

METODOLOGÍA PARA EL MONTAJE DE CAMISAS DE BRONCE EN EJES DE PROPULSIÓN PARA LANCHAS RÁPIDAS.

Inv. Agreg. Master CT E. Pérez, T civ. A. Ramos, Inv. Aux. Dr CT A. Bueno
CIDNAV. Cuba

RESUMEN

El presente trabajo muestra una guía metodológica práctica para la realización de los trabajos de montaje de camisas de bronce en los ejes de propulsión de aceros al carbono de alta calidad y aceros aleados, empleados en lanchas rápida cuyos diámetros oscilan de 40 a 180 mm. Consta de los siguientes epígrafes: Introducción, Preparación y comprobación en maquinado del semiproducto de la camisa de bronce y el cuello del eje antes del montaje, Prueba hidráulica de los bujes antes del montaje, Cálculo de la temperatura necesaria de calentamiento del buje para su montaje, tiempo de permanencia en horno y tiempo de maniobra para el montaje, Otros aspectos tecnológicos de importancia a tener en cuenta durante el proceso de embujado de las líneas de ejes, Conclusiones y Referencias Bibliográficas.

INTRODUCCIÓN

Los materiales que se utilizan para la fabricación de las líneas de ejes de las embarcaciones rápidas deben reunir una serie de características, de forma tal que puedan satisfacer las exigencias del régimen de trabajo a las que se someten, dentro de las cuales , entre otras, podemos mencionar las siguientes:

- Resistencia mecánica y elasticidad al mismo tiempo
- Resistencia a la fatiga
- Facilidad a la elaboración mecánica
- Estructura molecular homogénea sin tensiones residuales
- Resistencia a la corrosión
- Mínimo de peso

En la práctica naval los materiales que reúnen las características antes mencionadas y han encontrado un amplio empleo en la elaboración de líneas de eje son los aceros al carbono de alta calidad, los aceros aleados y los aceros inoxidables.

Los lugares de apoyo de la línea de eje que se lubrican con agua de mar (chumaceras) tienen montada una camisa de bronce que disminuye el coeficiente de fricción y protege la línea del desgaste, sin embargo cuando la línea de eje se fabrica de acero inoxidable la necesidad del montaje de la camisa de bronce desaparece; es por ello **que en el presente trabajo nos limitaremos** a las líneas de eje fabricadas de aceros al carbono de alta calidad y aceros aleados, empleadas en lanchas rápida cuyos diámetros oscilan de 40 – 180 mm.

El tipo de material utilizado para la fabricación de los bujes de las líneas de ejes es **bronce al estaño**, con un contenido de hasta el 20% de este último, estos tipos de bronce tienen buenas propiedades de fundición, gran resistencia química y buenas propiedades antifricción. La marca soviética de bronce empleada en los bujes es **Bp. OII 10-2** cuya composición química es la que se refleja a continuación (véase tabla1) :

Tab. 1 Composición química del bronce **Bp. OII 10-2**

Elemento	Composición en %
Sn	9 - 11
Zn	2 – 4
Impurezas	
Pb	No más de 0,5
Al	No más de 0,2
Fe	No más de 0,3
Si	No más de 0,02
Bi	No más de 0,005
Sb	No más de 0,3
As	No más de 0,02

El montaje de las camisas de bronce en los ejes se realiza en caliente o por contracción, de manera que el casquillo garantice una adhesión al eje suficiente para soportar las tensiones de torsión a la que se somete

durante el trabajo, así como para evitar la penetración de agua de mar entre las piezas acopladas con el fin de eliminar la corrosión y destrucción del eje.

Cuando el montaje se realiza con sollicitación térmica tecnológicamente se hace necesario conocer una serie de datos, tales como:

1. Cual es la interferencia que requiere el montaje entre el eje y el buje
2. A que temperatura es necesario calentar el buje para su montaje
3. Que tiempo de calentamiento se necesita
4. En dependencia del método tecnológico empleado si durante el proceso de montaje no se le suministra calor al buje es necesario conocer el tiempo de enfriamiento permisible del buje para su montaje.

