



Rugosidad superficial en el maquinado del acero inoxidable AISI 304 en el proceso de torneado

Surface roughness in the machining of AISI 304 stainless steel in the turning process

Irene Aznárez-Ferrando^I, Mario Jacas-Cabrera^{II}*, Reynaldo Rodríguez-Pérez^{II}, José Carlos Gálvez-Cardentey^{II}, Luis D. Tamayo-Sixto^{II}

I. Universidad de Cádiz, Escuela Superior de Ingeniería. Cádiz, España.

II. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Facultad de Ingeniería Mecánica, Departamento de Ingeniería Mecánica. La Habana, Cuba.

*Autor de correspondencia: jacas@mecanica.cujae.edu.cu

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 internacional](#)



Recibido: 4 de enero de 2024

Aceptado: 12 de marzo de 2024

Resumen

Los aceros inoxidables austeníticos, poseen un amplio campo de aplicaciones, destacándose el campo de la biomecánica y en particular en la fabricación de diferentes elementos de prótesis, los que requieren una alta calidad superficial para cumplimentar su asignación de servicio, en particular la resistencia a la corrosión y sus características asépticas. Este trabajo tuvo como objetivo obtener la mejor calidad superficial durante el maquinado de acabado en torno CNC del acero AISI 304. En la realización de los experimentos se emplearon como variables independientes la velocidad de corte (2 niveles), y la velocidad de avance (4 niveles). La profundidad de corte se mantuvo constante. Como

herramienta de corte se emplearon placas recubierta de nitrato de titanio. El proceso se realizó con fluido refrigerante. Como resultado se determinó la influencia de la velocidad de avance y velocidad de corte en los valores de rugosidad superficial, lográndose a obtener valores de R_a 0,198 y 0,204 μm . Los resultados experimentales obtenidos fueron sometidos a un análisis de regresión, demostrando que el modelo es altamente significativo y se ajusta bien a los datos disponibles.

Palabras claves: rugosidad superficial, acero inoxidable austenítico AISI 304, proceso de torneado.

Abstract

Austenitic stainless steels have a wide field of applications, highlighting the field of biomechanics and in particular, in the manufacture of different prosthetic cutting elements, which require a high surface quality to complete their service assignment, in particular resistance to corrosion and its aseptic characteristics. The objective of the work is to obtain the best surface quality during the finishing machining of AISI 304 steel on a CNC lathe. In carrying out the experiments, the cutting speed (2 levels), and the feed rate (4 levels) were used as independent variables. The depth of cut remained constant. Titanium nitride coated plates were used as cutting

tools. The process was carried out with refrigerant fluid. As a result, the influence of the feed speed and cutting speed on the surface roughness values was determined, obtaining R_a values of 0.198 and 0.204 μm . The experimental results obtained were subjected to a multiple regression analysis, demonstrating that the model is highly significant and fits well to the available data.

Key words: surface roughness; austenitic stainless steel AISI 304; turning process.

Cómo citar este artículo, norma Vancouver:

Aznárez Ferrando I, Jacas Cabrera M, Rodríguez Pérez R, Gálvez Cardentey JC, Tamayo Sixto LD. Rugosidad superficial en el maquinado del acero inoxidable AISI 304 en el proceso de torneado. Ingeniería Mecánica. 2024;27(2):e694.

1. Introducción

Los aceros inoxidables austeníticos, poseen un amplio campo de aplicaciones, destacándose el campo de la biomecánica y en particular en la fabricación de diferentes elementos de prótesis y endoprótesis, los que requieren una alta calidad superficial para cumplimentar su asignación de servicio, en particular la resistencia a la corrosión y sus características asépticas.

Analizando algunos aspectos de maquinabilidad de estos aceros, se plantea en [1] que los aceros inoxidables austeníticos se caracterizan por su baja maquinabilidad, debido a que presentan baja conductividad térmica y

mayor endurecimiento por la acción del trabajo en frío sobre ellos. Su baja conductividad térmica dificulta la evacuación del calor generado en el proceso de mecanizado, dando lugar a un aumento de las temperaturas en la arista de corte, lo que sugiere el uso adecuado de sistemas de refrigeración durante el corte. En estos tipos de aceros [2], se observa como la dureza medida en la capa superficial, puede llegar a alcanzar durante el maquinado, valores que duplican los valores medidos en el centro de la pieza (entre los 400-500 HB), en una profundidad aproximada de 0,1mm, lo que provoca deformaciones y roturas de la arista de corte de la herramienta, fundamentalmente en maquinados posteriores. Por lo anterior, se recomienda, para las elaboraciones de torneado de acabado de estos materiales, profundidades de corte mayores al espesor de la capa endurecida, uso de herramientas con ángulo de desprendimiento positivo, así como trabajar en máquinas de gran rigidez y estabilidad.

