

УДК 621.9

ИЗГОТОВЛЕНИЕ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ИЗ МИНЕРАЛОКЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ НАНОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ

В.В. Ерохин

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского

В статье рассматриваются основные аспекты создания высокопроизводительного режущего инструмента из минералокерамики. Даются рекомендации по оптимальному химическому составу и структурному составу порошков для изготовления минералокерамики в области инструментального производства. Тезисно представлен усовершенствованный технологический процесс изготовления минералокерамических пластин на основе оксида алюминия. Показано влияние легирующих элементов на физико-механические свойства режущих пластин из минералокерамики. Представлены данные по испытаниям режущих пластин из минералокерамики марок ВОК60, ВОК71, ЦМ332, изготовленных с применением инновационной технологии их изготовления.

Ключевые слова: *режущий инструмент, минералокерамика, оксидная керамика, керметы, нанодисперсный порошок, прочность, износостойкость.*

DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2016-02-04-27-33>

В связи с ростом промышленности и быстрой сменой объектов производства большое значение приобретает оснащение станков качественной оснасткой в кратчайшие сроки. Сейчас многие предприятия в России, даже имея средства на развитие, месяцами ждут заказанных инструментов из-за рубежа. Драгоценное время тратится на транспортировку, таможенное оформление. А заказы уходят к более мобильным предприятиям. В связи с этим актуальной становится задача доставки инструмента до станка в кратчайшие сроки. Сегодня на рынке инструмента в России появилось много фирм, реализующих инструмент из-за рубежа. Но, как уже говорилось, на это тратится много времени. Единственным решением этой проблемы является наличие склада инструмента, оперативно реагирующего на запросы рынка, однако зачастую инструментальные фирмы не идут на создание складов.

Потребность Центрального федерального округа России в инструментальном складе порядка 28 млн. штук и не менее 20 тыс. позиций номенклатур. Рынок минералокерамических режущих материалов и керметов порядка 1800 тыс. штук в год. Занятие рынка в пределах 20 % позволяет повысить конкурентоспособность отечественных режущих инструментов, а также мобильность их доставки. При этом иностранные фирмы-производители и поставщики режущего инструмента работают только с большими партиями от 10000 шт., что в сложившейся экономике России не приемлемо. Оптимальная партия поставки на среднее производство составляет до 1500 шт., на мелкие машиностроительные производства и фирмы - от 50 до 500 шт.

Актуальность производства режущего инструмента на основе минералокерамики и керметов обусловлена не только низким качеством режущего инструмента из этих материалов, но и в большинстве случаев его отсутствием. Так обработка основных деталей двигателей и трансмиссии любого вида транспорта не обходится без высокопроизводительного и высокопрочного режущего инструмента. При этом эти детали обрабатываются в основном на современных станках с ЧПУ, которые только и рассчитаны на применение этих инструментов. Применение режущих пластин на основе твердых сплавов, которые в настоящее время наиболее распространены, не способствует использованию основных скоростных режимов оборудования и тем самым является малоэффективным в производстве высококачественных деталей.

Создание минералокерамических инструментальных материалов обусловлено необходимостью сократить или полностью исключить использование в инструментах дефицитных металлов, сохранив достигнутый уровень работоспособности инструментов, соответствующий твердым сплавам. Свое название эта группа материалов получила в связи с тем, что исходным сырьем для них служат глинозем и кремний. С целью повышения прочности также создаются композиционные материалы с добавками карбидов вольфрама, титана, молибдена, нитридов титана, двуокиси циркония. Такие материалы называются керметами (керамика-металл). Известны и другие названия: для керамики на основе окиси алюминия - оксидная керамика, для керметов - оксидно-карбидная керамика.

