

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ДЕТОНАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОПОРЫ БУРОВЫХ ДОЛОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ ПРОЧНОСТИ

© 2010 М.В. Ненашев, В.В. Калашников, И.Д. Ибатуллин, С.Ю. Ганигин, А.С. Чеботаев, Е.С. Балашов, Т.А. Шашкина, А.Р. Галлямов, С.А. Белокоровкин

Самарский государственный технический университет

Поступила в редакцию 31.03.2010

В статье показано одно из направлений исследования свойств твердосплавных покрытий, развиваемое в СамГТУ, заключающееся в оценке энергетических критериев прочности поверхностных слоев. Описан склерометр и методика оценки энергии активации пластической деформации. Показано, что запас пластичности характеризует долговечность твердосплавных покрытий при усталостном изнашивании. Приведены рекомендации по нанесению твердосплавных детонационных покрытий на элементы опор буровых долот.

Ключевые слова: *детонационное покрытие, буровое долото, оптимизация технологии*

Материал противоизносного покрытия на поверхностях трения деталей машин представляет собой открытую термодинамическую систему, внутренняя энергия которой в процессе эксплуатации растет за счет накопления упругих искажений кристаллической решетки, диффузионных потоков, химических реакций и др. неравновесных процессов. Поэтому касаясь проблемы оценки качества поверхностных слоев, подверженных при эксплуатации усталости и изнашиванию, нельзя обойти критерии прочности, основанные на структурно-энергетической теории. В энергетическом фазовом пространстве наиболее стабильным является состояние поверхностного слоя с минимальной внутренней энергией (в данном состоянии материал может находиться сколь угодно долго без разрушения). Процесс любой

природы (физический, химический, механический и др.), вызывающий рост внутренней энергии и, следовательно, увеличивающий неравновесность системы, может быть интерпретирован, как процесс повреждаемости материала. Разрушение материала связано с достижением его внутренней энергии u критической величины u^* – энергии активации разрушения (в этом состоянии материал теряет пластичность, появляются трещины). Фундаментальная роль энергетических барьеров в кинетике протекания неравновесных процессов отмечается в молекулярно-кинетической теории Я.И. Френкеля, термофлуктуационной концепции прочности академика С.Н. Журкова, синергетической теории бифуркаций открытых систем и т.д. Поэтому весьма важным направлением исследования свойств детонационных покрытий при оптимизации режимов напыления является оценка энергетических параметров деформации и разрушения материала поверхностного слоя. Уравнения энергетического баланса деформируемых поверхностных слоев и методики оценки энергетических параметров повреждаемости приведены в работе [1].

Основываясь на данном подходе, в лаборатории наноструктурированных покрытий СамГТУ разработан склерометрический программно-аппаратурный комплекс, предназначенный для энергетической оценки накопленной повреждаемости и прогнозирования остаточного ресурса на образцах и деталях из

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

Калашников Владимир Васильевич, доктор технических наук, профессор, президент. E-mail: ttxb@samgtu.ru

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

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

Чеботаев Александр Сергеевич, аспирант

Балашов Евгений Сергеевич, аспирант

Шашкина Тамара Александровна, аспирантка

Галлямов Альберт Рафисович, аспирант

Белокоровкин Сергей Александрович, аспирант

конструкционных металлов и сплавов в лабораторных условиях. Общий вид склерометров для работы в автономном и стационарном режимах показан на рис. 1. Сущность работы прибора заключается в нанесении на исследуемую поверхность микроцарапин (глубиной до 3-х микрон) алмазным индентором и оценке затраченной работы на

пластическое оттеснение одного моля вещества поверхностного слоя. Максимальная работа деформации материала покрытия, находящегося в состоянии предразрушения интерпретируется как энергия активации разрушения u^* . Для каждого материала величина u^* является индивидуальным параметром порядка, контролирующим кинетику его разрушения.

