

УДК 620.1 (622.245.142.4)

Д.Ю. Русинов, Е.П. Рябоконт

D.Yu. Rusinov, E.P. Ryabokon`

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University

АНАЛИЗ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ДЕТАЛЕЙ ГИДРОПЕСКОСТРУЙНОГО ПЕРФОРАТОРА

PROTECTIVE FINISH ANALYSIS TO PROTECT PARTS OF ABRASIVE JET PERFORATOR

Щелевая гидropескоструйная перфорация (ЩГПП) – эффективный щадящий метод вторичного вскрытия продуктивного пласта. Существует необходимость разработки гидropескоструйного перфоратора повышенной прочности. Проведен анализ существующих методов нанесения защитных покрытий. Приведены физико-механические свойства покрытий. Представлены рекомендации использования упрочняющих покрытий для защиты перфоратора.

Ключевые слова: щелевая гидropескоструйная перфорация, жидкость-песконоситель, абразивный износ, защитное покрытие, прочность материала, микротвердость покрытия.

Abrasive jet perforation (AJP) is effective gentle method of productive formation completion. There is a need to develop high-strength abrasive jet perforator. The analysis of existing methods for the protective finish was carried out. The physical and mechanical properties of the protective finish were given. Recommendations of the protective finish use in perforator were presented in the paper.

Keywords: abrasive jet perforation, sand-carrier liquid, abrasive wear, protective finish, material reliability, wash microindentation hardness.

От качества вторичного вскрытия продуктивных пластов существенно зависят эксплуатация добывающих скважины и разработка продуктивного объекта в целом. В связи с отрицательным воздействием на призабойную зону пласта (ПЗП) буровых и тампонажных растворов, жидкостей перфорации и глушения скважин технологии вторичного вскрытия продуктивных пластов не всегда обеспечивают получение потенциальных дебитов скважин.

На сегодняшний день кумулятивная перфорация получила наибольшее распространение благодаря простоте применения, затрате малого времени на проведение операции, невысокой стоимости работ и расходного материала. Более того, кумулятивные перфораторы обладают высокой пробивной способностью и эффективно вскрывают пласт даже в скважине многоколонной конструкции.

Однако эксперименты показывают, что около 15 % всех перфорационных каналов оказываются полностью закупоренными застрявшими продуктами детонации [1]. Кроме того, при взрыве происходит деформация обсадной колонны и разрушение цементного камня, вследствие чего возникают заколонные перетоки [2].

Стремление к повышению нефтеотдачи и продлению срока службы скважин привело к появлению альтернативных методов вторичного вскрытия. Так, при щелевой гидropескоструйной перфорации разрушение преграды происходит в результате использования абразивного и гидромониторного эффектов высокоскоростных песчано-жидкостных струй, закачиваемых в насосно-компрессорную трубу (НКТ) насосными агрегатами высокого давления и вылетающих из насадок перфоратора, прикрепленного к нижнему концу НКТ.

Абразивное воздействие жидкости-песконосителя оказывает негативное влияние на детали гидropескоструйного перфоратора, что обуславливает необходимость повышения их физико-механических свойств (ФМС), например путем нанесения на металлы специальных упрочняющих (защитных) покрытий. Комбинация модифицируемого металла (матрицы) и защитного покрытия снижает вероятность разрушения материала и увеличивает срок службы детали.

Существуют различные методы нанесения защитных покрытий для предотвращения воздействия коррозии, высокой температуры и абразивного износа.

Так, хромирование является наиболее эффективным методом электрохимического нанесения защитных покрытий, повышающих износостойкость стальных изделий. Сущность метода заключается в нанесении (осаждении) на поверхность детали слоя хрома из электролита под действием электрического тока.

При нанесении на матрицу обрабатываемого металла хромированного слоя повышаются твердость, износостойкость, жаростойкость, а также коррозионная стойкость деталей, используемых для изготовления нефтегазового оборудования. Посредством изменения плотности тока и температуры раствора электролита твердость покрытия достигает 5000–10 000 Н/мм², а износостойкость увеличивается до 10 раз.

Хром, осажденный при определенных условиях электролиза, обеспечивает получение беспорового покрытия толщиной 40–50 мкм и защищает стальные изделия от коррозии в пластовой воде (минерализация до 40 %).

Метод термодиффузионного цинкования (ТДЦ) заключается в образовании на поверхности железа цинкового покрытия за счет перехода атомов цинка в паровую фазу при температуре от 2600 °С и проникновения в железную матрицу, что приводит к образованию железно-цинкового сплава сложной фазовой структуры. Образование покрытия возможно при температурах от 400 до 450 °С и в замкнутом пространстве, куда помещаются упрочняемые детали и цинкосодержащая порошковая смесь [3, 4].