Теплостойкость минералокерамики значительно выше теплостойкости твердых сплавов и составляет по данным разных исследователей 1100...1500°C. Добавки карбидов металлов снижают теплостойкость. Твердость разных марок также в среднем превышает твердость металлокерамических сплавов до HRA 91.5-95. Коэффициент теплового расширения керамики меньше, чем твердого сплава. Сопротивление абразивному изнашиванию сиалона в 1,3 раза выше, чем у твердого сплава, черной керамики - в 1,1 раза, а белой керамики - немного ниже. Плотность оксидной керамики составляет 3,94...3,98 г/см³, что в 3,7 раза меньше по сравнению с однокарбидными твердыми сплавами и в 2-3 раза - с двухкарбидными. Примеси тяжелых металлов повышают плотность керамики.

Для повышения вязкости и прочности в оксид алюминия вводят легирующие добавки. Так содержание 1 % по массе оксида магния тормозит рост зерен при горячем прессовании керамики, перераспределяет примеси по границам зерен, создает области сжимающих напряжений вокруг них. В результате этого снижается развитие трещин в керамическом материале и его прочность повышается. Эффект будет больше при добавлении еще и карбидов хрома, вольфрама, титана. Вязкости и термостойкости способствует введение диоксида циркония до 16 % по массе. Его действие проявляется через повышение прочности на растяжение поверхностных слоев материала за счет перераспределения напряжений между структурными составляющими керамики. При этом керамика становится пригодной для прерывистого резания. Чтобы одновременно не снизить возможности керамики при непрерывном резании в нее вводят до 3,5 % оксида иттрия.

Добавление нитрида титана еще больше повышает твердость и износостойкость керамики.

Уменьшение размера зерна и пористости минералокерамики приводит к росту износостойкости, прочности и твердости материала. Поэтому размеры зерен следует снижать до 2 мкм, а плотность надо повышать до максимально возможной.

При реализации технологии изготовления минералокерамики необходимо, чтобы дисперсность порошков была не более 100 нм в объеме 90 % порошка металла и добавок, и не более 200 нм в объеме не более 10 % порошка.

Армирование оксида алюминия нитевидными волокнами карбида кремния толщиной 0,6 мкм и длиной 10...89 мкм улучшает распределение напряжений в материале и теплопроводность, увеличивает ударную вязкость в 1,5 - 2 раза.

Нитридная керамика в сравнении с оксидной выше по прочности на изгиб и ударной вязкости, лучше работает на удар, и в сравнении со смешанной керамикой, она хорошо проводит тепло. Ее недостаток – повышенный диффузионный и химический износ при скоростном резании стали.

Замешенная нитридная керамика образуется путем замены части атомов кремния и азота в решетке нитрида кремния атомами алюминия и кислорода при использовании в производстве этого материала добавки из оксида алюминия. Такой материал получил название сиалон. Он превосходит чистую нитридную керамику по термодинамическим свойствам и по устойчивости к окислению, но имеет пониженную вязкость. Ее повышают введением оксидов иттрия или других редкоземельных элементов.

Нитрид кремния с добавками карбида титана, кремния, гафния, нитрида титана хорошо сопротивляется химическому износу. Еще больший эффект получается в сочетании с добавкой оксида алюминия. Добавки карбидов повышают также абразивную износостойкость. Подобные материалы относятся к композиционной нитридной керамике.

Эффективное применение инструмента с пластинками из керамики возможно, в первую очередь, на автоматизированном оборудовании, на станках с ЧПУ или на универсальных станках в условиях жесткой технологической системы. При наличии повышенных припусков на обработку лезвийное точение и растачивание керамикой предпочтительнее шлифования, так как улучшает микрорельеф обработанной поверхности и качество поверхностного слоя (отсутствуют прижоги, трещины и шаржирование абразивом).

Основой керамики является корунд – минерал кристаллического строения, состоящий из α оксида алюминия Al_2O_3 . Из кристаллов электрокорунда, добавляя к ним стекло как связующее вещество, изготавливают стандартные минералокерамические режущие пластины. Белые минералокерамические пластины выпускаются под маркой ЦМ332. Материал имеет температуростойкость ~ 1500 °С, что позволяет обрабатывать металлы со скоростями резания 300...600 м/мин. Минералокерамика пригодна только для тонкой окончательной обработки.

