

третьего вида сопровождается пластической волной металла, превышающей линию выступов шероховатости поверхности. Также возможен вариант третьего вида ОЧД при обработке на режимах, вызывающих разрушение поверхностного слоя, с большим объемом волны островершинного профиля, имеющей наклон в направлении подачи. В указанной работе [7] автором были сформулированы технологические условия образования ОЧД всех видов, теория формирования поверхностного слоя основана на ОЧД третьего вида.

Таким образом, на основании всего вышесказанного можно сделать заключение, что процесс формирования шероховатости обработанной поверхности делится на три основные стадии, а на ее величину после обработки поверхностным пластическим деформированием влияют форма и размер деформирующих элементов инструмента, величина осевой подачи рабочего элемента деформирующего инструмента, радиальное усилие (а точнее, удельное давление в зоне контакта деформирующего элемента с деталью), число циклов нагружения, физико-механические свойства обрабатываемого материала и пр., что и подтверждается исследованиями ряда авторов в работах [1, 4, 5].

Выводы

Процесс формирования шероховатости поверхностного слоя нежестких деталей типа полый цилиндр в процессе комбинированной режущо-деформирующей обработки происходит в три основные стадии, а на величину шероховатости влияют множество факторов, такие как форма и размер деформирующих элементов, величина осевой подачи, радиальное усилие, число циклов нагружения, физико-механические свойства обрабатываемого материала и т.д..

Литература

1. Максимов Ю.В. Сочетая резание и пластическое деформирование. «Автомобильная промышленность», № 6, 1990, с. 21-23.
2. Максимов Ю.В., Анкин А.В. Образование погрешности при комбинированной обработке нежестких валов. «Автомобильная промышленность», № 9, 1995, с. 28-31.
3. Максимов Ю.В., Анкин А.В., Матяш В.И. Математическое моделирование формообразования деталей класса нежестких валов. «Вестник машиностроения» № 3, 1997, с. 27-30.
4. Максимов Ю.В., Анкин А.В., Ветрова Е.А. Параметры комбинированной обработки нежестких полых деталей с учетом крутильных колебаний. «Тракторы и сельскохозяйственные машины» № 7, 2007, с. 54-56.
5. Максимов Ю.В., Анкин А.В., Ветрова Е.А. Зависимость глубины резания от погрешности формы поперечного сечения при комбинированной обработке нежестких деталей типа полый цилиндр. «Известия МГТУ «МАМИ» № 2(8), 2009, с. 188-192.
6. Смелянский В.М. и др. Размерное совмещенное обкатывание детали. «Станки и инструмент», № 11, 1981, с. 35-36.
7. Смелянский В.М. Механика формирования поверхностного слоя деталей машин в технологических процессах поверхностного пластического деформирования. Дисс. ... д.т.н., - М., МАТИ, 1986.

Материаловедческие предпосылки создания машиностроительной продукции нового поколения

д.т.н. проф. Волков Г.М.

Университет машиностроения

+74953063188 e-mail: recom@list.ru

Аннотация. Создание принципиально новой машиностроительной продукции невозможно без материалов, свойства которых многократно превышают мировой уровень. Однако традиционные технологии упрочнения материалов исчерпали свои возможности. Выход из технологического тупика основан на использовании потенциальных возможностей нано-размерного состояния вещества, что реализовано на модельной системе углерод-углерод. Предлагаемая технология может быть модифицирована для получения наноматериалов со свойствами многократно

выше достигнутого уровня из сырья другого химического состава с использованием газофазных, жидкофазных и твердофазных процессов кристаллизации.

Ключевые слова: объемные наноматериалы, одностадийная технология, технический потенциал, биоинженерный потенциал, система углерод-углерод

Введение

Вследствие всем известных причин в России сложилась такая экономическая ситуация, при которой как промышленные предприятия, так и население с переменным успехом эксплуатируют огромный парк изношенной техники самой различной номенклатуры. Большинство экспертов сходятся во мнении, что степень изношенности техники практически всех отраслей промышленности, изготовленной преимущественно в Советском Союзе на отечественных предприятиях, составляет от 60 до 80 и более процентов.

В этих условиях, видимо, следует удивляться не количеству участвовавших в последнее время технических аварий, иногда с катастрофическими последствиями, а тому, что донельзя изношенная техника все-таки работает. С другой стороны, это еще раз подтверждает беспрецедентную живучесть производственных машин и технологического оборудования, изготовленных в свое время промышленностью СССР. Хрестоматийный пример высокого качества советских разработок в течение многих лет представляют всему миру выдающиеся технические характеристики и непревзойденные эксплуатационные показатели легендарного автомата М.Т. Калашникова. Или легендарный танк Т-34, заслуженно признанный лучшим танком времен второй мировой войны. Хотя машины и оборудование, производимые большинством предприятий отечественных отраслей массового машиностроения, в частности автомобиле- и тракторостроения, по технико-экономическим характеристикам уступало и по настоящее время не может конкурировать с продукцией зарубежного производства.

Отсутствие современного машиностроительного комплекса, способного производить конкурентоспособную технику массового потребления, тормозит многократно декларированную диверсификацию экономики, Россия постепенно превращается в сырьевой придаток промышленно развитых стран. Выход из надвигающейся точки невозврата видится в перевооружении отечественной промышленности конкурентоспособной машиностроительной продукцией.

