

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Институт машиностроения, материалов и транспорта
Высшая школа физики и технологий материалов

РАЗРАБОТКА НАПЛАВКИ ДЛЯ БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Выполнил студент

А.В. Мачулин

Санкт-Петербург

2020

Тема исследовательской работы: «Разработка наплавки для бурового инструмента»

В данной работе рассматривается использование отходов из твёрдого сплава как материал для улучшения прочности и износостойкости инструмента. Если быть точнее, то использование переработанного твёрдого сплава (крупки) для наплавки на буровой инструмент с помощью сварочного аппарата.

Была поставлена задача проверить эффективность разработанного метода, а также смоделировать инструмент в КАД программе. Для моделирования была использована программа Компас 3D. Моделирование инструмента было необходимо для визуализации зон наплавки для рабочих и для заказчика, а также для удобного подсчета наплавленной области. Наплавка была реализована на нескольких различных буровых инструментах для проверки сплава в различных условиях и нагрузках. Однако провести испытания с готовыми результатами удалось только у буровых коронок. В дальнейшем планируется использовать наплавку для укрепления различных поверхностей подверженных высокому износу.

В результате была произведена наплавка на различных буровой инструмент, а также тестирование одного образца в реальных условиях. Испытания инструмента продолжают проводиться и результаты будут постепенно обновляться и структурироваться.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ТВЁРДЫЙ СПЛАВ, НАПЛАВКА, ТВЁРДОСПЛАВНАЯ КРУПКА, БУРОВАЯ КОРОНКА, ТЕХНОЛОГИЯ «СОНИК

ВВЕДЕНИЕ

Буровым инструментом можно назвать приспособление или механизм, в первую очередь предназначенный для бурения скважин, также в данном виде инструмента можно отнести различное вспомогательное оборудование для земельных работ. Например, ковш экскаватора и смежные с ним инструменты или различные установки для дальнейшей обработки полученного грунта.

Грунт сильно изнашивает буровой инструмент по средствам трения. Поэтому высокая износостойкость сильно ценится в подобной оснастке. Важны и такие характеристики, как твердость, прочность, пластичность, жаропрочность и жаростойкость. Все эти параметры влияют на срок службы, а также на эффективность работы инструмента. Нельзя забывать и о конструкции оборудования. Для определенных типов поров и видов работ требуется определенный буровой инструмент. Да, существуют универсальные инструменты, например, для бурения скважин, но производительность и возможности у него куда ниже, чем у специализированного.

Для модернизации и ремонта данного инструмента используют различные материалы и способы их нанесения. Могут выделить различные твердые сплавы и алмазы. Чаще всего буровой инструмент является достаточно дорогим в виду особенностей материалов, обработки и конструкции. Поэтому многие стремятся к увеличению срока службы и эффективности работы того или иного оборудования. Это помогает в первую очередь сэкономить средства на покупку данного расходного инструмента.

Глава 1. Твёрдый сплав и его использование

1.1 Твёрдый сплав

1.1.1 Переработка твёрдого сплава

Компания ООО «Теком» пользуется механической переработкой и дальнейшим использованием вторичного твердого сплава для нанесения износостойких покрытий. Переработка несортированного твердосплавного инструмента и других изделий из твердых сплавов, собранных из пунктов приема металла (отработанный твердосплавный инструмент) не позволяет получать изделия инструментального качества. Но устойчивость к абразивному износу любых твердых сплавов в десятки раз превышает аналогичные показатели легированных сталей. Поэтому существуют задачи, для которых химический состав и зернистость твердого сплава не являются принципиальными. Таким способом переработки усредненно в компании ООО «Теком» получают сплав Т5К10.