La experiencia práctica acumulada en la solución de estas interrogantes mostró a niveles de empresa, falta de preparación de la mano de obra, problemas tecnológicos y poca o carencia total de documentación con contenido científico que de forma breve y precisa dieran respuesta a dichas interrogantes. Es por ello que surgió la necesidad de elaboración del presente trabajo.

DESARROLLO

PREPARACIÓN Y COMPROBACIÓN EN MAQUINADO DEL SEMIPRODUCTO DE LA CAMISA DE BRONCE Y EL CUELLO DEL EJE ANTES DEL MONTAJE

El diámetro exterior del semiproducto de la camisa de bronce se elabora a sobre medida de **5 – 7 mm** en el espesor respecto a la dimensión final por plano, de esta misma forma se tiene en cuenta una sobre medida en cuanto al largo total de **10 – 20 mm** aproximadamente.

La rugosidad de la superficie exterior después de la elaboración (mediante maquinado fino) debe ser no menor **Rz 40**.

Nota: La medida exterior final del buje se da después del montaje en caliente en el eje, La rugosidad de la superficie terminada del buje debe ser no menor de **Rz 1,25**, la cual se logra mediante pulimentado, su conicidad y obalidad no debe ser mayor de **0,06 mm**.

El diámetro interior del buje se elabora con interferencia respecto al diámetro del cuello de la línea de eje, o sea la diferencia entre el diámetro efectivo del agujero del buje y el diámetro efectivo del eje, esta interferencia se calcula por la siguiente fórmula, véase [2] :

$$\delta = 0,0005 \cdot d \quad (1)$$

Donde :

δ – Interferencia del metal, o cantidad de aumento o exceso de material en el **diámetro** de la pieza interior del acoplamiento.

d – Diámetro base en milímetros del cuello de la línea de eje.

Para líneas de ejes de diámetro de **40 – 180 mm** el valor de la interferencia oscila entre **0,02 – 0,09 mm** Entonces el diámetro interior del buje se calcula por la siguiente fórmula:

$$D_{int\ buj.} = d - 0,0005 \cdot d \quad (2)$$

Donde:

$D_{int\ buj.}$ - Diámetro interior del buje en milímetros.

La conicidad y obalidad del cuello de la línea de eje se controla y **no debe ser mayor de 0,06 mm** medido a una distancia igual al diámetro del cuello de la línea de eje. La comprobación de estos parámetros se realiza midiendo el diámetro del eje en tres posiciones respecto al largo, y en cada posición se realiza la medición en planos mutuamente perpendiculares. El acabado superficial del cuello de la línea de eje debe corresponder **Ra 1,25**, el cual se logra mediante torneado en fino o brillante. Véase [7]

La conicidad y obalidad del diámetro interior del buje después de la elaboración **no debe ser mayor de 0,05 mm** y se comprueba de la misma forma que en el cuello de la línea de eje. El acabado superficial del diámetro interior del buje debe corresponder **Ra 1,25**, el cual se logra mediante torneado en fino o brillante. Véase [7]

En virtud de garantizar estas precisiones señaladas y en dependencia del estado técnico de las máquinas herramientas empleadas para la elaboración de los bujes se permite limitar el largo de los semiproductos y realizar el buje en dos partes, en este caso se recomienda realizar encaje por escalón entre las partes quedando un semibuje macho y uno hembra

PRUEBA HIDRÁULICA DE LOS BUJES ANTES DEL MONTAJE.

Después del maquinado de los semiproductos de los bujes por su diámetro interior en medida final y por su diámetro exterior en medida de semiproducto se realiza la prueba hidráulica de los mismos a una presión de 2 kgf/cm². Durante esta prueba mediante observación visual se determina la ausencia de poros y correcta hermeticidad de los bujes. La presencia de poros o salideros desechan el empleo del buje.

