



Determinación de las propiedades de los polvos de carburo de tungsteno cementado para la fabricación de insertos

Determination of the properties of cemented tungsten carbide powders for the manufacture of inserts

Ricardo del Risco-Alfonso^I, José Castelló-González^I, Horacio Delgado-Martínez^{II},
Carlos Alberto González-Barreda^I, Patricia del Carmen Zambrano-Robledo^{III}, Roberto Pérez-Rodríguez^{IV}, *

I. Universidad de Camagüey, Centro de Estudios de Explotación, Fabricación y Recuperación de Equipos y Piezas, CEEFREP). Camagüey, Cuba.

II. Fábrica de Metal Duro. Camagüey, Cuba.

III. Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, México

IV. Universidad de Holguín, Centro de Estudios CAD/CAM. Holguín, Cuba.

* Autor de correspondencia: roberto.perez.cu@uho.edu.cu

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 12 de febrero de 2023

Aceptado: 30 de marzo de 2023

Resumen

En el actual contexto de desarrollo industrial, la utilización del carburo cementado ocupa un lugar importante en la producción de insertos para herramientas de corte. El presente trabajo tuvo como objetivo la determinación de los valores de densidad aparente, de tasa de flujo y de tamaño de los granos del polvo utilizado en la fabricación de insertos P30S por la industria nacional. Se aplicaron los procedimientos para el control de la densidad aparente y la tasa de flujo (según las norma ASTM B 212-13 y ASTM B213-13 respectivamente) así como el tamaño promedio del

grano. Las técnicas utilizadas fueron mediante la aplicación del embudo de Hall (que se fabricó para este propósito) y la microscopía óptica. Los valores obtenidos para la densidad aparente, la tasa de flujo así como el tamaño promedio de grano para el polvo P30S, tuvieron correspondencia con esta designación. Los resultados de las mediciones de densidad y dureza de los insertos fabricados fueron contrastados.

Palabras claves: polvos de carburo cementado; densidad aparente; tamaño de grano; tasa de flujo.

Abstract

In the current context of industrial development, the use of cemented carbide occupies an important place in the production of inserts for cutting tools. The objective of this work is to determine the values of apparent density, flow rate and size of the powder grains used in the manufacture of P30S inserts by the national industry. The procedures for the control of bulk density and flow rate (according to ASTM B 212-13 and ASTM B213-13 respectively) as well as average grain size were applied. The techniques used were through

the application of the Hall funnel (which was manufactured for this purpose) and optical microscopy. The values obtained for the apparent density, the flow rate as well as the average grain size for the P30S powder, corresponded to this designation. The results of the density and hardness measurements of the manufactured inserts were contrasted.

Key words: cemented carbide powder; apparent density; grain size; flux rate.

Cómo citar este artículo:

del Risco Alfonso R, Castelló González J, Delgado Martínez H, González Barreda CA, Zambrano Robledo PC, Pérez Rodríguez R. Determinación de las propiedades de los polvos de carburo de tungsteno cementado para la fabricación de insertos. Ingeniería Mecánica. 2023;26(2):e670. ISSN 1815-5944.

1. Introducción

El carburo de tungsteno cementado (WC) se caracteriza por tener una alta dureza, elevada densidad, alta resistencia a la flexión y buena tenacidad a la fractura. Estas propiedades le confieren una considerable aplicación en diversas esferas de la construcción de máquinas y equipos, incluyendo la fabricación de herramientas de corte [1]. La mezcla uniforme de WC con los polvos de la fase aglutinante es la base para la fabricación de carburos cementados con un excelente rendimiento [2]. Junto a los cermets, son de los productos

de la pulvimetalurgia más extendidos a nivel mundial, debido a la excelente combinación de dureza y tenacidad en comparación con otros materiales de corte, como el diamante o los aceros de alta velocidad [3].

Los polvos de carburo cementado se producen aplicando el mezclado de los constituyentes en molinos trituradores o de bolas, seguido del secado de la mezcla en gas inerte o vacío. Las partículas eventualmente pueden pasar a la granulación [2]. Las técnicas convencionales pueden producir una gama relativamente amplia de geometrías de partículas de WC-Co con varios enlaces entre los constituyentes. Por lo tanto, los polvos pueden diferir en su fluidez [4]. Los polvos de carburo cementado generalmente presentan una forma casi esférica [5].