Современная отечественная техника в большинстве случаев не соответствует мировому уровню. Закупка импортной техники или ее сборка на российской территории из импортных комплектующих ставит нашу промышленность в невыгодное положение вечно догоняющего. В настоящее время даже замена импортных составляющих на детали российского производства встречает серьезные затруднения вследствие низкого качества заменителей, выпускаемых нашими заводами. Новейшую технику следующего поколения, основанную на использовании принципиально новых материалов иностранного производства, мы опять будем вынуждены закупать за рубежом. Иностранному производителю не интересен в передаче на дочерние предприятия своих последних разработок, новинки он будет дорабатывать и производить на головном предприятии. Они будут предложены нам только после того, как серийный выпуск данной продукции окупит все затраты на НИР и ОКР и принесет запланированную норму прибыли.

Только наличие адекватных условий для нормального функционирования полного цикла создания новой техники, включая НИР, ОКР и производство, позволит отечественному машиностроению производить конкурентоспособную продукцию. Отсутствие этих предпосылок (резкое падение престижа технического образования населения, что не позволяет комплектовать квалифицированными кадрами научно-исследовательские организации, конструкторские бюро и производственные предприятия; моральный и физический износ основного производственного оборудования предприятий машиностроительного комплекса) вынуждают обратиться к поиску альтернативных путей решения рассматриваемой проблемы.

Предлагаем рассмотреть возможность компенсировать недостатки инфраструктуры машиностроительного комплекса, что не позволяет нашим творцам создавать конкурентоспособные технические изделия из существующих материалов, многократным повышением

уровня конструкционных свойств машиностроительных материалов. Мы полагаем, что для создания конкурентоспособной машиностроительной продукции необходимы материалы, конструкционные свойства которых многократно превышают мировой уровень. Только такие материалы могут компенсировать хроническое отставание технического уровня продукции отечественных отраслей массового машиностроения и обеспечить технико-экономические преимущества вновь создаваемых машин перед их зарубежными аналогами.

Однако анализ экспериментальных работ по модификации наиболее широко применяемых в машиностроении металлических материалов показывает, что традиционные способы повышения их технических характеристик практически исчерпали себя. Возможный успех технологических проектов по многократному повышению прочности материала блокируется столь же резким снижением его пластичности. Аналогичные проблемы с повышением уровня свойств конструкционных материалов традиционными способами отмечены и в других областях материаловедения. Можно предположить, что в обозримом будущем от традиционных способов модифицирования конструкционных материалов трудно ожидать революционного изменения уровня потребительских свойств материалов, хотя эволюционное улучшение их технических характеристик неизбежно.

Для преодоления данного противоречия обратимся к достижениям фундаментальных наук. Предлагаемый подход к достижению поставленной цели основан на реализации потенциальных возможностей наноразмерного состояния вещества.

Целевые продукты нанотехнологии

Наиболее массовым продуктом современной нанотехнологии являются нанопорошки [1], производители которых предпочитают называть их наноматериалами. Однако они являются таковыми только по названию. На самом деле они состоят из дисперсных частиц размером до 100 нм, которые практически никак не связаны между собой. Технические приложения нанопорошков в настоящее время сосредоточены преимущественно в области электроники, а также в некоторых других областях науки и техники, где возможно практическое использование единичных наночастиц.

Использовать дисперсные частицы наноразмерного диапазона в качестве конструкционного материала машиностроительного назначения невозможно. Они могут служить только одним из сырьевых компонентов для последующего производства объемного материала, содержащего определенное количество наноразмерного наполнителя и пригодного для изготовления из него деталей машин, приборов и других технических устройств.

Дискретные наночастицы для создания возможности их практического использования в реальных конструкциях необходимо компактировать в объемный материал. Технология компактирования включает в себя большое количество операций (рисунок 1а), что резко увеличивает продолжительность и стоимость технологического цикла производства конечного продукта – объемного материала с добавкой наночастиц.



Рисунок 1 – Технология консолидации наночастиц в объемный материал:

а – традиционная многостадийная технология объемного материала с наноразмерной добавкой, б – моно-стадийная технология объемного наноматериала

Наноразмеры добавок многократно усложняют технологию и аппаратное оформление технологических процессов. По технологическим причинам количество наноразмерных добавок в объемном материале значительно меньше 10%. Принципиальным недостатком принятой всеми мировыми производителями технологии промышленного производства объемных материалов с добавками наночастиц является разделение в пространстве и во времени технологических процессов получения наночастиц и их компактирования. Они часто выполняются разными предприятиями, что дополнительно усложняет организацию производства. Все это резко удорожает материал, что делает возможность его промышленного применения дискуссионным.

Научные предпосылки

Большинство свойств вещества зависит от энергетического состояния его атомов в объеме и на поверхности раздела фаз. Внутренние атомы испытывают равномерное воздействие окружающих атомов и равнодействующая сил атомарного взаимодействия практически равна нулю. Силовое поле внешних атомов не полностью уравновешено взаимодействием с соседними атомами, их избыточная энергия формирует особые свойства поверхностного слоя вещества. При последовательном изменении степени дисперсности частица вещества достигает определенного размера ($d_{кр}$), когда влияние избыточной энергии внешних атомов уравновешивает влияние внутренних атомов.

