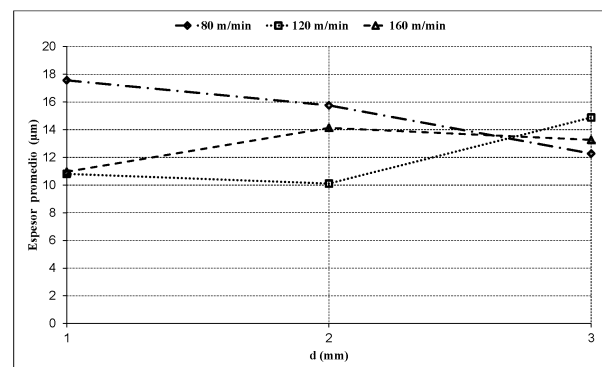


Figura 6: Curva de espesor de deformación en función de la profundidad y la velocidad de corte, para un avance por vuelta de 0,32 (mm/rev) en aumento a 1000X.

Se puede observar en la Figura 6 se comprobó que el espesor de deformación disminuyó cuando la Velocidad de corte fue de 80 y 160 (m/min) respectivamente, sin embargo, cuando la velocidad de corte fue de 120 (m/min), el espesor de deformación incrementó a un avance por vuelta de 0,32 (mm/rev). Cabe destacar que a mayor profundidad de corte (3 mm) y menor velocidad de corte (80 m/min), el espesor deformado fue mínimo, y a menor profundidad de corte (1 mm) y menor velocidad de corte (80 m/min) el espesor de deformación fue máximo, lo anterior para un avance por vuelta de 0,32 mm/rev, a un aumento de 1000X.

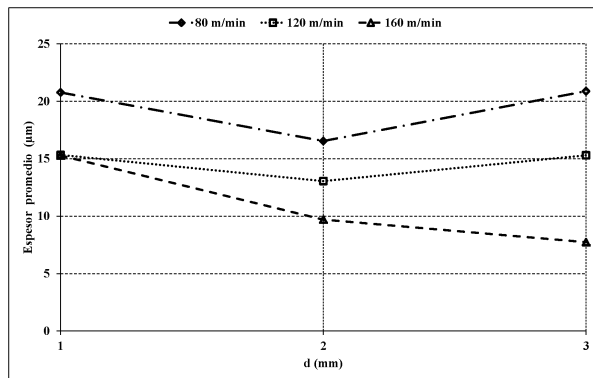


Figura 7: Curva de espesor de deformación en función de la profundidad y la velocidad de corte, para un avance por vuelta de 0,40 (mm/rev) en aumento a 1000X.

En la Figura 7 se observa que el espesor de la superficie afectada por deformación disminuyó notablemente cuando la velocidad de corte fue de 160 (m/min) y aumentó cuando la velocidad de corte fue de 80 y 120 (m/min) a un avance por vuelta de 0,40 (mm/rev). A menor profundidad de corte (1 mm) y menor velocidad de corte (80 m/min) el espesor de deformación fue máximo y mayor profundidad de corte (3 mm) y mayor velocidad de corte (160 m/min) el espesor de deformación fue mínimo, para un avance por vuelta de 0,40 mm/rev, a un aumento de 1000X.

En la Figura 8 se representa el espesor de deformación aumentando considerablemente cuando la velocidad de corte (160 m/min) y la profundidad (3 mm) eran máximas a un avance por vuelta de 0,48 (mm/rev). Destacándose que al aplicarle

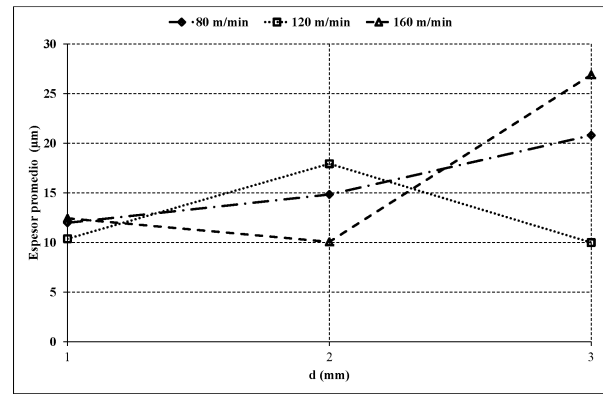


Figura 8: Curva de espesor de deformación en función de la profundidad y la velocidad de corte, para un avance por vuelta de 0,48 (mm/rev) en aumento a 1000X.

al material mayor profundidad de corte, mayor avance por vuelta y mayor velocidad de corte, esta combinación de parámetros afecta directamente proporcional a la medida de espesor de la microestructura deformada, siendo este el mayor con respecto al resto de las combinaciones de parámetros expuestos en las figuras anteriores.

