

В. Лавриненко, Г. Ильницкая, И. Зайцева., В. Смоквина,
А. Максименко, В. Скрыбин, Киев, Украина

УЛУЧШЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ В РАЗНЫХ РОСТОВЫХ СИСТЕМАХ, ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛМАЗНОГО КАМНЕОБРАБАТЫВАЮЩЕГО И ПРАВЯЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Аннотация. На эффективность работы алмазного камнеобрабатывающего и прецизионного правящего инструмента очень большое влияние оказывают физико-механические свойства шлифпорошков синтетического алмаза, применяемых при оснастке правящих роликов. Свойства шлифпорошков алмаза, в свою очередь, обуславливаются технологиями синтеза, обогащения, обработки, классификации по размерам и форме, сортировки, что способствует получению порошков с заданными свойствами. В результате совершенствования процесса синтеза рядом ведущих зарубежных фирм получены синтетические алмазы с очень высокой прочностью, из которых могут быть изготовлены высокопрочные порошки алмаза марок АС200–АС400. Исследования проводили на алмазах зернистости 400/315 разных марок, синтезированных в системах: Ni-Mn-C, Fe-Ni-C, Fe-Co-C. В результате выполненных исследований показано, что физико-механические характеристики алмазных шлифпорошков (прочность и термостойкость), синтезированных в разных ростовых системах Ni-Mn-C, Fe-Co-C и Fe-Ni-C, с большим содержанием внутрикристаллических примесей и включений (более 2 раз) по сравнению с алмазами с меньшим содержанием - снижаются от 3 до 5 раз. Для повышения эффективности разделения шлифпорошков синтетического алмаза, синтезированных с применением ферросплавов, разработан способ разделения алмазов по дефектности их поверхности, путем избирательного нанесения электропроводных тонкодисперсных частиц и за счет сил адгезии закрепления их на поверхности зерен порошка (для усиления естественных электрических свойств), что позволяет разделять зерна алмаза в электрическом поле на 5–7 фракций, различающиеся между собой по прочностным характеристикам, и улучшить селективность их разделения по прочностным характеристикам. Использование в инструменте алмазных шлифпорошков с высокой однородностью по прочности позволит повысить эффективность алмазного камнеобрабатывающего и правящего инструмента.

Ключевые слова: синтетические алмазные шлифпорошки; камнеобрабатывающий и правящий инструмент; физико-механические характеристики; однородность по прочности; содержание внутрикристаллических примесей.

В промышленности все большее распространение приобретает интенсивно развивающееся прецизионное глубинное врезное шлифование, обеспечивающее высокопроизводительную и качественную обработку деталей сложной формы, в том числе из труднообрабатываемых материалов. В камнеобработке большое значение имеет применение алмазного камнеобрабатывающего инструмента.

На эффективность работы алмазного инструмента очень большое влияние оказывают физико-механические свойства шлифпорошков синтетического алмаза. На современном этапе развитие прогрессивных технологий обработки деталей машин с использованием современного алмазного инструмента требует применения в них порошков алмаза высокого качества с высокой однородностью по показателям прочностных характеристик и геометрических размеров зерен [1]. Свойства шлифпорошков алмаза, в свою очередь, обуславливаются технологиями синтеза, обогащения, обработки, классификации по размерам и форме, сортировки, что способствует получению порошков с заданными свойствами. Размеры кристаллов алмаза, количество в них примесей и включений, прочностные характеристики во многом зависят от скорости роста кристаллов. В рабочем пространстве аппаратов высокого давления невозможно обеспечить одинаковые условия для увеличения размеров всех кристаллов из-за неоднородности температуры и давления, что приводит к образованию кристаллов с разными физико-механическими свойствами.

Для изготовления камнеобрабатывающих и правящих инструментов используются обычно порошки природных алмазов повышенной прочности и зернистости. Это обусловлено необходимостью обеспечения правящему инструменту максимально возможной стойкости. В результате совершенствования процесса синтеза рядом ведущих зарубежных фирм получены синтетические алмазы с очень высокой прочностью, из которых могут быть изготовлены высокопрочные порошки алмаза марок до АС300.

Поэтому целью данной работы было исследование физико-механических свойств высокопрочных (АС50–АС300) шлифпорошков синтетических алмазов применяемых для оснастки камнеобрабатывающего и правящего инструмента.

Исследования проводились на алмазах зернистости 400/315 различных марок, синтезированных в системах Ni-Mn-C, Fe-Ni-C, Fe-Co-C. Алмазные шлифпорошки оценивали по зерновому составу, прочности (P), коэффициенту формы (K_f), дефектности поверхности алмазов (K_a); для измерения электрофизических характеристик: удельного электросопротивления (ρ), удельной магнитной восприимчивости (χ) использовались методики, разработанные в ИСМ им. В.М. Бакуля.

Элементный состав примесей и включений в шлифпорошках алмаза определяли путем рентгенофлуоресцентного интегрального анализа с использованием растрового электронного микроскопа BS-340 и энергодисперсного анализатора рентгеновских спектров Link-860, а элементный состав примесей – с помощью усовершенствованной

программы количественного анализа ZAF-4FLS, разработанной фирмой «Link», Великобритания.

Термостойкость шлифпорошков алмаза оценивали по коэффициенту термостабильности (K_{TC}), равный отношению статической прочности алмазного порошка после термообработки (P_T) к показателю прочности при статическом сжатии зерен шлифпорошка к термообработки (P_I). Коэффициент термостабильности является характеристикой алмазных порошков, синтезированных в разных ростовых системах, позволяющий оценивать способность порошка сохранять прочность после нагрева.

Коэффициент однородности по прочности ($K_{одн.пр.}$) определенной зернистости и марки определяли по суммарному содержанию зерен, разрушающая нагрузка которых находится в интервалах прочности для номинальной марки в соответствии с ДСТУ 3292.