Белая металлокерамика также может быть использована для зубопротезирования.

Минералокерамические материалы изготавливаются в форме пластинок и присоединяются к корпусам инструментов механическим путем, приклеиванием или припаиванием.

Минералокерамика обладает высокой твердостью до 95 HRA, ее красностойкость достигает 1200 °С.

Технологический процесс изготовления минералокерамики предусматривает при спекании в керамику добавлять 0,5...1 % оксида магния (MgO), который, вступая в реакцию с оксидом алюминия, образует прочное цементирующее вещество. При прессовании керамических пластинок тех же форм и размеров, что и пластины твердых сплавов, в исходную шихту добавляют пластификатор – 5%-й раствор каучука в бензине.

В результате спекания минералокерамика становится поликристаллическим телом, которое состоит из мельчайших кристаллов корунда и межкристаллитной прослойки в виде аморфной стекловидной массы. Минералокерамика является дешевым и доступным инструментальным материалом, так как не содержит дефицитных и дорогих элементов, являющихся основой инструментальных сталей и твердых сплавов.

Кроме того, минералокерамика обладает высокой твердостью и исключительно высокой теплостойкостью. По теплостойкости минеральная керамика превосходит все распространенные инструментальные материалы, что позволяет минералокерамическому инструменту работать со скоростями резания, значительно превышающими скорости резания твердосплавных инструментов, и что является основным достоинством минеральной керамики. Она в меньшей степени склонна к адгезии (слипанию) с обрабатываемым материалом в отличие от других инструментальных материалов.

Потребность станков с ЧПУ в минералокерамических пластинах будет очень высокой. Если предположить, что до износа одна пластина снимет в среднем 50 кг металла, а при механообработке в среднем 30 % чернового веса деталей идет в стружку, то для переработки 1 т черных металлов, идущих на производство оборудования, потребуется 6 минералокерамических пластин общей массой 12 г (при размере 10x10x5 мм, плотность 3,9 г/см³), или 22 пластины массой 180 г из твердого сплава. При использовании многогранных пластин и при их перезаточке потребность в инструменте из минералокерамики будет еще меньше.

В основном технологическом процессе изготовления минералокерамических пластин на основе оксида алюминия является предусмотрено их изготовление из технического глинозема, полученного из гидрида глинозема и прокаленного при 1500...1550 °С (для перехода v -формы в α -форму). Прокаленный глинозем тонко виброизмельчается в течение 1...2 часов до получения частиц размером менее 1 мкм (до 80% от массы), остальные – не более 2 мкм. Затем продукт обогащается, сушится, в него добавляется модификатор (0,5...1 % MgO), после чего пластифицируют и холодным прессованием формируют пластины. Спекуют пластины при максимальной температуре. Завершает изготовление механическая обработка пластин (шлифовка). Кроме пластин марки ЦМ-332 по сходной технологии выпускается минералокерамика марки ВО-13 (холодное прессование, содержит $Al_2O_3 > 99\%$) и марки ВШ-75 (горячее прессование, Al_2O_3), которые также могут быть применены на станках с ЧПУ.

Этапы производства оксидной минералокерамики с использованием средств и технологий рассмотрены в [1-4].

1. Прокаленный до 1500...1550 °С глинозем подвергают тонкому виброизмельчению в течение 1...2 ч до получения частиц размером 1 мкм (до 80 % в основной массе) при максимальном размере частиц 2 мкм. Полученный продукт обогащают и сушат.

