

Tecnología de recuperación de un eje del torno 16K20

Lathe shaft recovery technology 16K20

Eikandel Matos Mendoza emmendoza@mecanica.ismm.edu.cu ⁽¹⁾

Jesús Manuel Viera Callar jvcallar@mecanica.ismm.edu.cu ⁽¹⁾

Uberlandis Torrell Quinta utquinta@mecanica.ismm.edu.cu ⁽¹⁾

Andier Samiñón Durán asaminond@ismm.edu.cu ⁽¹⁾

Raquel Matos López mlopez@mecanica.ismm.edu.cu ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad de Moa (Cuba)

Resumen: Se diseñó una metodología para la recuperación de un eje ubicado en la caja de avance del torno 16k20, el cual ha sufrido desgaste por fricción de una de las estrías a través de la soldadura por arco eléctrico. Se especifican las propiedades del material, con especial énfasis en el acero AISI 1045, su composición química específica, resistencia y dureza de este material. Se determinó el carbono equivalente y la temperatura de calentamiento necesaria para lograr una soldadura efectiva, y se realizaron los cálculos asociados con la intensidad de corriente, la tensión de arco eléctrico, la velocidad de soldadura y el calor aportado. Se destaca la importancia de comprender los efectos de la soldadura en el material base, incluyendo gradientes de temperatura, microestructuras y tensiones residuales.

Palabras clave: eje estriado, máquinas herramientas, torno mecánico, recuperación por soldadura

Abstract: A methodology was designed for the recovery of a shaft located in the feed box of the 16k20 lathe, which has suffered friction wear of one of the splines through electric arc welding. The properties of the material are specified, with special emphasis on AISI 1045 steel, its specific chemical composition, resistance and hardness of this material. The carbon equivalent and the heating temperature necessary to achieve effective welding were determined, and the calculations associated with the current intensity, electric arc voltage, welding speed and heat input were performed. The importance of understanding the effects of welding on the base material, including temperature gradients, microstructures and residual stresses, is highlighted.

Keywords: splined shaft, machine tools, mechanical lathe, welding recovery

Introducción

Cuba es un país con una industria manufacturera en constante crecimiento. El proceso de fabricación de piezas combina tecnología moderna y habilidades artesanales. De esta asociación resultan piezas duraderas y confiables.

Según Rodríguez (2023) la elaboración y recuperación de piezas son de gran importancia para la economía, al solucionar problemas existentes en las empresas para crear bienes materiales y de servicios y reducir pérdidas económicas. Para garantizar la productividad es importante lograr un óptimo aprovechamiento de los recursos disponibles. En economías en desarrollo se precisa de la capacidad creativa de profesionales técnicos minimizando los costos de producción y reparación (Ferrer, 2015; Rubino, 2022; Martínez, 2023; Guerra, 2024).

La Empresa Mecánica del Níquel (EMNI) en Moa es una de las mayores industrias pertenecientes a la Unión del Níquel, la cual consta de una serie de Unidades Empresariales de Bases (UEB), como es la unidad de maquinado, que presenta gran variedad de máquinas herramientas, tales como el torno 16k20 herramienta que cumple un rol esencial para la empresa (Viera Callar *et al.*, 2024). Señalan Fernández-Columbié, *et al.* (2023) que, para el deterioro prematuro por efecto del desgaste en partes y piezas empleadas en la industria del níquel, una alternativa viable para garantizar la continuidad de los procesos es recurrir a aleaciones resistentes.

El torno 16K20 es una herramienta ampliamente utilizada en la industria por lo que varias investigaciones proponen soluciones para su recuperación. González (2009) confecciona un algoritmo de programación para la realización del programa de cálculo para la determinación de parámetros de trabajo en máquinas herramientas como el torno 16k20; Céspedes (2015) analiza la recuperación de los carros longitudinales de este torno con el uso del Autocril reforzado; mientras Viera Callar *et al.* (2024) proponen el restablecimiento de parámetros de diseño de una rueda dentada cilíndrica de dientes rectos del torno.

En este trabajo se expone un procedimiento para la recuperación de un eje del torno 16K20 ubicado en la empresa mecánica del níquel de Moa desgastado por fricción de una de las estrías a través de la soldadura por arco eléctrico.