Коэффициент однородности по линейным размерам ($K_{одн.л.р.}$) определенной зернистости оценивали по суммарному содержанию зерен со средним линейным размером в пробе [2].

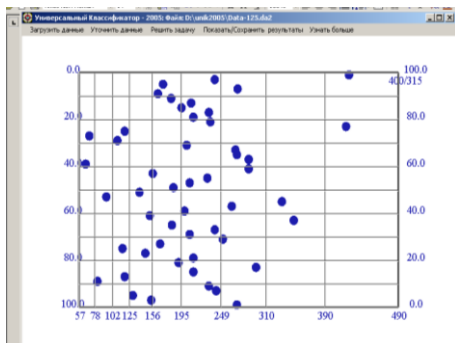
За линейный размер зерна алмаза ρ принимается полусумма длины (l) и ширины (b) проекции зерна: $\rho = (l + b) / 2$.

Для оценки параметров процесса разделения алмазов в магнитных и электрических полях использовали известные методы обогащения.

Для обработки результатов исследований применены современные методы математической статистики.

В связи с необходимостью проведения исследований разработаны новые методики для аналитической оценки однородности по прочности и размерам шлифпорошков алмаза.

Аналитическая оценка выполняется с использованием протоколов испытаний на P и измерений l и b проекции зерен алмаза. По этим данным определяется полная функция распределения по физическим свойствам качества ξ_i (P и ρ). Полученные данные являются массивом зерен с ξ_i , которые изменяются от ξ_{min} до ξ_{max} . Затем весь массив полученных показателей характеристик качества разбивают на ряд интервалов ($\xi_i - \xi_{i+1}$), соответствующих марке порошка по нормативным документам; определяется содержание зерен (γ_i), относящихся по ξ до указанных интервалов; рассчитывается кумулятивное содержание зерен в порошке сверху вниз ($\sum \gamma_i \downarrow$) и снизу вверх ($\sum \gamma_i \uparrow$) и кумулятивные свойства ξ зерен в порошке по растущему значению ($\bar{\xi}_i \downarrow$) и нисходящей ($\bar{\xi}_i \uparrow$).



а

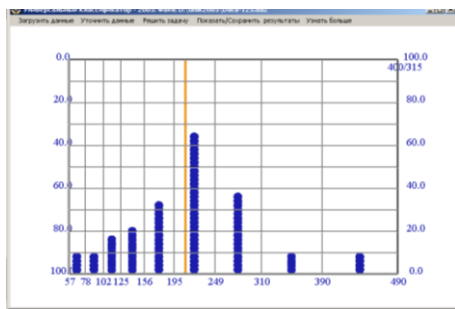
Универсальный Классификатор - 2005: Просмотр результатов

Марка	Прочн. min	Прочн. max	Кол-во, %	Сумма врх	Прочн. врх
AC32	57.00	78.00	4.00	100.00	210.46
AC50	78.00	102.00	4.00	36.00	216.42
AC55	102.00	126.00	8.00	32.00	221.91
AC80	126.00	156.00	10.00	84.00	232.24
AC100	156.00	195.00	16.00	74.00	244.64
AC125	195.00	249.00	24.00	52.00	259.14
AC160	249.00	310.00	18.00	26.00	315.04
AC200	310.00	390.00	4.00	8.00	395.00
AC250	390.00	490.00	4.00	4.00	440.00

Классификация: AC125 Среднее значение: 210.46 Однородность: 32.00

Выйти

б



в

Рисунок 1 – Электронные таблицы анализа порошка алмаза по прочности марки AC125 зернистости 400/315: **а** – содержание зерен алмаза с разной прочностью в пробе порошка, **б** – состав порошка алмаза по прочности, **в** – графическое представление распределения зерен порошка по прочности

На основаних вибраних принципів розроблена комп'ютерна програма розрахунку показателів міцності (P) і розміру (ρ). Програма дозволяє отримати інформацію про середню P і ρ , про складі і однорідності порошку по P і ρ , а також дозволяє прогнозувати кількісні результати розділення зерен порошків алмаза. Використовувані в програмі алгоритми забезпечують аналіз можливості розділення порошку на фракції по P і ρ .

Аналіз шліфпорошку алмаза марки АС125 зернистості 400/315 по (P) (рис. 1) показує, що порошок містить зерна алмаза, які розподіляються по маркам від АС32 до АС250, середньважесна міцність цього порошку $P_{cp}=210,46$ Н, однорідність по міцності становить 32 %.

При проведенні досліджень фізико-механічних характеристик шліфпорошків алмаза, синтезованих в присутстві різних сплавів-растворителів, було проведено вивчення фізико-механічних характеристик шліфпорошків алмаза зернистості 400/315 різних марок, синтезованих в системах Ni-Mn-C, Fe-Co-C і Fe-Ni-C, які мають різні міцнісні характеристики і різний вміст включень.

Таблиця 1 – Свойства алмазних шліфпорошків зернистості 400/315 різних марок, синтезованих в системі Ni-Mn-C

Найменування характеристик	Марки по ДСТУ 3292				
	АС125	АС100	АС80	АС65	АС50
Удельна магнітна вразливість, χ , $\times 10^{-8}$, м ³ /кг	1,8	3,48	8,0	10,5	15,2
Міцність при кімнатній температурі, P , Н	218,5	161,0	130,0	110,0	79,5
Міцність після термічної обробки, $P_{то}$, Н	192,3	132,0	92,3	71,5	35,0
Коефіцієнт термостабільності, $K_{ТС}$, %	88	82	71	65	44
Категорія термостабільності	ВТ	ВТ	СТ	СТ	НТ
Коефіцієнт однорідності по міцності, Кодн. пр., %	69	61	65	58	54
Коефіцієнт дефектності поверхні, K_a , %	0,13	0,19	0,44	0,62	1,23
Вміст включень, β , атом. %	1,108	–	2,109	–	3,017

В шлифпорошках алмаза разных систем определяли прочностные характеристики: показатель прочности при статическом сжатии (P) до и после термической обработки при 1100°C , коэффициент термостабильности (K_{TC}), коэффициент однородности по прочности ($K_{\text{одн.пр.}}$), а также измеряли их удельную магнитную восприимчивость (χ), элементный состав и общее содержание внутрикристаллических примесей и включений (β).

