

Таблица 1 – Физико-механические свойства керамических материалов

Состав материала	$\rho$ , цилиндры г/см <sup>3</sup>	П, %	W, %	Hv, ГПа	$\sigma_{сж}$ , цилиндры МПа	$\rho$ , балки г/см <sup>3</sup>	$\sigma_{изг.}$ , балки, МПа
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,76	0,2	0,04	16,1	1003	4,02	169,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +1 % $\theta$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,75	0,2	0,04	16,0	771	3,75	193,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +5 % $\theta$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,69	0,4	0,11	16,1	1033	3,60	216,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +10 % $\theta$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,74	0,3	0,07	14,1	817	3,85	210,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +15 % $\theta$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,71	0,2	0,05	15,5	1005	3,72	203,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +1 % $\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,78	0,35	0,09	17,1	992	3,70	176,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +5 % $\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,85	0,2	0,05	16,8	1363	3,84	211,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +10 % $\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,90	0,1	0,03	16,7	1462	3,74	219,6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +15 % $\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,80	0,3	0,08	16,4	1350	3,78	248,3

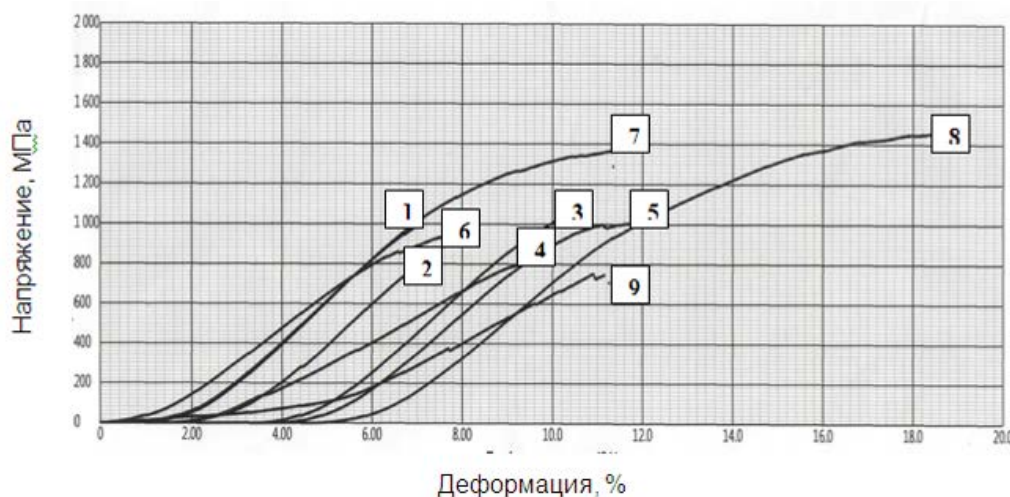


Рисунок 1- Деформационные кривые при сжатии образцов керамики из порошка корунда с наноструктурными наполнителями: 1 - без наполнения; с добавкой  $\theta$ - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (мас. %): 1мас. % – 2; 5мас. % - 3; 10мас. % - 4; 15мас. % - 5 и с добавкой  $\alpha$ - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (мас. %): 1мас.% - 6; 5мас. % - 7; 10мас. % - 8; 15мас. % - 9

УДК 620.178

**ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ ПОРОШКОВ И ТВЕРДОСТИ ПОКРЫТИЙ ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ОТХОДОВ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ**

**Шемберев И.А.**

ФГБНУ «ФНАЦ ВИМ», г. Москва, Российская Федерация

Спеченные твердые сплавы оказывают существенное влияние на современную технику. Основой большого количества применяемых твердых сплавов, является карбид вольфрама. Анализ исследовательских работ в области вольфрамсодержащих твердых сплавов показывает, что большинство из них связано с вопросом экономии вольфрама. Этот вопрос имеет весьма актуальное значение в связи с дефицитом, дороговизной и непрерывным расширением областей применения вольфрама. С экономией вольфрама тесно связаны мероприятия по сбору отходов твердых сплавов и их переработка. В отечественной и зарубежной промыш-

ленности в настоящее время применяют несколько методов переработки отходов твердых сплавов, которые в большинстве своем характеризуются энергоёмкостью, большими производственными площадями, малой производительностью, а также экологическими проблемами. Одним из перспективных методов получения порошка, практически из любого токопроводящего материала, в том числе и твердого сплава, отличающийся относительно невысокими энергетическими затратами и экологической чистотой процесса, является метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД) [1].

Электроэрозионное диспергирование металлов решает проблему переработки практически любых видов металлических отходов, позволяя обеспечить повторное их использование, и значительно повысить экономическую эффективность процессов упрочнения и восстановления деталей и ремонта машин.

В ФГБНУ ФНАЦ ВИМ разрабатывается технология и оборудование для электроэрозионного диспергирования (ЭЭД) металлических отходов машиностроения с целью получения порошка для упрочнения и восстановления деталей и рабочих органов сельскохозяйственной техники.

Для нанесения твердых, износостойких покрытий предлагается использовать порошки, получаемые диспергированием исходного (диспергируемого) материала изношенных и некондиционных многогранных неперетачиваемых твердосплавных пластин, предназначенных для припаивания и механического крепления на режущий инструмент из спеченных твердых сплавов марки Т15К6, состоящих из карбида вольфрама (79%), карбида титана (15%) и кобальта (6%). Физико-механические свойства спеченных твердых сплавов (по ГОСТ 3882–74) [2].