Рисунок 1. - Переработка твердых сплавов

1.1.2 Сплав Т5К10

Сплав Т5К10 является композитным материалом. Его свойства зависят от содержания титана, вольфрама и кобальта в составе. В данном сплаве по ГОСТ 3882-74 содержится 5% карбида титана (TiC), 10% кобальта (Co) и 85% карбида вольфрама (WC) соответственно. Такие соединения в составе сплава обеспечивают большую износостойкость, в том числе и воздействие стружки на сплав в процессе механической обработки деталей и заготовок. Ещё одним преимуществом среди большинства сталей является отличная схватываемость с поверхностью, что положительно влияет на повышение скорости обработки заготовок инструментом из данного сплава, а также на жесткость и твердость сплава. Важной деталью будет то, что данный металл является продуктом порошковой металлургии. В процессе изготовления компоненты измельчают на специальных мельницах, соединяют в необходимых пропорциях и помещают в форму. Порошок подвергается прессованию при 300 МПа и температурному воздействию в 3000°C, после чего и образуется сплав.



Рисунок 2. – Резцы из сплава Т5К10

Наличие карбида титана в сплаве придает высокую прочность и устойчивость к динамическим нагрузкам. При этом влияние атмосферных газов на характеристики сплава уменьшается. Кобальт обеспечивает прочность в сплаве, но несколько снижает износостойкость. Карбид вольфрама, который является основой всего сплава, обеспечивает твердость, жаропрочность и тугоплавкость. Хотелось отметить достаточно серьезный минус в процессе производства сплава. Во время термической обработки сплава в него попадает азот, кислород и водород. Это происходит как следствие несовершенства технологии полной очистки сырья.

Сплав Т5К10 в основном используют для изготовления резцов для механической обработки деталей и заготовок из стали и других металлов.

Основные характеристики сплава Т5К10:

- Предел прочности на изгиб – 1420 МПа;
- Твёрдость по Роквеллу – 88,5;
- Удельный вес – 13000 кг/м³;
- Предельная пластическая деформация – 0,4%

1.1.3 Особенность переработки твёрдого сплава ООО «Теком»

Для наплавки на буровой инструмент компания ООО «Теком» использует карбид вольфрама (WC) с кобальтом (Co). Также вместо карбида вольфрама используется карбид титана (TiC), а кроме кобальта в качестве связующего используется никель (Ni). Наплавку применяют для сохранения ответственных частей бурового инструмента, как следствие увеличение срока службы инструмента и скорости работы в некоторых случаях.

При электролизе карбиды выпадают в виде шлама, а металлическая связка осаждается на поверхности катода. Выделение металлических W, Ti, Ta требует восстановления карбидов и вновь образованных гидроксидов и сепарации химическими методами.

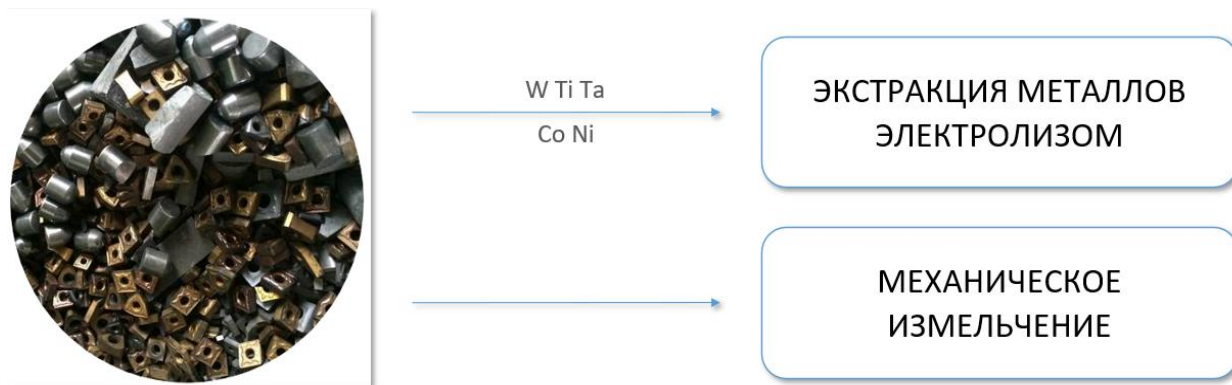


Рисунок 3. - Переработка несортированных отходов

В ООО «Теком» внедрена технология, разработанная под руководством д.т.н. Гиршова В.Л.