Характеристики алмазных шлифпорошков марок AC125–AC50, синтезированных в системе Ni–Mn–C, представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 следует, что прочность шлифпорошков алмаза марок AC125–AC50 устойчиво снижаются от содержания в них включений. При увеличении содержания включений с 1,108 до 3,017 атом. % прочность при комнатной температуре снижается от 218,5 до 79,5 Н, а после термической обработки – от 192,3 до 35,0 Н. Эта же тенденция сохраняется и для коэффициента термостабильности алмазов (K_{TC}) снижается от 88 до 44 %. По K_{TC} установлена категория термостабильности для алмазов марок: AC125 и AC100 высокая (BT), AC80 и AC65 – средняя (CT) и для AC50 – низкая (HT). Коэффициент однородности шлифпорошков синтетических алмазов изменяется от 69 до 54 %. Удельная магнитная восприимчивость алмазов с ростом содержания включений увеличивается с $1,8 \times 10^{-8}$, м³/кг до $15,2 \times 10^{-8}$, м³/кг. Дефектность поверхности шлифпорошков разных марок по коэффициенту поверхностной активности изменяется от 0,13 до 1,23 %.

Характеристики алмазных шлифпорошков марок AC160–AC50, синтезированных в системе Fe–Co–C, представлены в таблице 2.

Из таблицы 2 следует, что прочность алмазных шлифпорошков марок AC160–AC50 снижается от содержания в них включений. При увеличении содержания включений с 0,481 до 2,012 атом. % прочность при комнатной температуре снижается от 258,5 до 86,9 Н, а после термической обработки – от 235,2 до 44,3,9 Н. Коэффициент термостабильности алмазов (K_{TC}) снижается от 91 до 51 %. По K_{TC} установлена категория термостабильности для алмазов марок: AC125 и AC100 высокая (BT), AC80 и AC65 – средняя (CT) и для AC50 – низкая (HT). Коэффициент однородности шлифпорошков синтетических алмазов изменяется от 79 до 36 %. Удельная магнитная восприимчивость алмазов с ростом содержания включений увеличивается с $22,3 \times 10^{-8}$ до $249,6 \times 10^{-8}$ м³/кг. Дефектность поверхности шлифпорошков разных марок по коэффициенту поверхностной активности изменяется от 0,15 до 2,41 %.

Таблиця 2 – Свойства алмазных шлифпорошков зернистости 400/315 разных марок, синтезированных в системе Fe-Co-C

Наименование характеристики	Марки по ДСТУ 3292					
	AC160	AC125	AC100	AC80	AC65	AC50
Удельная магнитная восприимчивость, $\chi \times 10^{-8}$, м ³ /кг	22,3	39,5	92,4	129,6	175,1	249,6
Прочность при комнатной температуре, P , Н	258,5	230,0	154,0	140,9	126,9	86,9
Прочность после термической обработки, $P_{ТО}$, Н	235,2	186,3	112,4	85,9	64,7	44,3
Коэффициент термостабильности, $K_{ТС}$, %	91	81	73	61	54	51
Категория термостабильности	BT	BT	CT	CT	CT	HT
Коэффициент однородности по прочности, $K_{одн. пр.}$, %	79	70	64	42	38	36
Коэффициент дефектности поверхности, K_a , %	0,15	0,24	0,98	1,41	1,75	2,41
Содержание включений, β , атом. %	0,481	–	0,637	0,912	1,745	2,012

Характеристики алмазных шлифпорошков марок AC250, AC200 и AC160, синтезированных в системе Fe–Ni–C, представлены в таблице 3.

Таблиця 3 – Свойства алмазных шлифпорошков зернистости 400/315 разных марок, синтезированных в системе Fe-Ni-C

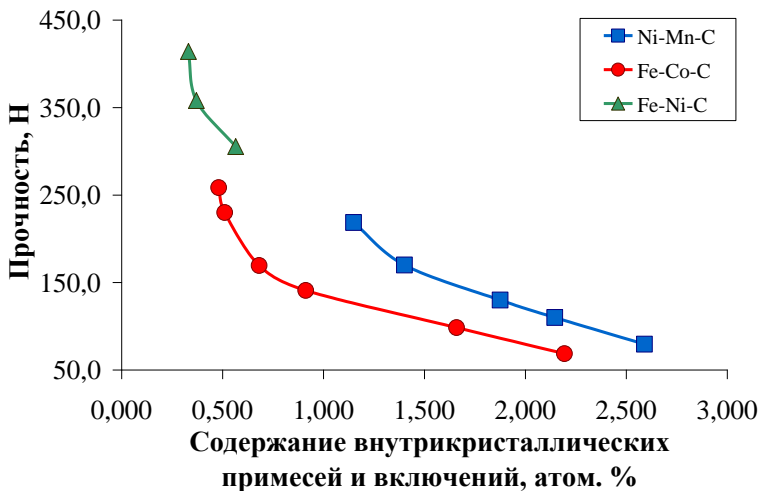
Наименование характеристики	Марки по ДСТУ 3292 и ТУ У 28.4–05417344–2003		
	AC250	AC200	AC160
Удельная магнитная восприимчивость, $\chi \times 10^{-8}$, м ³ /кг	3,2	10,2	24,7
Прочность при комнатной температуре, P , Н	414,2	358,0	305,5
Прочность после термической обработки, $P_{ТО}$, Н	393,5	304,3	220,0
Коэффициент термостабильности, $K_{ТС}$, %	0,95	0,85	0,72
Категория термостабильности	BT	BT	CT
Коэффициент однородности по прочности, $K_{одн. пр.}$, %	76	64	48
Коэффициент дефектности поверхности, K_a , %	0,05	0,12	0,23
Содержание включений, β , атом. %	0,331	0,439	0,617