En el proceso de fabricación de los insertos de carburo cementado, es muy importante mantener un control de las propiedades de los polvos que son utilizados, ya que de ellas dependen en gran medida las propiedades de la herramienta de corte [como es el caso del tamaño del grano que tiene una incidencia significativa en la tasa de desgaste, la resistencia del inserto y la dureza] [6]. La distribución del tamaño de la partícula y su forma son importantes en el empaquetamiento del polvo e influirá en su comportamiento durante el moldeado, el sinterizado y el flujo de los polvos.

La determinación de las características y propiedades de los polvos de carburo cementado que se adquieren para la fabricación de insertos por la industria nacional, constituye una necesidad como parte inherente al proceso de producción. El presente trabajo tiene como objetivo la verificación de los valores de densidad aparente, de tasa de flujo y de tamaño de los granos del polvo utilizado en la fabricación de insertos P30S por la industria nacional.

2. Métodos y Materiales

Medición del tamaño promedio del grano

Para el estudio se seleccionó un polvo P30S de la firma Sandvik. La metodología para la determinación del tamaño promedio del grano se basó en la expuesta en [7]. Para el control del tamaño de la partícula se utilizó el microscopio óptico marca Novel, figura 1, que permite contar y dimensionar partículas de 0,5 a 100 μm de tamaño (el diámetro de Feret [8] coincide con el diámetro de la esfera). La profundidad de campo del microscopio óptico es de aproximadamente 10 μm a 100X y 0,5 μm a 1000X [9].

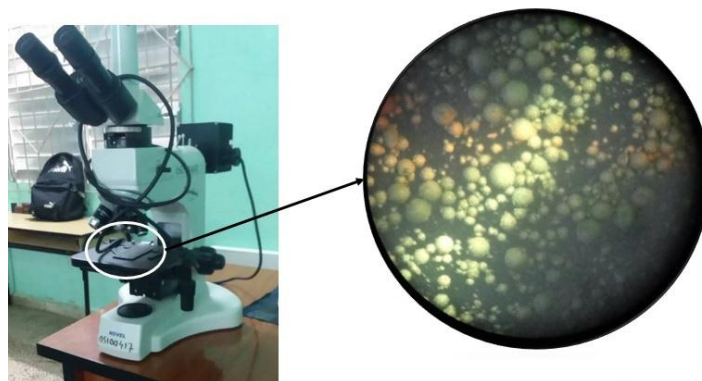


Fig.1. Microscopio Novel e imagen obtenida (100X). Fuente: autores

Medición de la densidad aparente y la tasa de flujo

Para medir la densidad aparente y la tasa de flujo se utilizó un caudalímetro de Hall, diseñado y fabricado según lo establecido en las normas ASTM B 212-13 [10] y ASTM B213-13 [11], para polvos que fluyen libremente, figura 2. El caudalímetro Hall presenta un orificio calibrado de 2,5 mm de diámetro y fue fabricado de acero inoxidable AISI 304.



Fig. 2. Caudalímetro de Hall. Fuente: autores

La metodología utilizada para la medición de la densidad aparente fue la descrita en la norma ASTM B 212-13, que consiste en dejar fluir a través del embudo, por gravedad, la cantidad necesaria para llenar un recipiente de 25 cm^3 . Se debe garantizar el no agitar el recipiente para no reacomodar las partículas y evitar así, variar la masa contenida dentro de este. El peso del polvo es igual a 72,15 g, el cual se midió en una balanza KERN con

apreciación de 0,1 g. La dureza del inserto una vez fabricado fue medida con un durómetro Rockwell modelo 200 HRS-150, marca Digital Display Rockwell.

3. Resultados y Discusión

Tamaño promedio del grano

En la tabla 1 se muestra el porcentaje de partículas en cada rango y la intensidad de la misma en %. A partir de estos datos se obtiene la gráfica granulométrica del polvo, figura 3. Como se puede observar, el 95 % de las partículas de la muestra (d_{95}) se encuentra en un rango de tamaño entre 1,5 y 2 μm , lo cual está en correspondencia con los datos brindados en el catálogo del fabricante para el polvo P30S.

