



TECNOLOGÍA DE MECANIZACIÓN AGROPECUARIA

ARTÍCULO ORIGINAL

Selección de materiales y tratamiento térmico para el trabajo en suelos

Material selection and heat treatment for work in soils

Dr.C. Francisco Martínez Pérez

Universidad Técnica de La Habana, Facultad de Ingeniería Mecánica, Centro de estudios de Ingeniería de Mantenimiento, Cuba.

RESUMEN. En el presente trabajo se evaluó la resistencia al desgaste abrasivo de diferentes aceros importados y otros de producción nacional usados en elementos de máquina agrícolas con algunas variantes de tratamiento térmico, obteniéndose un diapasón de dieciséis variantes diferentes. Esta evaluación se realizó simultáneamente en suelos cubanos, utilizando una instalación experimental que reproduce las condiciones de campo, y que fue puesta a punto y probada su metodología en anteriores trabajos así como en una máquina de ensayo al desgaste abrasivo tipo FARGO. Los resultados de ambas instalaciones fueron correlacionados, obteniéndose una dependencia lineal entre los mismos. El trabajo se realizó mediante el empleo del diseño experimental y la computación. Los resultados obtenidos permiten ordenar la influencia del tipo de acero, de tratamiento térmico y de la combinación de ambas variables. A través de los resultados obtenidos, es factible hacer una valoración integral de cada variante y así recomendar la variante óptima e función de las condiciones de trabajo.

Palabras clave: desgaste abrasivo en suelos, selección de materiales, abrasión en suelos.

ABSTRACT. At the present work it was analyzed abrasive wear resistance of different import and national production steels, used in agricultural machine elements, with different heat treatments, obtaining 16 different variants. The experiments were done on specialized testing machine which methodology was prove on previous works and simultaneously on a FARGO type testing machine. Both results were correlated, obtaining a lineal correlation between them. On the work were used experimental design and computer science. The obtaining result allow establishing an order about the influence on the used steel and heat treatment and also both combine on wear resistance on soil, and is given the possibility to recommend the proper selection, depending on the work conditions.

Keywords: Friction, Tribology, Wear in soils, material selection.

INTRODUCCIÓN

El incremento de la vida útil de los órganos de máquinas agrícolas, es un problema actual e importante. En este sentido el desgaste abrasivo es, probablemente, la causa fundamental de deterioro de los elementos para el laboreo de suelos, a lo que acompaña una notable afectación económica por el mantenimiento y la reposición.

A pesar del amplio empleo del tema en investigaciones en el mundo, pocas son las referencias acerca del mismo en condiciones de los suelos cubanos y no se cuenta con una metodología de ensayo, científicamente probada que simule correctamente las condiciones de campo y que tome en cuenta las características de los suelos y, en particular, los de Cuba, influyendo así, en una correcta selección del material y de la tecnología de tratamiento térmico. Así, fueron objetivos del trabajo:

- Poner a punto y establecer el régimen de trabajo de dos estaciones experimentales para la determinación del desgaste abrasivo en suelos.
- Evaluar la resistencia al desgaste abrasivo en suelos cubanos de diferentes tipos de aceros y tratamientos térmicos.

MÉTODOS

De los numerosos métodos de ensayo propuestos para evaluar el desgaste abrasivo en suelos (Mayaiskas, 1962; ASME, 1994; Severneva, 1972), fue seleccionado el método del canal o taza giratoria desarrollado por la Academia de Ciencias de Rusia, debido a que este presenta innegables ventajas, pues permite:

- Reproducir condiciones similares a las del campo
- Evaluar la capacidad abrasiva de un suelo real

- Investigar la influencia de diferentes factores
 - Obtener una fácil reproducción de los resultados.
- En la Figura 1 se observa una vista general de la instalación empleada.