Механическое измельчение в два этапа (дробление и мокрый помол в шаровых мельницах) значительно дешевле, но не позволяет сепарировать шихту поэлементно. ВТС не позволяет спекать металлорежущий инструмент и изделия с самыми высокими требованиями к физико-механическим характеристикам. Но низкая себестоимость делает выгодным использование ВТС в условиях с меньшими требованиями, например: шипы противоскольжения, керны и фильеры для печей, деревообработка, добыча угля, добавка к первичному ТС и т.п.



Рисунок 4. - Этапы измельчения ВТС

На предприятии используются три ступени измельчения: щековая дробилка, конусно-инерционная дробилка (до состояния 500 мкм) и шаровые мельницы. На этапах дробления для разделения колотых частиц ТС (крупки) по фракциям используется ситовая сепарация.

1.2 Технология наплавки твёрдосплавной крупки

Одним из промежуточных продуктов механической переработки твердосплавных изделий является колотый порошок (крупка). Если внедрить данную крупку в поверхностный слой стальных деталей, подлежащих абразивному износу, срок их службы возрастет многократно.

Самый очевидный способ нанесения твердосплавной крупки на стальную поверхность – аналогичен пайке инструмента с использованием твердых припоев на медной основе. Этот метод имеет два основных недостатка: высокая стоимость нанесения на большие площади, низкие прочностные показатели медной матрицы.

ООО «Теком» реализовал аналогичную технологию, предложенную компанией «Broco Rankin» заключающуюся в том, что в сварной валик с помощью специальной головки подается твердосплавная крупка. Плотность твердого сплава примерно в два раза выше плотности стали, поэтому крупка тонет в сварной ванне, создавая надежное защитное покрытие. Технология применима для стальных деталей любой формы.

Основные параметры при наплавке: толщина проволоки, фракция крупки, скорость подачи крупки.



Рисунок 5. - Наплавка колотого ВТС

В процессе наплавки крупка, имеющая температуру окружающей среды, погружается в сварочную ванну, температура которой оценивается в промежутке $1600^{\circ} - 2000^{\circ} \text{C}$. В поверхностном слое каждой частицы до глубины 20 – 50 мкм кобальт переходит в жидкое состояние, а зерна WC переходят в стальной расплав. Химический состав ближнего слоя стали вокруг ТС частиц, согласно химическому анализу, содержит до 16% вольфрама. Химический состав и микроструктура частиц ТС в их центре соответствующую норму.

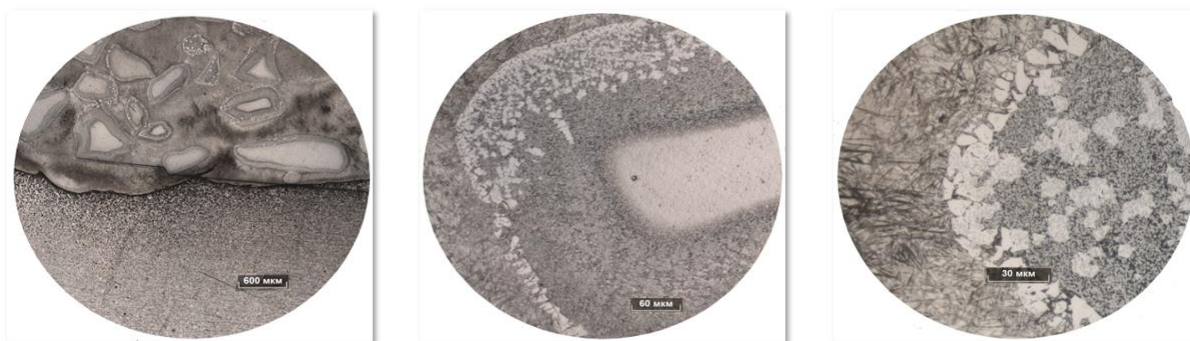


Рисунок 6. - Исследование наплавки

Компания ООО «Теком» начала применять технологию наплавки крупки для различного бурового инструмента под руководством Крузенштерна Ф.А. Перед нами стояли задачи модернизация нового бурового инструмента или отремонтировать отработанный инструмент за счёт наплавки крупки твёрдого сплава на зоны подверженные повышенному износу.