Если размер дисперсных частиц больше $d_{кр}$, комплекс физических и химических свойств вещества частиц не отличается от свойств вещества в макрообразце. Свойства вещества дисперсной частицы, так же как и вещества макрообразца, определяются законами классической физики. При размере дисперсных частиц меньше $d_{кр}$ начинают проявляться законы квантовой механики. Влияние ненасыщенных связей периферийных атомов начинает преобладать над влиянием внутренних атомов, т.е. вещество приобретает другие свойства, отличающиеся от свойств вещества в макрообразце. В данном случае количественная разница в размерах дисперсной частицы переходит в качественное отличие свойств вещества. Дисперсная частица переходит в новое качество: она становится наночастицей.

Компактирование наночастиц позволит получить материал со свойствами многократно выше современного уровня. Для успешной реализации потенциальных возможностей наноразмерных частиц вещества в потребительских свойствах объемного материала необходимо решить следующие основные задачи: определить величину $d_{кр}$ и разработать технологические принципы получения и компактирования дисперсных частиц фракции ($d_{кр} + 0$) нм.

Для экспериментальной проверки теоретических положений выбран углерод, что представляло теоретический и практический интерес. Количество известных химических соединений углерода многократно превышает суммарное количество соединений всех остальных элементов таблицы Д.И. Менделеева. Это соотношение существенно возросло после открытия фуллеренов, углеродных нанотрубок и их производных.

Наибольший практический интерес представляет углерод в аллотропной модификации графита: только он выделяется среди всех известных химических элементов и их соединений способностью оставаться в твердой фазе и сохранять прочность при температурах выше 4000°C, и только на его основе создано крупнотоннажное производство углеродных материалов конструкционного назначения. Они незаменимы в современной металлургии, электроэнергетике, химии, машиностроении, ракетно-космической технике, атомной энергетике и во многих других технологических процессах новой техники.

Теоретические расчеты и экспериментальные данные показывают, что многократное повышение уровня потребительских свойств машиностроительных материалов может быть достигнуто при размере дискретных элементов структуры материала менее определенного критического размера ($d_{кр}$), который, по нашим данным, составляет около 10 нм [2].

Теоретическое значение получено путем экстраполяции соотношения индексов свободной валентности периферийных и внутренних атомов углерода конденсированных углеводородов ароматического ряда к кристаллической решетке графита, рассматриваемого как крайний член гомологического ряда ароматических углеводородов. Экстраполяция основана на

идентичности элементарной кристаллической ячейки монокристаллического графита, который после трудов лауреатов Нобелевской премии 2010 г. наших соотечественников А. Гейма и К. Новосёлова получил название графен, и структурной единицы молекул конденсированных ароматических углеводородов.

Размер дискретных элементов структуры углеродного наноматериала по результатам многолетних испытаний контрольных образцов сданных партий производственной продукции составляет 9,2 нм, что удовлетворительно согласуется с теоретическим значением.

Моностадийная технология объемных наноматериалов

По предлагаемой технологии объемный углеродный наноматериал получают путем связывания наночастиц углерода углеродной матрицей. Наноразмерный наполнитель формируется одновременно с матрицей в одном и том же химическом реакторе, т.е. технология является моностадийной: в реактор поступает сырье, а из реактора выходит готовый продукт – объемный углеродный наноматериал. Этим предлагаемая технология углеродного наноматериала принципиально отличается от принятой в мировой практике традиционно многостадийной технологии компактирования наноразмерного наполнителя (рисунок 1). Отказ от раздельного осуществления процессов получения наночастиц и их компактирования позволил устранить отмеченные выше технологические проблемы при введении наноразмерного наполнителя в матрицу.

Технология основана на осуществлении направленной кристаллизации углерода в процессе пиролиза углеродсодержащих химических соединений. Наноразмерные частицы углерода формируются в результате молекулярной сборки углеродных радикалов в дискретные элементы будущей структуры углеродного наноматериала.

Необходимым условием для формирования объемного наноматериала является наличие в реакционной среде углеродсодержащих химических соединений дисперсных углеродных частиц наноразмерного диапазона, т.е. диаметром менее $d_{кр}$, и непрерывный подвод их к реакционной поверхности. Расчет показывает, что масса углерода, подводимого к поверхности осаждения в виде наночастиц, должна превышать массу углеродной матрицы не менее, чем в 3,8 раза. Эта величина является оптимальной. При меньшем содержании наночастиц углеродное отложение приобретает кристаллоориентированное строение. В этом случае наличие в углеродном отложении наночастиц углерода не оказывает существенного влияния на структуру получаемого материала, а преимущества наноразмерного состояния углерода не реализуются в свойствах углеродного отложения. С увеличением данного соотношения более оптимального значения углеродное отложение приобретает пористость, образуя в предельном случае скопление практически не связанных друг с другом наночастиц. Это означает, что вместо объемного наноматериала процесс будет выдавать нанопорошок углерода, т.е. будет воспроизводить известную по многочисленным публикациям преимущественно рекламного характера тривиальную технологию производства нанопорошков.

Одностадийная технология объемного наноматериала экспериментально отработана в производственных условиях на пластинах, трубах и натурных изделиях с габаритными размерами до 200 мм

Объемный углеродный наноматериал

Как следует из теоретической схемы формирования и реальной структуры полученного по предлагаемой технологии наноматериала (рисунок 2), наночастицы связаны друг с другом прослойками матрицы наноразмерного диапазона, т.е. он является 100 % объемным наноматериалом. Свойства такого наноматериала, очевидно, должны значительно превосходить свойства материала с добавкой до 10 % наночастиц.

