# Использование технической керамики и ситаллов в узлах трения

В.В. Гусев, Л.П. Калофатова, А.Д. Молчанов, Дон НТУ

В настоящее время в мире наблюдается тенденция производства изделий из неметаллических и композиционных материалов, которые все шире заменяют металлы во многих отраслях промышленности. К концу предыдущего тысячелетия производство неметаллов превысило по объему производство черных металлов. Эта тенденция связана со снижением себестоимости продукции при одновременном повышении их срока службы, надежности и экологической чистоты. Особое место среди неметаллических материалов занимает керамика. Работы по керамическим материалам во всем мире резко интенсифицируются, расширяются области применения этих материалов и рост капиталовложений в разработку материалов, технологию их производства и изготовления. Большинство развитых стран (Япония, США, Германия, Швеция, Россия и др.) осуществляют национальные программы по керамике. Лидирующее место на мировом рынке керамики занимают Япония и США. Фактическое производство керамики неуклонно возрастает, каждые пять лет ее производство удваивается.

Физико-механические свойства конструкционной керамики (КК) по сравнению со всеми видами металлов, которые в настоящее время применяются в качестве главных материалов для изготовления деталей машин, имеют такие отличительные характеристики, как высокую температуру плавления, твердость, легкость и т.д. Ее применяют для изготовления деталей, к которым предъявляются повышенные требования по жаростойкости, износостойкости, коррозийной стойкости, стойкости к воздействию химикатов и т.д.. Сегодня многие институты Украины и Донецкой области работают над проблемами изготовления и применения изделий из КК в промышленности. Можно отметить такие ведущие организации как Институт проблем материаловедения и Институт сверхтвердых материалов в г. Киеве, Физико-технический институт и ООО “Керамика” в г. Донецке. Они обладают технологией изготовления материалов и готовы ее поставлять во многие отрасли промышленности.

Особое место среди областей применения КК занимают узлы трения. За рубежом КК используется для изготовления износостойких деталей насосов нефтяных скважин, арматуры в нефтехимической и газовой промышленности, а также фильер, сопел пескоструйных аппаратов, газовых горелок и т.д. Интерес, возникший к триботехнической керамике в 60-е годы, не ослабел до настоящего времени. Если в 80-х годах объем производства керамических подшипников оценивался в 2, 5 млрд. долларов США, то к концу предыдущего тысячелетия ожидался рост их выпуска в стоимостном выражении до 6 млрд. долларов. Высокие рабочие температуры и износостойкость керамических материалов позволяют повысить быстроходность вращения роторов, снизить требования к смазке и охлаждению. Важными факторами их использования являются немагнитность и электроизоляционные свойства керамических материалов. Высокая стоимость таких подшипников компенсируется более высокой долговечностью (3...10 раз) и более высокой износостойкостью (~10 раз при высоких температурах).

Основным материалом по созданию керамических подшипников качения является горячепрессованный нитрид кремния (Si 3 N4 ), хотя сохраняется интерес и к таким материалам как оксид алюминия и карбид кремния (Al 2 O3 , SiC ). При обычных температурах эксплуатации спеченные керамики уступают подшипниковой стали по долговечности, однако с другой стороны, стали теряют работоспособность при 870...10700К, а керамические материалы нормально работают в этих условиях. Сегодня из нитрида кремния изготавливают шарики и ролики подшипников, а иногда и цельные подшипники. Если раньше основными потребителями этих подшипников были авиация, космическая техника и приборостроение, то сегодня, с началом их серийного выпуска на рынок сбыта, расширяется и область их использования.

Особо привлекательным является тот факт, что уже на стадии получения материала возможно введение в него твердых смазок, значительно улучшающих работоспособность узлов трения. В качестве подшипников скольжения используют спеченные SiC , Si 3N 4. На основе Al 2O 3 создают композиты, содержащие MoO 3 или WO 3 и имеющие поверхностную сульфидную пленку, из которых можно изготавливать прецизионные подшипники с низким (0, 13) коэффициентом трения. В материалах на основе Si 3N 4 в качестве твердой смазки используют графит и BN . Ряд фирм Германии, Японии, США уже сегодня выпускают керамические подшипники качения. Однако существуют особенности их монтажа, что связано с различными значениями коэффициента линейного расширения КК и металла.

Интенсификация работ в области триботехнической керамики связана, прежде всего, с постановкой модельных опытов, имитирующих по схеме и геометрии контакта условия работы реальных узлов трения, с целью оценки применения тех или иных материалов и конструктивных особенностей для конкретных условий работы. В ДонНТУ получен ряд патентов Украины, накоплен определенный опыт в разработке перспективных комбинированных узлов трения и проведении исследований работы керамических подшипников на имеющихся стендах кафедры “Металлорежущие станки и инструменты”. Для угольной промышленности разработаны: плунжера и кольца для водных и масляных шахтных насосов, торцовые уплотнения роликов угольных комбайнов и проходческих машин. Использование керамических плунжеров позволяет повысить длительность эксплуатации шахтных насосов в 4...5 раз, а разработанные в ДонНТУ конструкции торцовых уплотнений роликов -   в 2...4 раза за счет герметизации подшипникового узла и обеспечения высокой износостойкости в жестких условиях окружающей среды (влаги, угольной пыли).