Из таблицы 3 следует, что прочность алмазных шлифпорошков марок АС250–АС160 снижается от содержания в них включений. При увеличении содержания включений с 0,331 до 0,617 атом. % прочность при комнатной температуре снижается от 414,2 до 305,5 Н, а после термической обработки – от 393,5 до 220,0 Н. Коэффициент термостабильности алмазов (K_{TC}) снижается от 95 до 72 %. По K_{TC} установлена категория термостабильности для алмазов марок: АС250 и АС200 высокая (ВТ), АС160 – средняя (СТ). Коэффициент однородности шлифпорошков синтетических алмазов изменяется от 76 до 48 %. Удельная магнитная восприимчивость алмазов с ростом содержания включений увеличивается с $3,2 \times 10^{-8}$ до $24,7 \times 10^{-8}$ м³/кг. Дефектность поверхности шлифпорошков разных марок по коэффициенту поверхностной активности изменяется от 0,05 до 0,23 %.

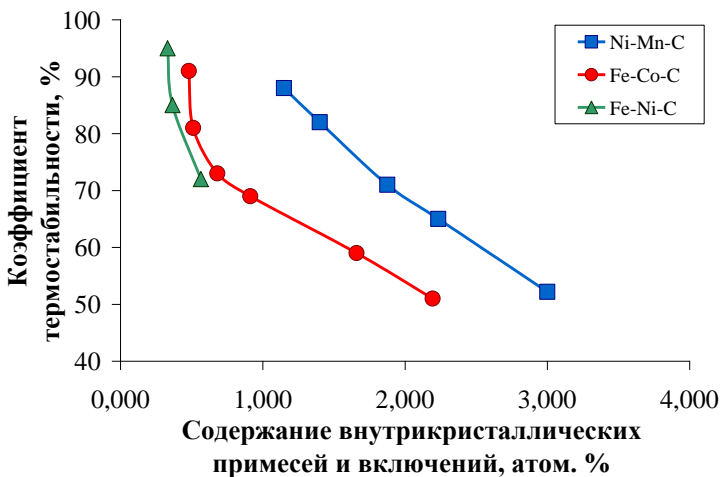
Изменение прочности шлифпорошков синтетического алмаза зернистости 400/315 при комнатной температуре, синтезированных в разных ростовых системах, от содержания в них внутрикристаллических примесей и включений графически показано на рис. 2.

Как видно из рис. 2 характеристики прочности алмазов, синтезированных в системах Ni-Mn-C, Fe-Co-C и Fe-Ni-C как исходных, так и после высокотемпературных обработок, с увеличением в них внутрикристаллических примесей и включений, особенно металлических (более 2 раз) снижается от 3 до 5 раз. Высокопрочностные термостойкие шлифпорошки синтетического алмаза, синтезированные в системе Fe-Ni-C, содержат меньшее количество внутрикристаллических примесей и включений, и имеют высокую прочность и термостойкость.

Анализ данных таблиц 1–3 показал, что шлифпорошки синтетического алмаза разных марок, синтезированные в разных ростовых системах Ni-Mn-C, Fe-Co-C и Fe-Ni-C, отличаются между собой по магнитным свойствам. Шлифпорошки, выращенные в системе Fe-Co-C с применением в качестве растворителя углерода ферросплава в виде Fe-Co, обладают более высокими магнитными характеристиками (удельной магнитной восприимчивостью $\chi \times 10^{-8}$, м³/кг). Для изучения изменения магнитных свойств шлифпорошков синтетического алмаза, синтезированных в системах Ni-Mn-C, Fe-Co-C и Fe-Ni-C, в порошках определяли элементный состав и общее содержание внутрикристаллических примесей и включений (таблица 4).



а



б

Рисунок 2 – Изменение характеристик прочности (а – P и б – K_{TC}) шлифпорошков синтетического алмаза зернистости 400/315, синтезированных в системах Ni-Mn-C, Fe-Co-C и Fe-Ni-C, от содержания в них внуткристаллических примесей и включений

Таблица 4 – Элементный состав внутрикристаллических примесей и включений в шлифпорошках алмаза зернистости 400/315 разных ростовых систем: Ni-Mn-C, Fe-Co-C и Fe-Ni-C

Марка	Элементный состав, масс %										Общее содержание включений, масс. %
	Si	Ca	Ti	Cr	Fe	Co	Ni	Mn	Cu	Zn	
Ni-Mn-C											
AC125	0,040	0,003	0,003	0,014	0	0,006	0,541	0,471	0,021	0,009	1,108
AC80	0,046	0,005	0,006	0,018	0,017	0,011	1,136	0,865	0,024	0,010	2,138
AC50	0,051	0,007	0,009	0,0020	0,037	0,017	1,390	1,00	0,031	0,014	3,017
Fe-Co-C											
AC160	–	0,002	–	0,012	0,254	0,195	0,011	–	0,005	0,002	0,481
AC100	–	0,005	0,006	0,054	0,297	0,239	0,028	–	0,006	0,002	0,637
AC80	0,010	0,013	0,016	0,084	0,398	0,341	0,039	–	0,008	0,003	0,912
AC65	0,011	0,015	0,029	0,123	0,683	0,785	0,084	–	0,010	0,005	1,745
AC50	0,011	0,019	0,035	0,311	0,736	0,825	0,107	–	0,011	0,007	2,062
Fe-Ni-C											
AC250	–	0,015	–	–	0,161	0,016	0,114	0,003	0,022	–	0,331
AC200	–	0,026	–	–	0,212	0,031	0,124	0,007	0,039	–	0,439
AC160	–	0,040	0,016	0,060	0,222	0,058	0,139	0,010	0,058	–	0,617