2. С использованием электровзрывной технологии получают наноразмерные порошки оксидов металлов. Предлагаемая технология предназначена для управляемого получения высокодисперсных порошков металлов, сплавов, их химических и интерметаллических соединений методом электрического взрыва проводников. Метод основан на джоулевом разогреве проводника из данного вещества при разряде конденсатора. В зависимости от плотности введенной тепловой энергии состояние вещества может изменяться от твердого до пароплазменного и образуются порошки. Дисперсность порошка легко регулируется. При плотности введенной энергии порядка энергии сублимации формируются наноразмерные порошки с диаметром частиц менее 50 нм. Метод является экологически чистым и не требует больших энергозатрат, позволяет получать порошки чистых металлов, порошки химических и интерметаллических соединений с узким распределением частиц по размерам и со средним размером частиц ~ 4...50 нм.

3. В сухой порошок оксида алюминия вводят модифицирующую добавку оксида магния (0,5...1,0 %), затем производят пластификацию и холодное прессование полученной смеси.

4. Спекуют отпрессованные пластины при температуре около 1750°C и кратковременном режиме отжига с выдержкой в течение 5...10 мин в области температурного максимума.

5. Выполняют механическую обработку заготовок пластин. Установлено, что оптимальная дисперсия исходного порошка для спекания оксидной керамики составляет не более 0,5...0,75 мкм.

Исходным материалом для получения оксидно-нитридной керамики кортинит (ОНТ 20) является глинозем ГЛМК по ТУ 48-5-200-79 и нитрид титана по ТУ 88-021-82.

Силинит-Р входит в группу III керамики на основе соединений нитрида кремния с карбидами и оксидом алюминия.

Особенности силинита-Р определяются специфическими свойствами кристаллической структуры нитрида кремния (Si_3N_4) и ковалентным типом связи между атомами. Именно наличие жестких направленных связей между атомами азота и кремния в решетке обуславливает высокую твердость, малый коэффициент линейного расширения, стабильность физико-механических свойств в широком диапазоне изменения температуры. По этой же причине в силините-Р заторможена диффузия, что обуславливает его высокую стойкость в условиях адгезионного и диффузионного изнашивания. Силинит-Р имеет повышенную по сравнению с другими разновидностями оксидной керамики энергию разрушения или связанную с этой энергией трещиностойкость.

Изготовление керамики на основе нитрида кремния не требует применения дефицитных материалов, а также уникального или нестандартного технологического оборудования. В качестве основного исходного сырья используют порошок нитрида кремния β -модификации со средним размером частиц 0,6...1,2 мкм, производимый серийно в промышленных условиях. Горячее прессование выполняют в многоместных графитовых матрицах, позволяющих одновременно спекать до 50 заготовок в зависимости от размера пластин.

Изготовление пластин начинают с размола компонентов смеси и приготовления шихты. Затем выполняют смешивание компонентов, мокрый размол приготовленной шихты, сушку, дозирование и горячее прессование. Закончив прессование, разбирают пресс-форму, вынимают спрессованные заготовки и передают их на механическую обработку.

Качество и стабильность режущих пластин в значительной степени определяются следующими факторами: содержанием карбида титана и оксида алюминия в исходной шихте, временем размола смеси, температурой и временем выдержки при горячем прессовании, давлением прессования [5, 6].

Основными новациями технологии изготовления минералокерамических пластин являются использование нанодисперсных порошков глинозема и добавление редкоземельных металлов для повышения износостойкости и прочности пластин.

Для тех случаев, когда использование оксидной керамики на производстве будет затруднительно, тогда может быть организовано производство карбидотитановых твердых

сплавов. Карбид титана получают обжигом при 2000°C в защитной среде (H₂, собственной) смеси 68,5% TiO₂ и 31,5% сажи, предварительно перемешанной в жидкой среде и набитой в графитовый патрон. Полученный TiC и связующие (Ni, Mo и т.д., и только никель) тщательно размалываются в шаровой мельнице в течение 48...144 ч (отношение массы шаров к смеси составляет 7:1...13:1). Затем прессуют с пластификатором (раствором синтетического каучука в бензине) на прессе при 100...500 МПа и обжигают при 1500...1450°C в течение 1...0,5 часа. Более качественные пластины получают горячим прессованием при 1450°C и давлении 160 МПа.