Защитные термодиффузионные цинковые покрытия являются анодными (имеют положительный заряд) по отношению к черным металлам (железу и его сплавам) и повышают электрохимическое сопротивление стали. За счет взаимной диффузии, происходящей на поверхностях цинка и железа, образующееся цинковое покрытие обладает высокой прочностью сцепления с матрицей стали, мало подвержено отслаиванию и скалыванию при ударах, механических нагрузках и деформациях модифицируемых изделий.

Метод ТДЦ имеет следующие преимущества:

- высокая коррозионная стойкость покрытия;
- покрытие, наносимое с высокой точностью, повторяет профиль поверхности изделий со сложной геометрической формой, а также мелких деталей (с габаритными размерами 100–200 мм), резьбу, маркировку и другие элементы;
- температура насыщения относительно невелика, поэтому покрытие может быть нанесено на пружинные и другие детали, предварительно подверженные термообработке;
- метод может быть использован для нанесения покрытий на изделия, созданные по технологии порошковой металлургии, пористые изделия, а также предварительно собранные подвижные узлы и сварные изделия;
- перед нанесением защитного покрытия не требуется специальная подготовка поверхности модифицируемой детали;
- исключено образование жидких и твердых отходов, нуждающихся в нейтрализации или захоронении;
- толщина покрытия может варьироваться в пределах от 20 до 100 мкм.

Покрытие ТДЦ можно использовать для упрочнения деталей фонтанной арматуры нефтедобывающих скважин, а также для изготовления элементов промысловых, магистральных трубопроводов и защиты резьбовых соединений.

Газотермическое напыление – нанесение покрытий из материалов в виде металлической проволоки, прутка или порошка, не разрушающихся при высоких температурах, на матрицу упрочняемого металла. Материалы вводятся в высокотемпературную зону и распыляются струей газа (азотом, воздухом и др.), что приводит к образованию мелких частиц, формирующих защитный слой на заранее подготовленной поверхности.

Метод электродуговой металлизации (ЭДМ) заключается в нагреве сходящихся в распылителе проволок электрической дугой до плавления и нанесении их газовым потоком на поверхность матрицы, где создается металлопокрытие.

В сравнении с другими газотермическими методами ЭДМ обладает следующими преимуществами:

- высокая прочность сцепления покрытий с матрицей (0,01 МПа);
- высокие пластические характеристики покрытий;
- высокая коррозионная стойкость покрытий;

- отсутствие деформации деталей в процессе нанесения покрытий;
- высокая производительность процесса;
- мобильность металлизационных установок и возможность нанесения защитных покрытий в полевых условиях.

Метод ЭДМ применяют для защиты стальных конструкций, нефтяных резервуаров, трубопроводов и другого оборудования, используемого в тепловых сетях, нефтяной и химической промышленности.

Метод высокочастотного упрочнения основан на переводе материала покрытия в жидкую фазу токами высокой частоты и распылении расплава струей сжатого воздуха.

ФМС покрытий, нанесенных высокочастотным напылением, значительно выше аналогичных свойств покрытий, получаемых ЭДМ. Это объясняется тем, что размеры распыляемых частиц и их температура изменяются в более узких пределах, чем при электродуговой металлизации, что приводит к снижению выгорания основных химических элементов в 4–6 раз и уменьшению насыщенности покрытия окислами в 2–3 раза. Меньшая окисляемость защитного покрытия улучшает смачиваемость поверхности матрицы модифицируемой детали и увеличивает прочность сцепления.

Высокочастотный метод упрочнения отличается низким расходом упрочняющего материала, но имеет следующие недостатки: низкую производительность и высокую стоимость элементов установки.

Нанесение защитного покрытия плазменным методом заключается в подаче высокотемпературной плазменной струи распыляемого материала, который в виде двухфазного потока жидких и твердых частиц направляется на поверхность матрицы. При ударе и деформации частиц наплавляемого материала происходит их взаимодействие с поверхностными частицами матрицы, приводящее к формированию защитного покрытия.

При плазменном распылении материала защитные покрытия приобретают ФМС, позволяющие применять модифицированные детали в абразивных и вызывающих коррозию средах.

Так, получаемые с помощью плазменного напыления алмазоподобные углеродные слои обладают высокой твердостью, низким коэффициентом трения, высокой износостойкостью и химической инертностью. Плотность покрытия достигает 3200 кг/м^3 , твердость – до 18 кН/мм^2 [5, 6].

