

Análisis multifactorial de la calidad superficial de acero producto del corte con soplete

Multifactorial analysis of oxycutted steel sheets superficial quality

*L. M. Sarache y L. E. Vergara,
Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería,
Escuela de Ingeniería Mecánica, Departamento de Tecnología y Diseño,
Grupo de Análisis Multifactorial Aplicado a la Industria,
Mérida 5101, Venezuela,
*sarachel@ula.ve

Resumen

Este estudio analiza las variables que actúan en el proceso de oxicorte sobre chapas de acero nacional SIDOR A-36, y su efecto en el acabado superficial. Se determina en que medida las variables del proceso afectan al acabado superficial de piezas cortadas; para cumplir con los requisitos de documentación de la norma ISO-9001, punto 4.8 sobre identificación y rastreabilidad de procesos. Las variables a analizar son: presión de acetileno entre 35 y 41 kPa, presión de oxígeno 160 y 180 kPa, velocidad de corte entre 500 y 600 mm/min, separación entre pieza y boquilla entre 3 y 5 mm; para luego fijar parámetros con los cuales el operador pueda trabajar el proceso de corte con calidad superficial específica de acuerdo con el plan de utilización de la pieza cortada; el diseño experimental utilizó una muestra de 16 piezas con el mismo tamaño, cortadas con cizalla y para la medición de la rugosidad se procedió a: recolectar, ordenar, evaluar y analizar los efectos individuales y de interacción de las variables, utilizando la metodología del análisis multifactorial; se concluye que la mejor condición de rugosidad promedio 4.56 μm , ocurre cuando la distancia es mayor y la velocidad de corte es menor asociada a un menor costo de operación y menores defectos superficiales.

Palabras Claves: Oxicorte, diseño factorial, análisis multifactorial, acabado superficial.

Abstract

This study analyzes the variables that act in the oxycutting process on SIDOR A-36 steel sheets, and its superficial finished effect. It is determined in which magnitude the process variables affect the cut pieces superficial finished, in order to comply the requirements of point 4.8, ISO-9001 norm on identification and monitoring processes. To set the user parameters to cut with specific superficial quality according to piece utilization the following variables are considered: acetylene pressure 35 and 41 kPa, oxygen pressure 160 and 180 kPa, cutting velocity 500 and 600 mm/min and, mouthpiece-piece distance 3 to 5 mm. The experimental design utilized a 16 same size shear cutting sample pieces. To measure superficial finished proceeded to collect, order, evaluate and analyze the individual effects and variable interactions using multifactorial analysis methodology. We conclude the best average superficial finished condition obtained 4.56 μm , occurs for the greater distance and the smaller cutting velocity. This condition is associated to a smaller operation cost and minimum superficial defect.

Key words: Oxycutting, factorial design, multifactorial analysis, superficial finished.

1 Introducción

Es frecuente que en cualquier taller deba realizarse junto a la unión de dos piezas la operación inversa: la

separación de una pieza en varias partes. En este caso se trata del corte con soplete oxiacetilénico por ser ventajosamente más cómodo, a parte de que la manejabilidad y adaptabilidad al corte para distintos

trabajos (corte perpendicular, corte chaflanado, ranurado y perforado) en cualquier trayectoria es difícilmente hallada en otra herramienta, además el equipo es comparativamente barato y requiere poco mantenimiento.

Se utilizará este equipo sobre placas de acero SIDOR A-36, el estudio trata de determinar experimentalmente los factores que influyen significativamente en la calidad superficial o rugosidad producida en el acero A-36 sometido a este tipo de corte, con la finalidad de eliminar en lo posible trabajos posteriores, igualmente, mediante el análisis de la rugosidad evaluar el acabado superficial de la pieza cortada y definir los parámetros individuales o en interacción con los cuales se obtienen cortes de precisión con las mejores condiciones superficiales.

