

# World Oil®

## ПЕРСПЕКТИВЫ СЕВЕРНОЙ АМЕРИКИ

Операторы в поисках помощи для  
преодоления самого тяжелого в  
истории года

ТРУБНЫЕ ИЗДЕЛИЯ  
НЕФТЕПРОМЫСЛОВОГО  
СОРТАМЕНТА

Кованая колонна для заканчивания –  
решение глубоководных проблем

100<sup>th</sup>  
ANNIVERSARY  
1916 • 2016  
A CENTURY OF EXCELLENCE

SHALETECH:  
МЕСТОРОЖДЕНИЕ ИГЛ-  
ФОРД

Добывающие компании ищут пути  
повышения рентабельности

НЕТРАДИЦИОННЫЕ  
РЕСУРСЫ

Микроэмульсионная обработка –  
разделение воды и тяжелой нефти



## Тщательный контроль твердосплавного покрытия — залог защиты бурильных колонн и сокращения затрат на ремонт



Внимание к деталям, ответственность и соблюдение требований к наплавке способствуют повышению качества и характеристикам твердосплавных покрытий и ослаблению риска их разрушения.

### ■ ДЖОШ БРАУН, Argeo Technology

Недавно я спросил приятеля, управляющего компанией по нанесению твердосплавных покрытий, что он считает наиболее типичной проблемой, связанной с отбраковкой или разрушением такого покрытия. Не задумываясь ни на секунду, он назвал низкое качество наплавки. Я не ожидал от коллеги такого ответа, поскольку он должен был знать, что от нас постоянно требуют чудес в условиях повышения производственных показателей и не всегда очевидной рентабельности восстановления покрытия. Современные сплавы для такого применения являются кульминацией мно-

Под наплавленным металлом или внутри него могут появляться некоторые дефекты, которые нельзя обнаружить в ходе послесварочного контроля. Соблюдение технических требований изготовителя во время наплавки позволит свести риск некачественной работы к минимуму.

голетних исследовательских и опытно-производственных работ, выполненных некоторыми из ведущих специалистов в области металлургии. Это буквально новые одноцелевые металлы; по существу, их появление заставляет компании по нанесению покрытий соблюдать технические требования разработчиков в отношении первичной и повторной наплавки (рис. 1).

### ВЫ ДОЛЖНЫ ЗНАТЬ, КТО БУДЕТ НАПЛАВЛЯТЬ ПОКРЫТИЕ

Потребность отрасли в воспроизводимости результатов все больше полагается на автоматизацию, которая, в свою очередь, снижает необходимость в комплексном обучении операторов. Мы все чаще видим операторов по нанесению твердосплавного покрытия, способных управлять конкретной установкой, но не знающих значения конкретных параметров или как все эти требования помогают избежать повреждения трубы.

Во многих случаях встречаются отдельные операторы, не имеющие доступа к руководствам по техническим требованиям, не прошедшие обучение по критериям предсварочной отбраковки и приемки и не знающие, где найти нужную информацию. С другой стороны, от компетентных операторов часто требуют просто «сделать свою работу»,

даже если их опыт говорит о недостаточном качестве конечного результата. Это более чем квалифицированные (а некоторые — очень талантливые) специалисты по нанесению твердосплавных покрытий, работающие сегодня. Но, как и в любой другой отрасли, здесь тоже есть люди, для которых качество не стоит на первом месте. Следовательно, буровики и операторы должны знать, кто наносит твердосплавное покрытие, и отслеживать обслуживающий их трубы персонал.

### ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Что касается нанесения твердосплавных покрытий, на внутреннем рынке США отмечается серьезный недостаток ответственности и прослеживаемости. Выполняющая контроль компания вряд ли сможет получить плату за свою работу без выдачи протокола контроля, хотя некоторые американские компании по нанесению покрытий постоянно так поступают. Но не все из них настолько халатны в этом отношении, и не все международные проекты требуют таких протоколов. Прослеживаемости в международных проектах и в США до сих пор уделяется совершенно разное внимание.