CÁLCULO DE LA TEMPERATURA NECESARIA DE CALENTAMIENTO DEL BUJE PARA SU MONTAJE, TIEMPO DE PERMANENCIA EN HORNO Y TIEMPO DE MANIOBRA PARA EL MONTAJE.

El caso en cuestión que proponemos presupone el calentamiento y dilatación solo de una de las piezas, en este caso el buje y específicamente en horno eléctrico, mientras que la otra se mantiene a temperatura atmosférica, o sea la línea de eje.

Para hacer más fácil el proceso de montaje se aumenta por dilatación térmica el diámetro interior del buje en un valor Δd (en mm), el cual se determina según la fórmula (véase [2] y [5]) :

$$\Delta d = \delta + i \quad (3)$$

Donde:

δ - Interferencia del buje con respecto al diámetro de la línea de eje, en mm. (magnitud que tiene que dilatar el diámetro interior del buje para alcanzar el diámetro exacto del eje)

i - Holgura garantizada, la cual se toma en dependencia de las dimensiones de las piezas conjugadas, en mm. (por el diámetro). (magnitud que tiene que dilatar el diámetro interior del buje para garantizar holgura en el proceso de montaje)

La temperatura de calentamiento de la pieza T_B se determina partiendo de la siguiente condición, véase [5] :

$$T_B > \frac{\Delta d}{\alpha \cdot d} \quad (4)$$

Donde:

α - Coeficiente de dilatación lineal del bronce, en grad⁻¹; ($\alpha = 17,5 \cdot 10^{-6}$)

Si la pieza se traslada desde el dispositivo calentador hacia la posición de montaje inevitablemente ocurre su enfriamiento, por lo tanto la temperatura que debe tener en el momento de su extracción del dispositivo debe ser mayor en un determinado valor en dependencia del tiempo que demore su traslado y la propia maniobra de montaje. Esta temperatura se calcula por la siguiente fórmula.

$$T_A = T - \frac{(T - T_B)}{e^{-k \cdot t}} \quad (5)$$

Donde:

T_A - Temperatura del buje en el momento de extracción del dispositivo calentador

T - Temperatura del aire ambiente en °C

t - Tiempo que dura el traspaso de la pieza en minutos

k - Índice que se determina mediante la siguiente fórmula

$$k = \left(\frac{\alpha_1}{C \cdot \rho} \right) \cdot \left(\frac{1}{h} + \frac{1}{l} \right) \cdot \frac{100}{3} \quad (6)$$

donde:

α_1 - Coeficiente de transmisión de calor entre el buje y el medio ambiente en kcal/m² · °C

Para $1/h + 1/l = 0,15 \dots 0,25$ 1/mm luego del calentamiento en horno eléctrico

$$\alpha_1 = 20 \dots 30$$

C - Calor específico del material del buje en kcal/kg °C,

para el bronce $C = 0,090757$ kcal/kg °C

ρ - Densidad del material del buje en kg/m³

para el bronce $\rho = 8700$ kg/m³

h - Grosor de las paredes del buje en mm

l - Largo del buje en mm

La fórmula (5) expresa desde el punto de vista termodinámico la ley de disminución de temperatura del buje por disipación de calor al medio ambiente (transmisión de calor) después de ser extraído del horno, como se puede observar esta dependencia tiene un carácter exponencial. En el ejemplo que se muestra en el **anexo 1** se muestra un gráfico de esta dependencia, así como un programa desarrollado en EXCEL para la realización de los cálculos y construcción del gráfico.

En principio, asumiendo la temperatura ambiente como la temperatura media del horno eléctrico y que el calentamiento del buje dentro del horno se realiza por transmisión de calor del aire dentro del horno hacia el buje después de algunas sustituciones y transformaciones se puede utilizar la expresión (5) para calcular el tiempo necesario para el calentamiento del buje, según aparece a continuación:

$$t_1 = -\frac{1}{k} \cdot \ln \left[\frac{(T_{med} - T_A)}{(T_{med} - T_1)} \right] \quad (7)$$

donde:

t_1 - Tiempo necesario de permanencia del buje en el horno para que eleve su temperatura

desde la temperatura ambiente(inicial del buje) hasta la temperatura T_A en min.