Materiales y métodos

Descripción del eje

El eje, de acero AISI 1045, tiene un diámetro exterior de 40 mm, la parte estriada es de 35 mm. La pieza de 317 mm de largo, tiene en sus bordes biseles de 2x30°, contiene en uno de sus extremos un tornillo de con diámetro máximo $\Phi 10.2 \times 60^\circ$ con una rosca M10 y largo 36.5 mm. Este eje tiene la función de transmitir movimiento al carro porta herramienta a través de un tornillo sinfín en dirección horizontal.

Composición química del acero AISI 1045

La composición química de este acero se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Composición química del acero AISI 1045

C%	Si%	Mn%	Cr%	Mo%	Ni%
0,45	0,25	0,65	0,40	0,10	0,40

Propiedades físicas-mecánicas del acero AISI 1045

El acero AISI 1045 tiene un contenido de carbono medio, presenta buena maquinabilidad, gran forjabilidad y excelente resistencia a la tracción. Es fácilmente moldeable y manejable por lo que es empleando en múltiples piezas de maquinarias. Puede ser sometido a diversos procesos térmicos para mejorar sus propiedades mecánicas (Nivicela *et al.*, 2022; Bolaños *et al.*, 2023; García, 2023).

Metodología de cálculo para la recuperación de la pieza por soldadura

Cálculo del carbono equivalente

En los aceros al carbono y de baja aleación la propiedad de templabilidad determina, en muchos casos, la propiedad de soldabilidad. El contenido de carbono es el que más afecta esta propiedad, de ahí que la influencia de los elementos químicos que componen el acero sobre la templabilidad se cuantifican a partir del carbono equivalente (C_{eq}), a través de la ecuación:

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+V+Mo}{5} + \frac{Ni+Cu}{15}$$

Cálculo del carbono equivalente total

Se determina a través del carbono equivalente y el ancho de la chapa.

$$C_T = C_{eq}(1 + 0,005 \cdot S)$$

Donde

S: Ancho de la chapa (mm)

Cálculo de la temperatura de calentamiento

La temperatura de calentamiento depende del carbono equivalente y ayuda a obtener una mejor soldadura.

$$T_{prec} = 350 \cdot \sqrt{C_T - 0,25}$$

Donde

T_{prec} : Temperatura de precalentamiento (Co)

Ciclo térmico de soldadura

El ciclo térmico de soldadura depende específicamente de la intensidad de la corriente eléctrica y del diámetro que posea el electrodo.

Cálculo de la intensidad de la corriente

La intensidad de la corriente depende del diámetro del electrodo, el cual se selecciona atendiendo al espesor del material base y al tipo de construcción soldada. El revestimiento y la posición del cordón en el espacio influyen en la magnitud de la intensidad.

$$I_s = 2,5 \cdot (d_e)^2 + 35,5 \cdot d_e - 18$$

Donde

I_s : Intensidad de corriente de soldadura (A)

d_e : Diámetro del electrodo (mm)

Cálculo de tensión del arco eléctrico

La función de la tensión es estabilizar el arco eléctrico y proporcionar un cordón liso, se muestra de acuerdo a la intensidad de corriente.

$$U_a = 0,05 \cdot I_s + 10 \text{ (V)}$$

Cálculo de la velocidad de soldadura

Es el recorrido del electrodo a una velocidad de soldadura adecuada fundiendo una porción del material base y adicionando material de aporte producto de su fusión.

$$V_s = \frac{a_d \cdot I_s}{F \cdot \rho}$$

Donde

a_d : Coeficiente de aporte g/A. h ($\approx 10 \% I_s$)

F: Área de la sección del cordón (cm²)

ρ : Densidad del material fundido (g/cm³)

Cálculo del calor aportado

Se determina por la relación entre la tensión del arco, la corriente de soldadura y la velocidad de soldadura.

$$Q = \frac{U_a \cdot I_s}{V_s}$$

Cálculo de la energía lineal del proceso de soldadura

Al depositar una pasada de soldadura sobre la superficie de una placa, el flujo de calor afecta cada punto produciendo tensiones en función de la distancia a la fuente de calor.

$$E_L = 60 \cdot \eta \frac{U_a \cdot I_s}{V_s}$$

Donde

η : Eficiencia de la fuente de calor o rendimiento (%).