Ранее в этом году мы приехали на объект по вызову оператора, который использует одну из наших проволок для наплавки

**Рис. 1.** Правильно нанесенное твердосплавное покрытие обеспечивает гладкую и ровную несущую поверхность.



**Рис. 2.** Использование неправильных механических или электрических параметров может иметь катастрофические последствия.



твердосплавного покрытия. Во время перемещения буровой установки эта компания подвергла трубы контролю и нанесению твердосплавного покрытия, в результате чего в последнем было выявлено сильное

растрескивание и наличие каверн, а также расслаивание (на некоторых упрочненных участках) (рис. 2). Чтобы определить базовый состав материала, мы применили метод рентгеновской флуоресценции; выяснилось, что и поврежденный, и целый твердосплавный материал не имеет к нам никакого отношения.

И буровая, и эксплуатационная компании какое-то время являлись заказчиками нашего продукта, и они попытались определить, чье покрытие было на их трубах, кто его нанес и по какой причине. К сожалению, выполнение последних трех заказов по наплавке твердосплавного покрытия они поручили трем разным компаниям, не потребовав ни от одной из них предоставить какую-либо документацию по сделанным работам, кроме счета. Таким образом, ни у владельца, ни у оператора не оказалось инструментов для затребования ремонта. И только в последнее время внутренний рынок США стал догонять остальной мир. *Конечные пользователи и владельцы активов, будь то буровые, эксплуатационные или арендные компании, должны требовать предоставления отчетов по нанесению твердосплавного покрытия.*

Полная отчетность по выполненным работам должна содержать следующую информацию:

- название компании, имя оператора конкретной установки и ее номер;
- марка и тип наплавляемого продукта, а также номера партий, указанные на каждом мотке проволоки;
- серийный номер каждой трубы, на которое наносится твердосплавное покрытие;
- температура предварительного нагрева и межпроходная температура для каждого трубного замка;
- измеренный наружный диаметр до и после наплавки для каждого трубного замка и измеренная ширина новой упрочненной зоны;
- все механические и электрические параметры, использовавшиеся во время наплавки;
- наблюдения по состоянию старого и вновь нанесенного твердосплавного покрытия.

Дефекты твердосплавного покрытия склонны к накоплению с каждым последующим нанесением. Возникающее во время работ микрорастрескивание может проявляться в виде умеренной пористости (после повторного нанесения покрытия). Добавьте еще один цикл – и вот поры внезапно соединены трещинами. После еще одного или двух циклов твердосплавное покрытие начинает отслаиваться, и владелец хочет найти виноватого. Без документации по прослеживаемости все начинают перекидывать ответственность за ремонт друг на друга.

С другой стороны, ведение подробных записей поможет выявить ответственных в тех случаях, когда к работам на одной колонне привлекалось более одной компании. Кроме того, такие отчеты включаются в общий процесс прослеживаемости буровой

колонны и служат превосходной основой для контроля износа твердосплавного покрытия. Использование буровой колонны сопряжено с многочисленными техническими проблемами и проблемами с качеством, поэтому ведение подробных записей по всем выполненным на трубе операциям представляется разумной мерой. Однако число работающих в этой сфере компаний, предлагающих полные отчеты, остается невелико, а требующих их конечных пользователей – еще меньше. *Может, пора изменить ситуацию?*

## ПРЕДСВАРОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ/ОБЩИЕ ПРЕДОТВРАТИМЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Перед повторной наплавкой имеющиеся твердосплавные покрытия, как минимум, подвергаются осмотру лицом, знающим установленные изготовителем проволоки критерии приемки и отбраковки. Контроль труб не ограничивается только покрытием, поэтому инспектирующий персонал должен знать, что искать. Оптимальный способ избежать дорогостоящего ремонта заключается в инвестировании в профилактическое техническое обслуживание. Ничто не сможет настолько эффективно предотвратить некачественную наплавку, как сторонний контролер за плечами выполняющего ее специалиста.

