

УДК 522: 622. 24: 669. 018. 25

**Ю. П. Линенко-Мельников**, канд. техн. наук, **И. Ю. Агеева**, канд. физ.-мат. наук

*Институт сверхтвёрдых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев*

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТА С УЧЁТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ БУРЕНИЯ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ**

*In the article the special features of the main methods of slits and boreholes drilling in the mountain rocks of different strengths with the hard-alloy and artificial diamond instrument are shown.*

*The process of instrument wearing out during rotary drilling with strokes is examined, as well as the cases of implementing of hard-alloys elements with supporting of implementing of hard-alloys elements with supporting of their self-rotating.*

*The advantages and disadvantages of each of above – mentioned methods of drilling are shown as well as the ways of the further improvement for each method.*

Известны четыре способа бурения: вращательное, вращательно-ударное, ударно-поворотное или перфораторное, и ударно-вращательное с использованием погружных пневмоударников. Рассмотрим эти способы подробнее.

Вращательное бурение осуществляют при большом усилии подачи и крутящем моменте. Разрушение пород с коэффициентом крепости до  $f=8$  осуществляется методом резания, что способствует интенсивному износу инструмента по задней грани. Для сохранения заданного режима резания необходимо по мере износа инструмента увеличивать усилие подачи и крутящий момент. Буровое оборудование становится громоздким, что ограничивает область применения этого способа бурения.

При резании после скола породы под углом 30–45° к направлению движения резец стремиться подняться по наклонной плоскости. Усилие подачи удерживает его на заданном уровне, происходит дробление мелких частиц породы, увеличивается высота контакта по передней грани резца, образуется ядро мелкодисперсной спрессованной породы, напряжения в котором распространяется в разные стороны, происходит крупный скол, после чего всё повторяется [1]. При затуплении режущей кромки резца и её скруглении, переходящей в обратный конус, частицы мелкодисперсной породы частично «затягиваются» под заднюю грань резца и дополнительно прессуются в виде тонких чешуек. В процессе резания с глубиной более 5 мм при значительном усилии подачи и температуры в зоне контакта на поверхности спрессованных чешуек появляется тёмный след от «намазанного» твёрдого сплава. При дроблении абразивных частиц породы под задней гранью резца её острые кромки вымывают кобальт между зёрнами карбида вольфрама и последние отделяются от твёрдого сплава. Этот интенсивный процесс износа протекает непрерывно. Передняя грань резца не на всю глубину резания контактирует с породой, а лишь частично в зависимости от её свойств, режимов резания и конструкции резца. Перед передней гранью происходит дробление породы с образованием ядра, но нет её продольного перемещения, поэтому износ этой грани незначительный. Приведенные данные свидетельствуют о том, что основным фактором, ограничивающим область применения вращательного бурения, является низкая износостойкость бурового инструмента.

Для повышения стойкости инструмента при вращательном бурении, то есть при резании, исследования проводились в трёх направлениях: создание инструмента для обеспечения силового резания, при котором существенно уменьшается длина пути резания на единицу длины шпура, исследование формы и геометрии рабочей части инструмента на величину поверхности износа по задней грани; и применение алмазно-твёрдосплавных элементов, износостойкость которых в десятки раз выше по сравнению с твёрдосплавными.

Разработка и создание резцов для крупного скола [2] позволило расширить их область применения до пород с коэффициентом крепости до  $f=12$ . Данный эффект был развит при создании резцов типа Д-2СУ, Д-4С, РПХ-2 и РПХ-3, где призматические твёрдосплавные вставки попарно устанавливались с передним отрицательным углом  $15-30^\circ$  и задним углом  $20^\circ$ . Такое конструктивное решение обеспечивает высокую прочность твёрдосплавных вставок и позволяет снизить интенсивность роста площадок затупления по задней грани инструмента. Однако коронки требовали приложения больших усилий и крутящего момента, что привело к созданию громоздкого оборудования, поэтому эти резцы дальнейшего развития не получили.

Результаты экспериментальных исследований износостойкости режущего инструмента показали, что величина износа твёрдого сплава в направлении перпендикулярном поверхности резания пропорциональна длине пути трения и не зависит от влияния величины затупления инструмента. Следовательно, рост площадки  $F$  затупления резца пропорционален износу и при всех прочих равных условиях интенсивность изменения зависимости  $F=f(\Delta_1)$  будет зависеть от формы, угловых и линейных параметров рабочей части инструмента. На основании данного положения были проведены аналитические исследования шести типов наиболее распространённых резцов с различной формой рабочей части (рис. 1) [3]. Здесь же под каждым конструктивным вариантом инструмента дано выражение для подсчёта величины его площадки затупления, что позволяет исследовать каждый параметр, входящий в формулы.