Longitud del charco de soldadura

Es la longitud que debe desplazarse el electrodo para cubrir la grieta que se deba soldar.

$$L_l = \frac{Q}{2\pi \cdot \lambda \cdot (T_c - T_0)}$$

Donde

L_l : Longitud del charco de soldadura (m)

Q: Energía entrante (W)

λ : Conductividad térmica; W/m °K

T_c : Temperatura de fusión; °C

T_0 : Temperatura inicial; °C

$$Q = q \cdot l$$

Donde

q: Energía de calor (J/m)

l: Longitud a soldar (m)

$$q = \frac{I_s \cdot U_a}{V_s} \cdot \eta$$

Cálculo de costo del proceso de soldadura

$$t_0 = \frac{\rho(F)l}{kH \cdot I_s} \quad (\text{min})$$

Cantidad de electrodos de soldadura

$$c_e = \frac{F \cdot l \cdot \rho}{10^6} \cdot 1,2 \quad (\text{Kg})$$

Itinerario tecnológico para la fabricación de la pieza

Para la fabricación de las estrías del eje se llevan a cabo el torneado y el fresado.

Mediante el torneado se biselan los bordes $2 \times 30^\circ$. Para determinar los regímenes de corte del torneado se utilizará un torno modelo 16k20. Se emplean diferentes herramientas de corte, las mismas se escogieron teniendo en cuenta el tipo de material y las operaciones.

En el proceso de fresado mediante el arranque de virutas se le realizan las estrías al eje hasta llevarla a su diseño original. Esto es posible gracias a una amplia gama de herramientas con diferentes diámetros y diferentes durezas.

Velocidad del husillo

La velocidad de husillo debe ser regular para poder garantizar un correcto contacto entre la cuchilla y la pieza. Se determina por la ecuación:

$$V_h = \frac{C_v}{T^m \cdot t^Y \cdot S^{XV}} \cdot K_v \quad (\text{m/min})$$

Donde

T: tiempo de durabilidad de la herramienta (min)

t: profundidad del corte (mm)

S: Avance, (mm/rev)

Profundidad de corte

$$t = \frac{D-d}{2} \quad (\text{mm})$$

Donde

D: diámetro/longitud del semiproducto (mm)

d: diámetro/longitud del producto (mm)

K_v : coeficiente de corrección

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{ev} \cdot K_{sv} \cdot K_{cv} \cdot K_{qv} \cdot K_{iv} \cdot K_{rv} \cdot K_{\gamma v} \cdot K_{\eta\phi\omega}$$

Frecuencia de rotación del husillo

Para conocer el número de revoluciones requerido para el mecanizado de la pieza se tendrá en cuenta el diámetro del semiproducto y la velocidad empírica del husillo. Una vez determinado este valor se corrige el mismo en el pasaporte de la máquina para conocer el número de revoluciones real con que se puede realizar dichos procesos.

$$n = \frac{1000 \cdot V_h}{\pi \cdot D} \quad (\text{rev/min})$$

Velocidad de corte real

Se determina por el número de revoluciones y el diámetro del semiproducto a mecanizar.

$$V_{cr} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (\text{m/min})$$

Potencia de corte

La potencia de corte necesaria para realizar el mecanizado se determina teniendo en cuenta la fuerza de corte que actúa, así como la velocidad de corte.

$$N_c = \frac{P_z \cdot V_c}{6120} \quad (\text{kW})$$

Donde

P_z : fuerza de corte (kgf)

Fuerza de corte

$$P_z = C_{fz} \cdot t^{x_{fz}} \cdot S^{y_{fz}} \cdot k_{fz}$$

Donde

k_{fz} : coeficiente de corrección

$$k_{fz} = K_{mfz} \cdot K_{vfz} \cdot K_{\phi fz} \cdot K_{\gamma fz} \cdot K_{hfz} \cdot K_{rfz} \cdot K_{lfz}$$

Potencia del husillo

Esta será superior que la potencia de corte o no se podrá realizar el proceso.

$$N_h = N_m \cdot \eta \quad (\text{kW})$$

$N_h \geq N_c$, esta condición debe de cumplirse para que se pueda realizar el maquinado.