2 Hipótesis

1. La mejor calidad se debe conseguir con el control adecuado de la presión de oxígeno y no es influida por la presión de acetileno luego de conseguir la llama calentadora, basado lo anterior en la literatura donde tabulan la presión de oxígeno para determinado espesor de lámina, pero la proporción de acetileno hay que obtenerla empíricamente cuando se encuentra una llama neutra de calentamiento, como ejemplo se podría citar a (Amstead, 1992).

Tabla 1. Diseño experimental factorial básico (DFB) 2^4 .

Variables de estudio	Niveles de las variables	
	Mínimo (-)	Máximo(+)
A Distancia del soplete a la lámina (DS)	3mm	5mm
B Velocidad de corte (VC)	500 mm/min	600 mm/min
C Presión de Oxígeno (PO)	160 kPa	180 kPa
D Presión de acetileno (PA)	35 kPa (5 psi)	41 kPa (6 psi)

2. La velocidad más alta de corte da una mayor calidad superficial de la pieza cortada, basado en que el oxicorte es un proceso de oxidación del hierro, y si el corte es rápido, la reacción de oxidación es más corta y el chorro de oxígeno actúa por menos tiempo desprendiendo menos material.

3 Fase pre-experimental

Aplicando la Técnica del grupo nominal (TNG), con personal técnico especializado en oxicorte, se listó al conjunto de variables que intervienen en el proceso para cumplir con los requisitos de documentación de la norma ISO-9001, punto 4.8 sobre identificación y rastreabilidad de procesos y se encontraron dentro de un universo mucho más amplio las siguientes variables: velocidad de corte (cuantitativa), presión de acetileno (cuantitativa), presión de oxígeno (cuantitativa), tipo de boquilla (cualitativa), temperatura de precalentamiento (cuantitativa), dirección de la fibra (cualitativa), separación entre pieza y boquilla (cuantitativa), temperatura ambiente (cuantitativa), y de ellas, las variables que se consideraron pesadas o significativas con sus respectivos niveles se muestran en la Tabla 1, siguiendo las pautas de (Di Giacomo 2001).

Se estiman $2^4=16$ pruebas, por lo tanto, como se tiene una limitante de 16 piezas para la experimentación, se realizará un diseño factorial sin replicas.

Estas probetas de acero A-36, se cortaron con cizalla y tienen un tamaño de 10x10 mm de lado y 0.8 mm de espesor, de modo que al ser cortadas por oxicorte pudieran ser observadas la rugosidad y la dureza superficial sin necesidad de hacerles cambios dimensionales, se utilizó una máquina de oxicorte con boquilla de seis agujeros para la llama de precalentamiento y uno para el chorro de oxígeno.

4 Fase experimental

Para la medición y observación de la calidad en la superficie de la pieza cortada se toma sólo el lado de la lámina que al ser cortada permanece inmóvil, después de limpiar la superficie con un cepillo se mide la rugosidad en dos regiones: la región inicial a 3 cm., antes del centro de la lámina y la región final a 3 cm., después, en ambas regiones el rugosímetro se calibró para un desplazamiento de 3 mm, por lo que el valor es el promedio de la zona desplazada.

El orden aleatorio indica el orden de la experimentación, este tratamiento le confiere a las pruebas mayor validez a las respuestas ya que rompe la posibilidad de crear una tendencia no natural de la operación (Sarache 2001).

El experimento esta basado en las normas sobre calibración (ANSI/ASME B 89.4.1 1995) y fue diseñado para conocer la calidad del corte a través del análisis de rugosidad.

Se hace un análisis multifactorial a estas características sin tomar en cuenta otras características indeseables del acabado superficial que surgen en la pieza sometida a oxicorte como son los: defectos en el filo superior del corte, irregularidades en la superficie del

corte, marcado en la superficie del corte, adhesión de escoria o superficie superior con mala fundición que se pueden determinar por una examen visual (Rico J., Valiño G., Cuesta E. y Villanueva A, 2002). Luego se determina que factores son responsables de las malas características.

Tabla 2. Resultados de cada corrida experimental para las condiciones iniciales \bar{I} y finales \bar{F} .