Otros aspectos que influyen en la rugosidad superficial durante el maquinado de estos tipos de aceros inoxidables austeníticos son las variables que intervienen en el proceso como: la velocidad de corte (V_c), velocidad de avance (S), profundidad de corte (t), los materiales y geometrías de las herramientas, así como los fluidos de corte a utilizar.

Özkeran HB [3], maquinando acero inoxidable 304, con placas recubiertas de radio de punta 0,8 mm, variables de corte en un rango de V_c de 150 a 290 m/min, S 0,2 a 0,8 mm/rev y t 2 mm, demuestra la tendencia a la disminución de la rugosidad superficial con el aumento de la velocidad de corte y la disminución del avance. Los valores más bajos de rugosidad superficial R_a 0,79 μm se obtuvieron con $V_c = 290$ m/min, $S = 0,2$ mm/r y $t = 2$ mm, no especificando el uso de fluidos refrigerante.

Kundu S, et al [4], en un estudio de la maquinabilidad, en máquinas CNC del acero AISI 316L, busca la optimización de los parámetros de corte, de forma tal, que se reduzca el costo y tiempo del mecanizado. Para ello, se lleva a cabo experimentación con herramientas recubiertas en diferentes regímenes de corte. Aquí, se demuestra como una buena calidad superficial se obtiene mediante el torneado con lubricación, a altas velocidades de corte, valores de velocidades de avance bajos, así como con profundidades de corte pequeñas.

Del Risco R [5], propone el mecanizado del acero AISI 316L, mediante el empleo de herramientas del tipo cerámicas. Se emplean avances entre 0,1 a 0,2 mm/rev y velocidades de corte entre 200 a 400 m/min, maquinando en secos y MQL (Mínima Cantidad de Lubricante), manteniendo una profundidad de corte de 0,5 mm. En el trabajo se analiza la progresión inicial del desgaste, la rugosidad superficial, así como las fuerzas de corte. Se concluye, que, cuando la productividad en el proceso de fabricación no es el objetivo fundamental, la mejor combinación de parámetros es: $V_c = 200$ m/min y $S = 0,1$ mm/rev, para el maquinado en seco, obteniéndose rugosidades superficiales de 0,47 μm ; mientras que en el maquinado con MQL, los valores obtenidos son de 0,42 μm . Cuando los costos de mano de obra y la energía representan una parte importante del costo total, típico de países de altos salarios, la mejor combinación de parámetros es $V_c = 400$ m/min, $S = 0,2$ mm/rev para el maquinado en seco, obteniéndose rugosidades superficiales de 0,5 μm , mientras que para el maquinado con MQL los valores obtenidos son de 0,37 μm .

Galanis N [6], maquinando acero 316L, realizan un estudio en el que se investiga la conexión entre los parámetros de corte y las fuerzas generadas en el torneado a altas velocidades de las cabezas femorales metálicas. El maquinado de estas piezas se caracteriza por realizarse con profundidad variable, ya que en el proceso de maquinado se sigue una ruta esférica. Como herramienta se usa una placa recubierta de Ti (C, N) + Al_2O_3 + Ti (C, N) + TiN, con lubricación de aceite soluble al 5 %. Como variables de corte se emplearon: V_c de 264 a 400 m/min, velocidades de avance de 0,06 a 0,12 mm/rev y profundidad de corte de 0,1 a 0,20 mm. Aquí se establece que los menores valores fuerzas de corte se obtienen con los mayores valores de velocidad de corte y menores valores de profundidad de corte y avance, condiciones que generaron también los mejores valores de calidad superficial, llegando a obtener R_a 0,15 a 0,20 μm .