Tabla 1. Distribución de partículas por rango de medición. Fuente: autores

Rango	Cantidad de partículas	% de partículas	Intensidad (%)
0 – 1,0	219	28,93	28,93
1,0 – 1,5	206	27,21	56,14
1,5 – 2,0	312	41,22	97,36
2,0 – 2,5	19	2,51	99,87
2,5 – 3,0	1	0,13	100,00

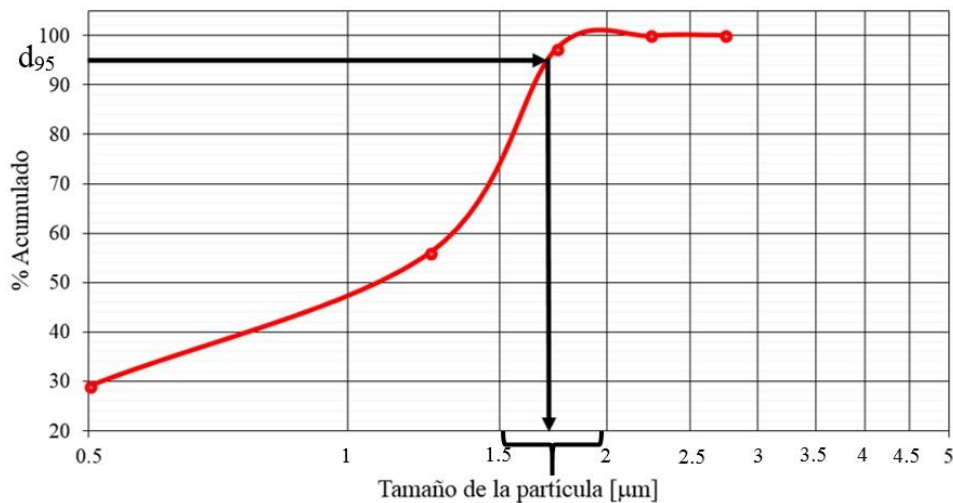


Fig. 3. Gráfica que representa el comportamiento de la granulometría del polvo. Fuente: autores

Se puede afirmar que el tamaño del grano de la muestra analizada se corresponde con un polvo P30S. Teniendo en cuenta que el tamaño del grano influye directamente en la dureza, se realizó una verificación de este parámetro en una partida de insertos, dando como resultado los datos mostrados en la tabla 2, lo cual muestra que la dureza promedio del inserto, con un 95 % de confianza está en los valores esperados.

Tabla 2. Medición de dureza del inserto P30S. Fuente: autores

P30S	Dureza HRA					Promedio
	1	2	3	4	5	
1	89,60	90,30	90,30	90,40	90,50	90,22
2	90,00	90,00	89,40	90,40	90,50	90,06
3	90,20	87,30	89,40	90,70	90,00	91,00
4	90,80	90,70	90,70	90,50	90,80	90,70
5	89,80	90,50	90,90	94,60	89,20	91,00
6	90,20	90,10	90,10	90,20	89,70	90,06
7	89,70	90,40	89,60	90,30	90,70	90,14
8	90,20	88,10	89,90	89,20	88,90	89,26
9	90,40	89,10	87,90	90,40	90,70	89,70
10	88,90	90,10	90,90	90,60	90,80	90,26
11	91,00	90,40	90,00	90,60	90,40	90,48
12	90,70	90,80	90,70	91,10	90,80	90,82
13	90,60	90,70	91,00	90,40	90,00	90,54
14	90,10	89,80	89,40	90,90	90,80	90,20
15	90,00	90,20	90,00	90,90	90,60	90,34
16	90,80	90,40	91,00	90,30	90,10	90,52
17	90,20	91,00	90,30	89,90	86,80	89,64
18	90,50	90,70	90,50	90,20	90,50	90,48
19	89,90	90,30	90,60	90,90	91,00	90,54

20	90,70	91,20	91,00	91,00	91,10	91,00
Promedio						90,30
Desviación standard (S)						0,81529129
Intervalo de confianza para un 95 % de confiabilidad HB(± S • t)						HRA (88,90-91,70)

Densidad aparente

Para el cálculo de la densidad aparente se realizaron tres mediciones siguiendo el procedimiento que establece la norma. En la tabla 3 se muestran los resultados del peso de los 25 cm³ de polvo recogidos en el vaso (densímetro) y el promedio de estas mediciones.

Tabla 3. Datos obtenidos de la medición del peso de 25 cm³ de los diferentes tipos de polvos. Fuente: autores

Tipo de polvo	Cantidad de mediciones	Peso del polvo (g)
P30S	1	71,93
	2	72,32
	3	72,21
Promedio		72,15

Luego se calcula el valor de la densidad aparente según la ecuación (1):

$$\rho_{ac} = \frac{M}{V} = \frac{M}{25} = 2,89 \text{ g/cm}^3 \quad (1)$$

Donde: M es la masa de polvo en la copa de densidad en gramos; y V es el volumen de la copa de densidad en cm³.

El resultado de la ecuación (1) demuestra que la densidad aparente del polvo analizado coincide con el brindado por el fabricante.

Tasa de flujo

Para el cálculo de la tasa de flujo se realizaron tres mediciones según establece la norma. En la tabla 4 se muestran los resultados de la medición del tiempo de flujo del peso de los 25 cm³ de polvo recogidos en el vaso (densímetro), para cada tipo de polvo estudiado.

Tabla 4. Medición del tiempo de flujo para 25 cm³ de los diferentes tipos de polvos. Fuente: autores

Tipo de polvo	Cantidad de mediciones	Tiempo de flujo (s) 25 cm ³
P30S	1	38,5
	2	38,8
	3	38,35
Promedio		38,55

La tasa de flujo (FR_c) se calculó según la ecuación (2):

$$FR_c = \frac{t}{M} = 38,55 \frac{s}{25} \text{ cm}^3 \quad (2)$$

Donde: t es el tiempo en segundos que transcurre al fluir el polvo; y M es la masa del polvo ensayado en gramos.

El resultado obtenido según la ecuación (2) se corresponde con el ofrecido por el fabricante. Igualmente en un control realizado a una partida de insertos, se les comprobó la densidad de los mismos. Los resultados se muestran en la tabla 5. Se observa que los valores se corresponden con los establecidos para un 95 % de confianza.

Tabla 5. Control realizado a una muestra de insertos fabricados. Fuente: autores

P30S	Densidad (g/cm ³)				Promedio
	1	2	3	4	
1	13,07	12,71	12,90	13,10	12,95
2	13,40	13,10	13,12	13,90	13,38
3	13,30	13,20	13,20	12,90	13,15
4	13,07	12,72	12,84	13,10	12,93
5	13,30	13,30	13,30	13,10	13,25
6	13,20	13,10	12,90	13,20	13,10
7	13,30	13,30	13,05	13,10	13,19
8	13,08	13,20	13,08	13,10	13,12
9	13,07	13,09	13,09	13,07	13,08

P30S	Densidad (g/cm ³)				Promedio
	1	2	3	4	
10	13,07	13,29	13,13	13,20	13,17
11	13,12	13,10	13,30	13,10	13,16
12	13,30	13,20	12,80	12,90	13,05
13	13,30	13,04	13,10	13,06	13,13
14	12,90	13,14	13,20	13,30	13,14
15	13,09	13,30	12,96	12,90	13,06
16	13,20	13,15	12,90	13,10	13,09
17	12,92	13,05	13,10	13,30	13,09
18	13,09	13,12	13,20	13,14	13,14
19	13,30	13,40	13,20	13,10	13,25
20	13,09	13,11	13,20	12,98	13,10
Promedio					13,1265
Desviación standard (S)					0,14520919
Intervalo de confianza para un 95 % de confiabilidad HB(±S*t)					12,8-13,3

Conclusiones

La medición del tamaño promedio de grano permitió verificar que este se encuentra en un rango de 1,5 a 2 μm , lo cual se corresponde con lo planteado por la literatura y por los datos aportados por el fabricante. Esto también se cumple para los valores de tasa de flujo y densidad aparente. Se verificó que la forma geométrica de la partícula del polvo P30S suministrado se corresponde con una esfera. Los resultados de las propiedades de los polvos analizados, se reflejaron en las propiedades analizadas en los insertos una vez fabricados.

