

УДК 539.538;620.179.11

ТЕХНОЛОГИЯ И СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ДЕТОНАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

© 2011 М.В. Ненашев, Д.А. Деморецкий, И.Д. Ибатуллин, И.В. Нечаев,
С.Ю. Ганигин, А.Ю. Мурзин, А.С. Чеботаев, А.Р. Галлямов, О.А. Кобякина,
Р.Р. Неяглова, С.А. Белокозоровкин, О.Ю. Глазунова, В.В. Усачев

Самарский государственный технический университет

Поступила в редакцию 21.03.2011

В статье описаны новые направления в технологии получения упрочняющих детонационных покрытий, развиваемые в СамГТУ. Приведены результаты металлофизических и триботехнических исследований упрочняющих наноструктурированных композиционных покрытий, наносимых детонационным способом. Показано, что композиционные металлокерамические покрытия на основе карбида вольфрама и оксида алюминия обладают наноразмерными структурными составляющими и имеют повышенные эксплуатационные свойства. Показано, что введение в напыляемый порошок частиц ультрадисперсных алмазов позволяет существенно повысить абразивную стойкость покрытий.

Ключевые слова: *детонационное покрытие, наноструктура, технология, упрочнение*

Исследования триботехнических свойств твердых и сверхтвердых материалов ведущих фирм-производителей (Сэндвик Коромант и др.) показали, что при испытаниях по стандарту DIN 50330 уменьшение размера карбидной фазы в твердых сплавах вольфрамовой группы в три раза (с 3 мкм до 1 мкм) повышает твердость сплава до 2,5 раз и стойкость материала к сухому абразивному изнашиванию в 5-70 раз, а к мокрому абразивному изнашиванию – до 22 раз. Хрупкое разрушение твердосплавных покрытий также существенно зависит от

размеров α -фазы и развивается за счет образования и слияния внутрикристаллических хрупких изломов по кристаллографическим плоскостям скольжения, а также за счет вязкого сдвигового излома β -фазы. Уменьшение размера зерен и содержания кобальта в твердых сплавах влечет за собой уменьшение промежуточных слоев между зернами карбидной фазы и, следовательно, пониженную интенсивность вязкого излома β -фазы. Поэтому усталостная прочность мелкозернистых сплавов почти в два раза превышает стойкость крупнозернистых сплавов. Дальнейшее измельчение до субмикронных и наноразмеров приводит к созданию материалов с качественно новыми свойствами. Для этого в ГОУ ВПО СамГТУ проводятся научные исследования по следующим направлениям:

Первое направление связано с дополнительным диспергированием зерен α -фазы (карбида вольфрама) в процессе нанесения покрытия за счет добавления к газовой детонирующей ацетилен-кислородной смеси добавки твердого порошкообразного взрывчатого вещества (гексогена). При этом формируются две взрывные волны. Первая формируется при взрыве навески гексогена, детонация которого проходит с существенно более высокой скоростью, чем детонация газовой смеси и вызывает дробящее действие на твердую, но хрупкую карбидную фазу. Вторая волна производит разогрев и метание частиц через канал ствола в обрабатываемую деталь. При нанесении покрытия образовавшиеся трещины между осколками зерен карбидной фазы заполняются

Ненашев Максим Владимирович, доктор технических наук, проректор по научной работе. E-mail: max71@mail.ru

Деморецкий Дмитрий Анатольевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология твердых химических веществ». E-mail: demoda@mail.ru

Ибатуллин Ильдар Дуglasович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения». E-mail: tribo@rambler.ru

Нечаев Илья Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология твердых химических веществ». E-mail: ttxb@inbox.ru

Ганигин Сергей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология твердых химических веществ». E-mail: grail@rambler.ru

Мурзин Андрей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология твердых химических веществ»

Чеботаев Александр Сегаевич, аспирант

Галлямов Альберт Рафисович, аспирант

Кобякина Ольга Анатольевна, аспирантка

Глазунова Ольга Юрьевна, младший научный сотрудник

Неяглова Роза Рустямовна, аспирантка

Белокозоровкин Сергей Александрович, аспирант

Усачев Василий Владимирович, аспирант

расплавленной связкой (кобальтом), и трещинообразование вместо механизма повреждения и разрушения материала, преобразуется в механизм самоорганизации новых структур нано- и субмикроскопических размеров, повышающих эксплуатационные свойства материала. В результате структура твердого сплава в детонационных покрытиях состоит из частиц микронных, субмикронных и наноразмеров (рис. 1), в отличие от аналогичных спеченных сплавов, в которых частицы карбида вольфрама

имеют характерный размер в несколько микрон. Уменьшение размеров α -фазы, как известно, приводит к уменьшению толщины β -фазы (кобальтовой связки) и повышению объемной прочности и трещиностойкости материала. На технологию нанесения твердосплавных покрытий с применением конденсированных ВВ коллективом исполнителей получен патент [3].

