

РVD-ПОКРЫТИЕ ДЛЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ, ОСНАЩЕННЫХ ПСТМ НА ОСНОВЕ КНБ

М.Ю. Копейкина, С.А. Клименко

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

Введение. В последнее время в каталогах продукции мировых производителей режущих инструментов и в технической литературе появилась информация об инструментах, оснащенных поликристаллическими сверхтвердыми материалами (ПСТМ) на основе кубического нитрида бора (КНБ) с защитными РVD-покрытиями.

Резцами с рабочей частью из ПСТМ с покрытием обрабатывают закаленные стали со скоростями резания, на 25 % выше в сравнении с инструментами без покрытий. Такие инструменты рекомендуют также для обработки марганцевых сталей и отбеленного чугуна, а наличие покрытия, кроме повышения стойкости инструмента, облегчает оценку величины его износа.

Нужно отметить, что для инструментов, оснащенных ПСТМ на основе КНБ, в технической литературе рекомендуются защитные покрытия, аналогичные традиционно применяемым для инструментов из быстрорежущих сталей и твердых сплавов. При этом специфика явлений, сопровождающих контактное взаимодействие такого инструмента с обрабатываемым материалом, не учитывается.

Наличие на контактных поверхностях инструмента защитных покрытий приводит к изменению механики и физико-химии контактного взаимодействия инструмента и обрабатываемого изделия. Первое предопределяется изменением условий трения, величины и перераспределением напряжений на поверхностях инструмента и, как следствие, сил и температуры резания. Второе связано с тем, что для обеспечения наиболее оптимальных условий работы режущего инструмента в каждом конкретном случае должно выбираться такое покрытие, которое обеспечивает минимизацию или отсутствие эффектов, оказывающих наибольшее отрицательное влияние на работоспособность режущего инструмента. Защитное покрытие может играть роль пассивного протектора, который препятствует непосредственному контактированию инструментального и обрабатываемого материалов в зоне резания, или играть «активную» роль, изменяя условия их химического взаимодействия в зоне резания.

Ранее выполненные авторами исследования показали, что в диапазоне практически используемых скоростей резания на износ инструмента, оснащенного ПСТМ на основе КНБ, оказывает влияние химическое взаимодействие инструментального материала с обрабатываемым и элементами окружающей среды в зоне резания, приводящее к выделению свободного азота и образованию соединений типа Me_3V_y , $Me_3V_yO_z$, формированию легкоплавких эвтектик, их контактному плавлению и удалению жидкой фазы из зон контакта. Учитывая это, повышение работоспособности режущего инструмента, оснащенного ПСТМ на основе КНБ, может быть достигнуто за счет введения в состав покрытия составляющих, которые без снижения механических свойств последнего, под действием термодинамических условий процесса обработки обеспечивают формирование в зоне резания повышенного парциального давления азота. Взаимодействие с элементами обрабатываемого материала с выделением азота должно происходить при температурах, более низких, чем температуры, характерные для взаимодействия с элементами обрабатываемого материала основы ПСТМ-КНБ.

Экспериментальные исследования. Анализ теплофизических, механических и химических свойств нитридов металлов позволяет предложить в качестве защитного покрытия систему на основе NbN с верхним слоем из Al_2O_3 (рис. 1). Многими исследованиями защитных покрытий на режущих инструментах показано, что наличие на поверхности режущего инструмента тонкого слоя Al_2O_3 существенно снижает степень окисления материала основы и повышает теплостойкость композита «покрытие – основа».

Как следует из рассмотрения диаграмм состояния систем Nb-Fe-N, при взаимодействии нитрида ниобия с Fe и Ni (основой обрабатываемых конструкционных материалов), в широких диапазонах концентраций и температур протекают химические реакции с образованием интерметаллидов $NbFe_2$, $NbNi_3$ и высвобождением азота N_2 . Наличие последнего в зоне резания минимизирует химическое взаимодействие ПСТМ с элементами из состава обрабатываемого материала.



Рис. 1. Архитектура покрытия на режущем инструменте

Для обеспечения хорошего сцепления покрытия с ПСТМ на основу целесообразно наносить тонкий промежуточный слой из Ti.