Технический потенциал

По прочностным показателям объемный углеродный наноматериал (BCN) [3] в 3 и более раз превосходит лучшие марки углеродных материалов традиционной технологии. Он хорошо обрабатывается механически. Высокая механическая прочность в сочетании с наноразмерными дискретными элементами структуры позволяет изготавливать из него детали сложной геометрической формы с острыми кромками, полированными до высокого класса

чистоты поверхности. Данная особенность BCN представляет интерес для изготовления из него деталей точной механики, например в изделиях новой техники.

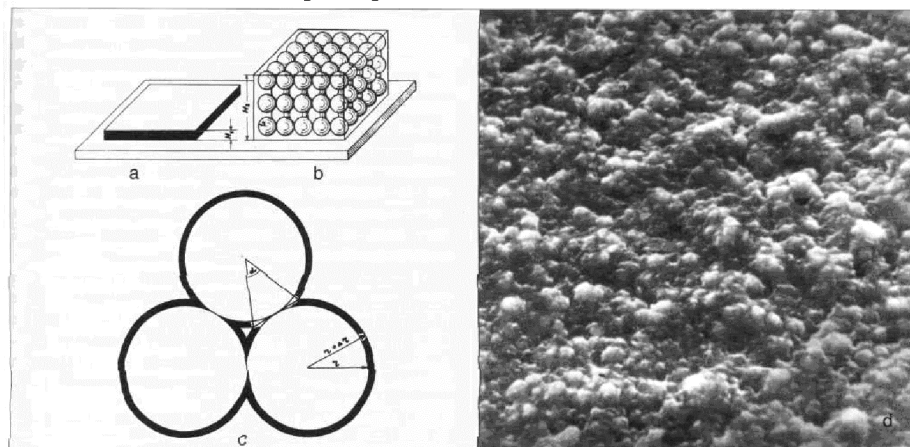


Рисунок 2 – Моностадийное формирование наночастиц и связывающей их матрицы: а, b, c – теоретическая модель, а – матрица, b – наночастицы, c – схема связывания наночастиц матрицей, d – структура реального наноматериала системы углерод-углерод

Высокотемпературное поведение BCN имеет аномальный характер: конструкторы машин и оборудования хорошо усвоили, что прочность всех материалов конструкционного назначения с повышением температуры падает. Однако прочность BCN с повышением температуры увеличивается. По высокотемпературной удельной прочности BCN превосходит вольфрам (рисунок 3).

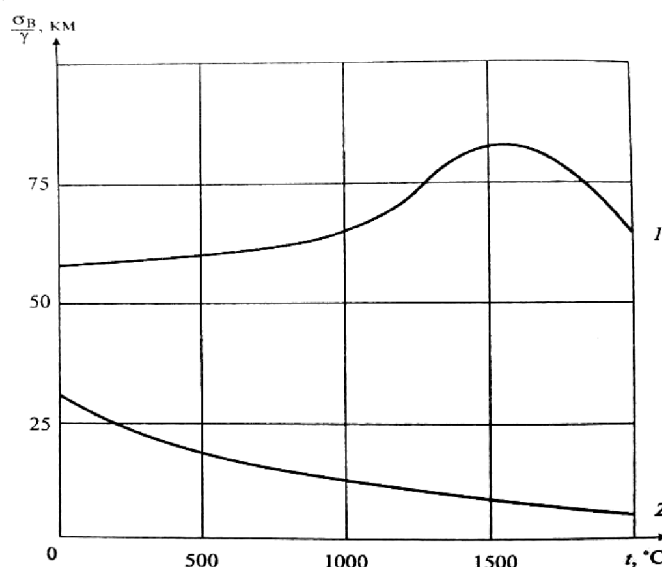


Рисунок 3 – Температурная зависимость удельной прочности высокотемпературных материалов: 1 – углеродный наноматериал, 2 – вольфрам

Плотность BCN не превышает $2,0 \text{ г/см}^3$ при гарантированном значении для производственной продукции не менее $1,8 \text{ г/см}^3$, что позволяет достичь высоких показателей удельной прочности изготовленных из него деталей. В сочетании с повышенными высокотемпературными свойствами BCN это позволяет рекомендовать его для изготовления деталей тепловых машин летательных аппаратов.

Наличие у BCN и других уникальных свойств увеличивают технический потенциал его машиностроительного применения.

BCN при нормальных условиях инертен практически ко всем химически активным средам, за исключением высокотемпературных окислительных сред. Однако и по высокотемпературной химической стойкости в активных средах с окислительным потенциалом BCN пре-

восходит лучшие марки углеродных материалов конструкционного назначения, изготавливаемых по традиционной технологии, до 300 раз. В среде кислот, щелочей, хлорорганических соединений, расплавов цветных металлов, фторидов щелочных металлов и др. агрессивных химических соединений BCN абсолютно химически стоек. Эта особенность BCN открывает перспективы для использования его в качестве ответственных деталей технологического оборудования металлургии, энергетики, химической промышленности и других отраслей производственной деятельности, связанной с использованием химически активных сред.

BCN непроницаем для жидкости и газа, работоспособен в потоке тепловых нейтронов, что представляет интерес для атомного машиностроения.

По электрохимическому потенциалу BCN близок к благородным металлам – золоту, платине и в ряде случаев может их заменить. Техничко-экономическая целесообразность реализации технического потенциала BCN в качестве электродного материала электрохимического оборудования и приборов очевидна.