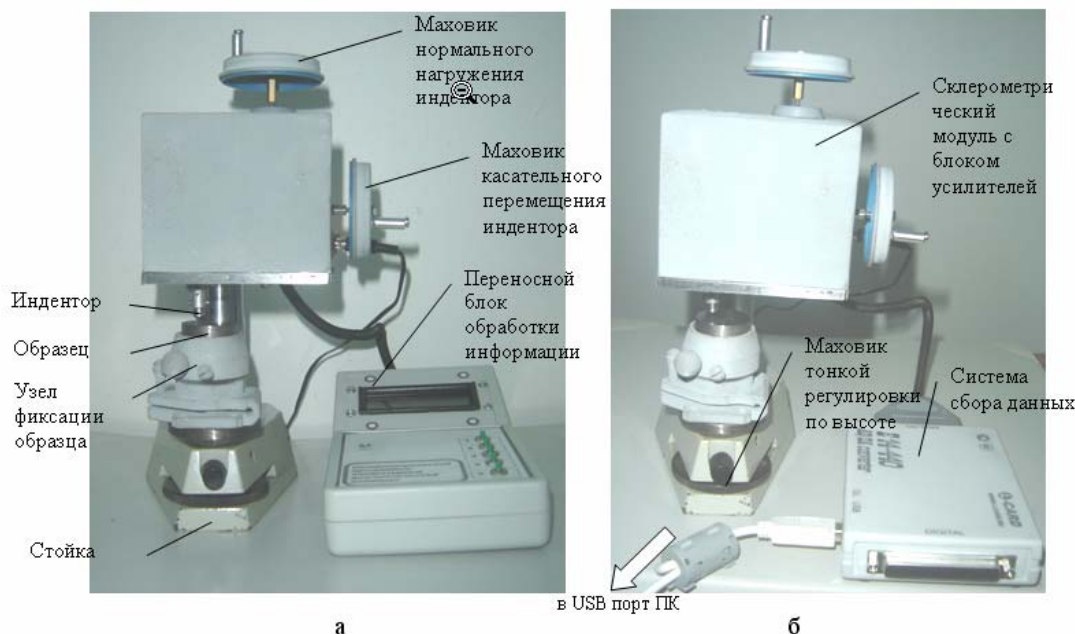
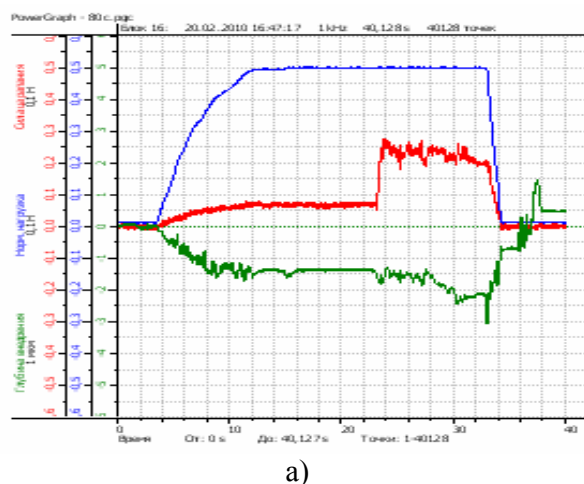
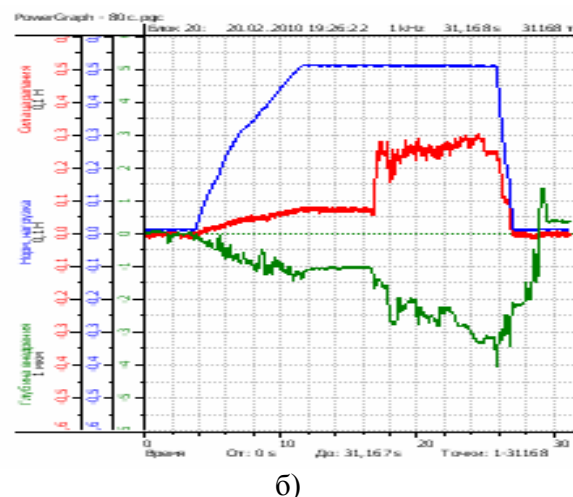


Рис. 1. Общий вид склерометров в переносном (автономном) (а) и стационарном (б) исполнениях

Склерометрический комплекс может использоваться в целях контроля качества получаемых покрытий путем сравнения получаемого значения мольной энергии пластической деформации с критическим значением, на основе которого оценивается остаточный ресурс материала по величине запаса пластичности в % [1]. Пример получаемых эпюр склерометрических испытаний приведен на рис. 2.