Явления, происходящие на поверхности режущего инструмента в зоне контакта с обрабатываемым материалом, связаны с электронным строением материалов и их энергетическим состоянием. Согласно конфигурационной модели вещества Г.В. Самсонова, тугоплавкие соединения, из которых состоят покрытия, характеризуются статистическим весом атомных стабильных d^n - и $s^m p^k$ -конфигураций (СВАСК). Чем выше суммарная величина СВАСК d^5 - (для переходных металлов) и $sp^3(s^2p^6)$ - (для неметаллов) конфигураций, тем меньше в процессе контактирования материалов участвуют электроны поверхностных атомов и тем ниже концентрация свободных связей на поверхности металлов, а значит, ниже адгезионное взаимодействие покрытия с обрабатываемым материалом. В случае обработки сплавов на основе Fe, которое имеет СВАСК d^5 -конфигурации 54 %, можно прогнозировать снижение адгезионной активности на контактных поверхностях инструмента с покрытием NbN (для Nb СВАСК d^5 -конфигурации 76 %).

Для разработки представлений о контактном взаимодействии инструмента с обрабатываемым материалом в зоне резания выполнены исследования рабочих поверхностей инструментов без покрытия и с покрытием (рис. 2).



Рис. 2. Изношенные участки инструмента: а – без покрытия; б – с покрытием $Al_2O_3-NbN-Ti$; X15 (60–62 HRC); $v = 90$ м/мин; $S = 0,1$ м/мин; $l = 0,25$ мм

Как видно, на рабочих поверхностях инструмента без покрытия имеет место интенсивный массоперенос, связанный с налипанием обрабатываемого материала на контактных участках и формированием налета на неконтактных поверхностях инструмента. Нужно отметить, что перенос материала на инструменте с покрытием выражен в значительно меньшей степени, что связано со снижением интенсивности взаимодействия в зоне резания.

Для инструмента с покрытием практически отсутствует налипание обрабатываемого материала со стороны задней поверхности, что свидетельствует о снижении адгезионного взаимодействия с обрабатываемым материалом.

Результаты исследований. Анализ результатов исследований контактного взаимодействия на поверхностях инструмента позволяет предложить следующий механизм изнашивания инструментов с покрытиями.

Процесс изнашивания режущего инструмента разделяется на два этапа. На первом этапе в результате накопления микродефектов и реализации процесса микроразрушения происходит изнашивание слоя защитного покрытия. Причиной этого является усталостно-механическое взаимодействие на контактных участках инструмента. Некоторое влияние на интенсивность изнашивания оказывает окислительное действие кислорода воздуха. Второй этап процесса изнашивания инструмента реализуется в условиях, когда слой покрытия на части контактной поверхности удален и во взаимодействии с обрабатываемым материалом участвует непосредственно материал основы. В этих условиях реализуется химическое взаимодействие между инструментальным и обрабатываемым материалами с учетом действия элементов окружающей среды, на контактных поверхностях инструмента появляется жидкая фаза, и износ инструмента интенсифицируется. Применение в качестве элемента покрытия NbN вносит некоторые особенности в протекание второго этапа процесса изнашивания инструмента. Введение в состав покрытия на ПСТМ на основе КНБ NbN обеспечивает появление на контактных участках инструмента свободного азота при температурах, когда нитрид бора с обрабатываемым металлом еще не взаимодействует. В этом случае механизм изнашивания в большей степени определяется механическими свойствами инструментального композита и связан с его абразивным и адгезионным разрушением, а его химическая составляющая минимизируется.

Таким образом, процесс изнашивания инструмента, оснащенного ПСТМ на основе КНБ с покрытием $Al_2O_3-NbN-Ti$, обусловлен комплексом механизмов: абразивным, адгезионным, окислительным, а также он связан с эвтектическим плавлением системы «инструментальный-обрабатываемый материалы» в зоне обработки.

Анализ результатов численного моделирования напряженного состояния режущих инструментов, оснащенных ПСТМ без покрытия и с покрытием, обусловленного силовым нагружением в процессе точения закаленной стали, показывает, что нанесение защитного покрытия $Al_2O_3-NbN-Ti$ снижает нормальные и касательные напряжения на передней поверхности инструмента до 25 %.