Наличие промышленной технологии позволило реализовать уникальные свойства и технический потенциал BCN углеродного наноматериала как в самых смелых проектах человечества (искусственный клапан сердца, термоядерный реактор), так и в традиционном машиностроении (торцевые уплотнения высокотемпературных агрессивных сред, антифрикционные вкладыши газодинамических подшипников и др.) при создании машиностроительной продукции с техническими характеристиками выше мирового уровня.

Современная цивилизация основана на использовании электроэнергии, сырьевые источники производства которой ограничены. Альтернативой энергетическому голоду считают производство электроэнергии в процессе синтеза ядер химических элементов, который осуществляется в термоядерных реакторах.

Применение BCN позволило существенно улучшить технико-экономические показатели термоядерных реакторов типа Токамак. BCN заменил сплав вольфрам-рений в конструкции диафрагмы термоядерного реактора (рисунок 4). Диафрагма из BCN в течение многих лет эксплуатации термоядерных реакторов типа Токамак серии Т-4, Т-3М и Т-7 успешно ограничивала рабочее тело реактора из дейтерий-тритиевой плазмы с температурой около 100 млн. град. Она успешно выдержала 8000 рабочих циклов термоядерного реактора без следов разрушений.

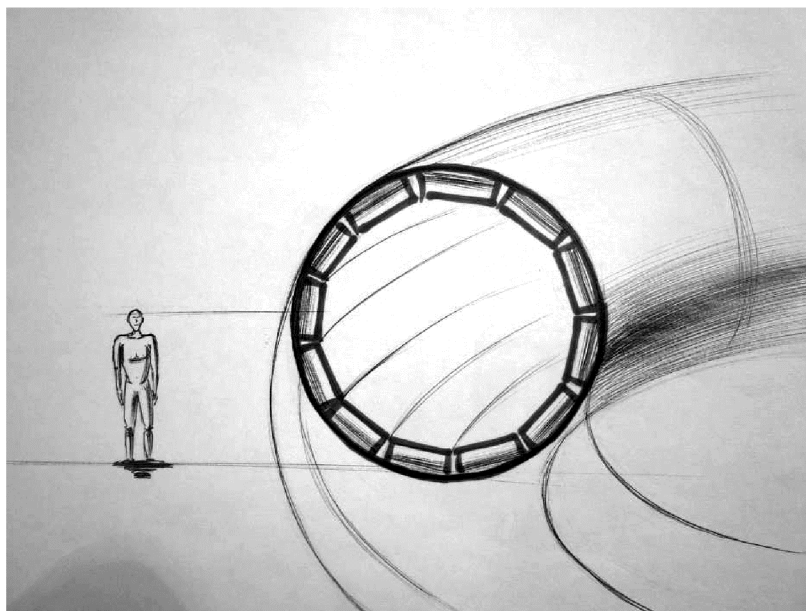


Рисунок 4 – Принципиальная схема местоположения диафрагмы из объемного углеродного наноматериала в термоядерном реакторе

Замена сплава вольфрам-рений на BCN обеспечила уменьшение потери мощности на излучение плазмы в 3 раза, увеличение количества полезных импульсов в 5 раз и снижение интенсивности рентгеновского излучения в 20 раз. В пересчете на применение BCN в качест-

ве материала первой (обращенной к водородной плазме) стенки термоядерного реактора электростанции тепловой мощностью 5 тыс. Мвт это означает выработку дополнительного количества бесплатной электрической энергии в объеме 10 млрд. квт.ч/год.

В данной конструкции реализован весь комплекс уникальных свойств BCN. Определяющим преимуществом, обеспечившим принципиальную возможность применения BCN в столь жестких условиях, являются его низкие эмиссионные свойства. По стойкости к катодному распылению он в 15 раз превосходит лучшие углеродные материалы традиционной технологии.

Производственный опыт эксплуатации термоядерных реакторов типа Токамак дает представление о потенциальных возможностях улучшения технико-экономических показателей современных тепловых машин за счет реализации высокотемпературных свойств BCN.

Уникальные свойства BCN представляют интерес и для традиционного машиностроения. Наиболее очевидные технические приложения имеют его антифрикционные свойства.

Обширной областью применения углеродных материалов являются торцевые уплотнения вращающихся валов, в качестве которых могут быть использованы только непроницаемые материалы. Высокая пористость антифрикционных графитов традиционной технологии, которая достигает 30 %, исключает их применение в конструкции торцевых уплотнений. Устранение проницаемости антифрикционных графитов путем их пропитки термореактивными полимерами или насыщения сплавами антифрикционного назначения резко снижает рабочую температуру эксплуатации торцевого уплотнения до температуры термического разложения полимера (около 200°C) или до более высоких температур плавления антифрикционного сплава (до 600°C).

В режиме сухого трения BCN не имеет следов износа после 5000 циклов пуск-останов в жестких условиях разгона до критической скорости вала газодинамического подшипника и аварийного торможения. По износостойкости в этих условиях он многократно превосходит хорошо зарекомендовавшие себя в других областях лучшие виды антифрикционных материалов: бронзы, антифрикционные сплавы, корундовую керамику. Его высокая износостойкость обеспечивает минимальное значение коэффициента трения при трогании с места вала на газодинамических опорах из BCN после аварийного торможения. Кроме того, в аварийной ситуации кратковременное касание высокооборотного вала не приводит к схватыванию металлической поверхности вала с рабочей поверхностью вкладыша из BCN.