а)



б)

Рис. 2. Эпюры оценки глубины внедрения индентора, силы царапания и нормальной нагрузки при исследовании твердосплавных покрытий, полученных при коэффициентах заполнения камеры 55% (а) и 80% (б)

Известно, что физико-механические свойства и эксплуатационные характеристики детонационных покрытий зависят от множества технологических параметров: способа предварительной подготовки поверхности; влажности, химсостава, дисперсности и

структуры напыляемых порошков, глубины загрузки порошка, состава газовой смеси и коэффициента заполнения этой смесью камеры сгорания детонационной установки, угла напыления, расстояния от среза ствола до наносимой поверхности и др. факторов. Большое количество управляемых параметров, влияющих на качество получаемых покрытий, вызывает необходимость проведения исследований по оптимизации технологических режимов нанесения покрытий. Такая необходимость возникает каждый раз при изменении, по крайней мере, одного входного параметра: дисперсности и дозировки порошка, состава газовой смеси и т.д. При этом отметим, что не все технологические факторы одинаково удобны для оперативного управления качеством покрытия (некоторые факторы заданы конструкцией детонационной установки, свойствами имеющихся порошковых материалов и т.д.). Одним из наиболее доступных управляемых технологических факторов является коэффициент заполнения камеры сгорания газовой смесью, представляющий собой отношение суммарного расхода газа за один цикл к суммарному объёму ствола и камеры смешения. В связи с этим в ООО «НПО «Спецпокрытие» проведено исследование по поиску рационального коэффициента заполнения ствола (с использованием автоматизированной детонационной установки «Обь»), обеспечивающего нанесение твердосплавного детонационного покрытия с наилучшими качественными показателями при следующих прочих 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 составляет 30-40 мкм (рис. 3). За один выстрел формируется пятно покрытия диаметром 20 мм и толщиной порядка 15 мкм (рис. 4).

Для испытаний готовились образцы (пластины из стали 45), на которые настреливали покрытие ВК12 (50 выстрелов) при коэффициентах заполнения камеры сгорания (в %) 49, 55, 60, 70, 80, 90. На полученных образцах исследовали триботехнические свойства (скорость изнашивания, момент трения, температуру саморазогрева) твердосплавных покрытий на торцевом трибометре при контактном давлении 30 МПа (характерное

значение для элементов опор буровых долот) при использовании в качестве смазочной среды алмазной пасты марки АСМ 3/2 НОМГ (ГОСТ 25593-83), изучали микроструктуру полученных покрытий с помощью растрового электронного микроскопа JSM-6390, оценивали микротвердость по Виккерсу при нагрузке на индентор 100 гс и энергию активации пластической деформации с помощью разработанного склерометрического комплекса.

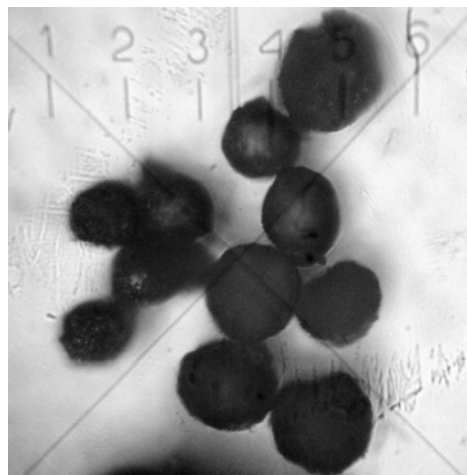


Рис. 3. Частицы порошка ВК-12



Рис. 4. Профиль пятна покрытия

Результаты испытаний приведены на рис. 5. Исследования показали, что в исследуемом диапазоне изменения коэффициента заполнения ствола газовой смесью зависимости скорости изнашивания, микротвердости, мольной энергии пластической деформации и прочности сцепления покрытия с основой имеют экстремум в области значения коэффициента 70%. С увеличением коэффициента заполнения камеры газовой смесью от 49 до 70% наблюдается практически линейный рост мольной энергии пластической деформации, обусловленный аккумулярованием энергии взрыва в форме запасенной энергии при пластической деформации наносимых частиц

(наклеп частиц подтверждается ростом микротвердости). По достижении запасенной энергии критической величины (соответствующий экстремуму) материал покрытия переходит в максимально твердое, но хрупкое

состояние. Зависимость между мольной энергией пластической деформации и скоростью изнашивания указывает на то, что ведущий механизм изнашивания покрытия имеет усталостную природу.