На таких специалистов могут давить работодатели, требующие делать все быстрее или срезать углы, чтобы выполнять дневную норму. Заказчик может требовать от них раздвинуть рамки приемочных критериев на буровой площадке; он скорее хочет рискнуть, оставив потенциально бракованное покрытие, чем платить за его удаление и ремонт. Наконец, это может быть первый день специалиста на такой работе. Наличие стороннего наблюдателя, знающего, как следить за работами по наплавке твердосплавного покрытия, обеспечивает соблюдение параметров и тщательный контроль каждого трубного замка. Кроме того, в распоряжении большинства изготовителей проволоки для твердосплавной наплавки имеется полевой сервисный персонал, проводящий проверки на площадке по запросу конечного пользователя. *Хотя дополнительные расходы на привлечение стороннего персонала и являются значимым фактором, они теряются на фоне стоимости ремонта колонны из-за некачественной работы.*

Одна из наиболее распространенных ошибок заключается в том, что контролеры и специалисты по наплавке принимают «закладную» наплавку за кандидата на повторное нанесение покрытия. Такая наплавка производится путем выполнения канавки в трубном замке и ее заполнения твердосплавным материалом до наружного диаметра. Этот метод часто применяется в бурении скважин малого диаметра.

Сложность с определением закладной наплавки проистекает из фундаментальных принципов сварки, а именно – из адгезии между покрытием и основным металлом. Как правило, глубина наплавки составляет

**Рис. 3.** Преждевременная наплавка приводит к увеличению проектных затрат без каких-либо выгод для конечного пользователя.



**Рис. 4.** Выявление термического растрескивания на самых ранних стадиях возможно по выраженной микротрещиноватости.



3/32-4/32 дюйма. Работа в пределах установленных параметров, сварочная дуга наплавочной установки проникает на глубину лишь 2/32-3/32 дюйма от наружного диаметра. Если участок закладной наплавки ошибочно принимается за требующий ремонта, то наносимое на него новое покрытие не приварится к металлу трубного замка и может нарушить адгезию исходной наплавки, что приведет к отслаиванию обоих покрытий.

Такой же принцип действует и при определении необходимости в повторной наплавке на выступающем покрытии. Выступающее твердосплавное покрытие

обычно имеет толщину 4/32 дюйма, и при износе до 2/32 дюйма все еще остается половина срока его службы. Мы не рекомендуем восстанавливать покрытие, пока оно не износится до толщины менее 1/16 дюйма (оптимально – не более 1/32 дюйма) (рис. 3). Мы часто сталкивались со случаями нанесения нового покрытия на наплавки без необходимости при практически полном отсутствии износа, что увеличивало расходы для конечных пользователей.

Еще одним часто пропускаемым дефектом является «термическое растрескивание» твердосплавного покрытия. Термическое растрескивание, или охрупчивание, трубных замков во время бурения – это известное еще с 1940-х гг. явление, ограничивающее ресурс скважинного оборудования. Оно возникает в результате циклического быстрого нагрева и охлаждения внешней поверхности инструмента. Если трение вызывает нагрев этой поверхности выше критической температуры стали (1450 °F), то поломка может произойти в любой момент. Трубный замок, вращающийся в контакте с обсадной колонной при боковой нагрузке 2000 фунтов, может нагреться до 1900 °F всего за 2 минуты.<sup>1</sup> Быстрое охлаждение стали буровым раствором может сопровождаться термическим ударом, запускающим мартенситное превращение с результирующим охрупчиванием внешней поверхности трубного замка и появлением выраженной микротрещиноватости (рис. 4).

Пренебрежение этой исходной стадией приведет к макрорастрескиванию, преждевременному износу и, в конечном итоге, разрушению трубного замка. Выступающее твердосплавное покрытие служит несущей поверхностью между боковой стенкой и трубным замком, защищая основной металл от трения и трещинообразования. Закладная наплавка не может обеспечить эквивалентную защиту от термического растрескивания, поскольку вся внешняя поверхность остается несущей.