Corrida	Variables de Estudio				Resultados Rugosidad μm			
	A (DS)	B (VC)	C (PO)	D (PA)	Inicial	\bar{I}	Final	\bar{F}
1	-	-	-	-	3.8-4.4	4.1	4.0-4.4	4.2
2	+	-	-	-	5.6-6.2	5.9	5.0-6.0	5.5
3	-	+	-	-	4.4-5.2	4.8	5.2-5.6	5.4
4	+	+	-	-	5.0-5.4	5.2	5.2-5.6	5.4
5	-	-	+	-	5.6-7.0	6.3	6.0-8.0	7.0
6	+	-	+	-	3.2-3.6	3.4	5.6-6.4	6.0
7	-	+	+	-	4.4-5.0	4.7	4.0-4.6	4.3
8	+	+	+	-	5.8-6.6	6.2	6.4-7.2	6.8
9	-	-	-	+	6.0-6.6	6.3	6.4-7.0	6.7
10	+	-	-	+	6.0-7.0	6.5	5.4-7.0	6.2
11	-	+	-	+	4.6-5.0	4.8	4.4-4.8	4.6
12	+	+	-	+	4.0-5.2	4.6	4.8-5.6	5.2
13	-	-	+	+	4.6-5.0	4.8	4.6-5.2	4.9
14	+	-	+	+	4.0-4.2	4.1	3.2-3.6	3.4
15	-	+	+	+	3.6-4.0	3.8	4.0-4.2	4.1
16	+	+	+	+	9.0-11	10.0	6.6-7.6	7.1

Tabla 3. Efectos de las variables individuales y de interacción inicio (\bar{I}).

A	B	C	D	AB	AC	AD	BC	BD	CD	ABC	ABD	ACD	BCD	ABCD	\bar{I}
-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	4.1
+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	5.9
-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	+	-	4.8
+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+	5.2
-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	-	6.3
+	-	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+	-	+	+	3.4
-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	+	4.7
+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	6.2
-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	6.3
+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	6.5
-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	4.8
+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	4.6
-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	+	4.8
+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	4.1
-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	-	3.8
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10.0
0,788	0,338	0,138	0,538	1,188	0,238	0,588	1,188	0,038	-0,013	1,638	0,438	1,138	0,888	0,188	Efecto

A continuación se tienen cuales son las variables más influyentes en el acabado superficial, en este caso en particular Tabla 3, se tiene que las variables de interacción de alto orden no son despreciables ya que sus valores no son muy inferiores a los de las interacciones de segundo orden por lo tanto no se puede considerar estos valores como ruido experimental a consecuencia de una alta dispersión de los valores y estimar el error con los efectos de interacción de alto

orden no es confiable (Box G., Hunter W. y Hunter J., 1978), es necesario calcular el error por el método tradicional ya que no existen réplicas. Para ello en la experimentación se tienen que considerar los siguientes valores:

$$\begin{aligned} \Sigma x &= 85.5 \mu\text{m}, \quad \Sigma x^2 = 493.91(\mu\text{m})^2, \\ \Sigma x/n &= 5.34 \mu\text{m}, \quad \sigma^2 = 1.5210(\mu\text{m})^2, \\ \text{Error} &= 0.3083 \mu\text{m} \end{aligned}$$

Tabla 4. Variables significativas con respecto al error.

Al inicio del Corte \bar{I}			
Variable	Efecto	1 Error	2 Error
AB *	1.187	3.851	1.925
BC *	1.187	3.851	1.925
ABC *	1.637	5.311	2.655
ACD *	1.137	3.689	1.844
Al final del Corte \bar{F}			
Variable	Efecto	1 Error	2 Error
AB *	0.975	3.714	1.857
BC *	0.375	1.428	0.714
CD *	-0.85	-3.238	-1.619
ABC *	1.025	3.904	1.952
BCD *	1.125	4.285	2.142

En la Tabla 4, se comparan las interacciones que se consideran significativas antes y después del corte con el error estimado por el método tradicional, se puede notar que los efectos más significativos son: AB, BC y ABC sin embargo, debido a que el objetivo de la investigación es conocer las interacciones de variables que disminuyan la

rugosidad, al encontrar los efectos significativos de las variables individuales o de interacción tenemos que: la magnitud del efecto muestra que tanto varía la rugosidad al moverse entre los niveles de estas variables y el signo indica en que dirección (Sarache, 2001).