1.3 Моделирование инструмента

Моя основная задача в данном проекте заключалась в том, чтобы смоделировать той или иной буровой инструмент. Это значительно упрощало любые манипуляции с инструментом до момента самой наплавки. Можно назвать процесс моделирования подготовительным.

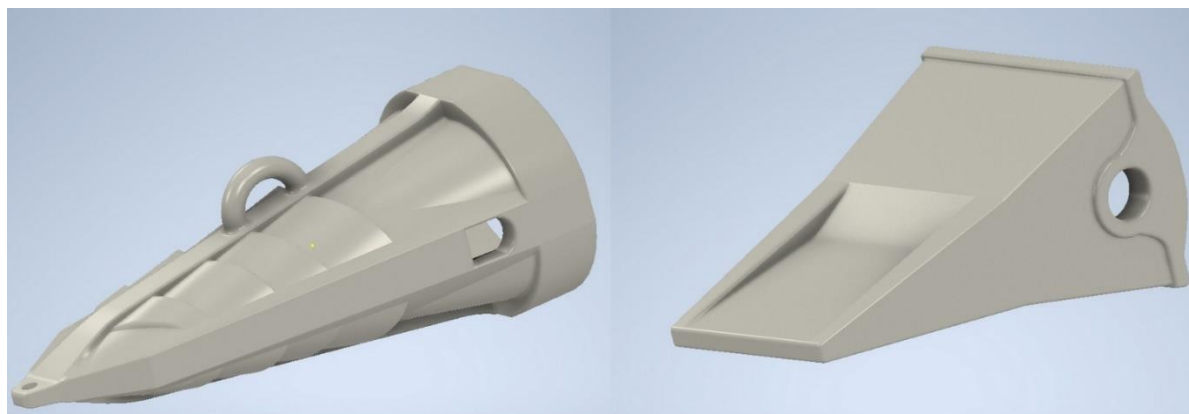


Рисунок 7. – Коронки для адаптеров ковшей экскаватора

В случае ремонта необходимо было сравнить полученную модель изношенного инструмента с новым и разработать решения по выбору зон наплавки, а также посчитать суммарную длину необходимого наплавленного шва для подсчёта стоимости ремонта инструмента на нашем предприятии.