Guangxian Li, [7] hace una comparación en el maquinado acero 316L obtenido por laminado y por impresión 3D, evaluándolos con respuestas de fuerza de corte y rugosidad superficial entre otros. Los experimentos se realizaron en seco, con valores de velocidad de corte relativamente bajas entre 40 y 120 m/min, velocidades de avance constante de 0,1 mm/rev y seis valores profundidad de corte en el rango de 0,05 a 0,6 mm. Como herramienta se empleó una placa de carburo de tungsteno. Desde el punto de vista de la rugosidad superficial, esta resultó mucho mejor en el maquinado de la barra laminada, obteniéndose rugosidades superficiales entre los 0,35 y 1,5 μm para profundidades de corte entre 0,05 y 0,6 mm a velocidades de corte de 80 m/min. Se apreció en los resultados que a partir de los 0,3 mm de profundidad de corte, el incremento de la rugosidad superficial empieza a aumentar mucho más rápido.

Junaidh A P, [8], maquinando, AISI 304, en seco, analiza la influencia de la velocidad de corte y la velocidad de avance en la rugosidad superficial, la fuerza de corte y desgaste de la herramienta. Se emplearon cuatro valores de velocidad de corte 50, 100, 150 y 200 m/min, así como tres valores de velocidad de avance 0,05- 0,1 - 0,15 mm/rev y un valor constante de profundidad de corte de 0,5 mm. La herramienta fueron placas no recubiertas de carburo de tungsteno.

Como resultado se obtuvo el mejor valor de rugosidad superficial de R_a 0,8 μm con la V_c de 150m/min y $S = 0,05$ mm/rev. Se concluye que un incremento de la velocidad de corte, disminuye los valores de fuerza de corte y mejora la calidad superficial.

Basmaci G, [9], optimizan las fuerzas de corte, rugosidad superficial y dureza en el torneado del acero AISI 316L, empleando como herramientas, insertos recubiertos bajo condiciones de torneado en seco, con refrigeración mediante CO₂ y MQL. Se emplearon velocidades de avance en el rango de 0,1-0,3 mm/rev y profundidades de corte de (0,1-0,3) mm. Se concluye que los parámetros de corte óptimos fueron: avance de 0.1 mm/rev, profundidad de corte 0,5 mm y sistema de refrigeración MQL. No se hace referencia a la velocidad de corte empleada.

Respecto a las condiciones de lubricación, en Munish KG, [10], se efectúan varios experimentos en acero inoxidable dúplex, maquinando en seco y MQL, esta última con tres diferentes posiciones de boquillas, en la superficie de ataque, superficie de incidencia y la combinación de las mismas. El trabajo se realizó con variables de corte constantes con Vc de 200 m/min, S de 0,2 mm/rev y profundidad de corte de 1 mm, Como material de herramienta se empleó una placa recubierta de CNMG 120408 MM MC7025.

Aquí se demostró que la menor rugosidad superficial se obtiene para condiciones MQL, cuando el chorro incide hacia las superficies tanto de incidencia y de ataque, alcanzando rugosidades de 1,5 μm .

En un estudio de las vibraciones y la rugosidad superficial en el torneado, empleando refrigeración normal y MQCL (mínima cantidad de lubricante frío, a temperaturas de 4 a 8 °C; solución al 5 % de aceite soluble; aire a presión de 6 Bar y un flujo de 30 ml/h, maquinando acero inoxidable AISI 304, realizado por Niancong L, [11], dio como resultado la disminución de las vibraciones y la mejora de los valores de rugosidad, Ra 0,5 μm , con Vc de 200 m/min, S de 0,2 mm/rev y profundidades de corte de 0,15 y 0,4 mm. El maquinado se realizó con una placa recubierta de radio de punta de 0,2 mm. Este comportamiento se atribuye a la penetración de la mezcla de aceites entre la herramienta y la pieza, lo que mejoró las condiciones de lubricación y disminuyó la temperatura.

Maruda [12], demuestra que la rugosidad superficial del acero inoxidable 316L, maquinado con placas recubiertas de (Ti, Al) N, con designación CNMG 120408 MM MC7025, y variables de corte de Vc -210 m/min, S- 0,1 mm/rev y 0,5 mm de profundidad de corte, depende del desgaste de la herramienta, que a su vez depende del método de enfriamiento empleado en la zona de corte. Se demuestra, como la aplicación de refrigeración MQL por el método de neblina, causa una reducción del espesor del desgaste abrasivo en la cara de incidencia en un 5-30 % en comparación con el mecanizado en seco. Los valores mínimos de rugosidad fueron obtenidos hasta 42 min de trabajo de la herramienta con valores de aproximadamente Ra 0,5 μm , para las condiciones de MQCL+EP (presión extrema) y MQCL, siendo mejores para MQCL+EP.