Tabla 5. Efectos de las variables individuales y de interacción al final del corte (\bar{F}).

A	B	C	D	AB	AC	AD	BC	BD	CD	ABC	ABD	ACD	BCD	ABCD	\bar{F}
-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	4,2
+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	5,5
-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	+	-	5,4
+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+	5,4
-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	-	7
+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	6
-	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	+	+	-	+	4,3
+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	6,8
-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	6,7
+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	6,2
-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	4,6
+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	5,2
-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	+	4,9
+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	3,4
-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	-	4,1
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	7,1
0,55	-0,125	0,05	-0,3	0,975	0,2	-0,15	0,375	0,075	-0,85	1,025*	0,425*	0,15 *	1,125 *	-0,175 *	Efecto

5 Fase post-experimental

Para el caso de la Rugosidad Inicial como se observó en los cálculos, las variables en interacción más significativas que se encontraron en su respectivo orden son: ABC *: (DS),(VC) y (PO), AB *: (DS) y (VC) y BC *: (VC) y (PO); sin embargo, se hace necesario establecer igualmente que sucede con la rugosidad final y los efectos de las interacciones en este caso para realizar una consolidación de estos resultados y efectuar un análisis global de los efectos. Para esta región de la placa se observó en los cálculos que las variables en interacción más significativas que se

encontraron en su respectivo orden fueron: BCD * : (VC),(PO) y (PA), ABC * : (DS),(VC) y (PO), AB * : (DS) y (VC) y CD * : (PO) y (PA).

Del resultado anterior, se tiene que la evaluación presenta un patrón común definido en los siguientes términos: ABC y AB, de tal manera que el análisis inicial y fundamental debe ser realizado sobre la interacción de las variables AB, por ser estas, las que definen una superficie de respuesta y una tendencia hacia el logro del objetivo como es conseguir las variables que tengan el mejor resultado sobre la rugosidad de piezas cortadas con oxicorte.

Tabla 6. Valores de las variables de interacción significativas AB tanto inicial como final.

Variable [DS]	Variable [VC]	\bar{I} [μm]	\bar{F} [μm]	Valor Medio [μm]
-	-	5.700	5.375	5.54
+	-	5.275	4.975	5.13
-	+	4.600	4.525	4.56
+	+	6.125	6.500	6.31

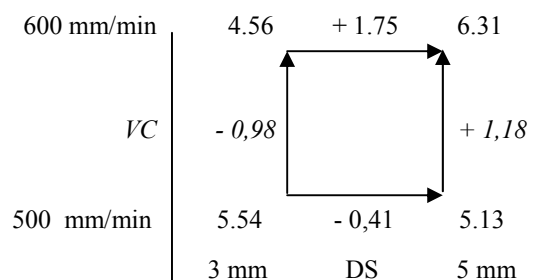


Fig. 1. Diagrama de dos vías entre velocidad de corte y la distancia a la superficie.

6 Análisis de resultados

Las condiciones que producen mal acabado superficial por inspección visual, planteado por (Degarmo E., 1988) como cortes oxiacetilénicos incorrectamente ejecutados son, mayoritariamente debido a la baja presión del oxígeno en este caso y para el rango de velocidad estudiado, se produce escoria en el borde inferior de la superficie de corte al igual que cuando interactúan la máxima presión con la mayor distancia de la boquilla a la lámina.

Pero lo importante no es determinar cuales factores afectan negativamente sino cuales son los que afectan positivamente para mantener el control del proceso de cortes o en cualquier proceso para aumentar la productividad (Bowjijn, 1990), en este caso, si la boquilla esta cerca de la platina y la velocidad de corte es la menor encontramos defectos en el filo superior del corte, en la zona donde el calor es más intenso y produce la fusión sin control del material, sin embargo, a menor distancia se aprecia una mejoría en la rugosidad, con la más alta velocidad de corte ver Fig. 1.