Как следует из таблицы 4, шлифпорошки синтетического алмаза зернистости 400/315 разных марок отличаются между собой по элементному составу и по общему содержанию внутрикристаллических примесей и включений. В процессе изучения шлифпорошков синтетического алмаза зернистости 400/315 разных марок, синтезированных в разных ростовых системах, определяли магнитную восприимчивость каждого исследуемого порошка, а с помощью рентгенофлуоресцентного анализа элементный состав включений и примесей. Сумма всех обнаруженных элементов соответствует общему содержанию включений, а сумма элементов сплава-растворителя дает возможность оценить их содержание в порошке алмаза.

По разработанной ранее методике [3] произведен расчет магнитной восприимчивости примесей и включений ($\chi_{вкл.}$) в исследуемых шлифпорошках зернистости 400/315, синтезированных в разных ростовых системах Ni-Mn-C, Fe-Co-C и Fe-Ni-C с учетом существующих зависимостей:

$$\beta_A + \beta_{вкл} = 100\%$$

$$\chi_{исх} \cdot 100 = \chi_A \cdot \beta_A + \chi_{вкл} \cdot \beta_{вкл}, \text{ т.е.}$$

$$\chi_{исх} \cdot 100 = \chi_A \cdot \beta_A + \chi_{вкл}(100 - \beta_A)$$

$$\chi_{вкл} = \frac{\chi_{исх} \cdot 100 - \chi_A \cdot \beta_A}{100 - \beta_A},$$

где β_A и $\beta_{вкл.}$ – содержание в синтетическом алмазе беспримесного алмаза (β_A) и включений в нем ($\beta_{вкл.}$);

$\chi_{исх}$, χ_A , $\chi_{вкл.}$ – магнитная восприимчивость синтетического алмаза ($\chi_{исх}$), беспримесного алмаза ($\chi_A = -0,62 \times 10^{-8}$, м³/кг) и включений.

Таблица 5 – Физико-механические характеристики алмазов, синтезированные в разных ростовых системах

Марка	Удельная магнитная восприимчивость, $\chi, \times 10^{-8}$, м ³ /кг		Прочность P , Н	Содержание примесей и включений		
	$\chi_{исх}$	$\chi_{вкл.}$		сплава-растворителя		общее, масс. %
				масс. %	%	
Ni-Mn-C						
AC125	1,8	238,5	218,5	1,012	91,3	1,108
AC80	8,0	430,2	130,0	2,001	93,6	2,138
AC50	15,2	661,3	79,5	2,390	79,2	3,017
Fe-Co-C						
AC160	22,3	5104	258,5	0,449	93,3	0,481
AC100	92,4	17354	154,0	0,536	84,1	0,637
AC80	129,6	17620	140,9	0,739	81,0	0,912
AC65	175,1	11869	126,9	1,468	84,1	1,745
AC50	249,6	16029	86,9	1,561	75,7	2,062
Fe-Ni-C						
AC250	3,2	1388	414,2	0,275	83,0	0,331
AC200	10,2	3220	358,0	0,336	76,5	0,439
AC160	24,7	7913	305,5	0,361	58,5	0,617

Выполненные измерения $\chi_{исх}$ и определения элементного состава примесей и включений ($\beta_{вкл.}$) позволяют рассчитать магнитную восприимчивость включений ($\chi_{вкл.}$). Из анализа элементного состава примесей и включений в алмазе было рассчитано содержание элементов сплава-растворителя. Суммы элементов Ni и Mn для шлифпорошков алмаза, синтезированных в системе Ni-Mn-C, Fe и Co в системе Fe-Co-C, Fe и Ni в системе Fe-Ni-C. Все полученные данные приведены в таблице 5.

Из таблиц 4 и 5 видно, что алмазы, синтезированные в системах Ni-Mn-C, Fe-Co-C и Fe-Ni-C, различаются между собой по содержанию внутрикристаллических примесей и включений, а также по магнитным и прочностным характеристикам. При этом элементы сплава-растворителя преобладают и составляют от 93,6 до 58,5 % от общего количества имеющихся примесей и включений в порошках алмаза этих систем. Шлифпорошки алмаза, синтезированные в системах Fe-Co-C и Fe-Ni-C с применением ферросплавов для растворения углерода, за счет высоких

значений удельной магнитной восприимчивости внутрикристаллических примесей и включений $\chi_{вкл.}$, содержащихся в кристаллах алмазов, обладают высокими магнитными свойствами.

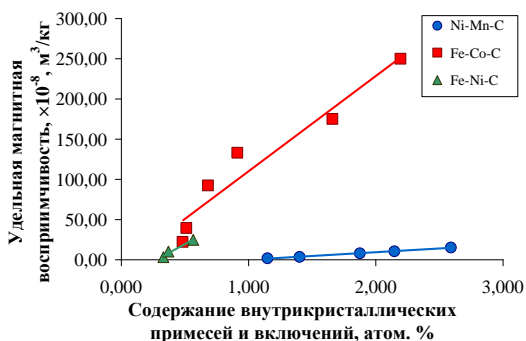


Рисунок 3 – Зависимость удельной магнитной восприимчивости шлифпорошков синтетического алмаза зернистости 400/315, синтезированных в системах Ni–Mn–C, Fe–Co–C и Fe–Ni–C от содержания в них внутрикристаллических примесей и включений

Кристаллы алмазов всех систем, содержащие меньшее количество внутрикристаллических примесей и включений, обладают большей прочностью. На рис. 3 графически показано изменение удельной магнитной восприимчивости шлифпорошков синтетического алмаза, синтезированных в системах Ni–Mn–C, Fe–Co–C и Fe–Ni–C от содержания в них внутрикристаллических примесей и включений.