Los problemas ambientales han llevado a la búsqueda de fluidos de corte sostenibles. Algunos autores han investigado la idoneidad de varios aceites vegetales naturales como lubricantes en el mecanizado de acero inoxidable austeníticos, en el proceso de torneado, por el método MQL. Majak D, [13], emplea tres tipos de aceites vegetales naturales: aceite de palma, aceite de girasol y aceite de coco, analizando su influencia en la rugosidad superficial. Como resultado obtiene, que el aceite de girasol tiene un mejor desempeño como fluido de corte, a pesar de tener una viscosidad casi similar a los otros aceites, lo que demuestra que otros factores más allá de la viscosidad del fluido son responsables del desempeño de un lubricante. Chaizea E, [14], demuestra que la disminución del coeficiente de fricción en la interface herramienta pieza con el empleo de aceites vegetales no es significativo en la magnitud de las fuerzas resultantes del proceso, como tampoco en la magnitud de las tensiones residuales, justificando este comportamiento por la evacuación del aceite de forma rápida por la alta presión de contacto y el movimiento deslizante del material de trabajo.

A manera de conclusión, se puede plantear que, para lograr valores de rugosidad relativamente bajos durante el maquinado de los aceros inoxidables austeníticos, se deben emplear determinadas condiciones como: valores de Vc medios entre 150- 300 m/min, valores de avance en función del radio de punta de la herramienta en el rango de 0,06 a 0,1mm/rev y profundidad de corte de 0,4 a 0,5 mm. Se observa como aspecto fundamental el empleo de fluidos refrigerantes, de ser posible por el método de MQL. También se hace referencia al uso prioritario de placas de metal duro recubiertas para el corte.

En este trabajo se realizó un estudio de la rugosidad superficial del acero AISI 304, con el fin de alcanzar durante el proceso de torneado la mejor calidad superficial posible, abaratando los posteriores procesos de superacabados en los casos que se requieran. Para este fin se analizó la influencia de las variables de corte, así como otros aspectos que intervienen en el proceso.

2. Métodos y Materiales

En el desarrollo de este estudio, relacionado con la calidad superficial de los aceros inoxidables empleados en los insertos óseos, se emplearon métodos experimentales, así como una serie de equipamientos necesarios, los cuales se describen a continuación.

Materiales

La diferencia en la composición química en los aceros inoxidables austeníticos para implantes óseos, tienen efectos apreciables en cuanto a biocompatibilidad. Sin embargo, esto no influye significativamente en la calidad superficial obtenida durante el proceso de maquinado.

Por lo anterior, se decidió utilizar como material experimental el acero inoxidable austenítico AISI 304. En la tabla 1, se presenta su composición química.

Tabla 1. Composición química obtenida para las probetas de AISI 304. Fuente: autores

C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni
0,07	1,7	0,03	0,03	0,065	18,2	9,5

El material empleado, presentó una dureza de 200 HB.

Diseño experimental

Para la realización de los experimentos, se utilizó un diseño experimental de

$Z = 2 \times 4$, para un total de experimentos de 8, los que se repitieron dos veces para obtener resultados más confiables.

En los experimentos se usaron dos niveles de velocidad de corte, V_c m/min, y cuatro niveles de la velocidad de avance, S mm/rev, por ser estos los elementos más influyentes en la calidad superficial de estos materiales. Los valores de las variables y matriz experimental se presentan en la tabla 2.

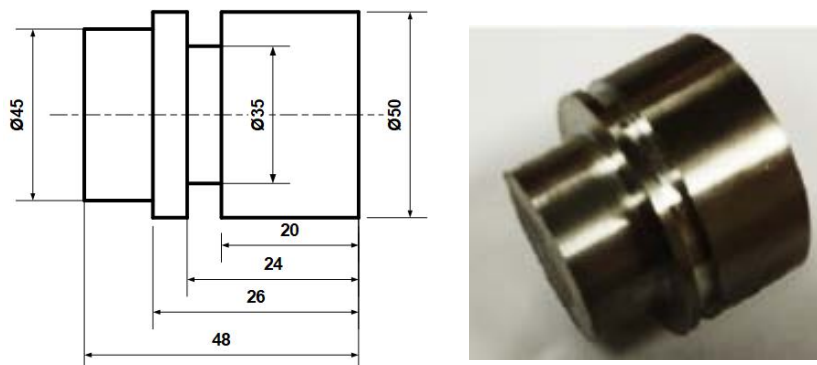
Tabla 2. Valores para las variables independientes. Fuente: autores