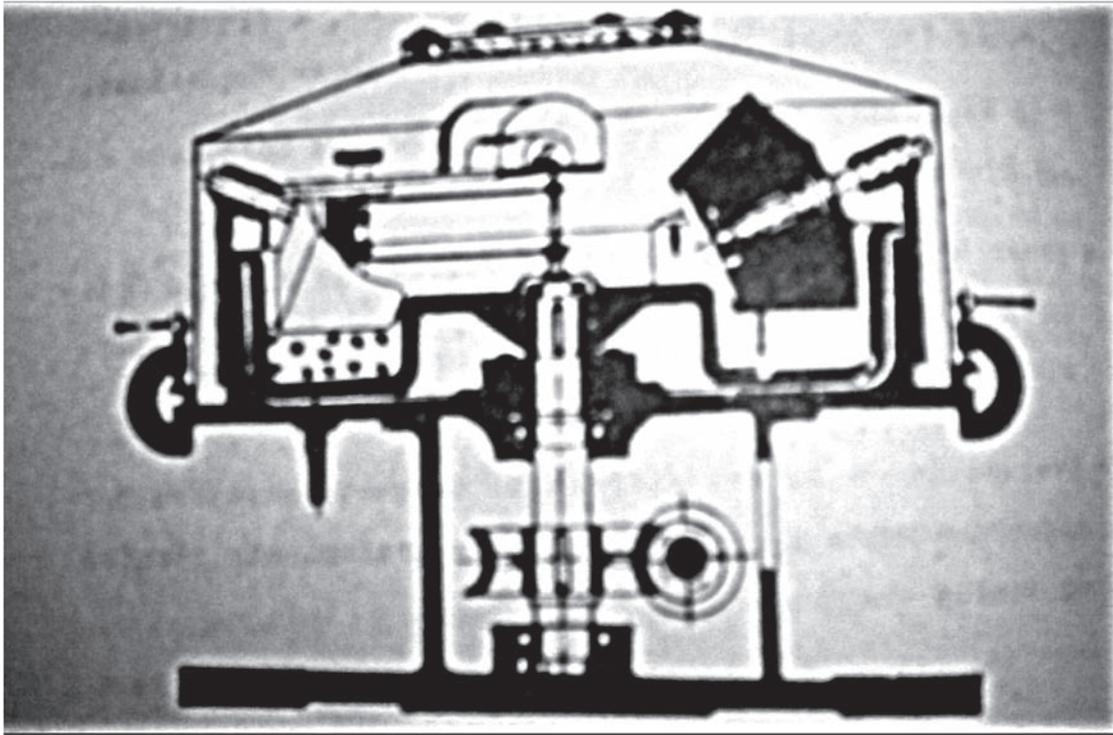


FIGURA 1. Vista general de la instalación de canal o taza giratoria.

A partir de los resultados anteriores obtenidos por el autor, se seleccionó el suelo con mayor capacidad abrasiva, así como de mayor importancia por su extensión y tipos de siembra en Cuba. Los parámetros de trabajo de la instalación, para este tipo de suelo, los cuales fueron controlados y la experimentación, fueron: rugosidad superficial de las probetas normalizadas empleadas, velocidad de trabajo, humedad, trayectoria de fricción y tiempo de sustitución de la masa abrasiva (Fopp, 1969). La otra instalación seleccionada fue la FARGO, que trabaja solo con arena (Figura 2).