BCN служит эффективным антифрикционным материалом для торцевых уплотнений. Его преимущество перед металлопропитанными антифрикционными графитами состоит в практическом отсутствии температурных ограничений. Он обеспечивает работоспособность высокотемпературных торцевых уплотнений энергонасыщенных узлов трения тепловых машин, работающих при высоких окружных скоростях вращения и высоких параметрах рабочей среды. Низкий коэффициент трения BCN в сочетании с химической инертностью и непроницаемостью для жидких и газообразных сред обеспечивают работоспособность торцевых уплотнений разнообразных агрессивных сред.

Биоинженерный потенциал

Кроме стандартного набора физико-механических свойств, определяющих принципиальную возможность конструкционного применения материала, BCN обладает уникальным сочетанием свойств, которые представляют интерес для медико-биологического применения.

BCN при нормальных условиях инертен практически ко всем химически активным средам. Следствием его химической инертности является биологическая инертность и тромборезистентность (способность препятствовать образованию тромбов в кровеносной системе) в среде нативной (находящейся в организме, а не вне его) крови. По уровню тромборезистентности BCN превосходит все известные материалы.

Комплекс медико-биологических испытаний показал отсутствие местного раздражающего, общетоксического и канцерогенного действия BCN на организм. По результатам многолетних исследований BCN рекомендован для клинического применения [4].

Основным ограничением продолжительности жизни человека в современных условиях

являются сердечно-сосудистые заболевания. Поэтому предпринимаются попытки создания искусственных органов системы кровообращения. Наиболее востребованы искусственные клапаны сердца. Их работоспособность обеспечивает запирающий элемент, который должен выдерживать около 40 млн двойных (при открывании и закрывании клапана) ударов в год в химически активной среде нативной крови.

Запирающие элементы зарубежных фирм представляют собой сложную конструкцию с защитным покрытием из низкотемпературного пироуглерода толщиной до 200 мкм. Разработчики были вынуждены принять такое решение, так как зарубежные ученые считали невозможным получить углеродное покрытие большей толщины. Получение монолитного материала, работоспособного в жестких рабочих условиях эксплуатации запирающего элемента искусственного клапана сердца, по теоретическим воззрениям зарубежных ученых считалось невозможным и поэтому даже не рассматривалось.

Уникальные свойства и технологические возможности промышленного производства BCN позволили создать запирающий элемент в виде монолитной детали, что упрощает конструкцию и повышает его надежность. Стендовые испытания показали, что ресурс безотказной работы BCN в данных условиях соизмерим с продолжительностью жизни человека с 5-кратным запасом. На основании положительных результатов многолетних медико-биологических и стендовых испытаний BCN с 1977 г. используется в качестве основного конструкционного материала в производстве искусственных клапанов сердца. Все искусственные клапаны сердца российского производства имеют запирающие элементы монолитной конструкции из BCN.

Уникальные свойства BCN обеспечили успешное завершение НИР и ОКР по созданию перспективной конструкции искусственного клапана сердца, в котором все элементы проточной части выполнены целиком из BCN. Такая конструкция исключает прямой контакт нативной крови с провоцирующими тромбообразование металлическими деталями искусственного клапана сердца.

В данном проекте реализован весь комплекс уникальных свойств BCN. Определяющим преимуществом, обеспечившим принципиальную возможность применения BCN в столь жестких условиях эксплуатации, являются высокие показатели его физико-механических свойств и хорошие антифрикционные свойства. Коэффициент трения BCN в жидких средах в 5 раз ниже, чем лучших марок углеродных материалов антифрикционного назначения, изготовленных по традиционной технологии.

Предпосылкой для применения BCN в качестве эндопротезов наряду с высокими прочностными и антифрикционными свойствами служит также его тромборезистентность, которая является следствием его химической инертности.

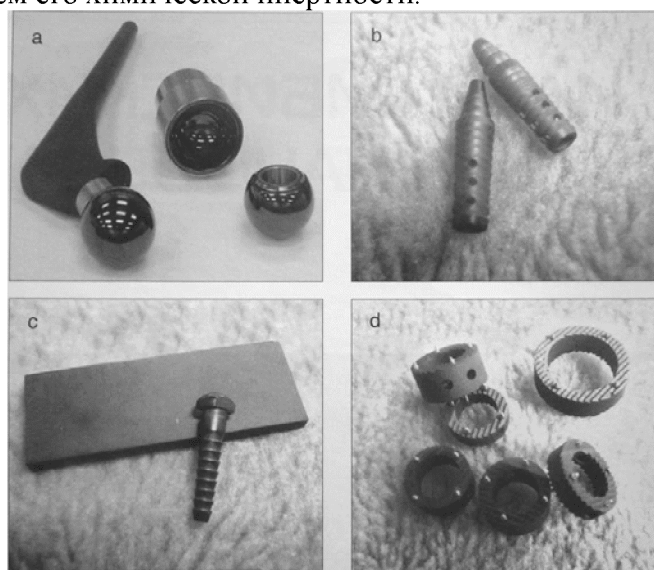


Рисунок 5 – Перспективные медико-технические изделия: а – тазобедренный сустав, б – зубные импланты, с – хирургический крепеж, d - кейджи

Приведенный пример реализации комплекса медико-технических свойств BCN в качестве конструкционного материала искусственного клапана сердца дает представление о потенциальных возможностях использования его биоинженерных свойств в медицинской технике.