Referencias

- Ku N, Pittari JJ, Kilczewski S, Kudzal A. Additive Manufacturing of Cemented Tungsten Carbide with a Cobalt-Free Alloy Binder by Selective Laser Melting for High-Hardness Applications. *JOM*. 2019;71(4):1535-42.
- Min FL, Yu SB, Wang S, Yao ZH, Noudem JG, Liu SJ, et al. Preparation and properties of Ni-coated WC powder and highly impact resistant and corrosion resistant WC-Ni cemented carbides. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 2022;32(6):1935-47.
- García J, Collado Ciprés V, Blomqvist A, Kaplan B. Cemented carbide microstructures: a review. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 2019;80:40-68.
- Bricín D, Ackermann M, Jansa Z, Kubátová D, Kříž A, Špirit Z, et al. Development of the Structure of Cemented Carbides during Their Processing by SLM and HIP. *Metals*. 2020;10(11):1477.
- Liu D, Yue W, Kang J, Wang C. Effects of Different Substrates on the Formability and Densification Behaviors of Cemented Carbide Processed by Laser Powder Bed Fusion. *Materials*. 2021;14(17):5027.
- Wang H, Gee M, Qiu Q, Zhang H, Liu X, Nie H, et al. Grain size effect on wear resistance of WC-Co cemented carbides under different tribological conditions. *Journal of Materials Science & Technology*. 2019;35(11):2435-46.
- Metal Powder Industries Federation. *Standard Test Methods for Metal Powders and Powder Metallurgy Products*. 2012th Edition. Princeton, USA: Metal Powder Industries Federation; 2012.
- Otoničar M, Brađeško A, Salmanov S, Chung CC, Jones JL, Rojac T. Effects of poling on the electrical and electromechanical response of PMN-PT relaxor ferroelectric ceramics. *Open Ceramics*. 2021;7:100140.
- Neikov OD, Yefimov NA. Chapter 1 - Powder Characterization and Testing. In: *Handbook of Non-Ferrous Metal Powders* (2nd Edition). Oxford, UK: Elsevier; 2019.
- ASTM. American Society for Testing and Materials. ASTM 212-13 Standard Test Method for Apparent Density of Free-Flowing Metal Powders Using the Hall Flowmeter Funnel. B212 - 13: June 2013; 2013.
- ASTM. American Society for Testing and Materials. ASTM 213-13 Standard Test Methods for Flow Rate of Metal Powders Using the Hall Flowmeter Funnel. B213 - 13: June 2013; 2013..

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

Ricardo del Risco Alfonso. <https://orcid.org/0000-0002-0225-9281>

Participó en la búsqueda de información, en el diseño de la investigación, en la recolección de los datos experimentales, análisis de los resultados, así como en la revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del trabajo final.

José Castelló González. <https://orcid.org/0000-0001-8399-7034>

Participó en el diseño de la investigación, en la recolección de los datos experimentales, análisis de los resultados, así como en la revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del trabajo final..

Horacio Delgado Martínez. <https://orcid.org/0009-0006-9676-6677>

Participó en la obtención de datos experimentales. Trabajó en el procesamiento e interpretación de los datos recogidos para el estudio, así como en la revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del trabajo final.

Carlos Alberto González Barreda. <https://orcid.org/0000-0002-1130-6131>

Participó en la obtención de datos experimentales. Trabajó en el procesamiento e interpretación de los datos recogidos para el estudio, así como en la revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del trabajo final.

Patricia del Carmen Zambrano Robledo. <https://orcid.org/0000-0002-9491-0069>

Trabajó en el procesamiento e interpretación de los datos experimentales para el estudio, así como en la revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del trabajo final.

Roberto Pérez-Rodríguez. <https://orcid.org/0000-0001-5741-5168>

Participó en la búsqueda de información, análisis de los resultados experimentales, así como en la revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del trabajo final.