Donde

N_h : Potencia del husillo, (kW)

N_m : potencia del motor, (kW)

Refrentado

Para este se necesita el diámetro y la profundidad de corte.

$$T_m = \frac{L}{n \cdot S} \cdot i \quad (\text{min})$$

$$L = \frac{D}{2} + y + \Delta$$

Donde

L : longitud, (mm)

n : número de revoluciones, (rev/min)

i : número de pasadas, (mm)

D : diámetro de la pieza en bruto, (mm)

$$\Delta = 1 \dots 3$$

$$y = t \cdot \cot \phi$$

Donde

ϕ : ángulo principal de posición

Cilindrado no pasante

$$T_m = \frac{L}{n \cdot S} \cdot i \quad (\text{min})$$

Regímenes de corte para el fresado

Velocidad del husillo

Es la velocidad mínima de rotación que debe tener la herramienta de corte para poder mecanizar la pieza.

$$V_h = \frac{CT \cdot D_f}{T^m \cdot S_z \cdot B^F \cdot Z^n} \quad (\text{m/min})$$

Donde

CT: Factor cuya magnitud depende del metal que se elabora (25.5)

T: Durabilidad de fresa

B: Ancho de corte (mm)

Sz: Avance por diente

Número de revoluciones

Número de vuelta que pretende la fresa o herramienta de corte teniendo en cuenta la velocidad de corte y el diámetro de la fresa.

$$n = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D_f} \quad (\text{rev/min}) .$$

Velocidad de corte

Rapidez con la cual se efectúa el arranque de virutas por unidad de tiempo.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D_f \cdot n}{1000} \quad (\text{m/min})$$

D_f: Diámetro de la fresa (mm)

Avance longitudinal

Al girar la pieza sobre sí misma la herramienta avanza longitudinalmente reduciendo el diámetro del cilindro. Se tiene en cuenta el avance por diente y la frecuencia de rotación del husillo.

$$S_m = S_z \cdot Z \cdot n_r \quad (\text{mm/min})$$

Fuerza de corte

$$P_z = P \cdot F \text{ (kgf)}$$

Donde

P: Presión específica (kgf/mm²)

Área de la sección transversal

$$F = a \cdot b.$$

Donde

$$a = 0,9 \cdot S_z$$

Cálculo de la potencia de corte efectiva

La potencia de corte se determina por la fuerza de corte de la herramienta y la pieza, y la velocidad de corte real.

$$N_c = \frac{P_z \cdot V_{cr}}{6120} \text{ (kw)}$$

$$N_c \leq N_h$$

$$N_h = N_{mot} \cdot \eta$$

Momento torsor

El momento torsor es la componente paralela al eje longitudinal del momento de fuerza resultante de una distribución de tensiones sobre una sección transversal del prisma mecánico. Relaciona la fuerza de corte, el diámetro de la freza y la longitud a mecanizar.

$$M_{tor} = \frac{P_z \cdot D_f}{L}$$

Tiempo de maquinado de la fresa

Es el tiempo que tarda la fresa para realizar el corte según el avance por minuto que tenga la misma y la longitud que tenga que mecanizar.

$$T_m = \frac{L}{S_m} \cdot i \text{ (min)}$$

Donde

L: Largo del desplazamiento del útil o de la pieza (mm)

S_m: avance por minuto de la herramienta o pieza (mm/min)

$$L = l + y + \Delta$$

Donde

Δ : magnitud de la salida o carrera libre de la herramienta

Y: es la magnitud (el camino) de la entrada (mm)

$$Y = \sqrt{t(Df - t)} \quad (\text{mm})$$

Determinación del tiempo por unidad de producción

Es el tiempo utilizado para desarrollar el proceso en el cual se toman en cuenta los tiempos auxiliares durante el trabajo.