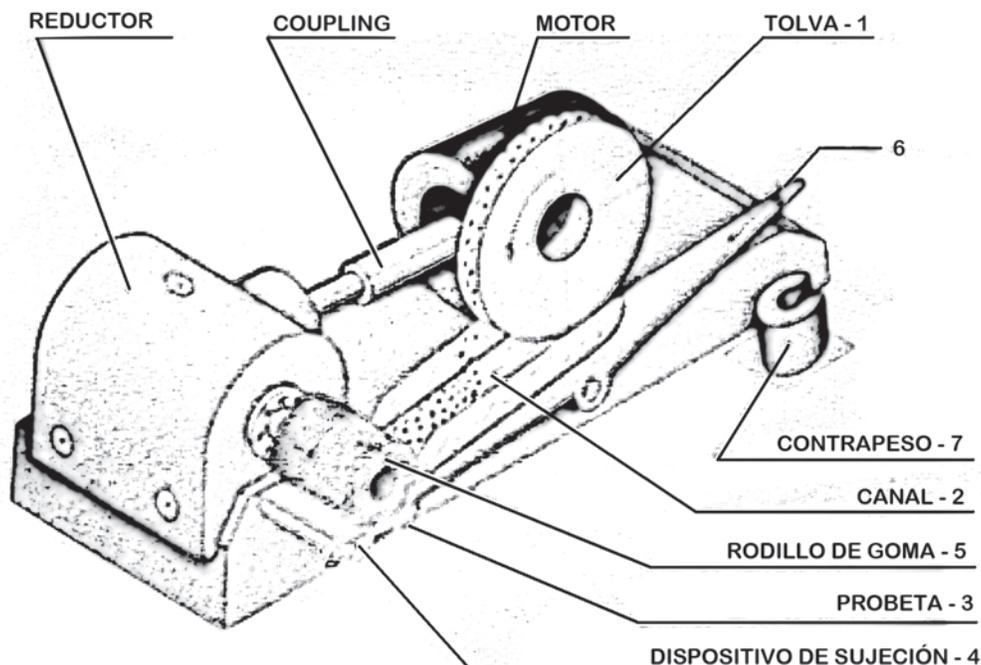


FIGURA 2. Esquema de la máquina de ensayo FARGO.

Esta selección obedeció a las siguientes razones:

- Es norma de la ASME
- Amplia difusión mundial
- Sencillez de empleo
- Fácil reproducción de los ensayos
- Empleo como abrasivo de arena sílice (SiO₂), elemento abrasivo fundamental en los suelos.

La arena sílice fue sometida a análisis granulométrico, empleando la granulometría de mayor desgaste, según recomendaciones de la literatura (Martínez, 1986). Los parámetros de trabajo optimizados y controlados fueron los mismos que los empleados en la taza giratoria. En ambas instalaciones el desgaste se midió por diferencia de peso, empleando balanza analítica con precisión de 0,001 g.

Para la realización de este trabajo, fueron seleccionados cuatro tipos de aceros según AISI W1, 1070, 9260 y L2. Esta selección se basó en su amplia difusión mundial en la confección de elementos de máquinas agrícolas, su fácil adquisición en la industria, y la evaluación realizada anteriormente por el autor sobre la influencia del contenido de carbono y a estructura en la resistencia al desgaste (Martínez y Martínez, 1992). Cada uno de los aceros seleccionados fueron sometidos a cuatro variantes

de tratamiento térmico: normalizado (N), temple isotérmico (TI), temple volumétrico y revenido (TR) y temple superficial y revenido (TA), persiguiendo con cada tratamiento, la obtención de determinadas estructuras y propiedades.

Probetas de cada una de las dieciséis variantes examinadas, fueron sometidas a ensayos metalográficos, de micro dureza y dureza, verificando los resultados a obtener. Durante la investigación fueron ensayadas ocho réplicas de cada variante. Las probetas fueron debidamente marcadas y los ensayos realizados de acuerdo con una distribución completamente aleatoria.

El procesamiento estadístico de los resultados fue realizado mediante un programa de computación puesto a punto por los autores para el análisis de modelos ortogonales según OKTABA (Oktaba, 1990). Se utilizó una doble clasificación cruzada 4x4 con la misma cantidad de observaciones (K = 8) en cada subclase. El método permite determinar si la influencia de uno u otro factor principal (acero o tratamiento térmico) o su interacción, son significativas en el rendimiento investigado, desgaste abrasivo. Esta es la base para determinar si las diferencias de desgaste entre las variantes cruzadas investigadas, son significativas o no, empleando para ello los intervalos de confianza múltiples Tp de Tukey para las comparaciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla I, se resumen los datos obtenidos en la instalación taza giratoria.