В производстве изделий машиностроительного производства на 1 т обрабатываемого изделия приходится по 6 пластин из минералокерамики, каждая из которых обеспечивает прибыль примерно 8 рублей, тогда при производстве около 190 тыс. т. обрабатываемых изделий чистая прибыль от реализации пластин из минералокерамики может составить до 9,0 млн. рублей в год. При выходе на рынок металлорежущего инструмента ближнего зарубежья чистая прибыль от реализации минералокерамики будет не менее 36 млн. рублей в год.

Учитывая, что применение нанодисперсных порошков актуальна для автомобилестроения, тогда прибыль от реализации минералокерамики может возрасти в десятки раз.

Для изготовления режущих пластин из минералокерамики необходимо наличие двух сушильных аппаратов с загрузкой глинозема не менее 250 кг, двух муфельных печей с температурой нагрева до 2000°C, двух гидравлических прессов не менее 80 т, одного вертикально фрезерного станка с ЧПУ для изготовления матриц под минералокерамические пластины. Общая стоимость указанного оборудования находится в пределах 4,5 млн. рублей.

Обеспеченность сырьем определяется поставками в первую очередь лома цветных материалов, а также централизованная закупка материалов на сырьевых базах Московской области.

При испытании режущих пластин из минералокерамики марок ВОК60, ВОК71, ЦМ332, произведенных с использованием инновационной технологии их изготовления, получены следующие результаты [7].

1. Относительный износ в установившемся режиме материалов марки ВОК60 составил $0,8 \pm 0,15$ мкм/км, ВОК71 – $0,65 \pm 0,12$ мкм/км, ЦМ332 – $0,92 \pm 0,16$ мкм/км при обработке гладких цилиндрических поверхностей валов из закаленной стали 45 ГОСТ 1050-88 до твердости HRC43...46. По этому показателю качества режущего инструмента режущие пластины из указанных материалов на 15...25 % имеют меньшие значения относительного износа, чем у аналогичных режущих пластин, произведенных предприятиями России.

2. Относительный износ в режиме приработки (неустановившийся режим обработки заготовки) материалов марки ВОК60 составил $0,98 \pm 0,11$ мкм/км при длине приработки 650 м, ВОК71 – $0,87 \pm 0,09$ мкм/км при длине приработки 870 м, ЦМ332 – $1,12 \pm 0,14$ мкм/км при длине приработки 1150 м при обработке гладких цилиндрических поверхностей валов из закаленной стали 45 ГОСТ 1050-88 до твердости HRC43...46. По этому показателю качества режущего инструмента режущие пластины из указанных материалов на 12...32 % имеют меньшие значения относительного износа, а также на 8...19 % имеют меньшие значения длин приработки, чем у аналогичных режущих пластин, произведенных предприятиями Российской Федерации.

3. Число врезаний до предельного допустимого износа режущих пластин по задней поверхности до 0,4 мм марки ВОК60 составил 380 ± 23 шт., ВОК71 – 431 ± 18 шт., ЦМ332 – 367 ± 26 шт. при обработке ступенек высотой 0,5 мм цилиндрических поверхностей валов из закаленной стали 45 ГОСТ 1050-88 до твердости HRC43...46. По этому показателю качества режущего инструмента режущие пластины из указанных материалов на 6...14 % имеют большие значения числа врезаний, чем у аналогичных режущих пластин, произведенных предприятиями России.

Таким образом, применение рассмотренных особенностей технологии изготовления режущих пластин марок ВОК60, ВОК71, ЦМ332 обуславливает значительную производственную эффективность их использования.