Исследования изнашивания инструментов, оснащенных ПСТМ на основе КНБ, показали, что применение защитного покрытия позволяет снизить скорость их изнашивания – при чистовой обработке закаленных сталей (55 – 62 HRC) – на 25 – 30 %; при обработке наплавленного никелевого сплава 08X18H9Г7Т – на 20 %; при обработке маслотногo чугуна – на 10 %; при обработке твердых сплавов группы ВК – на 25 %.

Эффективность применения покрытия увеличивается с ростом скорости резания.

Выводы. Результаты проведенных исследований показывают, что в отличие от защитных покрытий на инструментах из твердых сплавов и быстрорежущих сталей, обуславливающих наличие на поверхностях инструмента слоя материала с аномально высокой твердостью, покрытие на режущем инструменте, оснащенный ПСТМ на основе КНБ, имеет твердость меньше, чем твердость основы, и в значительной степени является приработочным. Применительно к инструментам, оснащенным ПСТМ на основе КНБ, защитное покрытие должно обладать высокими механическими свойствами для обеспечения возможности сопротивляться интенсивному термобарическому нагружению в зоне резания и иметь возможность «активно» противодействовать вредным эффектам, имеющим место в зоне резания, в частности, обеспечивать противодействие химическому взаимодействию инструментального материала с обрабатываемым и элементами окружающей среды.

Основными функциями покрытий на режущих инструментах, оснащенных ПСТМ на основе КНБ, являются следующие:

- **повышение надежности работы инструмента на этапе приработки** за счет перераспределения и снижения напряжений, которые формируются в инструменте при его нагружении силами резания;

- **увеличение периода стойкости инструментов** за счет увеличения их периода стойкости в связи со снижением интенсивности изнашивания, достигаемой как на этапе приработки, так и на этапе установившегося износа;

- **интенсификация режимов резания** за счет снижения интенсивности адгезионного и химического взаимодействия инструментального и обрабатываемого материалов, а также ограничения влияния элементов окружающей среды.

Отдельной функцией покрытия является **информационная функция**, связанная с облегчением и повышением информативности процесса оценки величины износа инструмента.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНОТЕРМИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

С.В. Монтик

Брестский государственный технический университет

Введение. Оснащение шарошечных долот, которые используются при бурении нефтяных и газовых скважин, твердосплавным вооружением повысило проходку и другие эксплуатационные характеристики долот. Разработанный в Государственной академии нефти и газа (ГАНГ) им. И.М. Губкина (г. Москва) метод электроконтактного механотермического формирования (МТФ) биметаллических изделий позволяет изготавливать биметаллические зубки, состоящие из твердосплавной рабочей головки и стального основания, что дает возможность снизить расход твердого сплава [1].

Твердосплавное вооружение долот подвергается действию абразивного, ударно-абразивного и ударно-усталостного изнашивания. В зависимости от типа долота и вида вооружения (основное или калибрующее) преобладает один из видов изнашивания.

Биметаллические (твердый сплав – сталь) зубки, изготовленные МТФ, могут эксплуатироваться в различных условиях, поэтому возникает задача исследовать влияние технологии МТФ на микроструктуру и физико-механические свойства твердого сплава с целью определения параметров технологии МТФ для конкретных условий работы.

Методы исследований. Для исследования влияния технологии МТФ на микроструктуру твердого сплава были изготовлены биметаллические изделия в виде зубков формы Г26 по ГОСТ 880-75 для шарошек буровых долот. Использовались твердые сплавы ВК8-В, ВК10-КС по ГОСТ 3882-74. Основание биметаллического зубка изготавливалось из стали 45 по ГОСТ 1050-88. Для изготовления биметаллических изделий применялась одно- и двухстадийная технология механотермического формирования.

Двухстадийная технология механотермического формирования заключается в спекании под давлением в керамической пресс-форме порошка твердого сплава при одновременном его соединении со стальным основанием за счет теплоты, выделяемой при пропускании электрического тока, с использованием медного, а затем графитового электрода-пуансона. Параметры процесса: давление прессования 25 – 50 МПа, плотность тока 8 – 20 А/мм², время процесса 5 – 7 с для каждой стадии.