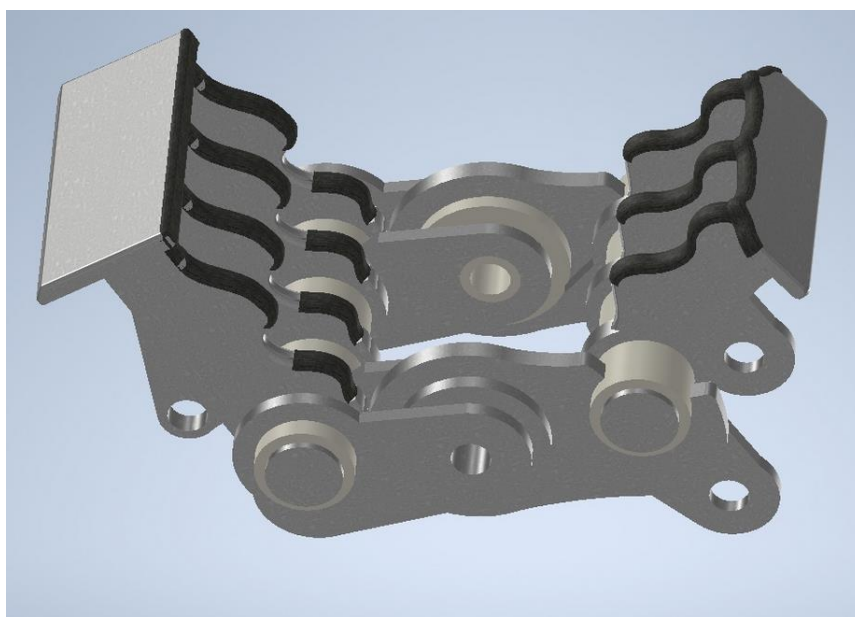


Рисунок 8. – Зоны ремонта бетонолома наплавкой из твёрдого сплава

Если поступал новый инструмент на модернизацию, то необходимо было создать её модель и варианты наплавки для визуализации и согласования работ с заказчиком. Чаще всего заказчик изначально имеет ряд требований по работе, а именно указывает зоны необходимые для укрепления по средствам наплавки твердосплавной крупки.

В действительности не всегда то, что было смоделировано в 3d является окончательной версией. Иногда всё-таки возникают сложности в процессе уже самой наплавки, которые сложно было предусмотреть заранее. Поэтому вносятся коррективы уже в самом процессе.

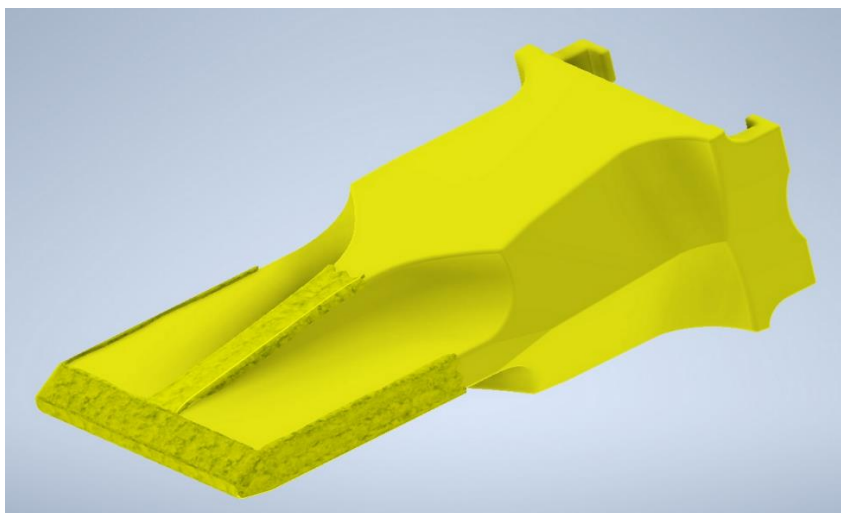


Рисунок 9. – Зоны наплавки крупки на новую коронку экскаватора с покраской

Иногда изменения являются такими незначительными, что последующие коррективы вносить и в модель просто не имеет смысла. Например, цвет, по желанию заказчика в конце может поменяться.



Рисунок 10. – Коронка экскаватора с наплавкой

Согласно серии проведенных опытов на истирание, износостойкость наплавки более чем в 10 раз превышает износостойкость специальных легированных сталей.

Глава 2. Испытание буровых коронок с наплавкой

Осенью на участке «Пятилетка», правая терраса р. Оратукан, Магаданская обл., проводились сравнительные испытания буровых коронок. Коронка, с профилеобразующей наплавкой ООО «Теком», показала наилучшую суммарную глубину бурения, на 20% лучше коронки, занявшей 2-е место. По результатам испытаний начаты поставки бурового инструмента: коронки, переходники, расширители.



Рисунок 11. - Установка «Соник» в Магаданской области

2.1 Использование в буровых установках технологии «Соник»

2.1.1 Установка «LargeRotoSonic»

Тестовые испытания бурового инструмента проводились на объектах компании ООО «Статус» Магаданской области, которая использует при производстве буровых работ технологию «Соник». Производителем буровой установки «Соник», а точнее «LargeRotoSonic» является нидерландская фирма «SonicSampDrill».