T_{med} - Temperatura media del horno

T_1 - Temperatura inicial del buje.

El tiempo calculado por la fórmula (7) también puede ser valorado desde un punto de vista energético de forma preliminar, si tenemos en cuenta que la cantidad de energía disipada por las resistencias eléctricas del horno durante el tiempo en que se encuentra el buje dentro del horno es igual a la cantidad de calor que es absorbido

por el buje para elevar su temperatura desde T_1 hasta T_A según la ley de conservación de la energía. Es lógico que en este razonamiento se desprecian muchos factores que durante el calentamiento en el horno del buje conllevan a una serie de pérdidas, pero que para obtener un resultado tentativo se desprecian. De esta forma:

$$P = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (8)$$

donde:

P - Potencia de las resistencias eléctricas del horno en W

1,73 - Coeficiente de corriente trifásica

U - Voltaje de trabajo de las resistencias en V

I - Corriente de consumo de las resistencias en A

φ - Angulo de desfasaje entre el vector de voltaje y el vector de corriente. En el caso de carga resistiva pura

$$\cos \varphi = 1$$

La energía total en función del tiempo emitida por las resistencias será igual a :

$$P_T = P \cdot t \quad (9)$$

donde:

P_T - Energía total emitida por las resistencias en kW

t - Tiempo de trabajo de las resistencias en min.
Por otro lado

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta T \quad (10)$$

donde:

Q - Cantidad de calor absorbida por el buje durante su calentamiento

C - Calor específico del material del buje en kcal/kg °C

ΔT - Diferencia de temperatura del buje antes de entrar al horno y después de salir en °C
Igualando (9) a (10) obtenemos:

$$t = \frac{m \cdot C \cdot \Delta T}{P} \quad (11)$$

OTROS ASPECTOS TECNOLÓGICOS DE IMPORTANCIA A TENER EN CUENTA DURANTE EL PROCESO DE EMBUJADO DE LAS LÍNEAS DE EJES.

1. La temperatura del medio calentador (horno eléctrico) debe ser de 290 – 350 °C hasta 400 °C
2. La velocidad del calentamiento del buje recomendable debe ser de 25 – 100 °C/h y se permite incrementar dicho parámetro hasta no más de 200 °C/h.

Nota: Según los cálculos reflejados anteriormente el tiempo de permanencia en el horno del buje se determina desde un punto de vista netamente termodinámico y el valor calculado por lo general es mucho menor que el exigido por este punto, de manera que la velocidad recomendada no se garantiza, no obstante la velocidad de calentamiento no debe en ninguna de las circunstancias exceder lo valores dados ya que desde un punto de vista de tecnología de los metales, un calentamiento acelerado del material puede traer como consecuencia la variación de su estructura molecular y por consiguiente el empeoramiento de sus propiedades mecánicas, lo que puede provocar durante el enfriamiento del buje en el eje rajaduras y defectos mecánicos.

3. Se deben tomar serias medidas para garantizar el calentamiento del buje de forma uniforme y evitar su deformación durante este proceso, para lo cual es necesario colocar el buje en el horno de forma vertical
4. Durante el proceso de montaje del buje es necesario garantizar un centraje seguro entre el buje y el eje de la línea, y además si se trata de montajes de bujes en líneas de eje relativamente largas 3 – 4 m como es el caso de lanchas rápidas, se deben tomar medidas para disminuir el tiempo de montaje. Con este fin se realizan las siguientes recomendaciones, véase figura 1 y 2 :

- Colocar la línea de eje de forma vertical con un dispositivo especial que deje libre el camino del recorrido del buje desde la punta superior de la línea hasta el cuello de la línea donde quedará finalmente montado el buje, y que permita la comprobación y variación de la verticalidad de la línea.(Plataforma con tornillos de nivelación y nivel portátil).
- Colocar un tope mecánico en el lugar de la línea a partir del cual debe quedar montado el buje.
- Presentar el buje calentado en la punta superior de la línea y dejarlo caer por su propio peso, esta maniobra permite realizar el montaje en un mínimo de tiempo y además garantiza de forma sencilla el centrado del buje respecto al eje de la línea

- En el caso de que los bujes se hallan confeccionado por partes, primeramente se monta el semibuje macho y después el semibuje hembra. La contracción del semibuje macho al enfriarse permitirá el encaje del semibuje hembra calentado.