Наличие промышленной технологии производства крупногабаритного BCN позволило начать работы по разработке и изготовлению следующих медицинских изделий со свойствами выше мировых аналогов: тазобедренный сустав, протез лицевого сустава, все крупные и мелкие суставы, зубные импланты, набор изделий для операций на позвоночнике, для челюстно-лицевой хирургии, для остеосинтеза костей, включающий в себя пластины, дюбели, кейджи, винты и др. крепежные детали; детали медицинской техники, контактирующие с кровью (аппараты искусственного кровообращения и др.), в которых также будет реализован весь комплекс уникальных свойств BCN (рисунок 5).

Считаем необходимым отметить, что сфера эффективной реализации свойств BCN в технических устройствах с потребительскими свойствами выше мирового уровня значительно шире рассмотренных направлений его применения.

Заключение

Рассмотренные работы выполнены на примере модельной системы углерод-углерод. Однако есть основания полагать, что предлагаемые этапы осуществления технологического проекта по созданию моностадийной технологии объемных наноматериалов могут быть реализованы и для получения широкой гаммы наноматериалов системы наполнитель-матрица другого химического состава.

Предлагаемые в проекте теоретические основы создания объемных наноматериалов со свойствами многократно выше мирового уровня экспериментально осуществлены с использованием технологических приемов, основанных на газофазном пиролизе исходного сырья. Однако не все технически значимые материалы конструкционного назначения могут быть получены путем газофазной кристаллизации сырьевых компонентов.

Наряду с газофазными процессами для создания объемных наноматериалов могут быть использованы также процессы жидкофазной кристаллизации и вторичной кристаллизации твердой фазы. Для реализации теоретических положений создания объемных наноматериалов с использованием жидко- и твердофазных процессов необходимо привлечь к участию в проекте высококлассных специалистов в соответствующих областях, совместная работа с которыми обеспечит междисциплинарный синергический эффект сотрудничества.

Предполагается, что в результате тесного междисциплинарного сотрудничества рассмотренные в данной статье результаты по созданию методами газофазной кристаллизации объемных наноматериалов системы углерод-углерод с уникальными свойствами будут дополнены синтезом новых объемных наноматериалов с не менее уникальным техническим потенциалом путем использования сырьевых компонентов, находящихся в жидкофазном и твердофазном агрегатных состояниях вещества. Ожидаемый синергический эффект откроет перспективы промышленного производства объемных наноматериалов со свойствами многократно выше мирового уровня практически из любого сырья, независимо от его агрегатного состояния, используя как газофазные, так и жидко- и твердофазные процессы.

Немаловажным синергическим эффектом будет моностадийность жидко- и твердофазных процессов получения объемных наноматериалов, что обеспечит их технико-экономическую конкурентоспособность с традиционными технологиями производства машиностроительных материалов.

Отсутствие адекватных условий для подготовки предлагаемой концепции к заводскому производству и потреблению конечного продукта может превратить результаты многолетнего самоотверженного труда многих научных и производственных коллективов в невостребованное отечественной промышленностью интеллектуальное сырье для зарубежной переработки в конечный продукт высоких технологий.

Литература

1. Петрунин В.Ф. Ультрадисперсные порошки – российская ниша наноматериалов и пер-

спективная база нанотехнологий // Экология - XXI век. 2005. № 3(27). с. 90-91.

2. Волков Г.М. Технологические проблемы перехода от микро- к наносистемам консолидации дисперсных частиц вещества // Нано- и микросистемная техника, № 5, 2006. с. 34-37.
3. Волков Г.М. Объемные наноматериалы – М.: «КноРус», 2011. 168 с.
4. Волков Г.М., Татаринцов В.Ф. Биоинженерный потенциал углерода // Нанотехника, 2007, № 2(10), с. 52-56.

Исследование обрабатываемости стали 75ХГФС

Волков Р.Б., Голобоков А.В., д.т.н. проф. Кузнецов В.А., к.т.н. доц. Черепяхин А.А.
ОАО «ОК-ЛОЗА», Университет машиностроения
8-926-7053600, aleksandr17780@yandex.ru, 8-916-3975806, tkm1410@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрен характер износа многогранных неперетачиваемых твердосплавных пластин при точении экспериментальной высокоуглеродистой легированной стали 75ХГФС. Даны рекомендации по выбору формы пластин, углов режущей части и виду износостойких покрытий задних и передней поверхностей.

Ключевые слова: сталь, характер износа, передняя поверхность, задняя поверхность

В технологической лаборатории Университета машиностроения, по заданию ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина», проводилось исследование обрабатываемости экспериментальной высокоуглеродистой легированной стали для подшипниковой промышленности (сталь 75ХГФС).

На начальном этапе исследований необходимо было установить требования к форме и геометрическим параметрам МНТП, применяемых для точения.

Для испытаний были поставлены прутки экспериментальной стали (таблица 1).