Рисунок 12. - Буровая установка в процессе смены дислокации

«SonicSampDrill» является дочерней фирмой компании «Royal Eijkelkamp Earth Sampling Group», поставляет высокоэффективную продукцию, а также услуги для реализации поставленных задач по бурению, которые отличаются легкостью планировки и стабильной работой. Рост фирмы реализовывается при помощи высокого качества обслуживания оборудования после продажи и широким розничным ассортиментом. Стоит остановиться и рассказать немного о данной буровой установке.



Рисунок 13. - Проведение ТО с главного пульта управления

2.1.2 Задачи «LargeRotoSonic»

LargeRotoSonic специально разработана для решения самых сложных проектов в области бурения, отбора проб и строительства. Установка имеет применение в поиске и разведке месторождений, геологических изысканиях, геотехническом бурении и испытаниях, сейсморазведке, бурении под фундаменты (строительное бурение) и других пользовательских решениях. Когда необходима большая мощность для создания вибрации, то данная установка является самой мощной из всех линейки фирмы «SonicSampDrill». Установка может достичь до 300 метров, при использовании крупных бурильных труб, и поможет получить высококачественные образцы большего диаметра с большей скоростью бурения в день чем другие бурильные установки.

2.1.3 Техническое оснащение

«LargeRotoSonic» поддерживает колонковые и осадочные трубы диаметром до 350 мм с одновременной вибрацией и вращением. Для этого используется полная сила Sonic, позволяющая достичь большей глубины. Эта установка является самой современной технологией и предназначена для работы в самых сложных условиях проекта в мире. Также установка обладает такими функциями безопасности, как полностью автоматизированный манипулятор стержня или корпуса и тройной плавающий зажим.

Буровая головка «LargeSonic» работает при частоте 0-150Гц и максимальной скоростью вращения в 140 об/мин. Также имеет функции бурового наклона 80° и 10° от вертикали и бокового смещения до 90°. Буровая мачта способна использовать трубы длиной до 3000 мм. Усилие подачи труб вверх и вниз 100 кН и 68 кН соответственно, при этом скорость подачи труб может достигать 30 м/мин. Момент развинчивания до 38 кНм.

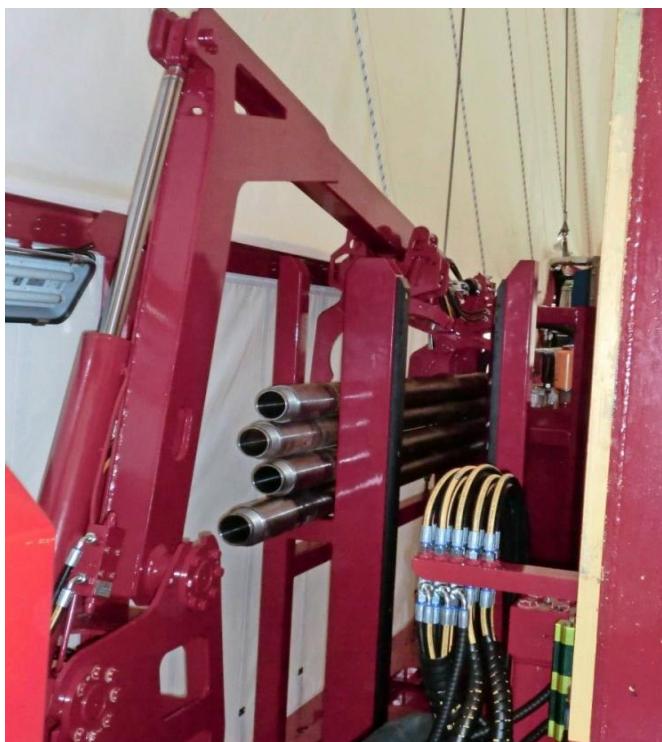


Рисунок 14. - Манипулятор автоматической подачи труб

Опции входящие в конструкцию буровой установки направлены на комфортную работу в различных погодных условиях. Например, система внутреннего и внешнего освещения, система кранового подъема лотка керна, жесткая раскладная крыша с неподвижными секциями и подвижный тент для работы при температуре – 60 С°, крыша может опускаться для обеспечения вентиляции или для работы в нормальных условиях, специальная автоматизированная система подачи труб, как осадочных, так и буровых. Это обеспечивает манипулятор с гидравлическим приводом, который имеет клещи со стопорными клапанами, для жесткого и безопасного зажима труб.