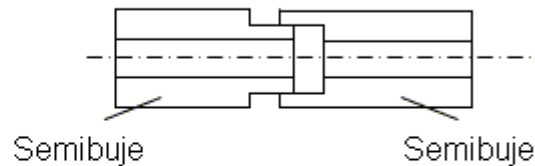
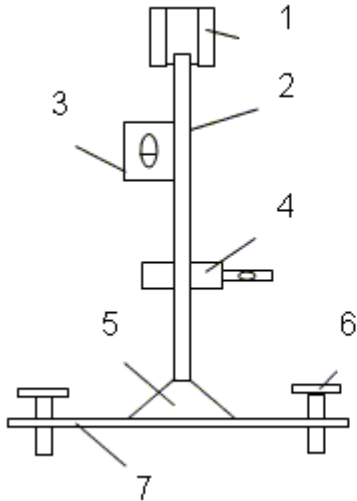


Fig. 1. Esquema del dispositivo para el montaje de los bujes en la línea de eje. 1 – Buje, 2 – Línea de eje, 3 – Nivel portátil, 4 – Tope mecánico, 5 – Brida, 6 – Tornillo de nivelación, 7 – Plataforma.

Fig. 2 Esquema de los semibujes

5. La manipulación del buje desde el horno hasta la línea se realizará manualmente con el uso de guantes de asbesto y no se debe permitir el uso de tenazas que puedan deformar mecánicamente la geometría del buje.

CONCLUSIONES

La Metodología para el montaje de camisas de bronce en ejes de propulsión para lanchas rápidas anteriormente expuesta, así como los cálculos realizados por la misma, fueron empleados en la práctica con éxito. Los conocimientos compilados de la bibliografía consultada en la misma revierten desde el punto de vista tecnológico una gran importancia en la esfera de la construcción naval.

BIBLIOGRAFÍA

1. A.L.Bladimirski, y otros. , “ Reparación de varada de buques navales ”. Editorial transporte. Moscú. 1984 (en ruso)
2. A.L.Casillas, “ Máquinas, Cálculo de taller ”. Editorial Científico Técnica. 1991
3. G.B.Libefort. , “ Instalaciones mecánicas de lanchas rápidas ”. Editorial Sudostroenie. Leningrado. 1966 (en ruso)
4. N.M.Cojan, B.I.Drut , “ Reparación de las líneas de eje de buques navales ”. Moscú, Transporte. 1980 (en ruso)
5. V.Korsakov. , “ Fundamentos de la tecnología el la construcción de maquinarias ”. Editorial Mir Moscú. 1974
6. P. Orlov , “Ingeniería de diseño”. Editorial Mir. Moscú.1985
7. V. Zúev. “Tratamiento térmico de metales”. Editorial Mir. Moscú1986.

ANEXO 1

EJEMPLO DE CÁLCULO TÉRMICO DEL PROCESO DE EMBUJADO DE LAS LÍNEAS DE EJE

CALCULO POR EL A.I. CASILLAS

Diámetro de la línea de eje en el cuello	d	45	mm
Diámetro inicial interior del buje en semiproducto	do	44,98	mm
Coeficiente de dilatación lineal del bronce	α	0,0000175	grad -1
Temperatura inicial de la pieza	T1	23	oC
Diámetro final interior dilatado del buje en semiproducto	df	45,41	mm
Temperatura a la que hay que elevar el semiproducto	T2	572	oC
Temperatura a la que hay que elevar el semiproducto	T2	400	oC
Diámetro final interior del buje en semiproducto	df	45,27	mm