Таблица 1

Химический состав прутков стали 75ХГФС

Ø прутка, мм	Изготовитель	Содержание элементов, масс. %							
		C	Si	Mn	Cr	V	P	S	[O]*
	Требования Протокола №1 от 08.06.2011	0,75 ... 0,80	0,50 ... 0,70	1,10 ... 1,30	0,45 ... 0,80	0,07 ... 0,15	≤ 0,025	≤ 0,020	≤ 0,0015
40	ЦНИИчермет	0,79	0,64	1,22	0,76	0,12	0,015	0,005	0,0016
23	ЦНИИчермет	0,71	0,63	1,24	0,66	0,08	0,010	0,009	... 0,0017

Контроль химического состава выполнило ОАО «Лоза»; * - контроль выполнил ЦНИИчермет

Для экспериментов выбраны наиболее распространенные в отечественной подшипниковой промышленности пластины из металлокерамического сплава системы CoroTurn 107-ССМТ-UM-09Т308 (ромб с углом при вершине 80°, главный задний угол 7°, вспомогательный угол в плане 7°) фирмы Sandvik Coromant, Швеция.

На задние поверхности МНТП было нанесено покрытие (TiCN) методом MT-CVD (среднетемпературное химическое покрытие). На переднюю поверхность было нанесено покрытие типа TiCN-Al₂O₃-TiN методом Low stress coating (MT-CVD – метод с последующей полировкой передней поверхности).

Для чистовой и получистовой токарной обработки характерны:

- относительно высокие скорости резания (по рекомендациям фирмы Sandvik Coromant, при получистовом и чистовом точении углеродистых хромомарганцевых сталей скорости резания лежат в интервале 80 ... 300 м/мин;
- относительно узкий диапазон глубин резания подач (исследования обрабатываемости среднеуглеродистых хромомарганцевых сталей Ташлинским Н.И., Подураевым В.Н., Баранчиковым В.И., Гуревичем Я.Л. и другими показали, что эти технологические парамет-

ры лежат соответственно в интервалах 0,1 ... 0,3 мм и 0,05 ... 0,3 мм/об).

С учетом диаметров образцов и характеристик токарного станка для исследований выбраны следующие технологические режимы обработки (таблица 2).

Таблица 2

Режимы лезвийной обработки

Параметр	Скорость резания, м/мин	Подача на оборот, мм/об	Глубина резания, мм
min	78,5	0,07	0,1
max	251,2	0,28	0,25

Определение характера износа режущей части инструмента проводилось с помощью классического однофакторного эксперимента на предельных режимах (таблица 2). Через каждые 0,35 м осуществлялась цифровое фотографирование передней и задних поверхностей режущей пластины с одновременным замером шероховатости обработанной поверхности на профилограф - профилометре Калибр 201. Цифровая фотография поверхностей пластины проводилась на бинокулярном микроскопе МБС-9 (при увеличении $\times 2$; $\times 4$; $\times 7$) с помощью цифровой камеры – окуляра для микроскопа Levenhuk серия С. Для определения реального масштаба одновременно фотографировался объект – микрометр (стеклянная шкала 1 мм, цена деления 0,01 мм).

Экспериментальные исследования показали, что характер износа режущей части имеет ряд особенностей.

- На передней поверхности, в районе вершины резца в период приработки (0,1 ... 0,2 м длины резания) происходит износ фаски и на поверхности появляется характерная светлая полоса (рисунок 1а). Эта полоска остается на протяжении всего времени работы резца, не развиваясь в лунку. До длины резания 2,3 ... 2,5 м износ по передней поверхности выражается в небольшом округлении главной режущей кромки.
- На длине резания 2,5 ... 6,0 м интенсивность износа несколько возрастает. Износ выражается в появлении лунки износа, которая перемещается как в сторону вершины резца, так в противоположном направлении (рисунки 1б, 1в). При длине резания 6 м интенсивность износа еще более возрастает. При этом начинается выкрашивание по вершине резца (рисунок 1в). Однако величина износа по передней поверхности незначительна (рисунок 2).

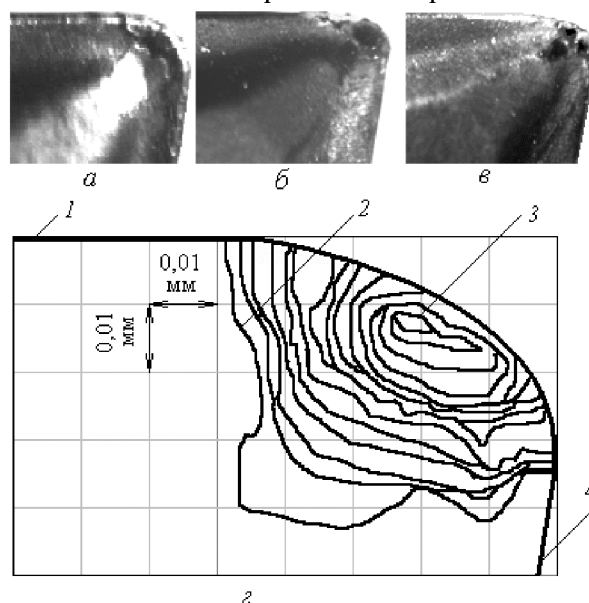


Рисунок 1 – Износ резца по передней поверхности: а – путь резания 0,2 м; б – путь резания 4,9 м; в – путь резания 7,0 м; z - изолинии износа по передней поверхности; 1 – вспомогательная режущая кромка; 2, 3 – изолинии износа (путь резания 7,0 ... 2,45 м); 4 – главная режущая кромка

Картина износа по главной задней поверхности неоднозначна. На этой поверхности на-