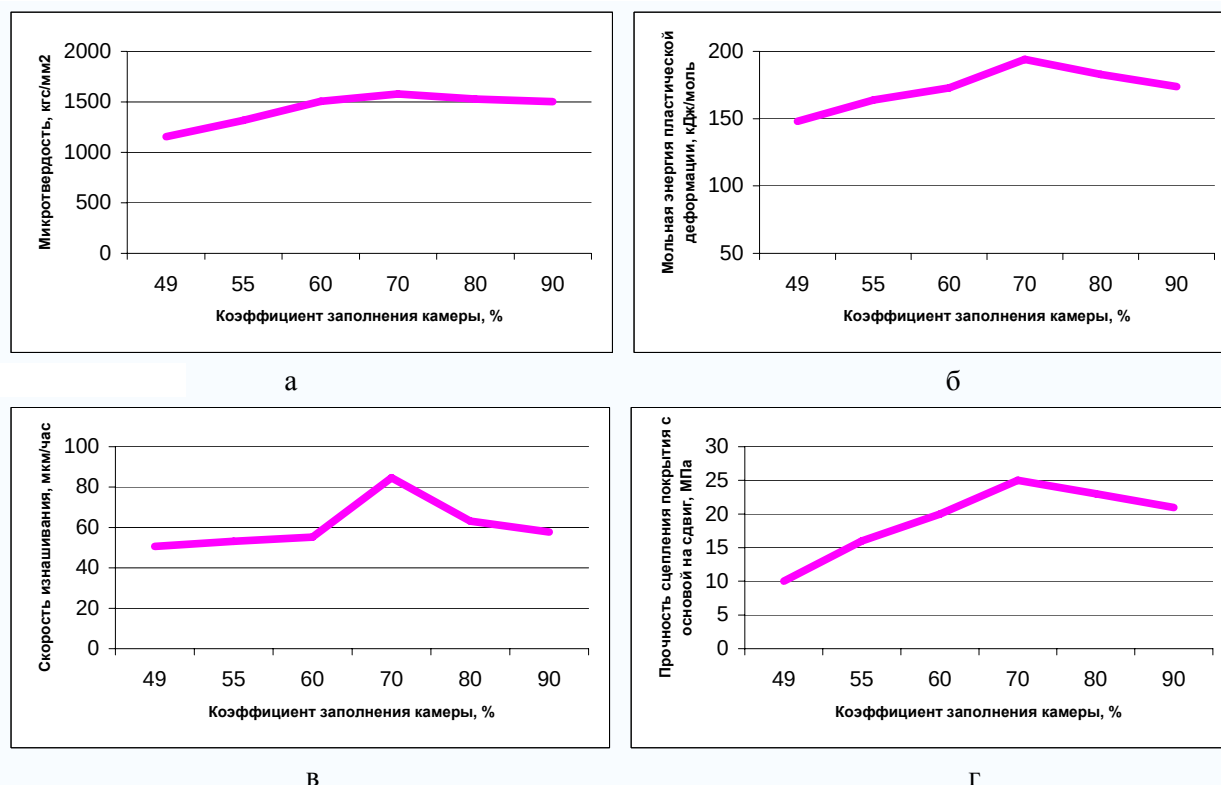


Рис. 5. Результаты оценки механических и триботехнических свойств детонационных покрытий ВК12: микротвердости (а), мольной энергии пластической деформации (б), скорости изнашивания (в), прочности сцепления на сдвиг (г)