В результате исследований физико-механических свойств алмазных шлифпорошков, синтезированных с применением ферросплавов, установлено что физико-механические характеристики алмазов (прочность и термостойкость), синтезированных в ростовых системах Fe–Co–C и Fe–Ni–C, как исходные так и после высокотемпературной обработки в инертной среде при температуре не более 1100°C, с увеличением в них внутрикристаллических примесей и включений, особенно металлических более 2 раз снижаются от 3 до 5 раз.

Для улучшения прочностных характеристик и повышения однородности по этим характеристикам необходимо проводить специальные сортировки шлифпорошков алмаза [4, 5].

Для повышения эффективности разделения шлифпорошков синтетического алмаза, синтезированных с применением ферросплавов, был усовершенствован способ адгезионно-магнитной сортировки

алмазних шліфпорошків. В пропонуваному способі передбачена обробка поверхні зерен шліфпорошків алмаза шляхом нанесення електропровідних тонкодисперсних частинок і адгезійного закріплення їх на поверхні зерен алмаза для створення приданих електричних властивостей і умов проведення процесу розділення порошку в електричному полі. Нанесення електропровідних тонкодисперсних частинок розміром не більше 1000 нм на поверхню зерен алмаза здійснюється при концентрації цих частинок не менше 5% [6, 7].

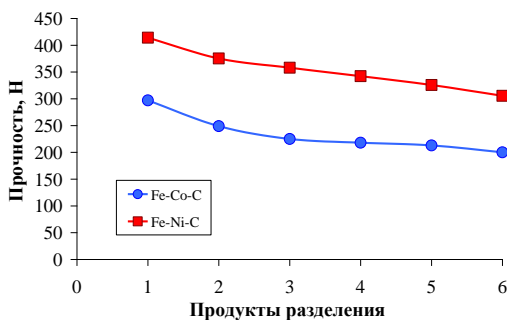


Рисунок 4 – Прочность (P) шліфпорошків алмаза зернистості 400/315, синтезованих в системах Fe-Co-C і Fe-Ni-C

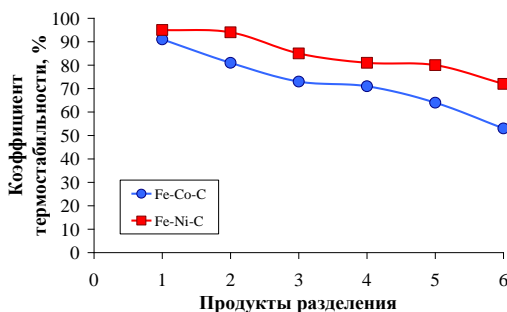
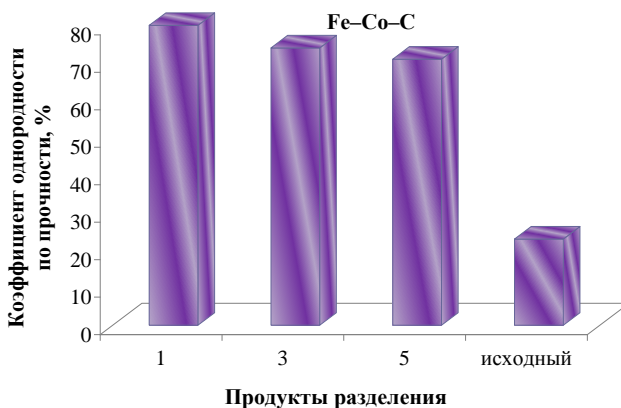


Рисунок 5 – Коефіцієнт термостабільності ($K_{ТС}$) алмазов зернистості 400/315, синтезованих в системах Fe-Co-C і Fe-Ni-C

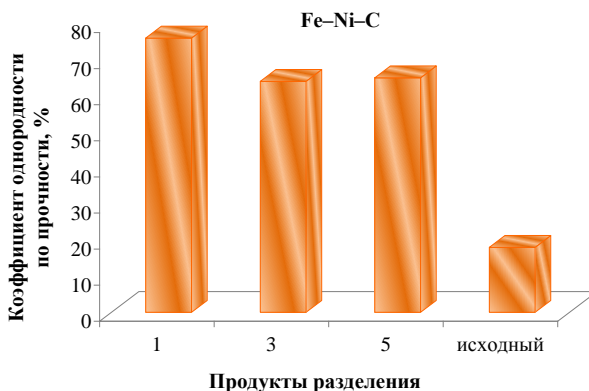
В результаті розділення по дефектності поверхні шліфпорошків алмаза зернистості 400/315, синтезованих в різних ростових системах Fe-Co-C і Fe-Ni-C, отримані порошки крайніх фракцій яких (1-й і 6-й) відрізняються між собою по прочності від 3,0 до 1,4 рази.

Полученные после сортировки порошки отличаются высокой термостойкостью и однородностью по прочности (рис. 4 и 5).