Список литературы

1. Патент 2382689 Российская Федерация. Баллистический пресс / Ю.С. Ткаченко, В.Е. Редькин. – Заявл. № 2008143141/02. Опубл. 30.10.2008.
2. Патент 2382734 Российская Федерация. Способ получения высокочистых нанопорошков и устройство для его осуществления / Г.М. Алексеев, Б.Г. Алексеев, Н.Б. Алексеева, А.И. Грибов, С.М. Духанин. – Заявл. № 2008113018/02. Опубл. 07.04.2008.
3. Патент 2382690 Российская Федерация. Способ получения композиционного керамического порошка на основе нитрида кремния и нитрида титана / Л.Н. Чухломина, О.Г. Витушкина, Ю.М. Максимов. – Заявл. №2008138907/02. Опубл. 30.09.2008.
4. Патент 2382686 Российская Федерация. Способ штамповки заготовок из наноструктурных титановых сплавов / А.Ф. Шаяхметов, А.В. Боткин, И.П. Семенова, Р.З. Валиев, Г.И. Рааб, Ю.В. Артюхин, С.П. Павлинич. – Заявл. №2008105266/02. Опубл. 12.02.2008.
5. Ерохин, В.В. Инженерия поверхностей деталей станочных приспособлений / В.В. Ерохин // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2015. - №2. – С. 9-14.
6. Машиностроение. Энциклопедия. Т. IV-3. Надежность машин / ред. совет: К.В. Фролов (пред.), В.В. Клюев, А.П. Гусенков, К.С. Колесников. – М.: Машиностроение, 1998. – 592 с.
7. Ерохин, В.В. Обеспечение качества станочных приспособлений: дис. ... докт. техн. наук. – Брянск. 2007. – 412 с.

Сведения об авторе

Ерохин Виктор Викторович - доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Автоматизированные информационные системы и технологии» ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», erokhinvv@mail.ru.

THE MANUFACTURE OF CUTTING PLATES FROM CERAMIC MINERAL ON THE BASIS OF NANODISPERSED POWDERS

Erokhin V. V.

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

The article discusses the main aspects of the creation of high-performance cutting tools made of mineral ceramics. Recommendations on the optimum chemical composition and structural composition of powders for the manufacture of mineral ceramics in the field of tool production. Briefly presented an improved process of manufacturing mineral ceramics plates based on aluminum oxide. The influence of alloying elements on the mechanical properties of cutting plates from mineral ceramics. The data on the tests of inserts of mineral ceramics brands BOK60, BOK71, ЦМ332 manufactured using innovative technology for their manufacture.

Keywords: *cutting plates, mineral ceramics, oxide ceramics, cermets, nanodispersed powder, strength, wear resistance.*

DOI: 10.22281/2413-9920-2016-02-04-27-33

References

1. Patent RU 2382689. *Ballisticheskiiy press* [Ballistic Press]. Tkachenko Yu.S., Redkin V.E. Published 30.10.2008.
2. Patent RU 2382734. Method of preparing high-purity nanopowders and device to this end. Alekseev G.M., Alekseev B.G., Alekseeva N.B., Dukhanin S.M. Published 07.04.2008.
3. Patent RU 2382690. Method of receiving of composite ceramic powder on basis of silicium nitride and titanium nitride. Chukhlomina L.N., Vitushkina O.G., Maksimov Yu.M. Published 30.09.2008.

4. Patent RU 2382686. Method of punching of blanks from nanostructured titanium alloys. Shayakhmetov A.F., Botkin A.V., Semenova I.P., Valiev R.Z., Raab G.I., Artyukhin Ju.V., Pavlinich S.P. Published 12.02.2008.

5. Erokhin V.V. Engineering of surfaces of details of machine tool adaptations. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.5, pp. 9-14.

6. Frolov K.V., Klyuev V.V., Gusenkov A.P., Kolesnikov K.S. Mechanical Engineering. Encyclopedia. Vol. IV-3. Reliability of machines. Moscow, Mechanical Engineering, 1998. 592 p.

7. Erokhin V.V. Ensuring the quality machine tool adaptations. Doct. Diss. (Engineering). Bryansk. 2007. 412 p.

Author' information

Viktor V. Erokhin - Doctor of Technical Sciences, Professor at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, erohinvv@mail.ru.

Дата публикации
(Date of publication):
25.12.2016