Применение КК требует новых принципов конструирования. Приходится отклоняться от форм изделий, признанных для металлов оптимальными. Необходимо вести проектирование с учетом особенностей керамики и способов ее изготовления. Для внедрения керамики в машиностроение это имеет большое значение. Принципы проектирования изделий из КК, на первый взгляд, кажутся простыми. Необходимо, чтобы уровень напряжений в процессе эксплуатации был ниже прочности материала при заданном уровне вероятности разрушения. Необходимость использования вероятностного, а не детерминистического подхода вызывают проблемы экстраполяции прочности на заданный низкий уровень вероятности разрушения с учетом напряженного объема. Это достигается при использовании функции статистического распределения Вейбулла.

Хрупкое разрушение керамики инициируется в результате развития трещины из единичного дефекта или слияния групп малых дефектов. Дефекты подразделяются на внутренние (собственные типа пор и включений) и наведенные, поверхностные трещины на поверхности, образующиеся в результате механической обработки, термического или механического удара, воздействия остаточных напряжений. Вероятность разрушения от поры может быть оценена на основе статистического подхода, учитывающего вероятность распространения микротрещины, расположенной в поле напряжения. Предельные размеры наведённых трещин определяются соотношением твердости, трещиностойкости и модуля упругости материала. Существенное влияние на прочность керамики оказывает и ориентация наведённых микротрещин по отношению к направлению действия внешней нагрузки, с резким изменением ориентации плоскости разрушения. При проектировании изделий из керамики рекомендуется избегать значительных концентраций напряжений и использовать более чем четырехкратные запасы прочности по сравнению с прочностью при изгибе. Интенсивные исследования в области обеспечения высокой эксплуатационной надежности и долговечности КК позволяют надеяться на ее успешное применение в промышленности.

При получении изделий из КК каждая стадия изготовления оказывает влияние на эксплуатационные характеристики. Необходимо уделять внимание всем стадиям изготовления керамики: получению порошков, формованию, предварительной механической обработке, обжигу и после обжиговой обработке, которая наряду механической обработкой может включать упрочнение поверхности, металлизацию или соединение керамики с другими материалами.

При использовании КК в деталях с точными размерами без окончательной механической обработки обойтись не возможно. Главным препятствием является высокая твердость и хрупкость КК. Даже при обработке пластичной массы и предварительно обожженного материала твердость самих зерен керамики приводит к абразивному износу инструмента. В настоящее время, несмотря на применение большого числа таких высокоточных способов обработки КК как ультразвуковая, лазерная и др., наиболее используемым и производительным методом при механической обработке является алмазное шлифование.

Механическую обработку обожженной КК проводят алмазными абразивными материалами. Даже мягкие режимы обработки приводят к образованию микротрещин на поверхности керамики, которые уменьшают ее механическую прочность. На микрорельеф поверхностного слоя, наряду с пористостью и размерами кристаллов, оказывает влияние характеристика алмазных кругов и режимы обработки. Выбирать инструмент, его характеристики и режимы обработки следует в строгой зависимости от требуемого качества изделия и характеристик заготовки.

Механизм формирования поверхностного слоя керамики отличается от процессов происходящих при алмазном шлифовании металлов. При шлифовании хрупких неметаллических материалов имеют место: упругопластическая деформация без разрушения, диспергирование припуска при пластической деформации и хрупкое разрушение со скалыванием частиц. Вероятность тех или иных механизмов разрушения припуска определяется как физико-механическими свойствами материала, так и нагрузкой на зерна (режимами обработки). Процессы, происходящие при разрушении припуска, в дальнейшем оказывают влияние на эксплуатационные характеристики изделия.

В Донецком техническом университете на кафедре “Металлорежущие станки и инструменты” длительное время занимаются вопросами обеспечения качества изделий из технической керамики, ситаллов, разработкой перспективных способов алмазного шлифования. Эксплуатационные показатели пары трения определяются, наряду с выбором материалов, условиями работы и технологической подготовкой изделия к работе. При неизменных нагрузках в подвижных узлах одним из важнейших факторов, оказывающим влияние на силы трения, являются точность и качество поверхностного слоя деталей. Получение оптимального рабочего рельефа во всех случаях связано с исходным технологическим рельефом, который должен соответствовать равновесному состоянию поверхностных слоев в процессе эксплуатации. Такой подход сокращает этап приработки пары трения и уменьшает износ.

На кафедре “Металлорежущие станки и инструменты” ДонНТУ разработаны, защищены и внедрены А.С. СССР по новым способам обработки и поддержанию эксплуатационных характеристик алмазного инструмента. Накоплен богатый опыт по разработке технологических процессов механической обработки, выбору инструмента и режимов резания КК, ситаллов и стекла.