En el diagrama de dos vías, las condiciones que mejoran la rugosidad son: alta velocidad de corte y poca distancia de la

superficie generando un valor de: $4.56 \mu\text{m}$; y operar a baja velocidad y mayor distancia para una rugosidad promedio de: $5.13 \mu\text{m}$. lo que puede significar un balance perfecto entre estas dos variables si se considera el factor multiplicativo de ellos como son distancia y velocidad: $3\text{mm } 600 \text{ mm/min} = 1800 \text{ mm}^2/\text{min}$ y $5\text{mm } 500 \text{ mm/min} = 2500 \text{ mm}^2/\text{min}$, para valores inferiores y superiores las condiciones no son aceptables.

Al disminuir (DS) y aumentar (VC), esta última alcanza la temperatura de calentamiento más rápido por lo que es necesario un corte más rápido que ayuda a mejorar el acabado superficial y Al Aumentar la (DS) y disminuir la (VC) con una distancia mayor, la pieza necesita más tiempo para alcanzar la temperatura adecuada para el corte. Es importante aclarar que no existe bibliografía consolidada en este sentido, con análisis multifactorial que considere el colectivo de las variables, en algunos trabajos solo se presentan sobre la base de efectos individuales.

7 Conclusiones

Es necesario determinar la temperatura óptima de corte con buen acabado superficial, ya las cuatro variables utilizadas,

están asociadas a la temperatura generada en el material; se demostró que lo importante es el calor de la pieza, dada por el gradiente de temperatura de la llama. Se concluye que la velocidad asociada con la distancia son determinantes como factores de interacción; donde conviene generar la menor rugosidad y el menor defecto; alta velocidad por menor consumo y una distancia menor que no afecta los costos de producción, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis de que a velocidad más alta de corte da una mayor calidad superficial de la pieza cortada basado en la mayor potencia de la llama, pero debe ser acompañada con una menor proximidad de la pieza. Para la segunda hipótesis, donde se plantea que a velocidad más alta debe dar una mejor calidad superficial de la pieza, basado en que el oxicorte es un proceso de oxidación del hierro, y si el corte es rápido, la reacción de oxidación es más corta y el chorro de oxígeno actúa por menos tiempo desprendiendo menos material, la investigación realizada, no determina, claramente esta aseveración dado que la mejor calidad se debe conseguir con el control adecuado de la presión de oxígeno y no es influida ésta por la presión de acetileno.

8 Agradecimiento

Al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad de Los Andes, por el apoyo brindado a esta investigación.

Referencias

- Amstead BH, Ostwald PH y Begeman ML, 1992, Procesos de manufactura versión SI, pp. 204-205.
- Di Giacomo B, Valdez R y Vieira D, 2001, Calibración de errores en máquinas de medir y máquinas herramientas, V CIDIM, IV CONIM, Mérida, Venezuela, pp. 883-888.
- Box G, Hunter W y Hunter J, 1978, Statistics for experimenters, Wiley & Sons, New York, pp. 327-328.
- DeGarmo P, 1988, Materials and processes in manufacturing, pp. 874 - 876.
- Manual ANSI/ASME, 1995, Norma B 89.4.1, Methods for performance evaluation of coordinate measuring machines.
- Rico JC, Valiño G, Cuesta E y Villanueva A, 2002, El corte de chapa mediante oxicorte, Metal Univers, No. 5, pp. 50-65.
- Lindberg R y Braton N, 1979, Welding and other joining processes, pp. 53-54.
- Sarache L, 2001, Diseño de experimentos y análisis multifactorial aplicado a la industria, Universidad de Los Andes.
- Bowijjin PT, Kumpe T, 1990, Manufacturing in the 1990's: productivity, flexibility and innovation, Long range planning, v.23, p. 44-57.