Термическое растрескивание часто пропускается или неправильно

идентифицируется и контролерами, и специалистами по наплавке. Последние 20 лет ознаменовались широким применением традиционных критериев контроля, предусматривающих только отбраковку трещин снаружи участка наплавки, и проволоки, не исключаяющей растрескивание наплавляемого металла, что создало в отрасли эффективное «слепое пятно». Чтобы ликвидировать этот пробел в знаниях, контролеры должны проходить комплексное обучение в области наплавки твердосплавного покрытия.

Существует еще одно слишком распространенное ошибочное представление, связанное с ремонтом термического растрескивания путем дополнительной наплавки. Термические и все схожие трещины нельзя надежно отремонтировать только посредством сварки. Охрупчивание из-за термического растрескивания часто проникает на глубину более 1/4 дюйма от наружного диаметра трубного замка.<sup>2</sup> Если сравнить это значение с глубиной проникновения типичной наплавки (2/32-3/32 дюйма), то станет ясно, что простое повторное нанесение твердосплавного покрытия не является приемлемой мерой. Наплавка поверх подвергнувшихся термическому растрескиванию участков покрытия сопровождается теплоотдачей от сварочной дуги, что может привести к распространению имеющихся трещин в основной металл. Хотя поверхность наплавки может пройти визуальный и неразрушающий контроль, это не исключает возникновения растрескивания и пористости под наплавленным металлом, которые проявляются только при износе покрытия.

Таким образом, нанесение нового слоя твердосплавного покрытия может скрыть термическое растрескивание, при этом привнося дефекты в основной металл. Многократная наплавка по покрытию с термическим растрескиванием приводит к появлению поперечных трещин, концентрирующих напряжения и вызывающих обрыв колонны. Все вышесказанное обуславливает огромную важность выявления, отбраковки и ремонта таких дефектов в рамках эффективной программы предсварочного контроля.

Во время сварки сразу выявляются несколько проблем, способных привести к повреждению, и одна из них – смешивание несовместимых наплавляемых материалов.<sup>3</sup> Изготовители проволоки славятся своим молчанием на вопрос о составе сплава, поэтому в отрасли часто приходилось подбирать приемлемый вариант методом проб и ошибок. Контролем и отчетностью по проверкам совместимости занимаются третьи стороны, однако конкурирующие изготовители никогда не принимали участия в совместных исследованиях. В общем, применение проволоки для наплавки без растрескивания поверх проволоки с растрескиванием не рекомендуется, поскольку это обычно заканчивается растрескиванием нового слоя покрытия.

Этот риск можно частично ослабить путем наплавки промежуточной мягкой стали, но предпочтительней удалить материал для чистового начала.

Не стоит наплавлять совместимые с обсадными трубами проволоки на карбид вольфрама. Выполнить это без проблем по силам единицам, а сварка по такому материалу только временно скроет его. Как только новое покрытие достаточно износится, карбид вольфрама снова начнет истирать обсадную трубу. Во избежание риска разрушения твердосплавного покрытия или еще худших последствий при переходе с карбида вольфрама на совместимую с обсадной трубой проволоку рекомендуется удалить карбид вольфрама, а при переходе с одной проволоки на другую следует не только проконсультироваться с изготовителем, но и внимательно прислушаться к специалисту по наплавке.

### ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ НАГРЕВ И МЕДЛЕННОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

Правильный предварительный нагрев бурильной трубы – важнейший фактор успешности нанесения твердосплавного покрытия. Он предотвращает термический удар в основном металле, повышает адгезию, рассеивает влагу и газы из основного металла и снижает риск растрескивания под действием напряжений.<sup>4</sup> Неправильный предварительный нагрев вызовет растрескивание и отслаивание наплавленного покрытия и может привести к поломке трубного замка. Одной из основных причин получения некачественной наплавки является недостаточный прогрев. В большинстве случаев это связано со спешкой и небрежностью, хотя правильному предварительному нагреву можно постепенно научиться.