CALCULO POR EL V. Korsakov, Fundamentos en la tecnología en la construcción de maquinarias

Huelgo negativo del casquillo de bronce en frío por el diámetro	δ	0,0225	mm
Holgura del casquillo de bronce en caliente por el diámetro	i	0,21	mm
Dilatación total del casquillo por el diámetro	Δd	0,2325	mm
Temperatura de calentamiento de la pieza	Tb	295	oC
Diámetro interior dilatado del buje	df	45,21	mm
Temperatura del aire ambiente	T	23	oC
Calor específico del bronce	C	0,090757	Kcal/kg oC
Densidad del bronce	ρ br	8700	kg/m3
Diámetro exterior del buje en frío en semiproducto	De	85	mm
Grosor de las paredes del buje	h	20,0113	mm
Largo del buje	L	226	mm
Coeficiente de transmisión de calor entre el buje y el medio ambiente	α_1	25	Kcal/m2 oC
Índice k	k	0,057	
Tiempo de traspaso de la pieza	t	4	min
Temperatura del buje al salir del horno	Ta	366	oC min
Diámetro interior del buje a la salida del horno	Din H	45,27	mm
Temperatura del horno	Tmed	400	oC
Temperatura inicial de la pieza	T1	23	oC
Tiempo necesario para el calentamiento	t1	42	min

Calculo del tiempo según punto de vista energético

Voltaje de trabajo de la resistencia del horno	U	440	V
Corriente de consumo del horno	I	33	A
Coseno del desfasaje voltaje ampere	Cos ϕ	1	
Potencia de trabajo del horno	P	25,1	Kw
Volumen del buje de bronce	V	0,000923	m3
Masa del buje	m	8,03	kg
Tiempo necesario para el calentamiento	t	41	min

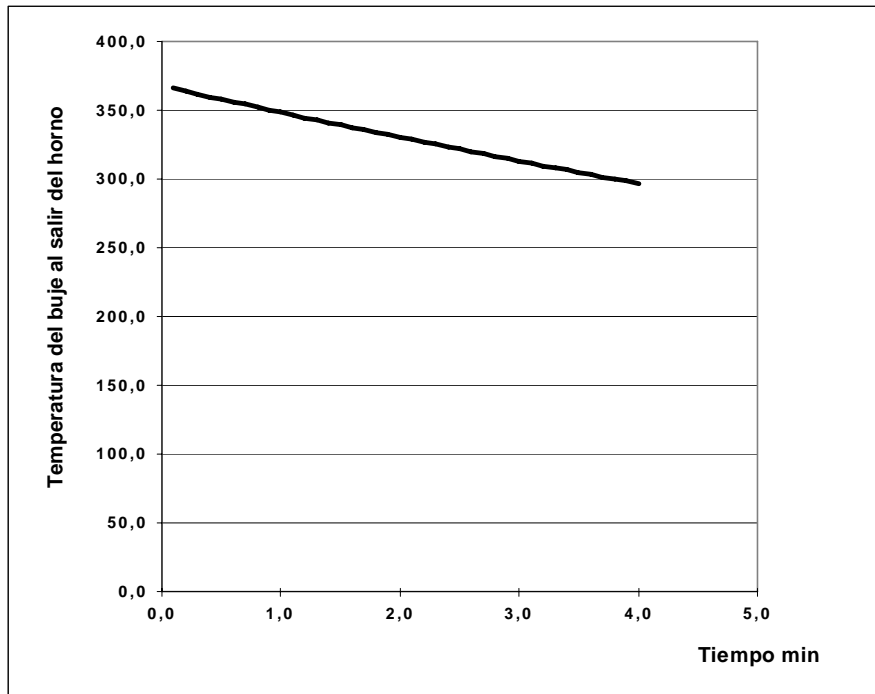


Fig 3 .Gráfico de la dependencia de la disminución de la temperatura del buje en función del tiempo después que se extrae del horno.