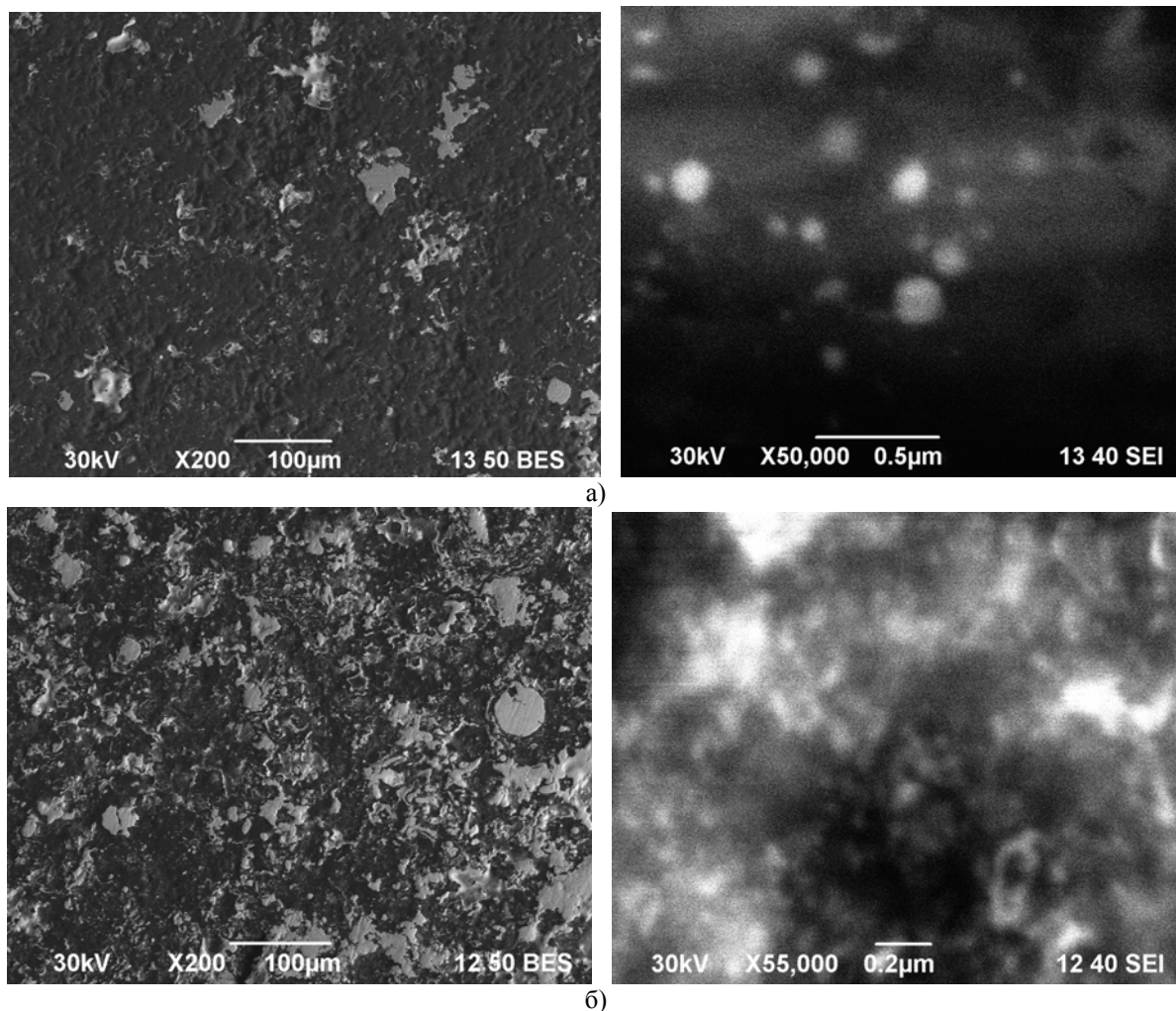


Рис. 1. Микро- и наноструктура композиционных покрытий:
а) 95% Al_2O_3 +5% WC-Co(12%); б) 50% Al_2O_3 +50% WC-Co(12%)