Для измерения температуры предварительного нагрева чаще всего используются инфракрасные или лазерные пирометры. Они относительно дешевы и легкодоступны. Однако есть и сложности: большинство из них не проходят регулярную калибровку и требуют специальных светофильтров для точных измерений на блестящих или отражающих поверхностях, например, изношенном покрытии, защищенном для нанесения нового слоя. Светофильтры для общедоступных инфракрасных пирометров отсутствуют. Как правило, они применяются на заводах по производству бурильных труб вместе с индукционными установками предварительного нагрева и стоят очень дорого. *Оптимальный практический метод измерения температур заключается в использовании калиброванного пирометра с поверхностным контактным зондом.* Существуют контактные зонды и для надежного измерения температур по внутреннему диаметру.

Вокруг требуемой величины предварительного нагрева возникли небольшие дебаты. Не все сплавы одинаковы, поэтому необходимо соблюдать технические условия изготовителя конкретной проволоки для наплавки. Независимо от применяемого сплава, крайне важно достичь «температуры прогрева» по всей толщине трубного замка,

что зачастую игнорируется. Сразу после наплавки наносимый сплав и основной металл подвергаются фазовым превращениям, требующим медленного снижения температуры. Если нагрелась только внешняя поверхность, то менее нагретый материал под наплавкой будет очень быстро отводить тепло к внутренней поверхности, что приведет к охрупчиванию основного металла. Тот же принцип действует и в отношении влияния циркуляции воды на внутреннее порошковое защитное покрытие, в отличие от основных принципов сварки и металлургии.

Следуя этим рассуждениям, можно сделать вывод о критической важности медленного охлаждения. Сразу после наплавки и перед любой шлифовкой или очисткой следует обернуть трубный замок термоодеялом или закрыть его теплоизолированным охлаждающим контейнером. Общей ошибкой в этой связи является очистка наплавки до ее медленного охлаждения. Чем выше температура, тем важнее теплоизоляция, поэтому не стоит медлить.

### УДАЛЕНИЕ

Если изношенное твердосплавное покрытие по какой-либо причине сочтено непригодным для новой наплавки, то наиболее экономичным вариантом возврата трубы в работу является его удаление и ремонт. Удаление такого покрытия может выполняться несколькими методами, самыми распространенными из которых являются механическая обработка, механизированная шлифовка, плазменная поверхностная резка и «зачистка» режущей проволокой. Предпочтение отдается первому методу из-за точности и низкого теплоподвода. Однако он медленнее других и ограничен в применении по причине недостаточной мобильности. Зачистка режущей проволокой когда-то была очень популярной среди операторов передвижного оборудования, но сейчас практически не применяется из-за высокого теплоподвода и низкой точности. Этот метод предусматривает регулировку горелки таким образом, чтобы сварочная ванна «отшла» от трубы, забрав с собой старый твердый металл.

Плазменная поверхностная резка, в некотором роде, произошла от зачистки режущей проволокой, но современные плазменные методы обеспечивают больший контроль. В зависимости от требуемой толщины или глубины удаляемого материала, плазменный метод часто считается самым быстрым, однако процесс может замедлиться из-за потенциальных проблем с превышением допустимой межпроходной температуры (если требуется несколько проходов). Применение шлифмашин достигло такого масштаба, что изготовители оборудования для наплавки твердосплавных покрытий включили их в свое предложение. Шлифмашинки могут иметь стационарное и мобильное исполнение, снабжаться системой водяного охлаждения для отвода избыточного тепла и обеспечивать достаточную точность для выполняемой работы. При условии правильного применения любой из указанных выше методов

даст удовлетворительные результаты. Определяющим фактором в выборе метода для поставщика услуг или для заказчика всегда является текущая экономическая выгода.