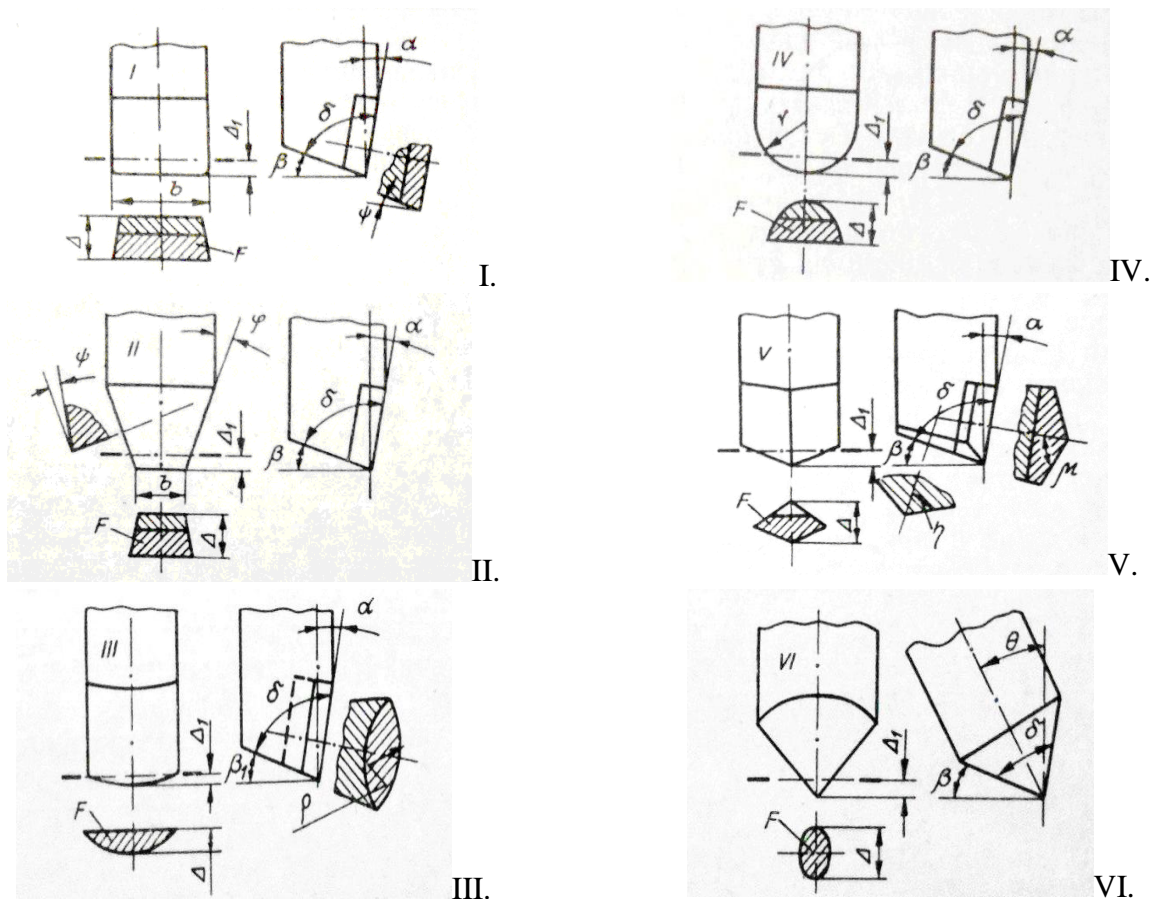


Рис 1. Схемы формы рабочей части основных типов резцов ( I – VI )

Выражение для определения величины поверхности износа  $F$  по задней грани резцов I– VI приведены ниже.

$$F_1 = [b - \Delta_1(\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta) \operatorname{tg} \psi] \times \Delta_1(\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta) \quad \text{I}$$

$$F_2 = \Delta_1(\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta) [b + 2\Delta_1 \operatorname{tg} \varphi - \Delta_1(\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta) \operatorname{tg} \psi \cos \varphi] \quad \text{II}$$

$$F_3 = \frac{\rho^2}{\cos \alpha} \arccos \left[ 1 - \frac{\Delta_1 (tg \alpha + ctg \beta) \cos \alpha}{\rho} \right] - \left[ \frac{\rho}{\cos \alpha} - \Delta_1 (tg \alpha + ctg \beta) \right] \times \sqrt{2\rho\Delta_1 (tg \alpha + ctg \beta) - \Delta_1^2 (tg \alpha + ctg \beta)^2} \quad \text{III}$$

$$F_4 = 2(tg \alpha + ctg \beta) \times \left[ \frac{r^2}{2} \left( \arcsin \frac{\Delta_1 r}{r} + \frac{1}{2} \sin 2 \arcsin \frac{\Delta_1 - r}{r} + \frac{1}{2} \pi \right) \right] \quad \text{IV}$$