Покрытие наносится при следующих условиях: топливо – ацетилен (48%), окислитель – кислород (52%), инертный газ – азот; частота следования выстрелов – 5 Гц (производительность при этом составляет около 1,8 кг/час); дистанция напыления – 150 мм. Каждая частица наносимого порошкового материала ВК-12 представляет собой сферу, состоящую из карбида вольфрама (88%), плакированного кобальтом (12%). Дисперсность частиц порошка составляет 30-40 мкм. За один выстрел формируется пятно покрытия диаметром 20 мм и

толщиной порядка 10-15 мкм. Способ включает нагрев напыляемого порошка и напыление его на подложку ударной волной при детонации газовой смеси. При этом перед нагревом напыляемый порошок предварительно смешивают с порошком конденсированного взрывчатого вещества фракции 80 мкм в соотношении по объему, %: 97 - 3 или 95 - 5, или 93 - 7, или 92 - 8. Технический результат – повышение качества получаемого покрытия. Опытно-промышленные образцы долот с напыленными шарошками при использовании данной технологии

превзошли по показателям работы вдвое все отечественные, а также превзошли лучшие зарубежные образцы однотипных долот.

Второе направление исследований связано с уменьшением толщины кобальтовой связки между твердыми частицами и повышением абразивной стойкости материала покрытия за счет использования смеси порошков ВК-12 и Al_2O_3 (корунд). За счет более высокой температуры плавления оксида алюминия по сравнению с кобальтом последний при взрыве уже, будучи в расплавленном состоянии, разбивается еще твердыми и более легкими и быстрыми частицами корунда. В полученном покрытии кобальт, содержащийся изначально только в порошке ВК-12, становится связующим как для карбида вольфрама, так и для диспергированных частиц Al_2O_3 (рис. 2). В результате в получаемом покрытии при равном соотношении напыляемых порошков, средняя толщина кобальтовой связки между зернами уменьшается с 200-500 мкм до 50-100 нм, что существенно повышает ударную прочность и стойкость покрытия к абразивному изнашиванию.

Третье направление основано на использовании новой двухступенчатой технологии получения наноструктурированного керамического

покрытия, когда в выходную часть канала ствола пушки закладывают диафрагму с предварительно напыленным на нее твердым сплавом (первая ступень) и последующим напылении покрытия Al_2O_3 (вторая ступень). При этом в процессе детонации происходит дробление исходных микронных зерен корунда, которые, разгоняясь в канале ствола, разбивают и срезают с диафрагмы наночастицы кобальта и карбида вольфрама и, сплавляясь с ними, образуют корундовый слой с наночастицами материала диафрагмы. В результате образуется темно-серое покрытие (в отличие от белого покрытия Al_2O_3). Одним из наиболее существенных различий наноструктурированного покрытия является то, что оно имеет высокую ударную стойкость, высокую термостойкость и стойкость к абразивному изнашиванию, в отличие от хрупкого слоя корунда. В результате использования описанной технологии в напыленном материале возникают новые структуры, наноскопических размеров (рис. 2) содержащихся в исходных порошковых материалах с частицами микронных размеров, что кардинально меняет свойства исходных материалов.

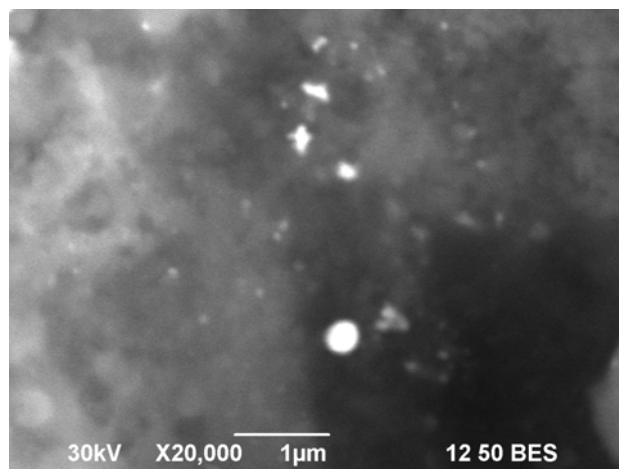
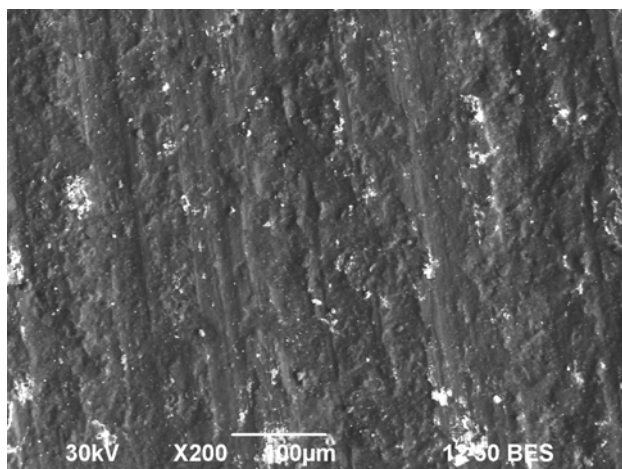