Степень удаления (полное или заподлицо) зависит от серьезности и типа повреждения. Для незначительных дефектов обычно достаточно просто удалить наплавку до наружного диаметра трубного замка, тогда как в случае сильного растрескивания или пористости может потребоваться более глубокое удаление металла. При необходимости в полном удалении трубный замок восстанавливается до заравнивания с помощью наращающей проволоки с последующим нанесением нового слоя покрытия. Восстановление трубных замков – это медленный процесс, включающий в себя проверки на нескольких критических этапах. Из-за этого он может обойтись в 3-10 раз дороже по сравнению с простой новой наплавкой. Однако даже при 10-кратной стоимости это меньше затрат на замену трубных замков. Во многих случаях восстановление можно полностью выполнить на объекте, что исключает финансовые и временные затраты на отправку трубы в мастерскую. 



**ДЖОШ БРАУН** работает специалистом отдела качества и внедрения компании Arpro Technology. До прихода в компанию в 2014 г. он 10 лет проработал оператором передвижной наплавочной установки. Джош родился в Мидленде, Техас, и работал в США и в странах Южной Америки и Ближнего Востока.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Eaton, L. F., *Tool joint heat checking while predrilling for auger TLP project*, SPE paper 25776-MS, Jan. 1, 1993 (Л. Итон, «Термическое растрескивание трубных замков при предварительном бурении для проекта платформы на натяжных опорах Auger», статья SPE 25776-MS, 1 января 1993 г.).
2. Altermann, J. A., and T. B. Smith, *Heat checking/quench cracking tool joints*, SPE paper 23846-MS, Jan. 1, 1992 (Дж. Алтерман и Т. Смит, «Термическое/закалочное растрескивание трубных замков», статья SPE 23846-MS, 1 января 1992 г.).
3. Konet, S., and S. Gokhale, *Hardbanding compatibility test program to stem tool joint failures caused by re-application of incompatible hardbanding*, SPE paper 173067-MS, March 17, 2015 (С. Конети и С. Гохале, «Программа испытаний на совместимость твердосплавных покрытий для исключения повреждений трубных замков из-за повторной наплавки несовместимого покрытия», статья SPE 173067-MS, 17 марта 2015 г.).
4. Stout, R. D., *Weldability of steels*, Welding Research Council, 4th Edition, 1987 (Р. Стаут, «Свариваемость сталей», Совет по исследованиям в области сварки, 4-е издание, 1987 г.).



# Лидер в защите бурильных и обсадных колонн от износа

ARNCO  
**150XT**

## ➔ КЛЮЧЕВЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

- Максимальная защита обсадных колонн
- Высокая износостойчивость покрытия
- Материал не подвержен образованию трещин
- Устойчив к отслаиванию и сколам
- Обладает коррозионной стойкостью к H<sub>2</sub>S
- Разрешена наплавка поверх покрытия из материалов конкурентов

ARNCO  
**350XT**

## ➔ КЛЮЧЕВЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

- Максимальная защита бурильных замков
- Не повреждает обсадные трубы
- Материал не подвержен образованию трещин
- Устойчив к отслаиванию и сколам
- Обладает коррозионной стойкостью к H<sub>2</sub>S
- Разрешена наплавка поверх покрытия из материалов конкурентов

ARNCO  
**NonMAG XT**

## ➔ КЛЮЧЕВЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

- Защита ценного оборудования из нержавеющей стали
- Первичное и повторное наплавление без растрескивания
- Повышенная пластичность уменьшает вероятность повреждения при эксплуатации
- Высокая износостойчивость и твердость

## Износостойчивые твердые сплавы для защитного наплавного покрытия в нефтедобывающей отрасли



Компания Arnco предлагает продукцию нового поколения – не подверженные образованию трещин удобные для нанесения материалы, обладающие высочайшими в отрасли эксплуатационными характеристиками, что подтверждено стендовыми испытаниями и в полевых условиях.

С 1992 г. компания Arnco Technology внедряет новаторское применение твердосплавных материалов для защитного покрытия, не повреждающих обсадные колонны и обеспечивающие первоклассную защиту бурильных колонн и обсадных труб. Оставаясь на передовых позициях в технологии защитных твердосплавных покрытий, мы продолжаем развитие класса продуктов, отвечающих постоянно растущим требованиям буровой отрасли во всем мире.



[www.hardbanding.com](http://www.hardbanding.com)