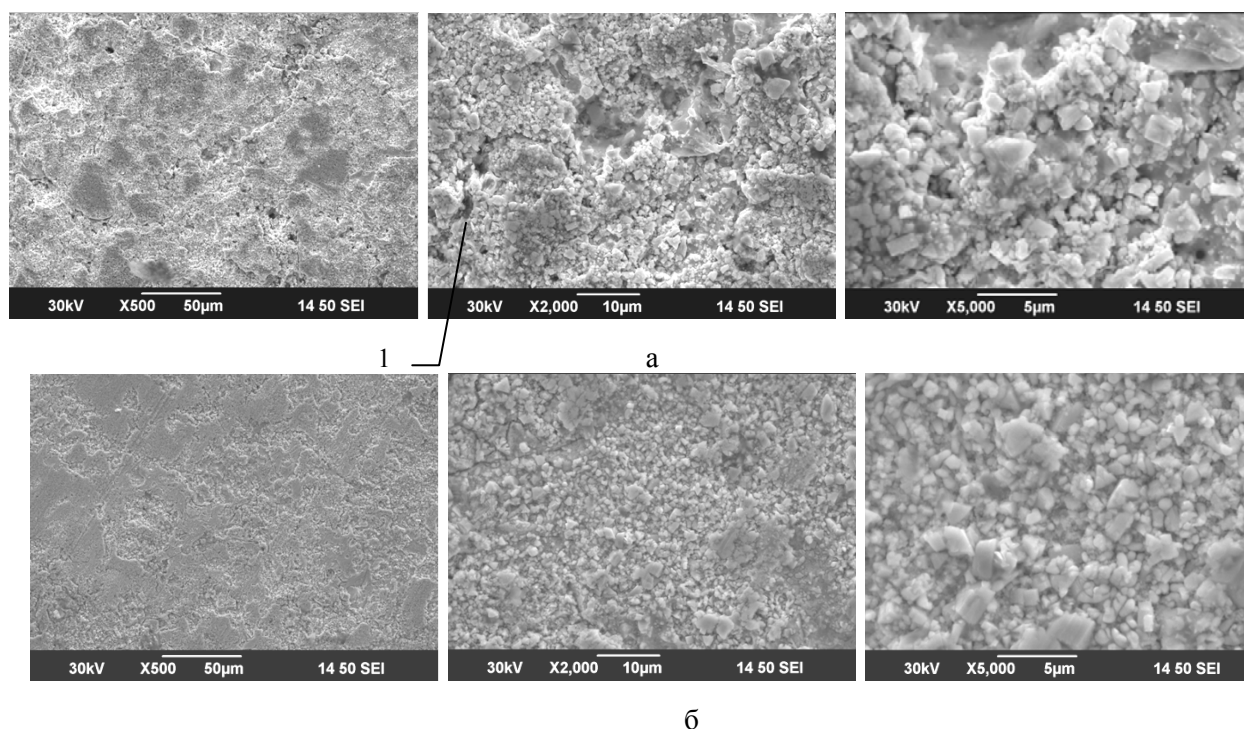


Рис. 6. Микроструктура детонационных покрытий ВК12 при коэффициенте заполнения ствола газовой смесью 55% (а) и 80% (б) (травление 40с в растворе плавиковой и азотной кислот (50/50%), 1 – поры по границам частиц

Анализ микроструктуры покрытий выполняли на полированных и протравленных шлифах (рис. 6). Анализ микроструктуры показал, что при коэффициенте заполнения ствола газовой смесью 49% покрытие является недостаточно плотным (пористым), с заметными границами между отдельными частицами, что может являться следствием недостаточного разогрева и разгона частиц напыляемого порошка. С увеличением коэффициента заполнения наблюдается повышение плотности и равномерности расположения зерен карбида вольфрама. После коэффициента заполнения 60% граница между частицами практически исчезает, а прочность сцепления покрытия с основой на сдвиг устанавливается возле максимальной отметки 25 МПа.

Выводы: результаты исследований позволяют рекомендовать для исследованных порошков карбида вольфрама нанесение покрытий при коэффициенте заполнения камеры ствола 60%, при котором энергия взрыва достаточна для плавления частиц и образования равномерного покрытия, но при этом запасенная энергия в покрытии не превышает критических значений, вызывающих охрупчивание материала.

Работа проводилась при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ибатуллин, И.Д. Кинетика усталостной повреждаемости и разрушения поверхностных слоев // Монография / И.Д. Ибатуллин – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2008. – 387 с.

OPTIMIZATION THE COATING TECHNOLOGY OF DETONATION COVERAGES ON BASES OF DRILLING BITS WITH USE OF DURABILITY POWER CRITERIA

© 2010 M.V. Nenashev, V.V. Kalashnikov, I.D. Ibatullin, S.Yu. Ganigin, A.S. Chebotaev, E.S. Balashov, T.A. Shashkina, A.R. Gallyamov, S.A. Belokorovkin

Samara State Technical University

In the paper one of the directions of researching properties of hard-alloy coverages, explicated in SamGTU, consisting in estimation the power criteria of durability of surface layers is displayed. It is described the sklerometer and technology of estimation the energy of plastic deformation activation. It is displayed, that reserve of toughness characterizes durability of hard-alloy coverages at fatigue wear process. Recommendations on coating hard-alloy detonation coverages on elements of drilling bits bases are brought.

Key words: *detonation coverage, drilling bit, optimization of technology*

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

Vladimir Kalashnikov, Doctor of Technical Sciences, Professor, President. E-mail: ttxb@samgtu.ru

Ildar Ibarullin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department "Technology of Firm Chemical Substances". E-mail: tribo@rambler.ru

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

Alexander Chebotarev, Post-graduate Student

Evgeniy Balashov, Post-graduate Student

Tamara Shashkina, Post-graduate Student

Albert Gallyamov, Post-graduate Student

Sergey Belokorovkin, Post-graduate Student