2.2 Технология бурения «Соник»

В процессе вибрационного бурения используются заостренные наконечники, которые соединяются через трубы с вибратором. Эта технология используется для бурения различных рыхлых и глинистых пород, таких как

песок, гравий, глина, супеси, суглинок и т. д. Такие породы имеют осадочное происхождение - морские, лагуны и континентальные с небольшой и чрезвычайно малой степенью литификации (процесс преобразования рыхлой породы в твердую). Движение колодца происходит с небольшим разрушением породы. Это связано с декомпрессией в результате уменьшения сил трения из-за слабой связи между частицами породы.

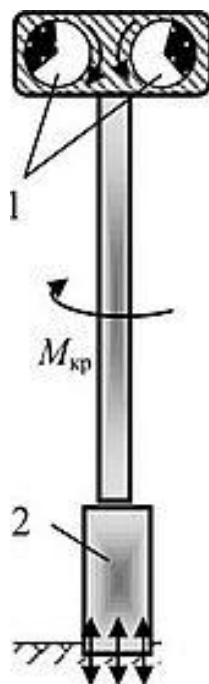


Рисунок 15. - Схема вибрационного бурения

Бурение основано на ударном бурении и высокочастотных вибрациях, что позволяет проходить очень твердые породам и позволяет повысить производительность в 1,5-2 раза по сравнению с традиционными типами бурения. Система «Соник» основана на двух эксцентриках (1), которые приводятся в движение двумя высокоскоростными (12 000 мин⁻¹) гидравлическими двигателями. Эти гидравлические двигатели генерируют высокочастотные (до 150 Гц) вибрации, которые непосредственно передаются на бурильный башмак (2) и вызывают активное размягчение и разрушение породы.

2.3 Анализ результатов испытаний

За 6 дней испытаний было пробурено 560 п. метров (для сравнения за аналогичный период работ в сентябре месяце, этим же станком было пробурено -398 п.м., в августе –605 п.м., в июле 380 п.м.). В период наблюдений производительность бурения составила 93,3 п.м. в сутки или 46,6 п.м. в смену. Общие затраты времени на бурение одной скважины выходили около 1 часа 43 минут. Время чистого бурения скважины глубиной 13,9 метра составляло в среднем 30 минут, (29% от общего времени). Средняя механическая скорость бурения отдельных скважин на разведочных линиях NoNo 272 и 275 достигала 47 см /мин. В работе была использована коронка серии Нева-4801 NoNo 80036 (с наплавленными наружными секторами). Участок работ находился на правой террасе р. Оротукан



Рисунок 16. - Коронка №80036 с наплавленными наружными секторами

Коронка №80036 была по наружному диаметру вооружена наплавленными секторами с твердосплавной крошкой. Данная наплавка позволила показать максимально лучший результат из всех тестируемых вариантов и её общий ресурс составил 465,6 п.м. С 17 января 2018 года по

настоящее время, средний ресурс коронок, применяемых ООО «Статус» составляет 249,0п.м. (без учета ресурса коронок б/у).