TABLA I. Resultados del desgaste abrasivo (P en gramos) de los distintos aceros y tratamientos térmicos TT ensayados en la instalación taza giratoria, medias marginales y media general para 8 réplicas en cada subclase

TT Acero	N	TI	TR	TA	Media por aceros
W1 (N)	0,065 5	0,051 3	0,006 0	0,009 4	0,033 1
1070 (C)	0,040 2	0,023 1	0,015 0	0,013 5	0,023 0
9260 (G)	0,034 7	0,020 8	0,013 5	0,011 6	0,0020 2
L2 (X)	0,026 5	0,017 1	0,004 5	0,007 6	0,013 9
Media por tratamientos	0,041 8	0,028 1	0,009 7	0,010 5	Media general 0,022 5
1	2	3	4	5	6

Error experimental general: 0,006 4 g

A partir del análisis de la varianza y empleando el método de Tukey, para expresar las diferencias significativas entre los grupos comparados (las diferencias entre los grupos, colocados en orden decreciente de resistencia al desgaste, subrayados con una línea continua no son significativas) se obtuvo: Para los aceros Tp (95%) = 0,008 3 (Figura 3); para todas las variantes Tp (95%) = 0,011 2 (Figura 3).

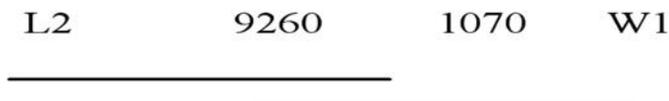


FIGURA 3. Para los aceros Tp (95%) = 0,008 3.



FIGURA 4. Para los Tratamientos térmicos Tp (95%) = 0,008 3.

XTR YTR XTA YTA CTA GTA CTR GTR
YTR XTA YTA CTA GTA CTR GTR XTI
CTA GTA CTR GTR XTI CTI
GTA CTR GTR XTI CTI GTI
XTI CTI GTI XN
XN CN
CN GN
GN YTI

FIGURA 5. Para todas las variantes $T_p(95\%) = 0,0112$.

En la Tabla 2, se resumen os datos obtenidos en la instalación FARGO.

TABLA 2. Resultados del desgaste abrasivo (P en gramos) de los distintos aceros y tratamientos térmicos TT ensayados en la instalación FARGO, medias constantes, medias marginales y media general para 8 réplicas en cada subclase

TT Acero	N	TI	TR	TA	Media por aceros
W1 (N)	0,107 5	0,119 5	0,031 5	0,035 7	0,073 6
1070 (C)	0,090 2	0,058 1	0,062 2	0,050 7	0,065 3
9260 (G)	0,070 6	0,060 7	0,042 7	0,036 5	0,052 6
L2 (X)	0,061 2	0,035 4	0,032 6	0,028 5	0,039 4
Media por tratamientos	0,082 4	0,068 4	0,042 2	0,037 9	Media general 0,0577
1	2	3	4	5	6

Error experimental general: 0,0153 g

Del análisis de la varianza de los resultados obtenidos en esta instalación se determinó, aplicando el método analítico de Tukey:

Para los aceros $T_p(95\%) = 0,0199$ Figura 6.

L2 9260 1070 W1

FIGURA 6. Para los aceros $T_p(95\%) = 0,0199$

Para los tratamientos térmicos $T_p(95\%) = 0,0199$ (Figura 7).

TR TA TI N

FIGURA 7. Para los Tratamientos térmicos $T_p(95\%) = 0,0199$.

Para todas las variantes $T_p(95\%) = 0,0268$ (Figura 8).

XTA YTR XTR XTI YTA CTA CTR GTA
YTR XTR XTI YTA CTA CTR GTA GTI
XTI YTA CTA CTR GTA GTI CTI XN
YTA CTA CTR GTA GTI CTI XN GTR
GTA GTI CTI XN GTR CN
CN GN
GN YN
YN YTI

FIGURA 8. Para todas las variantes $T_p(95\%) = 0,0199$.

