

8. Тугоплавкие соединения. Справочник / В. Г. Самсонов, И.М. Винницкий – М.: Металлургия, 1976. – 560 с.
9. Основные термодинамические константы неорганических и органических веществ / М. Х. Карапетянц, М. Л. Карапетянц – М.: Химия, 1968. – 470 с.
10. Термодинамические свойства веществ. Справочник / В.А. Рябин, М. А. Остроумов, Т. Ф. Свит. – М.: Химия, 1977. – 389 с.
11. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. / Л. В. Гуревич, И. В. Вейц, В.А. Медведев и др. – М.: Наука, 1982. – 560 с.
12. Кластеры и малые частицы / Ю. И. Петров – М.: Наука, 1986. – 367 с.

Поступила 01.04.14

УДК 621.9:539.89

В. И. Лавриненко, д-р техн. наук; **Г. Д. Ильницкая**, **В. В. Смоквина**, кандидаты технических наук; **И. Н. Зайцева**, **Е. Ф. Кузьменко**

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ АЛМАЗОВ СИСТЕМЫ Ni–Mn–C КАК ФАКТОРА, ВЛИЯЮЩЕГО НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ АЛМАЗНЫХ КРУГОВ

Рассмотрены вопросы повышения эффективности шлифовального инструмента, оснащенного алмазами, синтезированными в системе Ni–Mn–C. На примере шлифпорошков алмазов зернистостью 160/125 показана прочность порошков алмазов с высокой удельной магнитной восприимчивостью, которая в 1,2 раза превышает прочность порошков алмаза, выделенных в немагнитный продукт. Установлено, что в шлифпорошках алмазов зернистостью 160/125 элементы сплава-растворителя во включениях преобладают и составляют 77,4% общего содержания включений в порошках алмаза немагнитной фракции, а в магнитной фракции (первая магнитная) несколько выше и составляют 94,5%. Определено, что с увеличением на порядок удельной магнитной восприимчивости алмазов существенно повышается прочность зерен при термообработке и почти в два раза износостойкость алмазных кругов.

Ключевые слова: *синтетический алмаз, удельная магнитная восприимчивость, износостойкость, шлифовальный круг.*

Введение

В промышленности при обработке изделий из твердого сплава, керамики, стекла и других хрупких материалов широко применяют порошки синтетического алмаза марок АС4 и АС6. Алмаз при синтезе в системе Me–C получают в специальных аппаратах при высоких p , T условиях. Синтез порошков алмаза марок АС4 и АС6, как правило, непродолжительный и осуществляется при высокой скорости роста. Чаще всего растущий кристалл алмаза захватывает все побочные фазы, находящиеся в реакционной камере. Включения и примеси внутри кристалла алмаза становятся объемными дефектами и существенно влияют на эксплуатационные свойства изготовленного из них инструмента [1; 2]. Результаты выполненных ранее исследований показали, что предварительная термическая обработка шлифпорошков алмаза способствует повышению износостойкости шлифовального инструмента [3; 4].

Цель настоящей работы – исследовать возможность повышения эффективности шлифовального инструмента.

Методика исследования

Исследовали порошки алмаза, полученные в системе Ni–Mn–C. Порошки алмазов дробили для устранения двойников, друз, слабых и дефектных зерен, затем рассеивали по зернистостям. Полученные алмазы зернистостью 160/125, 125/100 и 100/80 разделяли в магнитном поле различной напряженности на магнитные фракции с разной удельной магнитной восприимчивостью и различным содержанием внутрикристаллических примесей и включений. Алмазы зернистостью 160/125 после разделения в магнитном поле (магнитные и немагнитная фракции) термообработывали в инертной среде при температуре 800 °С.

С помощью растровой электронной микроскопии (РЭМ) оценивали содержание в алмазах с различной магнитной восприимчивостью примеси и включения, их элементный состав. Прочность шлифпорошков алмаза (P , Н) в виде разрушающей нагрузки при статическом сжатии определяли по методике ДСТУ 3292 [5]. Магнитную восприимчивость измеряли по методике, разработанной в ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины ($\chi \cdot 10^{-8}$, м³/кг) [6].

Шлифпорошки алмаза зернистостью 125/100 после термической обработки использовали для изготовления шлифовальных кругов. При работе этих кругов исследовали эксплуатационные показатели работоспособности: удельный расход алмазов (q_p) (износостойкость кругов) и шероховатость обработанной поверхности R_a , которые определяли по методике, приведенной в [7].

Результаты исследования и их обсуждение

В результате исследования алмазы, полученные в системе Ni–Mn–C, разделились по крупности на узкие зернистостью от –40 до 250/200 мкм. Зерна алмаза сконцентрировались преимущественно в порошках зернистостью 63/50–160/125 (рис. 1).

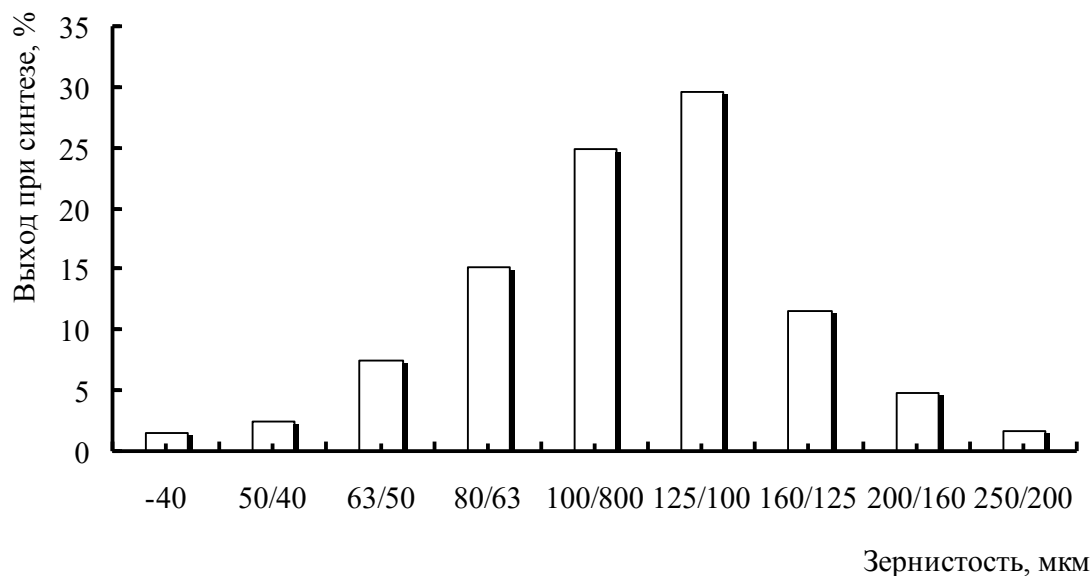


Рис. 1. Распределение порошков алмаза, полученных в системе Ni–Mn–C, по зернистости.

Измеряли прочность, удельную магнитную восприимчивость, массу каждой отдельной зернистости полученных шлифпорошков алмаза каждой зернистости. Результаты измерений приведены в табл. 1.

Из данных табл. 1 следует, что по прочности порошки алмаза всех зернистостей относятся к марке АС6 согласно ДСТУ 3292-95 [5].

Таблица 1. Результаты отсева на узкие зернистости порошков алмаза, синтезированных в системе Ni–Mn–C

Зернистость	Выход, %	Прочность <i>P</i> , Н	Удельная магнитная восприимчивость, $\chi \cdot 10^{-8}$, м ³ /кг
+250	0,6		
250/200	1,8	9,1	29,1
200/160	4,8	8,5	25,3
160/125	11,6	7,1	20,3
125/100	29,6	6,7	17,7
100/80	24,9	6,1	16,2
80/63	15,2	5,8	14,3
63/50	7,5	5,2	10,5
50/40	2,5	4,7	6,2
-40	1,5	–	–
Итого	100,0		

Удельная магнитная восприимчивость шлифпорошков алмаза различной зернистости показана на рис. 2.

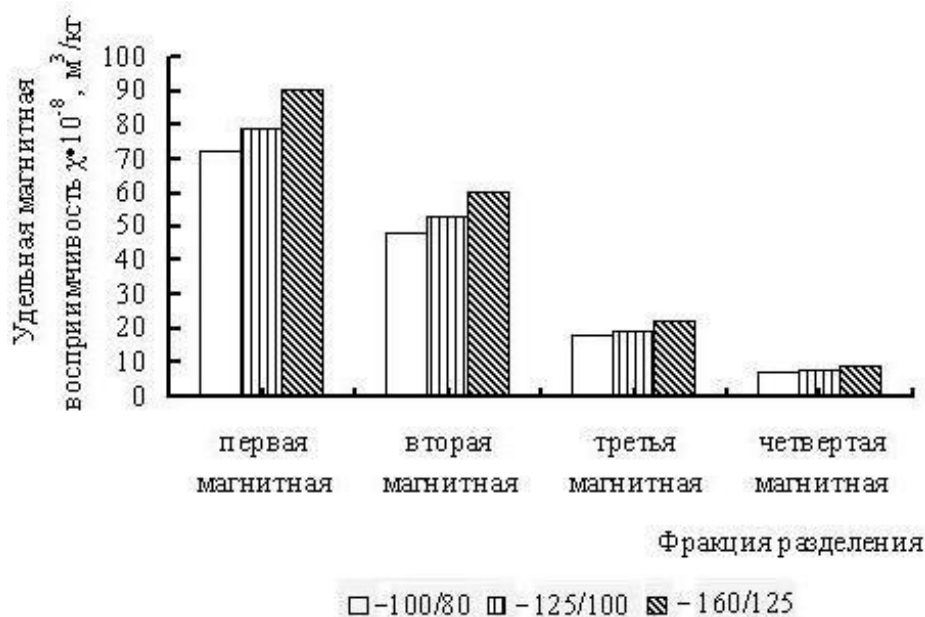


Рис. 2. Удельная магнитная восприимчивость шлифпорошков алмаза различной зернистости, синтезированных в системе Ni–Mn–C.

Результаты разделения шлифпорошков алмаза марки АС6 зернистости 160/125-100/80, синтезированных в системе Ni–Mn–C, в магнитном поле разной напряженности приведены в табл. 2.

В процессе изучения шлифпорошков алмаза зернистости 160/125 марки АС6 с помощью рентгенофлуоресцентного анализа определяли общий и элементный состав включений и примесей (табл. 3). 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 [8] произведен расчет магнитной восприимчивости примесей и включений ($\chi_{вкл.}$) для алмазов зернистости 160/125 магнитной и немагнитных фракций (табл. 2).

Таблица 2. Характеристики магнитных свойств алмазов зернистостей 160/125-100/80, синтезированных в системе Ni–Mn–C.

Зернистость	Фракция разделения	Удельная магнитная восприимчивость, $\chi \cdot 10^{-8}$, м ³ /кг	
		алмаза	включений
160/125	первая магнитная	90,3	1810
	вторая магнитная	60,5	787,7
	третья магнитная	22,1	253,5
	четвертая магнитная (немагнитная)	8,8	83,6
125/100	первая магнитная	78,7	1333,3
	вторая магнитная	52,8	687,3
	третья магнитная	19,3	218,9
	четвертая магнитная (немагнитная)	7,7	61,3
100/80	первая магнитная	72,1	911,3
	вторая магнитная	48,3	445,5
	третья магнитная	17,6	128,6
	четвертая магнитная (немагнитная)	7,0	48,8

Таблица 3. Общий и элементный состав примесей и включений в магнитных фракциях шлифпорошков алмаза марки АС6 зернистостью 160/125 после разделения в магнитном поле

Фракция разделения	Общее содержание примесей и включений, масс. %	Элементный состав примесей и включений, масс. %						
		магнитных				немагнитных		
		сумарный		сплава-растворителя Ni–Mn		Fe	сумарный	Si
		в алмазе	во включениях	в алмазе	во включениях			
первая магнитная	3,631	3,427	94,5	3,337	91,9	0,070	0,204	0,112
вторая магнитная	3,102	2,870	92,5	2,806	90,5	0,044	0,232	0,187
третья магнитная	2,643	2,357	89,2	2,340	88,5	0,011	0,286	0,255
четвертая магнитная (немагнитная)	2,569	1,014	77,9	1,569	77,4	–	0,445	0,386

Из данных табл. 2 следует, что алмазы зернистостью 160/125–100/80 магнитных и немагнитных фракций, синтезированные в системе Ni–Mn–C, различаются магнитными свойствами. Алмазы магнитной и немагнитной фракций различаются удельной магнитной восприимчивостью примерно в 10 раз.

Результаты исследования показали, что алмазы зернистостью 160/125 магнитных и немагнитных фракций, синтезированные в системе Ni–Mn–C, различаются магнитными свойствами, и содержанием в зернах алмаза примесей и включений. При этом установлено, что элементы сплава-растворителя во включениях преобладают и составляют 77,4% общего содержания включений в порошках алмаза немагнитной фракции, а в магнитной фракции (первая магнитная) несколько выше и составляют 94,5%. Это обеспечивается разделением зерен алмаза в магнитном поле по содержанию в алмазе элементов сплава-растворителя.

Согласно данным табл. 3 содержание Ni в сплаве-растворителе не изменяется. Это свидетельствует о том, что в процессе синтеза сплав-растворитель захватывается во включения без расслоения.

Исходные алмазы зернистостью 160/125 и алмазы магнитных и немагнитной фракций термообработывали при температуре 800 °С. Прочность и удельную магнитную восприимчивость порошков измеряли до и после термической обработки. Результаты измерений приведены в табл. 4.

Таблица 4. **Физико-механические характеристики шлифпорошков алмаза марки АС6 зернистостью 160/125 (исходные и магнитных и немагнитной фракций) после термической обработки**

Фракция разделения	Удельная магнитная восприимчивость, $\chi \cdot 10^{-8}$, м ³ /кг		Прочность, Н	
	до термо- обработки	после термо- обработки	до термо- обработки	после термо- обработки
первая магнитная	90,3	127,9	7,7	8,2
вторая магнитная	60,5	93,6	–	–
третья магнитная	22,1	59,9	–	–
четвертая магнитная (немагнитная)	8,8	10,1	6,5	6,1

Из данных табл. 4 следует, что удельная магнитная восприимчивость алмазов исходных и магнитных и немагнитных фракций после термической обработки повышается. Возможно, это обусловлено фазовым состоянием включений сплава-растворителя. После разделения в магнитном поле прочность алмазов магнитной фракции повышается в 1,2 раза по сравнению с прочностью немагнитной фракции. После термической обработки прочность алмазов магнитной фракции повышается с 7,7 до 8,2 Н.

Порошки алмаза марки АС6 зернистостью 160/125 (магнитных и немагнитной фракции) исходные и после термической обработки использовали для изготовления экспериментальных шлифовальных кругов на металлической связке марки М1-10 формы 12А2-45° 100х5х3х32. Полученные круги испытывали на модернизированном универсальном заточном станке модели 3В642 при шлифовании образцов твердого сплава марки ВК8 размером 63х15х7. Производительность обработки составляла 200 и 500 мм³/мин. Исследовали износостойкость экспериментальных кругов по удельному расходу алмазов (q_p). Результаты испытания приведены в табл. 5–8.

Таблица 5. Данные алмазной обработки твердого сплава ВК8 кругами, содержащими алмазы, выращенные в системе Ni–Mn–C ($Q = 200 \text{ мм}^3/\text{хв}$)

№ п/п	Шлифовальный инструмент	$\chi \cdot 10^{-8}, \text{ м}^3/\text{кг}$	Удельный расход алмазов, $q_p, \text{ мг/г}$
1	12A2-45° AC6 160/125 M1-10 50% (первая магнитная)	90,3	3,25
2	12A2-45° AC6 160/125 M1-10 50% (вторая магнитная)	67,1	2,8
3	12A2-45° AC6 160/125 M1-10 50% (третья магнитная)	44,4	3
4	12A2-45° AC6 160/125 M1-10 50% (четвертая немагнитная)	8,8	2,33

Таблица 6. Данные электроэрозионной обработки твердого сплава ВК8 кругами, содержащими алмазы, выращенные в системе Ni–Mn–C ($Q = 200 \text{ мм}^3/\text{хв}$)

№ п/п	Шлифовальный инструмент	$\chi \cdot 10^{-8}, \text{ м}^3/\text{кг}$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ А}$	Удельный расход алмазов, $q_p, \text{ мг/г}$
1	12A2-45° AC6 160/125 M1-10 50% (первая магнитная)	90,3	30	1	2,27
2	12A2-45° AC6 160/125 M1-10 50% (вторая магнитная)	67,1	30	1	3,03
3	12A2-45° AC6 160/125 M1-10 50% (третья магнитная)	44,4	30	1	3,66
4	12A2-45° AC6 160/125 M1-10 50% (четвертая немагнитная)	8,8	30	1	3,69

Таблица 7. Данные алмазной обработки твердого сплава ВК8 кругами, содержащими алмазы, выращенные в системе Ni–Mn–C ($Q = 500 \text{ мм}^3/\text{хв}$).

№ п/п	Шлифовальный инструмент	$\chi \cdot 10^{-8}, \text{ м}^3/\text{кг}$	Удельный расход алмазов, $q_p, \text{ мг/г}$
1	12A2-45° AC6 160/125 M1-10 50% (первая магнитная)	90,3	3,35
2	12A2-45° AC6 160/125 M1-10 50% (вторая магнитная)	67,1	3,2
3	12A2-45° AC6 160/125 M1-10 50% (третья магнитная)	44,4	2,3
4	12A2-45° AC6 160/125 M1-10 50% (четвертая немагнитная)	8,8	2,5

Таблица 8. Данные электроэрозионной обработки твердого сплава ВК8 кругами, содержащими алмазы, выращенные в системе Ni–Mn–C ($Q = 500 \text{ мм}^3/\text{хв}$).

№ п/п	Шлифовальный инструмент	$\chi \cdot 10^{-8}$, $\text{м}^3/\text{кг}$	U , В	I , А	Удельный расход алмазов, q_p , мг/г
1	12А2-45° АС6 160/125 М1-10 50% (первая магнитная)	90,3	30	1	3,9
2	12А2-45° АС6 160/125 М1-10 50% (вторая магнитная)	67,1	30	1	4,2
3	12А2-45° АС6 160/125 М1-10 50% (третья магнитная)	44,4	30	1	4,95
4	12А2-45° АС6 160/125 М1-10 50% (четвертая немагнитная)	8,8	30	1	4,4

Результаты испытания показали, что износостойкость шлифовальных кругов с использованием алмазов, синтезированных в системе Ni–Mn–C магнитных фракций значительно выше немагнитных. При этом относительный расход алмазов магнитных фракций меньше. Износостойкость кругов с алмазами первой магнитной фракции, синтезированными в системе Ni–Mn–C, по сравнению с износостойкостью кругов с алмазами немагнитной фракции выше при электроэрозионном шлифовании, а при шлифовании без дополнительной энергии износостойкость немагнитной немагнитной фракции выше первой магнитной.

Выявлено, что для алмазных зерен марки АС6, синтезированных в системе Ni–Mn–C, эффект повышения прочности зерен при тепловом воздействии срабатывает только при достаточном содержании примесей в алмазах. Магнитные алмазы системы Ni–Mn–C с большим содержанием примесей дают ощутимый эффект в повышении прочности зерен при термообработке и поскольку имеют существенную базу при термообработке для «залечивания» дефектов поверхности алмазов изменением примесного состава этой поверхности, позволяют почти в 2 раза повысить износостойкость алмазных кругов при шлифовании с дополнительной энергией.

Выводы

Шлифпорошки алмазов зернистостью 160/125, синтезированные в системе Ni–Mn–C и разделенные в магнитном поле, различаются прочностью. Прочность порошков алмазов с высокой удельной магнитной восприимчивостью приблизительно в 1,2 раза выше прочности порошков алмаза выделенных в немагнитный продукт.

Установлено, что в шлифпорошках алмазов зернистостью 160/125 элементы сплава-растворителя во включениях преобладают и составляют 77,4% общего содержания включений в порошках алмаза немагнитной фракции, а в магнитной фракции (первая магнитная) несколько выше и составляют 94,5%.

Установлено также, что с повышением на порядок удельной магнитной восприимчивости алмазов износостойкость шлифовальных кругов, оснащенных этими алмазами, повышается приблизительно в 2 раза.

Розглянуто питання підвищення ефективності шліфувального інструменту, оснащеного алмазами, синтезованими в системі Ni–Mn–C. На прикладі шліфпорошків алмазів зернистістю 160/125 показано міцність порошків алмазів з високою питомою

магнітною сприйнятністю, що в 1,2 раза перевищує міцність порошків алмазу, виділених у немагнітний продукт. Встановлено, що у шліфпорошках алмазів зернистістю 160/125 елементи сплаву-розчинника у включеннях переважають і становлять 77,4% загального вмісту включень у порошках алмазу немагнітної фракції, а в магнітній фракції (перша магнітна) децю вище й становлять 94,5%. Визначено, що зі збільшенням на порядок питомої магнітної сприйнятності алмазів значно підвищується міцність зерен при термообробленні та майже вдвічі зносостійкість алмазних кругів.

Ключові слова: синтетичний алмаз, питома магнітна сприйнятність, зносостійкість, шліфувальний круг.

This article discusses issues of increasing the efficiency of the grinding tool equipped with diamond synthesized in the system Ni–Mn–C. In the example, grinding powder of diamond grit 160/125, shows the strength of diamond powders with a high specific magnetic susceptibility approximately 1.2 times higher than the strength of the diamond powder in a non-magnetic product is isolated. It was established that the diamond grit in the grinding powder 160/125 alloy elements solvent inclusions dominate, and account for 77.4 % of total inclusions available in the non-magnetic fraction of diamond powder, and the magnetic fraction (1st magnetic) above and comprise 94,5%.

Found that with an increase of the order of specific magnetic susceptibility diamonds produce a significant effect in increasing the strength of the grains during heat treatment, and allows up to 2 times the wear resistance of diamond wheels.

Key words: synthetic diamond, magnetic susceptibility, wear resistance, grinding wheel.

Литература

1. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: монография: в 6 т. Т. 1: Синтез алмаза и алмазоподобных материалов //под общей редакцией Н.В. Новикова; отв. ред. А.А. Шульженко. – К: ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАН Украины, 2003. – 309 с.
2. Боримский А.И., Делеви В. Г., Нагорный П.А Кинетика образования и роста алмазов в системе Fe-Si-C // Сверхтвердые матер. – 1999. – № 3. – С. 9 – 14.
3. Низкопрочные синтетические алмазы на основе феррокремния в шлифовальном инструменте / В. И. Лавриненко, Г. Д. Ильницкая, А. И. Боримский и др. // Прогресивні технології і системи машинобудування: міжнарод. зб. науков. пр. – Донецьк: ДонНТУ, 2010. – Вип. 40. – С. 99–104.
4. Пат. на корисну модель № 67305 Україна, МПК (2006) C10M 159/00, Спосіб підвищення зносостійкості алмазного шліфувального інструменту / В. І. Лавріненко, В. В. Смоквина, Г. Д. Ільницька, А. М. Бровченко, І. В. Лещук; заявник і патентовласник ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України. – № 201109752; Заявл. 05.08.12; Опубл. 10.02.12, Бюл. № 3.
5. ДСТУ 3292–95. Порошки алмазні синтетичні. – К: Держстандарт України, 1996. – 70 с.
6. М88 України 90.256-2004. Методика определения удельной магнитной восприимчивости порошков сверхтвердых материалов. – К.: ИСМ им. В.М. Бакуля НАН Украины, 2004. – 9 с.;
7. Справочник по алмазной обработке металлорежущего инструмента. / под общ. ред. В.Н. Бакуля. – К.: Техніка, 1971. – 208 с.
8. Физические свойства алмазов: справочник / Под ред. Н.В. Новикова. – К.: Наук. думка, 1987.

Поступила 03.06.14