Experimento	V_c m/min	S mm/rev
1	180	0,10
2	180	0,08
3	180	0,06
4	180	0,04
5	250	0,10
6	250	0,08
7	250	0,06
8	250	0,04

En todos los casos se mantuvo constantes la profundidad de corte con un valor de 0,4mm

Pieza bruta

Para la realización de los experimentos, se utilizaron probetas con la configuración geométrica que se presenta en la figura 1.

**Fig. 1.** Geometría de la pieza bruta. Fuente autores

Máquina herramienta

La máquina herramienta utilizada, fue un torno CNC KAIDA, de procedencia China, modelo KDCL-15B, con control FANUC.

Herramienta de corte

Como herramienta de corte se utilizaron placas de la firma sueca SECO, recubierta de nitruro de titanio con ángulo de punta 55° y radio de punta de 0,4 mm con código DCMT11T304-F1 CP500, figura 2.

**Fig. 2.** Placa recubierta de nitruro de titanio código VCMT110304-03TIN16. Fuente autores

La medición de la rugosidad superficial de cada pieza, se hizo en unidades de Rugosidad Media Aritmética (R_a), con un rugosímetro Mitutoyo, modelo SJ – 210. Se empleó un cut off de $\lambda = 0,8$.

Se realizaron varias mediciones a cada superficie en cuatro puntos diferentes, obteniéndose, posteriormente valores promedio, figura 3.



Fig. 3. Rugosímetro Mitutoyo, modelo SJ – 21. Fuente autores

Antes de realizar cada experimento, las probetas, una vez montadas en la máquina, se sometieron a un maquinado preliminar con el fin de eliminar alguna excentricidad en su instalación. Este maquinado se realizó con las siguientes variables de corte: $t = 0,2 \text{ mm}$; $S = 0,3 \text{ mm/rev}$ y $V_c = 165 \text{ m/min}$.

Los experimentos se realizaron con fluido refrigerante aceite soluble al 5 %. Cada experimento se realizó dos veces

3. Resultados

Realizados los experimentos en las condiciones expuestas en la tabla 2, los resultados obtenidos se presentan en la tabla 3. Para su mejor comprensión y facilitar los análisis, se realizan los gráficos de rugosidad superficial vs velocidad de avance, figura 4 y rugosidad superficial vs velocidad corte, figura 5.

Tabla 3. Valores promedios de rugosidad superficial $R_a \text{ } \mu\text{m}$ obtenidos. Fuente autores

Experimento	V_c m/min	S mm/rev	R_a promedio μm
1	180	0,10	0,977
2	180	0,08	0,701
3	180	0,06	0,384
4	180	0,04	0,204
5	250	0,10	0,779
6	250	0,08	0,563
7	250	0,06	0,329
8	250	0,04	0,198