Рис. 2. Микро- и наноструктура композиционного покрытия, полученного при напылении корунда через диафрагму

Четвертое направление создания наноструктурированных покрытий, проводимое в СамГТУ состоит в нанесении композиционных покрытий, получаемых из смеси порошка ВК-12 с порошком ультрадисперсных алмазов (УДА-В). Для испытаний износостойких материалов и покрытий для тяжело нагруженных опор скольжения разработан трибометр. Триботехнические испытания твердосплавных покрытий проводили при следующих режимах: схема испытаний – «кольцо-плоскость»; среда – алмазная абразивная паста; давление – 25

МПа; контрольный образец – сталь 40Х (HRC 45); частота вращения – от 600 мин⁻¹; приведенный диаметр поверхности трения – 5,5 мм; ширина дорожки трения – 1 мм; длительность испытаний – 10 минут. Результаты триботехнических испытаний традиционных и наноструктурированных твердосплавных покрытий приведены в таблице 1. Полученные результаты показали, что введение в порошок наноструктурирующих добавок позволяет более чем в 2 раза повысить износостойкость традиционных твердых покрытий.

Таблица 1. Сопоставление стойкости покрытий к абразивному изнашиванию

Напыляемый состав порошков	Линейный износ, мкм/час
ВК-12	132
Al ₂ O ₃	780
ВК-12 (50%) + Al ₂ O ₃ (50%)	90
ВК-12 (70%) + Al ₂ O ₃ (5%) + УДА (25%)	66

Выводы:

1. Разработаны новые технологии нанесения детонационных покрытий с применением смесей газообразных и конденсированных взрывчатых веществ, а также с использованием композиций твердых порошков карбида вольфрама, корунда и ультрадисперсных алмазов.

2. Показано, что абразивная стойкость композиционных детонационных металлокерамических покрытий в 1,5-2 раза превышает стойкость покрытия из порошка твердого сплава ВК-12.

3. Перспективным материалом для детонационного напыления является смесь порошков ВК-12 (70%) + Al₂O₃ (5%) + УДА (25%).

Работа выполнена при поддержке НО «Инновационно-инвестиционный фонд Самарской области».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ненасhev, М.В. Опыт исследования и применения технологии нанесения детонационных покрытий / М.В. Ненасhev, В.В. Калашников, И.Д. Ибатуллин и др. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12, №1. С. 569-575.

TECHNOLOGY AND PROPERTIES OF NANOSTRUCTURED DETONATION COVERINGS

© 2011 M.V. Nenashev, D.A. Demoretsky, I.D. Ibatullin, I.V. Nechaev, S.Yu. Ganigin,
A.Yu. Murzin, A.S. Chebotaev, A.R. Gallyamov, O.A. Kobyakina, R.R. Neyaglova,
S.A. Belokorovkin, O.Yu. Glazunov, V.V. Usachyov

Samara State Technical University

In article new directions in technology of reception the strengthening detonation coverings, developed in SamGTU are described. Results of metal-physical and tribotechnical researches of strengthening nanostructured composite coverings put in the detonation way are resulted. It is shown that composite ceramic-metal coverings on the basis of tungsten carbide and aluminum oxide possess nano-size structural components and have the raised operational properties. It is shown that introduction in sprayed powder particles of ultradisperse diamonds allows to raise abrasive firmness of coverings essentially.

Key words: *detonation covering, nanostructure, technology, hardening*

Maxim Nenashev, Doctor of Technical Sciences, Deputy Rector on Scientific Work. E-mail: max71@mail.ru

Dmitriy Demoretsky, Doctor of Technical Sciences, Professor at the "Technology of Solid Chemical Substances" Department. E-mail: demoda@mail.ru

Ildar Ibatullin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the "Technology of Machine Building" Department. E-mail: tribo@rambler.ru

Iliya Nechaev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the "Technology of Solid Chemical Substances". E-mail: ttxb@inbox.ru

Sergey Ganigin, , Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the "Technology of Solid Chemical Substances" E-mail: grail@rambler.ru

Andrey Murzin, , Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the "Technology of Solid Chemical Substances"

Alexander Chebotaev, Post-graduate Student

Albert Gallyamov, Post-graduate Student

Olga Kobyakina, Post-graduate Student

Olga Glazunova, Minor Research Fellow

Roza Neyaglova, Post-graduate Student

Sergey Belokorovkin, Post-graduate Student

Vasilii Usachov, Post-graduate Student