$$T_{pu} = T_b + T_a + T_{org} + T_{dnp} + T_{pt}$$

$$T_b = \sum T_b$$

$$T_a = 0,20 \cdot T_b$$

$$T_{pt} = 0,06 \cdot T_b$$

$$T_{org} = T_b + T_a$$

Donde

T_{pu} : Tiempo por unidad de producción, (min)

T_b : Tiempo básico, (min)

T_{org} : Tiempo organizativo, (min)

T_{dnp} : Tiempo de descanso por necesidades personales, (min)

T_{pt} : Tiempo del proceso tecnológico, (min)

T_a : Tiempo auxiliar, (min)

Resultados y discusión

Análisis del proceso de la recuperación de la pieza por soldadura

Para la recuperación de la pieza por soldadura por arco eléctrico se deben tener en cuenta factores como la preparación de la pieza, selección del material de aporte, diámetro del electrodo y método de soldeo que en este caso fue SMAW donde el coeficiente del depósito se encuentra entre 8,9-9,5%. En la tabla 2 se aprecian los resultados más significativos de la recuperación por soldadura de la pieza.

Tabla 2. Recuperación de la pieza por soldadura

Parámetro	Resultados	UM
C_{eq}	0,685	%
C_T	0,801	%
T_{prec}	259,909	°C
I_s	121,2	A
U_a	16,06	V
V_s	0,002	m/s
Q	0,786	kJ/mm
E_L	$3,303 \times 10^4$	J/m
L_l	0,046	m
t_0	1,881	min
c_e	$4,332 \times 10^{-8}$	Kg

Análisis de la metodología para el torneado

Para un régimen racional de maquinado se debe tener en cuenta la velocidad del husillo, número de revoluciones, velocidad de corte, potencia del husillo y potencia de corte según el material y dimensiones de la pieza a maquinar. En la tabla 3 se aprecian los resultados obtenidos de cada uno de los parámetros establecidos para la metodología del torneado, así como el tiempo de refrentado y el tiempo de cilindrado no pasante de la parte de la pieza en el cual se le va a realizar el proceso.

Tabla 3. Regímenes de corte determinados para el torneado

Parámetro	Resultado	Unidad de medida
V_H	5,658	m/min
n	50	rev/min
V_c	6,126	m/min
N_c	0,175	kW
N_H	7,5	kW
Tiempo de refrentado		
T_m	1,807	min
Tiempo de cilindrado no pasante		
T_m	2,92	min

Al desconocer los parámetros de la velocidad de corte y número de revoluciones reales con que debe trabajar la máquina, es necesario calcular la velocidad del husillo que permita determinar los parámetros. Una vez determinado esto se puede definir que el número de revoluciones necesario es de 50 rev/min, la velocidad de corte 6,126 m/min, la potencia de corte es de 0,175 kW. Además de esto se comprobó que es posible realizar el maquinado ya que la potencia de corte es menor que la potencia del husillo.

Análisis de la metodología para el fresado

Las fresas son herramientas de corte optimizadas para cumplir con los exigentes requisitos de la industria mecánica. La Tabla 4 muestra los resultados de la metodología aplicada para el fresado.

Tabla 4. Regímenes de corte determinados para el fresado

Parámetro	Resultado	Unidad de medida
V _H	2,01	m/min
n	50	rev/min
V _c	1,571	m/min
S _m	22	mm/min
M _{tor}	27,123	Kgfm
N _c	0,175	kW
N _H	7,5	kW
Tiempo de fresado		
T _m	12	min

Mediante la tabla 4 se puede apreciar una buena rigidez por medio de la máquina y una potencia suficiente para realizar todas las operaciones necesarias. Se obtuvieron los resultados de la velocidad del husillo, 2,01 m/min, la velocidad de corte, 1,571 m/min, así como potencia de corte que tiene un valor de 0,175 kW. Se pudo comprobar que la potencia de corte es menor que la potencia del husillo. También se obtuvo un resultado factible del tiempo de fresado de 12 min.

Análisis de tiempo por unidad de producción

En la tabla 5 se muestran los resultados obtenidos a través de la metodología de cálculo realizada para la determinación de los tiempos por unidad de producción.