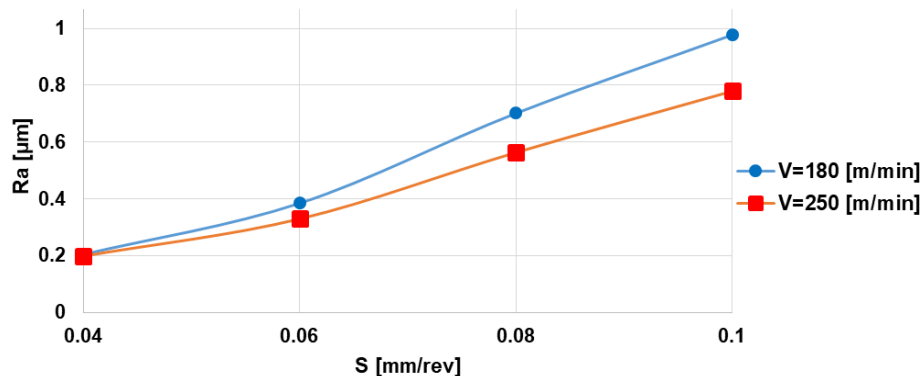


Fig. 4. Rugosidad superficial vs velocidad de avance. Fuente autores

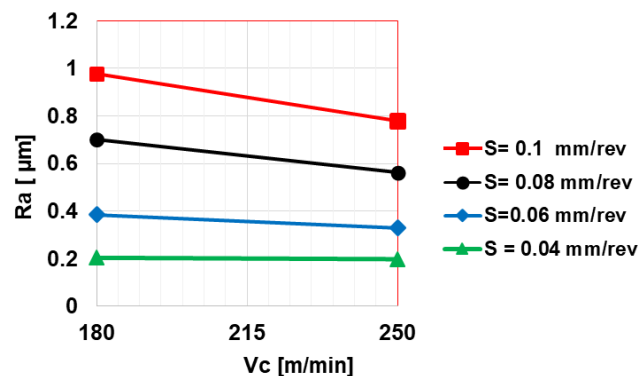


Fig. 5 Rugosidad superficial vs velocidad de corte. Fuente autores

Análisis de regresión

En la tabla 4, se representa el análisis de regresión de los resultados obtenidos.

Variable dependiente: Ra

Número de observaciones: 8

Tabla 4. Resultados del análisis de regresión. Fuente autores

Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico T	Valor-P
Constante	-0,0135195	0,0225338	-0,599964	0,5705
$Vc^{-0,48}S^{1,63}$	501,387	19,0476	26,3228	0,0000

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,564094	1	0,564094	692,89	0,0000
Residuo	0,00488472	6	0,000814119		
Total (Corr.)	0,568979	7			

R-cuadrada = 99,1415 porciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 98,9984 porciento

Error estándar del estimado = 0,0285328

Error absoluto medio = 0,0206493

Estadístico Durbin-Watson = 2,06487 (P = 0,4592)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0,13217

StatAdvisor

La salida muestra los resultados de un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre Ra y las variables independientes

$$Ra = -0,0135195 + 501,387 Vc^{-0,48}S^{1,63} \quad (1)$$

4. Discusión

En la figura 4, se observa que, al incrementar la velocidad de avance, trae consigo un deterioro de la calidad superficial con un incremento de los valores de Ra, lo que confirma lo establecido en [3-9].

Los mejores valores de rugosidad superficial se obtuvieron con velocidad de avance de 0.04 mm/rev, para cualquiera de las velocidades de corte utilizada, Ra 0,198 y 0,204 μ m para 250 y 180 m/min, respectivamente.

En la figura 5, se confirma el planteamiento de que un incremento de la velocidad de corte conlleva a una disminución de la rugosidad superficial para este tipo de materiales. No obstante, se observa que, a valores de velocidad de avance pequeños, 0,04 mm/rev, en el rango de velocidad de corte analizado, ese efecto se ve disminuido, lo que coincide con [8].

Del análisis de regresión se concluye que:

Dado que el valor P, en la tabla, es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0 %. R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 99,1415 % de la variabilidad en Ra. R-Cuadrada ajustada que es más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 98,9984 %, lo que indica que el modelo explica la variabilidad en Ra muy bien. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,0285328, lo que sugiere que las predicciones del modelo son precisas. El error absoluto medio (MAE) de 0,0206493 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en el archivo de datos. Este valor y la autocorrelación de residuos sugieren que no hay evidencia de autocorrelación en los residuos del modelo. En resumen, los resultados indican que el modelo de regresión múltiple es altamente significativo y se ajusta bien a los datos disponibles.

Conclusiones

Con el propósito de alcanzar la mejor calidad superficial durante el maquinado en tornos CNC del acero AISI 304 bajo determinadas condiciones de trabajo, se confirma el criterio que con un incremento de la velocidad de avance, se produce un deterioro de la rugosidad superficial en las piezas, así como con un incremento de la velocidad de corte se produce una mejoría de este parámetro. Se debe destacar que los bajos valores de rugosidad superficial obtenidos durante el proceso de torneado, son comparables por sus magnitudes a los que se obtienen en procesos de superacabados, realizados en pasos posteriores al proceso de maquinado.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo de la Empresa de Mantenimiento a Centrales Eléctricas Emilio Ayala Molin, EMCE, así como a sus directivos por su colaboración en la realización de este trabajo.