Como tarea adicional, fueron correlacionados los resultados obtenidos en ambas instalaciones. Para ello se utilizó un programa para el ajuste de curvas por el método de los mínimos cuadrados, obteniéndose las ecuaciones de regresión de polinomios de primero, segundo y tercer grado. Pudo determinarse que entre los valores de desgaste para un mismo material, existe una buena correlación lineal expresada por la ecuación

$$\Delta P_T = 0,4512 (\Delta P_F) - 0,0035$$

Con un $r = 0,77$ y r crítico = 0,23

donde:

ΔP_T : Desgaste en la instalación de la taza giratoria y
 ΔP_F : Desgaste en la instalación FARGO. ΔP_T

Los resultados de las investigaciones demuestran la posibilidad de aumentar la vida útil de los elementos de máquinas agrícolas que trabajan con e suelo, en las condiciones de Cuba, mediante una correcta selección del acero y el tratamiento térmico. La metodología puede ser extendida a los suelos de cualquier país, con la ventaja de una significativa reducción de

los ensayos, ya que si en la taza giratoria, cada ensayo demora de 9 a 10 horas, en la FARGO, es factible hacerlo con una duración menor a la hora.

CONCLUSIONES

- La variación en el tipo de acero empleado y en el régimen de tratamiento térmico aplicado, así como, la interacción entre ambos factores, inciden significativamente sobre la resistencia al desgaste abrasivo en suelos. La mayor influencia la ejerce el tipo de tratamiento térmico aplicado.
- En general, los aceros ensayados, independientemente del tratamiento térmico utilizado, pueden clasificarse según su resistencia al desgaste abrasivo en suelos, en el siguiente orden L2, 9260, 1070 y W1. No obstante, la diferencia entre el L2 y el 9260 y entre este último y el 1070 no son significativas.
- En general, los tratamientos térmicos ensayados, independientemente del acero utilizado, pueden clasificarse, según su resistencia al desgaste abrasivo en suelos, en el siguiente orden decreciente: temple superficial y revenido, temple volumétrico y revenido, temple isotérmico y por último

normalizado. No obstante, las diferencias entre los temple superficial y volumétricos no son significativas.

- Las dieciséis variantes ensayadas pueden clasificarse de forma simplificada en cuatro grupos y en orden decreciente de resistencia al desgaste abrasivo en suelos, de la siguiente forma:

<u>I</u>	<u>II</u>	<u>III</u>	<u>IV</u>
XTA	CTA	XTI	XN
YTA	GTA	CTI	CN
XTR	CTR	GTI	GN
YTR	GTR		XTI
			YTI
			YN

- Los resultados obtenidos pueden coadyuvar a la correcta selección de aceros y tratamientos térmicos para la selección de elementos de máquinas agrícolas, donde no solo la principal sollicitación sea el desgaste abrasivo, pudiéndose valorar la variante que en forma integral presente el mejor complejo de propiedades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FOPP, A.: *Investigación acerca de la influencia de la humedad del suelo en el desgaste abrasivo*, Tesis doctoral en opción al título de... Universidad Técnica de Poznan, Polonia, 1969.
- MARTÍNEZ PÉREZ, F.: "Influencia de la granulometría de la arena sílice en la resistencia al desgaste abrasivo del acero 9260", *Revista Construcción de Maquinaria*, (3): 1986.
- MARTÍNEZ PÉREZ, F. y H. MARTÍNEZ REINOSA: "Relación entre la resistencia máxima y la dureza y el desgaste abrasivo en aceros al carbono", *Revista Construcción de Maquinaria*: 1992.
- MAYAISKAS, I. S.: *Métodos de investigación del desgaste*, Ed. Academia de Ciencias de Rusia, Moscú, Rusia, 1962.
- OKTABA, W.: *Métodos de estadística en la experimentación*, Ed. WNT, Varsovia, Polonia, 1990.
- "Selected Solid Friction Tests per ASTM Standards": *Trans. ASME*: 1994.
- SEVERNEVA, M. M.: *Desgaste de elementos de máquinas agrícolas*, Ed. Editorial Koslos, Moscú, Rusia, 1972.

Recibido: 17 de septiembre de 2011 / **Aprobado:** 22 de diciembre de 2012.

Francisco Martínez Pérez, Centro de estudios de Ingeniería de Mantenimiento, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Técnica de La Habana, Cuba, Correo electrónico: fmartinez@ceim.cujae.edu.cu

Nota: La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.