Термостойкость шлифпорошков алмазов снижается от первой к шестой фракции сортировки по дефектности поверхности шлифпорошков алмазов, синтезированных в системах Fe-Co-C и Fe-Ni-C. При этом термостойкость алмазов системы Fe-Ni-C выше.



a



b

Рисунок 6 – Однородность по прочности шлифпорошков синтетического алмаза зернистости 400/315, синтезированных в системах: *a* – Fe-Co-C и *b* – Fe-Ni-C

В результате разделения по дефектности поверхности шлифпорошков алмаза зернистости 400/315, синтезированных в разных

ростових системах Fe-Co-C и Fe-Ni-C получены порошки крайние фракции которых (1-я и 6-я) различаются между собой по прочности от 1,4 до 3,0 раз, по термостойкости от 1,3 до 1,7 раза.

На рисунке 6 показана однородность по прочности шлифпорошков алмаза зернистости 400/315, синтезированных в системах Fe-Co-C и Fe-Ni-C.

Как следует из рис. 6 по коэффициенту однородности по прочности шлифпорошки алмазов отличаются по сравнению с исходными порошками системы: Fe-Ni-C – 4,2–3,0 раза, Fe-Co-C – 3,5–2,4 раза.

На рис. 7 (а, б, в и г) представлены гистограммы распределения зерен алмаза по прочности в разных фракциях сортировки, синтезированных в системе Fe-Ni-C: а – исходный; б – № 1; в – № 3; г – № 6.

На рис. 7а показана гистограмма распределения зерен алмаза по прочности исходного шлифпорошка марки АС200. Из рисунка видно, что зерна алмаза распределились по прочности, соответствующей маркам от АС300 до АС65.

После разделения зерна алмаза в продукте №1 распределились по маркам от АС125 до АС300 (рис. 7б), в продукте №3 от АС125 до АС250 (рис. 7в) и в продукте № 6 от АС65 до АС200 (рис. 7г).

Для повышения эффективности разделения шлифпорошков синтетического алмаза, синтезированных с применением ферросплавов, впервые разработан способ разделения алмазов по дефектности их поверхности, путем избирательного нанесения электропроводных тонкодисперсных частиц и за счет сил адгезии закрепления их на поверхности зерен порошка (для усиления естественных электрических свойств), что позволяет разделять зерна алмаза в электрическом поле на несколько фракций и улучшить селективность их разделения по прочностным характеристикам.

Таким образом, выполненные исследования показали возможность эффективной сортировки по дефектности поверхности зерен шлифпорошков алмаза, синтезированных с применением ферросплавов. Установлено, что физико-механические характеристики алмазных шлифпорошков (прочность и термостойкость), синтезированных в разных ростовых системах Ni-Mn-C, Fe-Co-C и Fe-Ni-C, как исходных, так и после высокотемпературной обработки, с увеличением в них внутрикристаллических примесей и включений, особенно металлических, более 2 раз, снижаются от 3 до 5 раз. Использование в инструменте таких направленно улучшенных алмазных шлифпорошков позволит повысить эффективность алмазного камнеобрабатывающего и правящего инструмента.

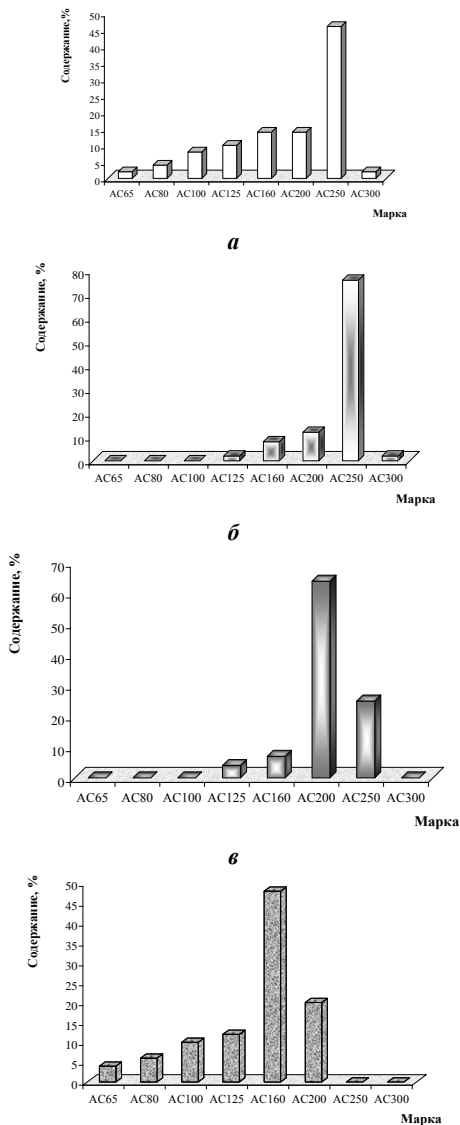


Рисунок 7 – Распределение зерен алмаза по прочности в разных фракциях сортировки зернистости 400/315, синтезированных в системе Fe-Ni-C: *а* – исходный; *б* - № 1; *в* - № 3; *г* - № 6.