Referencias

- Philip A, Chakraborty K. Some studies on the machining behaviour of 316L austenitic stainless steel. *Materials-today-proceedings*. 2022;56(2):681-685. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.132>
- Szwajka K, Zielin J, Trzepiecin T. Improving the Surface Integrity of 316L Steel in the Context of Bioimplant Applications. *Materials* 2023;16:3460. <https://doi.org/10.3390/ma16093460>
- Ozerkan HB. Theoretical investigation of the effect of surface roughness on the fatigue life of austenitic stainless steels. *Materials today: proceeding*. 2019;11(1):417-422. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.01.006>
- Kundu S, Choudhuri B, Sen R. CNC machinability study of AISI 316L and optimization of machining parameters using TLBO algorithm. *Materials today: proceedings*. 2022;62(2):1218-1225. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.473>
- Del Risco R, Pérez R, Zambrano P, Rivas R, Quiza R. Optimization of the cutting regime in turning of the AISI 316L steel for biomedical purposes based on the initial progression of tool wear. *Metals*. 2021;11(11):1698. <https://doi.org/10.3390/met11111698>
- Galanis N, Manolacos D. Forces measurement in turning of femoral heads from AISI 316L. *Journal of Manufacturing Technology Research*. 2010;2(1-2):1-16.
- Guangxian L, Weiwei X, Xin J, Lu L, Songlin D, Chaojiang L. The machinability of stainless steel 316L fabricated by selective laser melting: Typical cutting responses, white layer and evolution of chip morphology. *Journal of Materials Processing Technology*. 2023;315:117-926. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2023.117926>
- Junaidh A, Yuvaraj G, Peter J, Bhuvaneshwari V, Kanagasabapathi, Karthik K. Influence of process parameters on the machining characteristics of austenitic stainless steel (AISI 304). *Materials Today: Proceedings*. 2018;5(5):13321-13333. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.02.324>
- Basmaci G, Ay M. Optimization of cutting parameters, condition and geometry in turning AISI 316L stainless steel using the grey-based taguchi method. *Acta physica Polonica, A*. 2017;131(3):354-358. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.131.354>
- Munish KG, Mehmet B, Mehmet EK, Nafiz Y, Mustafa G, Grzegorz MK. Measurement and analysis of machining induced tribological characteristics in dual jet minimum quantity lubrication assisted turning of duplex stainless steel. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*. 2022;187:110-353. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110353>
- Niancong L, Baolin L, Hao J, Shenghong W, Chengwen Y, Yun C. Study on vibration and surface roughness in MQCL turning of stainless steel. *Journal of manufacturing processes*. 2021;65:343-353. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.03.041>
- Maruda RW, Legutko S, Krolczyk JB, Wojciechowski S, Kot W. The Influence of the Application of EP Additive in the Minimum Quantity Cooling Lubrication Method on the Tool Wear and Surface Roughness in the Process of Turning 316L Steel. In: *Advances in Manufacturing Engineering and Materials. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. USA: Springer, Cham; 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99353-9_28
- Majak D, Olugu E U, Lawa SA. Analysis of the effect of sustainable lubricants in the turning of AISI 304 stainless steel. *Procedia Manufacturing*. 2020;43:495-502. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.183>
- Chaizea E, Dumonta F, Truffart B, Girinonc M, Brossed A, Dorline T, et al. Influence of lubrication mode on residual stress generation in turning. *ScienceDirect. Procedia CIRP* 2022;108:390-393. DOI: 10.1016/j.procir.2022.04.074

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

Irene Aznárez Ferrando. <http://orcid.org/0000-0003-1945-817X>

Participó en la estructuración, organización y dirección del trabajo. Así como en la realización y medición de los parámetros de rugosidad superficial de la primera y segunda serie de experimentos. Realizó la revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del trabajo final.

Mario Jacas Cabrera. <http://orcid.org/0000-0002-5040-8990>

Participó en la estructuración, organización y dirección del trabajo. Así como en la realización y medición de los parámetros de rugosidad superficial de la primera y segunda serie de experimentos. Realizó la revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del trabajo final.

Reynaldo Rodríguez Pérez. <http://orcid.org/0009-0007-8807-4029>

Participó en la estructuración y organización del trabajo así como en la recopilación bibliográfica. Realizó la revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del trabajo final.

José Carlos Gálvez Cardentey. <http://orcid.org/0000-0002-3589-5866>

Participó en realización de la segunda serie de experimentos y en el análisis estadístico. Realizó revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del trabajo final.

Luis Daniel Tamayo Sixto. <http://orcid.org/0009-0007-8891-2619>

Participó en la realización de la segunda serie de experimentos así como en la medición de los parámetros de rugosidad superficial. Realizó la revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del trabajo final.