С помощью нанесения этим методом упрочняющих слоев из нитридов тяжелых металлов (железа, свинца, меди, кадмия, молибдена) срок службы упрочненных деталей увеличивается до 8 раз.

При вакуумно-конденсационном напылении покрытие формируется из потока частиц, находящихся в атомарном, молекулярном или ионизированном со-

стоянии. Упрочняющий материал распыляется термическим испарением, взрывным испарением-распылением или ионными методами. Вакуумное конденсационное напыление осуществляется в герметичных камерах, что обеспечивает защиту упрочняемого материала от взаимодействия с атмосферными газами.

При ионно-плазменном методе для нанесения износостойкого покрытия толщиной до 0,02 мм, имеющего высокие ФМС, используют вакуумное конденсационное напыление с ионизацией потока напыляемых частиц, стимулируемых плазмой.

При использовании вакуумного конденсационного напыления образуются тонкие равномерные покрытия из синтезированных (карбидов, нитридов, оксидов и др.) и неорганических материалов, обладающих высокими ФМС.

Недостатки метода – низкая производительность (скорость конденсации – около 1 мкм/мин) и сложность технологии.

Метод холодного газодинамического напыления (ХГН) заключается в формировании металлических покрытий при соударении холодных металлических частиц (с температурой, существенно меньшей температуры плавления), ускоренных газовым потоком до 100 м/с, с поверхностью обрабатываемой детали. При ударах нерасплавленных металлических частиц о матрицу происходит их пластическая деформация, кинетическая энергия частиц преобразуется в тепловую, а также в энергию связи с матрицей, обеспечивая формирование сплошного слоя [7].

Особенностью ХГН является отсутствие высоких температур при формировании металлических покрытий, что предотвращает окисление материалов упрочненных частиц и матрицы, а также процессы неравновесной кристаллизации и высокие внутренние напряжения в обрабатываемых деталях.

В качестве рабочего агента в методе ХГН используется сжатый воздух. Из-за отсутствия нагрева и окисления напыляемых и упрочняемых частиц структура металла не деформируется. Метод характеризуется простотой нанесения покрытий и отсутствием токсичных и агрессивных газов, твердостью до 40 Н/мм² и высокой адгезией.

Метод ХГН позволяет создавать алюминиевые, медные, цинковые, оловянные, свинцовые, никелевые и другие металлические покрытия.

Для противостояния ударным и усталостным нагрузкам седло клапана должно обладать достаточным запасом твердости и прочности, который обеспечивается при использовании метода электролитического хромирования. Получаемое защитное покрытие из хрома имеет высокую микротвердость (10 кН/мм²) и увеличивает износостойкость деталей к абразивному воздействию жидкостипесконосителя, повышая срок службы перфоратора. Этот метод также целесообразно использовать для защиты корпуса перфоратора от абразивного воздействия отраженной струи песчано-жидкостной смеси.

Список литературы

1. Schlumberger. – URL: <http://www.slb.com/services/completions/perforating.aspx> (дата обращения: 20.11.2015).
2. Чернышов С.Е., Куницких А.А., Русинов Д.Ю. Влияние минеральных добавок на прочностные характеристики тампонажного камня // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 8. – С. 20–23.
3. Оценка эксплуатационных свойств цинковых покрытий на муфтах насосно-компрессорных труб / И.А. Чижов [и др.] // Обработка металлов. – 2013. – Т. 58, № 1. – С. 26–31.
4. ГОСТ Р 9.316–2006. Покрытия термодиффузионные цинковые. Общие методы контроля. – М.: Стандартинформ, 2006. – 12 с.
5. Пашенцев В. Вакуумное ионно-плазменное нанесение наноструктурных покрытий // Наноиндустрия. – 2010. – № 5. – С. 26–29.
6. Трушин О.С., Бочкарев В.Ф., Наумов В.В. Моделирование процессов эпитаксиального роста пленок в условиях ионно-плазменного напыления // Микроэлектроника. – 2000. – Т. 29, № 4. – С. 296–309.
7. Холодное газодинамическое напыление. Теория и практика / А.П. Алхимова [и др.]. – М. Физматлит, 2010. – 536 с.

Получено 09.12.2015

Русинов Дмитрий Юрьевич – аспирант кафедры «Нефтегазовые технологии», горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: rusinovdu@bk.ru.

Рябокоть Евгений Павлович – магистр кафедры «Безопасность жизнедеятельности», горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет.

Научный руководитель – **Турбаков Михаил Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Нефтегазовые технологии», горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: turbakov@mail.ru.