Процессы, происходящие при электроэрозионном диспергировании, протекают в межэлектродном пространстве, заполненном рабочей жидкостью, которая, находясь в рабочей зоне, оказывает на процесс, электроды, кусочки диспергируемого материала и продукты эрозии физическое, химическое, моющее и механическое воздействие. Это влияние сказывается на всех стадиях процесса ЭЭД.

Всем вышеперечисленным требованиям в наибольшей степени отвечают вода дистиллированная (ГОСТ 6709–72) [3] как жидкость, имеющая наиболее простой химический состав, достаточно высокую охлаждающую способность, а также относительно низкую стоимость.

Измерение микротвердости порошков осуществлялось на шлифах, при помощи микротвердомера КМТ-1. Исследуемые порошки предварительно перемешивались в соотношении 1:1 со смолой ClaroFast, а затем полученная масса запрессовывалась и спекалась в смоле ClaroFast.

Выбор расчетной нагрузки на алмазную пирамиду определялся величиной твердости исследуемых частиц и требованиями ГОСТ 9450-60.

Отличительной особенностью процесса порошкообразования, протекающего при ЭЭД отходов твердых сплавов, является образование быстро закристаллизованных порошков с очень большим диапазоном скоростей охлаждения (от  $10^2$  до  $10^{10}$  °C/с), что отвечает условиям метастабильной кристаллизации с быстрым охлаждением, поэтому полученные порошки имеют более высокую микротвердость (таблица 1).

Таблица 1 – Микротвердость порошков, ГПа

Испытуемый материал	Т15К6
Порошок, полученный методом ЭЭД в воде дистиллированной	32,5
Исходный твердый сплав	26,4

Существенное влияние на микротвёрдость порошков оказывают изменения структуры поверхностного слоя и связанные с ними пластические деформации. На изменение микротвёрдости поверхностного слоя, а также толщины наклепа значительное влияние оказывают свойства рабочей жидкости, охлаждающей поверхность частиц порошка [4]. Образование тех или иных структур в поверхностном слое, определяющих значение микротвердости, во многом зависит от скорости охлаждения частиц, т.е. от охлаждающей способности рабочей жидкости. Также необходимо отметить, что с ростом вязкости рабочей жидкости, уменьшается

скорость отвода тепла от охлаждаемой поверхности, а, следовательно, уменьшается микротвердость последней.

Установлено что порошки, полученные методом ЭЭД, обладают большей микротвердостью, чем исходные сплавы, что объясняется спецификой процесса порошкообразования при электроэрозионном диспергировании.

Испытания на твердость образцов, полученных методом индуктивной наплавки проводились на твердомере ТК-2, результаты этих исследований представлены в таблице 2

Таблица 2 - Твердость покрытий, HRC

Образец	Тв(HRC)	Тв(HRC)	Тв(HRC)	ΔТв(HRC)	Е (отн.тв)
Сталь 65г(эталон)	40	35	38	37,6	1
Сталь3	1	1	1	1	
Сталь3+ПГСРЗ	45	45	47	45,6	1,2
Сталь3+бор.смесь	56	53	52	53,6	1,4
Сталь3+бор.смесь+Т15К6(5%)	58	61	62	60,3	1,6
Сталь3+бор.смесь+Т15К6(10%)	65	67	64	65,3	1,7
Сталь3+бор.смесь+Т15К6(15%)	59	56	58	57,6	1,5

Для исследования свойств наплавленного слоя от стрельчатой лапы были вырезаны сегменты на установке для эрозионной резки металлов. Далее для получения точных значений твердости покрытий на них была шлифована плоская площадка. Для испытаний на твердость наплавленных покрытий использовали алмазный конус и шкалу «С» твердомера ТК-2 методами Роквелла по ГОСТ 9013-79.[5]

Установлено, что твердость покрытий нанесенных методом индукционной наплавки на образцы (сталь3) не уступают по твердости эталону (Сталь65г),а даже превосходят по твердости максимум в 1,7раза с добавлением к борировуемой смеси 10%Т15К6 порошка полученного способом электроэрозионного диспергирования.

По результатам экспериментальных исследований в дальнейшем будет предложен новый ресурсосберегающий технологический процесс упрочнения рабочих органов сельскохозяйственной техники на примере стрельчатых лап культиватора за счет использования материалов из отходов машиностроительного производства что позволит снизить на 10-30% себестоимость без снижения эксплуатационных характеристик.

#### Литература

- 1.Металлургические особенности процесса получения порошков из отходов твердых сплавов методом ЭЭД в кислород и углеродсодержащих рабочих жидкостях: научно-образовательный курс / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2012 60с.
2. ГОСТ 3882–74.Сплавы твердые спеченные.
3. ГОСТ 6709–72. Вода дистиллированная. Технические условия [Текст]. – Введ. – 1974 – 01 – 01. – М.: ИПК Изд-во стандартов. – 11 с.
4. Латыпов, Р.А. Состав и свойства порошков из отходов твердых сплавов ВК8 и Т15К6, полученных электроэрозионным диспергированием [Текст] / Р.А. Латыпов, А.Б. Коростелев, Е.В. Агеев // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2010. – № 7. – С. 2–7.
5. ГОСТ 9013-79. Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу.