УДК 621.762/.9.025.77

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИСПЕРСНОСТИ ПОРОШКА НИКЕЛЯ НА СВОЙСТВА АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА

Оглезнева С.А., Князев А.А., Гревнов Л.М.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, e-mail: osa@pm.pstu.ac.ru

Исследовано влияние микро- и нанодисперсного порошков никеля на структуру и свойства карбидосталей порошковых систем «железо – никель – карбид титана» и алмазного инструмента на их основе. Результатами микроструктурного и рентгенофазового анализов установлено, что после спекания в карбидосталях сформировались твердые растворы α-железа и γ-железа. После триботехнических испытаний при трении по закаленной стали в сплавах увеличилась объемная доля α-железа и уменьшилось количество γ-железа, кроме того, повысились твёрдость и микротвёрдость сплавов, что обусловлено фазовым превращением метастабильного аустенита в мартенсит деформации при трении. Результаты рентгенофазового анализа, проведённого после триботехнических испытаний, показали больший объем фазовых превращений в образцах с нанодисперсным никелем, что обусловило повышенные значения микротвердости, физико-механических характеристик и износостойкости по сравнению с образцами, содержащими микродисперсный порошок никеля. Относительная износостойкость карбидосталей и алмазного инструмента при трении по корунду была также выше в образцах, содержащих нанодисперсный никель. Разработан новый класс режущего алмазного инструмента на металлической связке, обладающей интеллектуальными свойствами.

Ключевые слова: порошковая металлургия, нанопорошки, структура, железо, никель, карбидосталь, фазовые превращения, алмазный инструмент

RESEARCH OF INFLUENCE NICKEL NANOPOWDERS ON THE PROPERTIES OF THE DIAMOND TOOL

Oglezneva S.A., Knyazev A.A., Grevnov L.M.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: osa@pm.pstu.ac.ru

Influence of micro- and nanosized nickel powders on the structure and properties of powder systems karbide steel «iron – nickel – titanium carbide» and diamond tools based on them is investigated. According to the results of microstructural and X-ray, we can conclude that after sintering in carbide steels formed solid solutions «alpha»-iron and «gamma»-iron. After the test, to friction an hardened steel in the alloys increased volume fraction of α-iron and reduce the amount of γ-iron, moreover, increased hardness and microhardness of alloys due to the phase transformation of the metastable austenite to martensite during deformation friction. According to the results, after the test, to friction an abrasive material showed a greater volume of phase transformations in samples with nanostructured nickel is confirmed by measuring the hardness, micro-hardness and wear resistance, these rates are higher in samples with nanostructured nickel. Relative wear karbide steels and diamond tools in friction against corundum was also higher in the containing nanosized nickel samples. A new class of cutting diamond tools on a metal binder with intellectual properties has been developed.

Keywords: powder metallurgy, nanopowders, structure, iron, nickel, carbide steel, phase transformations, diamond tools

Одним из наиболее эффективных путей, интенсифицирующих процессы обработки в технологии машиностроения, в том числе шлифования твердых материалов, является применение абразивного инструмента из сверхтвёрдых материалов. Из проблем, над которыми в настоящее время работают специалисты в области абразивной обработки, основными являются повышение точности (наноточности) и экономичности технологии абразивной обработки. Решение этих задач напрямую связано с задачами оптимизации связки не только путем варьирования твердости ее металлической части, но и регулировки пористости, что повышает работоспособность круга при шлифовании керамики [1], введения импрегнаторов в поры абразивного инструмента, которые уменьшают силы трения и температуру в зоне резания, увеличивают производительность, улучшают качество поверхности [2] и разработки связок с «интеллектуальными» свойствами [3]. Алмазный инструмент содержит в своей структуре алмазные зерна, зерна наполнителя (обычно карбидов) и связку (матрицу), удерживающую абразивные зерна. По сравнению с алмазным инструментом на органических и керамических связках, инструменты на металлических связках обладают более высокой износостойкостью, алмазоудержанием, теплопроводностью, обеспечивая высокие скорости шлифования, точность и качество обработанной поверхности [4]. Металлические связки представляют собой композиции металлов, легированные различными элементами или их соединениями. Основные особенности металлических связок заключаются в том, что они обеспечивают более прочное, чем органические и керамические, удержание

алмазного зерна, поэтому алмазоносный слой на их основе более износостойкий.

В качестве основного компонента металлических связок используются медь, олово, алюминий, железо, кобальт, твердые сплавы [5]. Наиболее часто в качестве матриц применяют неизносостойкие сплавы на основе меди [6]. Износостойкость других матриц выше, но они требуют высоких температур спекания или горячего прессования, что экономически невыгодно и снижает прочность алмазных зерен. При использовании матриц на основе никеля [7, 8] увеличивается, наряду с износостойкостью, стоимость, а кобальт проигрывает сталям по механическим свойствам [9]. Для резания твердых материалов (типа гранита) применяют алмазный инструмент на износостойких металлических связках, в основном, на железной, железомедной и кобальтовой основе [10].

Применение методов порошковой металлургии при изготовлении алмазного инструмента на металлической связке, даёт возможность введения различных добавок для оптимизации основных физико-механических и эксплуатационных свойств.

Использование нанодисперсных металлических порошков позволяет повысить комплекс физико-механических свойств металлической связки и улучшить структуру [10]. Кроме того, метод порошковой металлургии позволяет реализовать одно из перспективных направлений повышения эксплуатационных свойств материалов – создание термодинамически неравновесной структуры с метастабильными фазами [11]. Сформированные в связке метастабильные фазы при фазовом превращении способствуют упрочнению связки и дополнительному закреплению алмазных зерен, что улучшает эксплуатационные свойства алмазного инструмента. Поверхностные рабочие слои деталей из метастабильных материалов изменяют свой фазовый состав и свойства в процессе самого рабочего нагружения, значительно упрочняясь за счет образования мартенсита деформации [8]. Формирование термодинамически неравновесной структуры в связке алмазного инструмента способствует лучшему закреплению алмазных зёрен, повышению прочности связки и улучшению режущих свойств инструмента [3].

Целью исследований в данной работе было изучение влияния микро- и нанодисперсного порошков никеля на структуру карбидосталей порошковых систем «железо – никель – карбид титана» и алмазного инструмента на их основе.

Материалы и методы исследования

Для изготовления образцов карбидосталей были приготовлены две порошковые смеси одинакового химического состава: 78 мас.% железа, 14 мас.% никеля, 8 мас.% карбида титана. Использовали в качестве основы порошок железа карбонильного марки ВМС со средним размером 11 мкм; порошок карбида титана углетермический со средним размером 5 мкм. Смеси содержали различные порошки никеля: в одну смесь добавляли порошок карбонильный ПНК – УТ3 с размерами 3–5 мкм, а в другую – нанодисперсный, с размерами 50–80 нм, восстановленный из соли. Смеси порошков перемешивали всухую в смесителе со смещенной осью вращения в течение 8 часов. Далее производили прессование при давлении 400 МПа на прессе П-125 и проводили отжиг прессовок для снятия внутренних напряжений в вакуумной электропечи СШВ-4.5.5/12-ИС1 в течение 2 часов при температуре 600°. Затем образцы допрессовывали для уменьшения пористости при давлении 600 МПа и спекали окончательно в вакууме в течение 5 часов при температуре 900–950°С.

Для изготовления образцов алмазного инструмента к смесям карбидосталей на стадии перемешивания добавляли порошок синтетических алмазов АС 32 в количестве 7,5 мас.%. Перед прессованием смеси гранулировали с 4%-ным водным раствором ПВС, добавленном в количестве 10% от массы навески порошка. Далее производили прессование при давлении 400 МПа на ручном прессе марки CarlZeiss и отжиг в водороде для удаления ПВС и снятия внутренних напряжений в водородной печи СГН 2.4.2/13 в течение 3 часов при температуре 600–650°С. Затем образцы допрессовывали при давлении 600 МПа и спекали окончательно в вакууме в течение 2 часов при температуре 900°С.

У спеченных образцов измеряли плотность и вычисляли пористость в соответствии с ГОСТ 18898-89. Твердость спеченных образцов измеряли с помощью пресса Роквелла по шкале В в соответствии с ГОСТ 9012-59. Испытания на прочность при трехточечном изгибе образцов 6х6х50 мм без трещины производили на машине FP 10/1 по ГОСТ 18227- 85 по 3 образцам на точку, погрешность измерений 10%.

Исследование микроструктуры производилось на шлифах, травленых в нитале с помощью металлографического микроскопа Carl Zeiss Axiovert 40MAT при увеличении 100–200. Микротвердость измеряли на ПМТ-3 при нагрузке 0,2–0,5 Н в соответствии с ГОСТ 9450-76, погрешность измерений 10%. Рентгенофазовый анализ проводили на установке Shimadzu XRD – 6000 в излучении K_α – Cu с Ni фильтром.

Триботехнические испытания проводили на машине трения СМЦ – 2 при частоте 300 об/мин. Карбидостали и алмазный инструмент испытывали на износ при трении по контртелу из корунда, вычисляли относительный износ как отношение потери масс образца и контртела.

Результаты исследования и их обсуждение

Микроструктура образца, легированного микродисперсным (карбонильным) никелем (рис. 1), состоит из феррита и более светлых участков аустенита, мелкие светлые зёрна правильной формы являются карбидом титана.

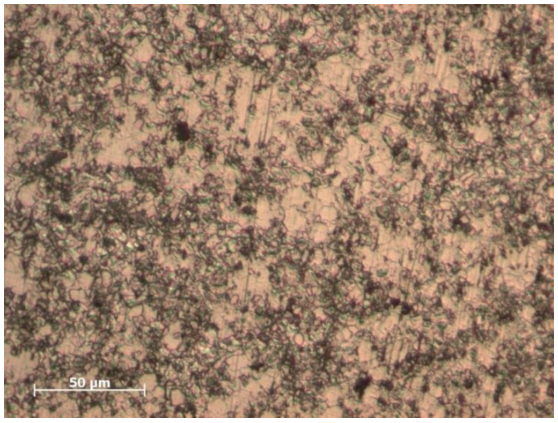

Рис. 1. Микроструктура образца карбидостали с карбонильным никелем

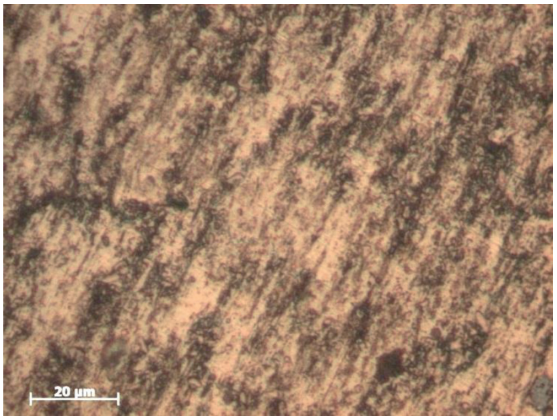

Рис. 2. Микроструктура образца карбидостали с нанодисперсным никелем

Таблица 1

Физико-механические характеристики спеченных материалов

Образец	Пористость, %	Твёрдость, HRB	Микротвёрдость, МПа	Предел прочности на изгиб, МПа
Fe + 8% TiC + 14% Ni (микродисперсный)	18,6 ± 0,7	64 ± 3	3070 ± 120	540 ± 55
Fe + 8% TiC + 14% Ni (нанодисперсный)	18,1 ± 0,6	70 ± 1	3850 ± 220	575 ± 40

Размер зерна аустенита равен 10–15 мкм, карбида титана – 3–5 мкм. Структурно-фазовый состав микроструктуры образцов с нанодисперсным никелем аналогичен (рис. 2). Размеры зёрен аустенита меньше и приблизительно равны 7–10 мкм.

Плотность спеченных образцов материалов, относительная плотность и пористость были примерно равны, табл. 1. Измерения твердости, микротвердости и предела прочности на изгиб показали, что у образца, легированного нанодисперсным никелем, значение данных характеристик гораздо выше. Это связано с более мелкозернистой структурой материала, табл. 1, и склонностью стали к образованию мартенсита деформации.

Относительный износ обеих карбидосталей при трении по корунду в начальный период испытаний (до 90 с) практически одинаков, однако при увеличении времени трения относительная износостойкость образцов возрастала, причем образцов, содержащих нанодисперсный никель, более чем в 2 раза, рис. 3. Причиной может быть инициированное трением фазовое превращение метастабильного аустенита в мартенсит деформации, характерное для этого класса материалов [4, 5]. Так как физико-механические свойства материалов подобного класса зависят от объема фазового превращения, то, очевидно, количество мартенсита деформации в материале с нанодисперсным порошком должно быть больше.

Результаты рентгенофазового анализа подтвердили, что после трения по абразиву соотношение α- и γ-фаз на основе железа в карбидосталях изменилось (табл. 2), при этом доля превращений была в 3 раза больше в образце с нанодисперсным порошком никеля.

На основе карбидосталей был изготовлен и исследован алмазный шлифовальный инструмент. Плотности и пористости образцов с синтетическими алмазами на составах с порошками никеля различной дисперсности, были практически одинаковы 23–24 %.

Режущая способность алмазного инструмента, определяемая по коэффициенту шлифования ($К_{шлиф}$), была выше в материале, содержащем нанодисперсный порошок никеля (рис. 4). Максимальное значение $К_{шлиф}$ по корунду было равно 50 в матрице алмазного инструмента с нанодисперсным порошком никеля, и 33 – в матрице с микродисперсным порошком.

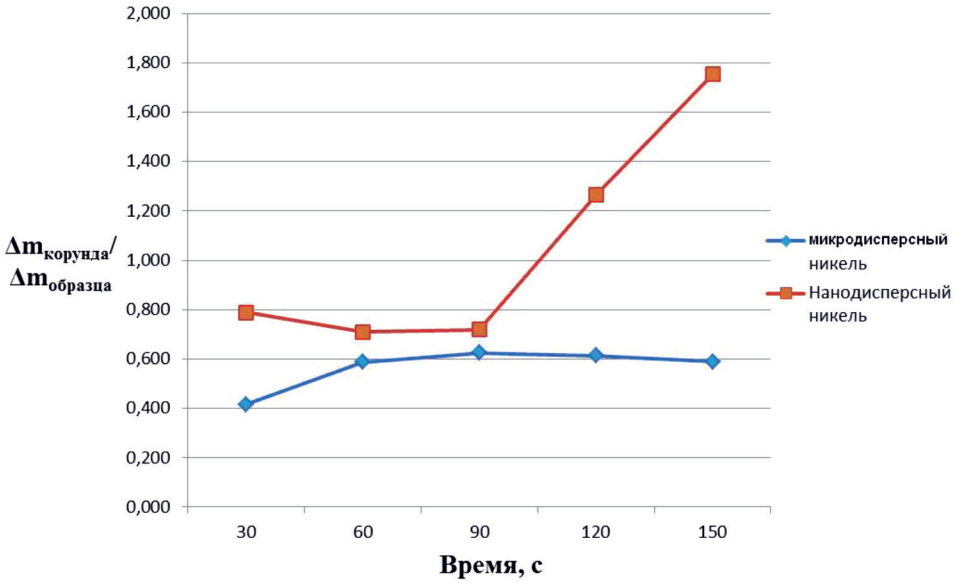

Рис. 3. Зависимость отношения изменения массы контртела к массе карбидосталей состава Fe + 8% TiC + 14% Ni, легированных микродисперсным никелем и нанодисперсным никелем, от времени

Таблица 2

Содержание α- и γ-железа в образцах карбидосталей Fe + 8% TiC + 14% Ni до и после трения

	с микродисперсным (карбонильным) никелем			с нанодисперсным (восстановленным) никелем		
	до трения	после трения	объем γ-α-превращения при трении, об.%	до трения	после трения	объем γ-α-превращения при трении, об.%
α-железо, об.%	74	84	10	67	96	29
γ-железа, об.%	26	16		33	4	

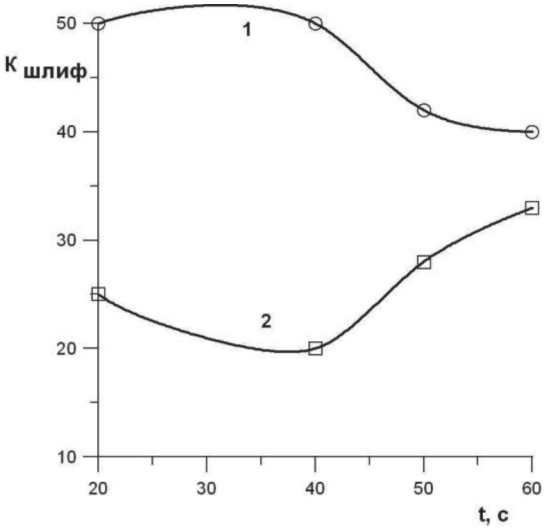

Рис. 4. Относительная износостойкость алмазного инструмента ($К_{шлиф} = \Delta m_{корунда}/\Delta m_{АИ}$) с микро- (1) и нанодисперсным (2) никелем при трении по абразиву

Кроме того, в инструменте, содержащем нанодисперсный порошок никеля, $К_{шлиф}$ был наибольшим с начала испытания, а в АИ, содержащем микродисперсный порошок никеля, $К_{шлиф}$ в начальный момент нагружения был в 2 раза ниже и увеличился после инкубационного периода, связанного с необходимостью накопления дефектов структуры для инициации начала распада метастабильного аустенита, очевидно, более гомогенного, чем аустенит (1).

Результаты триботехнических испытаний при трении по корунду карбидосталей и АИ, изготовленных на основе матриц аналогичных составов, показали, что с увеличением времени трения относительная износостойкость возрастает, что свидетельствует о важном вкладе свойств самой матрицы в увеличение уровня эксплуатационных свойств инструмента. Таким образом, разработан новый класс режущего алмазного инструмента на металлической связке, обладающей интеллектуальными свойствами.

Выводы

1. Установлено, что в процессе спекания порошковых композиционных материалов системы «железо – никель – карбид титана» формируется структура метастабильного аустенита, который при последующем нагружении превращается в мартенсит деформации. Объем фазового превращения в системе «железо – никель – карбид титана» был больше в 3 раза в случае использования нанодисперсного порошка никеля, по сравнению с материалами, содержащими микродисперсный порошок никеля.

2. Уровень физико-механических и особенно триботехнических свойств композиционных материалов был пропорционален объему фазового превращения, поэтому был выше в материалах с использованием нанодисперсного порошка никеля на 10–30%, чем в материалах с микродисперсным порошком.

3. Использование нанодисперсного порошка никеля, обеспечивающего увеличенный объем деформационного фазового превращения при эксплуатации, для изготовления алмазного инструмента системы «железо – никель – карбид титана – алмазный порошок» позволяет повысить его режущую способность.

Статья подготовлена при поддержке гранта РФФИ № 16-48-590224.

Список литературы

1. Исследование работоспособности шлифовального круга / Xiong Huajin, Liu Mingyao, Xia Juxue // Diamond and abrasives eng. – 2011. – Т. 31, № 2. – С. 44–49.

2. Носенко В.А., Митрофанов А.П. Повышение эффективности процесса шлифования с использованием импрегнирования абразивного инструмента // Наукоемкие технол. в машиностроении. – 2012. – № 11. – С. 9–14.

3. Oglezneva S.A. Diamond Tools with Metastable Steel Binder for Natural Stone Cutting// Journal of Friction and Wear. – 2011. – Vol. 32, № 4. – P. 313–317.

4. Верещагин В.А., Журавлев В.В. Композиционные алмазосодержащие материалы и покрытия. – Мн.: Наука и техника. – 1991. – 208 с.

5. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник. Под. Ред. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 391 с.

6. Алмазо-твердосплавный макрокомпозитный материал. Разработка, применение / Ю.В. Найдич, А.А. Бугаев, А.А. Адамовский, В.А. Евдокимов, В.П. Уманский, Н.С. Зюкин // Порошковая металлургия. – 2008. – № 3–4. – С. 46–54.

7. Новый тип связок на основе никеля, легированного диборидом титана и хрома, для алмазного камнеразрушающего инструмента / В.И. Бугаков, А.В. Елютин, К.М. Караваев и др. // Изв. вузов. Цветная металлургия. – 1998. – № 5. – С. 61–68.

8. Бугров Ю.В., Процив Ю.В. Металловедение и термодеформационная обработка специальных сталей и сплавов: комплекс учебно-методических материалов / Ю.В. Бугров, Ю.В. Процив; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2011. – 130 с.

9. Ножина А.В. Ермолаева А.А., Лаптев А.И. Свойства алмазных поликристаллических композиционных материалов «КАРБОНАДО», синтезированных в системе Ni-Co-C // Изв. вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2012. – № 3. – С. 30–32.

10. Особенности влияния нанодисперсных добавок на процесс спекания и свойства порошковых кобальтовых сплавов / А.А Зайцев, В.В. Курбаткина, Е.А Левашев // Изв. Вузов. Цветная металлургия. – 2008. – № 2. – С. 57–59.

11. Шацов А.А., Ряпосов И.В. Концентрационно-неоднородные никельмолибденовые трип-стали // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2010. – № 11. – С. 47–50.