Список использованных источников: 1. *Лаверіненко В.І., Новіков М.В.* Надтверді абразивні матеріали в механообробці: енциклопедичний довідник. – К.: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2013. – 456 с. 2. *Новіков Н.В., Невструев Г.Ф., Ільницька Г.Д. и др.* Оценка качества порошков сверхтвердых материалов. Часть 1. Теоретические основы метода оценки характеристик качества // Сверхтвердые материалы. - 2006. - № 5. - С. 74-83. Часть 2. Практическое применение нового метода оценки характеристик качества // Сверхтвердые материалы. - 2006. - № 6. - С. 58-67. 3. Физические свойства алмаза. Справочник. – К.: Наукова думка, 1987. –С. 85-89. 4. *Ільницька Г.Д.* Влияние структуры кристаллов алмаза на физико-механические свойства алмазных порошков. Надтверді матеріали: створення та застосування. ІНМ НАН України, Київ. – 2007. - С. 189-196. 5. *Ільницька Г.Д., Богатырева Г.П., Невструев Г.Ф.* Получение высококачественных алмазных шлифпорошков // Сб. науч.тр. «Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов», ИСМ НАН Украины. – К., 2005. – С. 63-71. 6. *Novikov N.V., Shulzhenko A.A., Bogatyreva G.P., Sokolov A.N., Nevstruev G.F., Ilnitckay G.D.* Uniformity of superhard material grinding powders // NATO Innovative Superhard Materials and Sustainable Coatings for Advanced Manufacturing, 2005. – P. 391-402. 7. Патент № 25515 України, МПК В03С 7/00, В03С 1/00 № 200703803; Спосіб розподілу зернистого матеріалу за дефектністю поверхні зерен. / Новіков М.В., Богатирьова Г.П., Невструев Г.Ф., Ільницька Г.Д. – Заявл. 05.04.2007; Опубл.10.08.2007. Бюл. № 12.

В. Лавриненко, Г. Ільницька, І. Зайцева, В. Смоквіна,
А. Максименко, В. Скрыбін, Київ, Україна

ПОЛПШЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИНТЕТИЧНИХ АЛМАЗІВ, СИНТЕЗОВАНИХ В РІЗНИХ РОСТОВИХ СИСТЕМАХ, ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АЛМАЗНОГО КАМЕНЕОБРОБНОГО І ПРАВЛЯЧОГО ІНСТРУМЕНТУ

Анотація. На ефективність роботи алмазного каменеобробного і прецизійного правлячого інструменту великий вплив мають фізико-механічні властивості шліфпорошків синтетичного алмазу, що застосовуються при оснащенні правлячих роликів. Властивості шліфпорошків алмазу, в свою чергу, обумовлюються технологіями синтезу, збагачення, обробки, класифікації за розмірами і формою, сортування, що сприяє отриманню порошків із заданими властивостями. В результаті вдосконалення процесу синтезу низкою провідних зарубіжних фірм отримані синтетичні алмази з дуже високою міцністю, з яких можуть бути виготовлені високоміцні порошки алмаза марок АС200-АС400. Дослідження проводили на алмазах зернистості 400/315 різних марок, синтезованих в системах: Ni-Mn-C, Fe-Ni-C, Fe-Co-C. В результаті виконаних досліджень показано, що фізико-механічні характеристики алмазних шліфпорошків (міцність і термостійкість), синтезованих в різних ростових системах Ni-Mn-C, Fe-Co-C і Fe-Ni-C, з великим вмістом внутрішньокристалічних домішок і включень (більше 2 разів) в порівнянні з алмазами з меншим вмістом знижуються від 3 до 5 разів. Для підвищення ефективності розподілу шліфпорошків синтетичного алмазу, синтезованих із застосуванням феросплавів, розроблений спосіб розподілу алмазів по дефектності їх поверхні, шляхом виборчого нанесення електропровідних тонкодисперсних частинок і за рахунок сил адгезії закріплення їх на поверхні зерен порошку (для посилення природних електричних властивостей), що дозволяє розділяти зерна алмазу в електричному полі на 5-7 фракцій, що розрізняються між собою по міцності, і поліпшити селективність їх розподілу за міцністю. Використання в

інструменті алмазних шліфпорошків з високою однорідністю за міцністю дозволить підвищити ефективність алмазного каменеобробного і правлячого інструменту.

Ключові слова: синтетичні алмазні шліфпорошки, каменеобробний і правлячий інструмент, фізико-механічні характеристики, однорідність за міцністю, вміст внутрішньокристалічних домішок.

V. Lavrinenko, G. P'nitskaya, I. Zaitseva, V. Smokvyna,
A. Maksimenko, V. Skryabin, Kyiv, Ukraine

IMPROVEMENT OF PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF SYNTHETIC DIAMONDS SYNTHESIZED IN DIFFERENT GROWTH SYSTEMS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF THE DIAMOND STONETREATMENT AND DRESSING TOOLS

Abstract. *The hysicomechanical properties grinding powders the synthetic diamond used at equipment tool very big influence is rendered on an overall performance diamond stonetreatment and the precision ruling tool. Properties grinding powders diamond, in turn, are caused by technologies of synthesis, enrichment, processing, classification in the sizes and the form, sorting that promotes reception of powders with the set properties. As a result of perfection of process of synthesis by a number of conducting foreign firms can be made are received. Synthetic diamonds with very high durability of which high-strength powders of diamond of marks AC200–AC400. Researches carried out on diamonds of grit sizes 400/315 different marks synthesized in systems: Ni-Mn-C, Fe-Ni-C, Fe-Co-C. As a result of the executed researches it is shown, that hysicomechanical characteristics diamond grinding powders (strength and thermostability), synthesized in different ростовых systems Ni-Mn-C, Fe-Co-C and Fe-Ni-C, with the big contents of intracrystal impurity and inclusions (it is more twice) in comparison with diamonds with the smaller contents – are reduced from 3 up to 5 times. For increase of efficiency of division grinding powders the synthetic diamond, the ferroalloys synthesized with application, it is developed a way of division of diamonds on deficiency of their surface, by selective drawing electrowire very fine disperse powder particles and due to forces of adhesion of their fastening on a surface of grains of a powder (for amplification of natural electric properties), that allows to divide a grain of diamond in an electric field on 5-7 fractions differing among themselves on strength characteristics and to improve selectivity of their division on strength characteristics. Use in the tool diamond grinding powders with high uniformity on durability will allow to raise efficiency diamond stonetreatment and the ruling tool.*

Keywords: *synthetic diamond grinding powders; stonetreatment and the ruling tool; physicommechanical characteristics; uniformity on strength; the contents of intracrystal impurity.*