3.4.2. Análisis de varianza multifactorial.

El análisis de varianza tiene como objeto rechazar la hipótesis nula de que las medias de las medidas de espesor son iguales, es decir que no hay variación del espesor de deformación a distintas combinaciones de parámetros, este análisis se hizo con ayuda de un software de computo estadístico, desarrollándose un modelo multifactorial en el cual se estudió el efecto principal de las variable involucradas (V_c , f_{rev} , d), además estudiar si hay interacción entre cada par de variables ($V_c \times f_{rev}$, $V_c \times d$, $f_{rev} \times d$) e interacción de los tres factores juntos ($V_c \times f_{rev} \times d$) y su efecto sobre el espesor (e) de deformación superficial en la microestructura.

Los análisis fueron realizados para un nivel de significancia de 0,05 para obtener un nivel de confianza de 95 % (Valores recomendados por el software estadístico), esto indica que para poder rechazar la hipótesis nula debe haber una significación menor a 0,05. Los resultados del análisis de varianza se muestran en la Tabla 5, en dicha tabla se indica el grado de correlación obtenido en el modelo (R^2), la suma de cuadrado (SC) de

las desviaciones las cuales son proporcionales a la varianza, el factor estadístico (F) y el porcentaje de contribución (P) el cual mide el tamaño del efecto respecto a la variabilidad general, y es la relación de SC de la variable, entre SC_{total} de todos los efectos.

$$R^2 = 0,785 \text{ (} R^2 \text{ corregida} = 0,733 \text{)}$$

Para realizar el análisis en este caso se debe interpretar la columna de significación, si esta es menor igual que 0,05 la variación de la variable dependiente es significativa estadísticamente, por lo cual se concluye que el factor (parámetro de corte) influye en la variable dependiente (espesor deformado).

Dado entonces que la variación provocada por todos los factores y sus interacciones son significativos, se realizó una comparación del porcentaje de contribución (P) de cada factor, para determinar los niveles de influencia que poseen cada una de estas variaciones significativas, y así evaluar el peso relativo de cada variabilidad.

La influencia del avance por vuelta sobre el espesor deformado, tuvo la menor significancia estadística que todos los demás parámetros, el porcentaje de contribución del avance por vuelta fue de 2,74 %.

La influencia de la profundidad de corte sobre el espesor deformado tuvo porcentaje de contribución de 4,01 %, se puede concluir que la profundidad influye muy poco en la deformación superficial de la microestructura

Analizando la influencia de la velocidad de corte sobre el espesor deformado, el porcentaje de contribución de la velocidad de corte fue de 12,35 %, esto indica que es el parámetro más influyente de manera individual en la variabilidad del espesor deformado

Hubo interacción entre los parámetros y esta fue significativa, por lo que analizamos que la interacción entre el avance y la profundidad ($f_{rev} \times d$) tuvo un porcentaje de contribución de 14,28 %, por lo cual podemos concluir que esta interacción fue más influyente que la interacción entre velocidad-avance ($V_c \times f_{rev}$) y velocidad-profundidad ($V_c \times d$) las cuales son 11,49 % y 3,23 % respectivamente.

La combinación de los parámetros de corte fue

significativa estadísticamente siendo su porcentaje de contribución de 30,38 %. Esto quiere decir que hubo interacción del efecto de los tres parámetros juntos y que además la influencia de esta interacción fue la que provocó mayor incidencia en el espesor de deformación.

La contribución del error fue de 21,53 %, esta incertidumbre es ocasionada por variables no controladas como los es el redondeo del borde del material al momento de realizar le preparación metalográfica, el aumento de la imagen para realizar la medición, algún error inducido en el momento de la medición, la técnica de medición implementada, y cualquier otra variable ambiental o sistemática que no haya sido tomada en cuenta.

El coeficiente de correlación de Pearson $R^2 = 0,733$ se considera aceptable y válido para la aproximación estadística ya que su valor es moderadamente cercano a 1 [8].