Tabla 5. Regímenes de corte determinados para el fresado

Parámetro	Resultado	Unidad de medida
T _b	18,717	min
T _a	3,64	min
T _{pt}	1,123	min
T _{org}	22,26	min
T _{dnp}	3	min
T _{pu}	49,044	min

Los tiempos de proceso de recuperación de un eje estriado son significativamente altos, lo que indica ineficiencia en la producción. Es necesario implementar medidas de optimización en los procesos para reducirlos y mejorar la eficiencia en la producción. La

búsqueda de formas más sostenibles de producción y consumo es crucial para lograr un equilibrio entre la demanda de recursos naturales y la protección del medio ambiente.

Conclusiones

El análisis bibliográfico permite conocer los aspectos relacionados con la máquina torno, tipos de desgaste, así como las características del acero AISI 1045.

Se presenta las metodologías de cálculo para la recuperación por soldadura, así como el proceso de maquinado de la pieza. También se delineó el itinerario tecnológico para la recuperación del eje, detallando las máquinas que participan en el proceso.

Se analiza los resultados obtenidos a través de los procesos de recuperación por soldadura y maquinado del eje.

Referencias bibliográficas

Bolaños, F., Caicedo, J. Alfonso, C. Santeliz A. y Porrello, A. (2018). Evaluación del comportamiento mecánico de un acero AISI 1045 sometido a tratamientos térmicos. *Ingeniería UC*, 25(1). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70757668013>

Céspedes, R. (2015). Viabilidad del uso del Autocril reforzado con polvo de grafito para la recuperación de guías de máquinas herramientas. *Ciencia & Futuro*, 5(2), 57-80. <https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistacyf/article/view/1075>

Fernández-Columbié, T., Rodríguez-Piñeiro, A.J., Suárez-Torres, L. & Guzmán-Romero, E.E. (2023). Caracterización de una fundición blanca del tipo ASTM A 532 clase III tipo A. *Ingeniería Mecánica*, 26(3), 1-8. <https://ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/752>

Ferrer, B. (2015). Mantenimiento preventivo en reductor de velocidad de grúas indias de extracción de mineral. *Ciencia & Futuro*, 5(1), 68-89. <https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistacyf/article/view/1026>

García, C. J. (2023). Estudio simulación esfuerzos en acero AISI/SAE 1045 por medio modelación en SolidWorks. *Ingente Americana*, 3(3), 1-10. <https://doi.org/10.21803/ingecana.3.3.669>

- González, E. (2009). *Software para el cálculo de los parámetros de trabajo en Máquinas Herramienta Tornos convencionales*. (Trabajo de Diploma, Instituto Superior Minero Metalúrgico). <http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/3155>
- Guerra, S. (2024). Determinación de productividad en la industria cubana. *Revista de análisis económico*, 39(1), 45-58. <http://dx.doi/10.4067/S0718-88702024000100045>
- Martínez, F. (2023). Capacitación, elemento esencial en mantenimiento, tema sin adecuada atención en el sistema empresarial. *Revista Cubana de Educación Superior*, 42(2), 189-201. <https://revistas.uh.cu/rces/article/view/6934>
- Nivicela, L.M. Peñarreta, C.G. & Calle, J. I. (2022). Análisis de componentes críticos de una plegadora hidráulica con elementos finitos. *Revista Ingenio*, 19(1), 28-37, <https://doi.org/10.22463/2011642X.3094>
- Rodríguez, S. (2023). Tecnología de maquinado por el método de arranque de virutas para la fabricación de una toma de fuerza para un tractor MTZ 80. *Ciencia y Futuro*, 13(4), 597-612. <https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistacyf/article/view/2424>
- Rubino-de la Cruz, R. (2022). Recuperación de los cubos de los cargadores frontales de transporte en la empresa minera del níquel en Cuba. *Minería y Geología*, 38(1), 168-176. <https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/2117/1716>
- Viera Callar, J. M., Guzmán Romero, E.E., Cervantes Hinojosa, N., Montañez Planas, V.M. & Rodríguez Ismar, M. (2024). Restablecimiento de parámetros de diseño de una rueda dentada cilíndrica de dientes rectos del torno 16K20. *Ciencia & Futuro*, 14(2), 199-213. <https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistacyf/article/view/2547>