Рисунок 17. - Износ коронки №80036 во время испытаний

Тестируемая модель коронок, состоящая из восьми секторов и армированная 40 ТСВ, при всех своих достоинствах обладает заметными недостатками:

- Шлам, формируемый под торцом коронки, выталкивается к стенке скважины расположенными в ряд тремя центральными ТСВ (указано черным карандашом);
- Смещенный к стенке скважины шлам, затем собирается снова при помощи наружных косых каналов внутрь коронки, получается двойная работа (снижение эффективности бурения) и ускоренный износ наружного диаметра корпуса;
- Снижение механической скорости (по сравнению с моделями 2015 года) очевидно связано с излишним измельчением шлама, увеличенным количеством пилотных ТСВ (если коронка всего на одну минуту прекращает углубку, забой получает за это время около 360000 ударов = 150уд/сек. X 60 сек. X 40 ТСВ). Такое количество энергии должно пробивать любое препятствие. Значит ТСВ коронки, из-за

сформировавшейся в призабойной части коронки шламовой подушки, не достают до целика породы, а просто дополнительно переизмельчают шлам;

- Работа наплавленных секторов очевидно дает эффект, а сама наплавка не меняет жесткость и устойчивость конструкции, следовательно стоит закрепить данное решение и расширить его применение в следующих моделях (дополнительные зоны обработки наплавкой-красный карандаш);
- Данный способ армирования нагруженных участков инструмента можно распространить на усиление верхних переходников, на хранители колонковых, на башмаки обсадных труб и т.д.

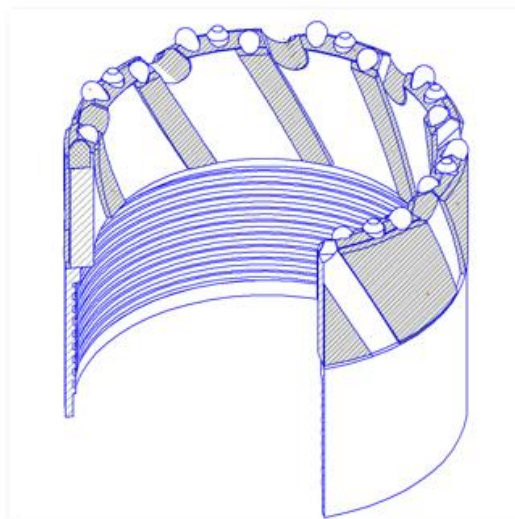


Рисунок 18. – Наплавка рёбер коронки

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная работа наглядно показывает, как можно улучшить буровой инструмент благодаря наплавке крупки твёрдого сплава. В целом отмечен положительный результат в виде повышения производительности. Так как это тестовый образец, то он определенно требует доработок для повышения положительных и уменьшения отрицательных характеристик. Следует более тщательно рассчитывать, выбирать и проектировать зоны, нуждающиеся в укреплении.

Важно отметить, что наплавка не ухудшает свойства базовой конструкции инструмента и сохраняет его жёсткость и устойчивость. Это очень важно, т.к. ухудшения базовых свойств может нарушить целостность конструкции. Как итог проделанные манипуляции по улучшению оборудования будут напрасны, так как могут привести к разрушению инструмента.

Благодаря проведенному исследованию, технологию наплавки твёрдосплавной крупки на инструмент подобного типа можно отнести к перспективному направлению развития различных предприятий и, особенно, предприятия ООО «Теком». Хочу ещё раз поблагодарить компанию ООО «Теком» и, в частности, руководителя проекта износостойких покрытий и композитных материалов Ф.А. Крузенштерна за предоставленную возможность участвовать в разработке данной технологии. Также хочу поблагодарить Золотова А.М. за помощь и поддержку при работе с данным исследованием.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Р. Киффер, Ф. Бенезовский Твёрдые сплавы – Издательство: Металлургия, 1971.
2. Абубакиров В.Ф., Архангельский В.А., Буримов Ю.Г., Малкин И.Б.: Буровое оборудование. Справочник в 2-х томах, 2000.
4. Трусов А.А. Твердосплавной инструмент. Справочник – Издательство: М.: Машиностроение, 1966.
5. С. Самойлов, Э. Ф. Эйхманс, В. А. Фальковский и др.;
Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент: Справочник/В.
Редкол, 1988. — 368 с
6. Мавлютов М. Р. и др. Технология бурения глубоких скважин. Учебное пособие для вузов - М.: Недра, 1982. - 287 с.