4. Conclusiones

Al exponer el desarrollo del objetivo que trata de establecer los parámetros de corte: avance, profundidad y velocidad, para el material de estudio, primero fue necesario seleccionar como herramienta de corte, un inserto con especificaciones igual a T290 LMNT 100405TR, avance/diente fz): 0,08-0,20 mm/diente; profundidad (ap): 3 – 9 mm; Velocidad de corte (V_c): 80-270 mm/min; ángulo de posición: 90° y un Porta-herramientas de especificaciones T490 ELN D25-4W25-08: número de dientes (Zn): 4; diámetro del portaherramientas (D): 25 mm; profundidad (ap): 8 mm. Segundo, bajo una combinación de los niveles de intensidad de los parámetros de corte: velocidad (V_c), avance por vuelta (f_{rev} mm/rev) y profundidad (d), se calcularon los parámetros con que se mecanizó cada probeta, obteniéndose de dicha combinación veintisiete (27) probetas.

Se logró cuantificar del espesor de la superficie afectada por deformación debido al mecanizado para diferentes combinaciones de parámetros, mediante el ensayo de varios métodos para preparar metalográficamente las probetas, hasta lograr el montaje de catorce probetas, embutidas en Lucita, permitiendo esto la visualización de la

Tabla 5: Análisis de varianza multifactorial del espesor deformado.

Variable	Suma de cuadrados (SC) tipo III	GL	Media Cuadrática	F	Significación	η^2 parcial	P (%) Contribución
V_c	387,890	2	193,950	30,990	0,000	0,365	12,350
f_{rev}	85,990	2	43,000	6,870	0,002	0,113	2,740
d	125,950	2	62,970	10,060	0,000	0,157	4,010
$V_c \times f_{rev}$	360,700	4	90,180	14,410	0,000	0,348	11,490
$V_c \times d$	101,310	4	25,330	4,050	0,004	0,13	3,230
$f_{rev} \times d$	448,340	4	112,090	17,910	0,000	0,399	14,280
$V_c \times f_{rev} \times d$	953,960	8	119,250	19,050	0,000	0,585	30,380
Error	675,950	108	6,260				21,530
Total corregida	3140,090	135					

microestructura deformada por medio del cual se cuantificó el espesor de la superficie afectada a nivel de microestructura por deformación debido al mecanizado para diferentes combinaciones de parámetros.

Al determinar la variación de dureza del acero 1018 una vez mecanizado, se obtuvo una discrepancia porcentual máxima de 13 % de menor a la del material antes de mecanizar.

En el caso de hacer un análisis de varianza del espesor de superficie deformada con respecto a los parámetros de corte, se demostró que al aplicarle la combinación de los tres parámetros de corte tuvo una interacción significativa y el tamaño de su efecto fue mayor que el resto de las combinaciones de parámetros expuestas. En este particular, de acuerdo a la Tabla 5 se pudo observar que el avance por vuelta es el parámetro menos significativo estadísticamente y de menor efecto en las medidas de espesor deformado.

Reconocimiento.

Este artículo fue seleccionado por la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, como uno de los mejores Trabajos Especiales de Grado del año 2014.

Referencias

[1] G. Maduro y L. González. Evaluación de la influencia de los parámetros de corte sobre la deformación superficial durante un proceso de fresado. Trabajo especial de grado, Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad

de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela, 2014.

- [2] J. A. Schey. *Procesos de Manufactura. Tercera edición.* Ed. Mc Graw Hill, México DF, 2000.
- [3] S. Kalpakjian, S. R Schmid, Gabriel Sánchez García, et al. *Manufactura, ingeniería y tecnología.* Pearson Educación, 2002.
- [4] Mikell P Groover. *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas.* Pearson Educación, 1997.
- [5] G. Boothroyd. *Fundamentos del corte de metales y de las máquinas-herramienta.* McGraw-Hill Latinoamericana, 1978.
- [6] ASTM-E3-01, Guide for preparation of metallographic specimens. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2001.
- [7] ASTM-E407-99, Standard practice for microetching metals and alloys. ASTM International, West Conshohocken, PA, 1999.
- [8] Antonio Vargas Sabadías. *Estadística descriptiva e inferencial.* Universidad de Castilla-La Mancha, 1995.