$$F_5 = \frac{\Delta_1^2 (tg \alpha + ctg \beta)^2 tg \mu tg \eta}{\sin \beta tg \mu + \cos \alpha tg \eta} \quad \text{V}$$

$$F_6 = \pi \frac{\Delta_1}{2} \left[ tg \left( \frac{\delta}{2} + \Theta \right) + tg \left( \frac{\delta}{2} - \Theta \right) \right] \sqrt{tg^2 \frac{\delta}{2} \left\{ \frac{\Delta_1}{\cos \Theta} + \frac{\Delta_1}{2} \sin \Theta \left[ tg \left( \frac{\delta}{2} + \Theta \right) - tg \left( \frac{\delta}{2} - \Theta \right) - 2tg \Theta \right] \right\}^2 - \cos^2 \Theta} \times \frac{\Delta_1^2}{4} \left[ tg \left( \frac{\delta}{2} + \Theta \right) - tg \left( \frac{\delta}{2} - \Theta \right) - 2tg \Theta \right] \quad \text{VI}$$

При расчёте зависимостей  $F=f(\Delta_1)$ , приведенных на рис. 2, геометрические параметры рабочей части резцов каждого вида были взяты равными, а линейные подобраны так, чтобы обеспечивать наибольшее соответствие друг другу. Из приведенных зависимостей видно что наиболее эффективными являются резцы с рабочей частью типа IV–VI, у которых интенсивность роста площадок износа значительно меньше, чем у первых трёх типов I–III. Схема резца с формой рабочей части типа V показана на рис. 3 [4]. К сожалению, весьма перспективные клиновидные формы рабочей части твёрдосплавного инструмента не были использованы на буровых коронках.

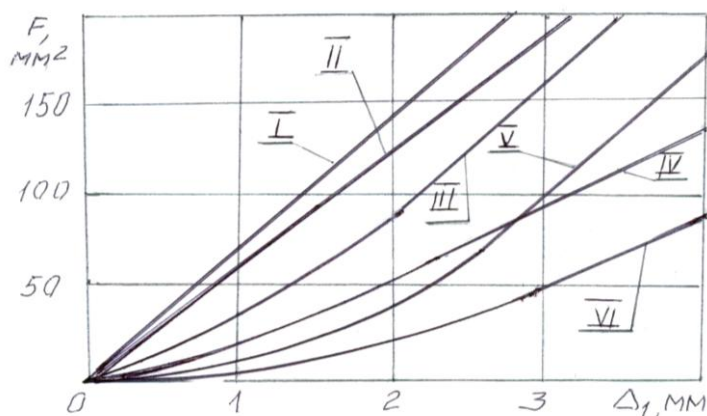


Рис. 2. Зависимости изменения площадок затупления  $F$  резца от линейного износа в направлении перпендикулярном поверхности резания для шести типов резцов (рис. 1) с различной формой рабочей части

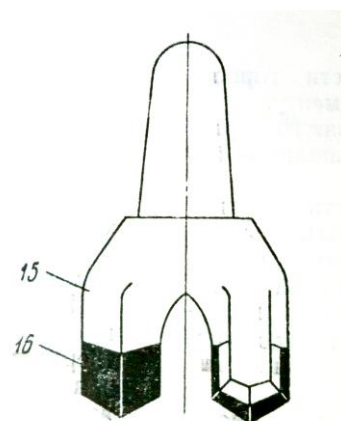


Рис. 3. Схема резца для вращательного бурения с клиновидной рабочей частью [4]

Разработанные и созданные в 70 и 80 годы прошлого столетия алмазно-твёрдосплавные элементы (АТЭ) под названием стротопакс за рубежом и алмазно-твёрдосплавные пластины (АТП) в Институте сверхтвёрдых материалов (ИСМ) [5,6], и на их основе созданный горный инструмент (рис. 4 и 5).

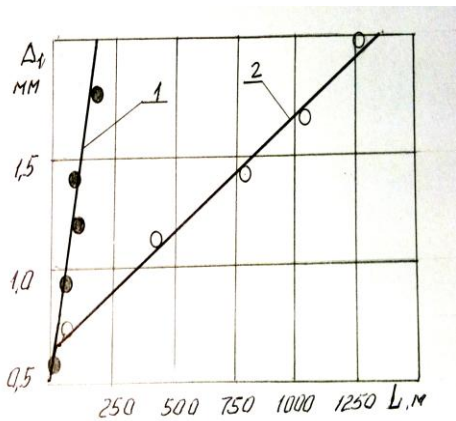


Рис.4. Зависимости линейного износа на задней грани резца от длины пути резания: 1 – твёрдосплавный резец, 2 – экспериментальный резец при толщине алмазного слоя 1 мм

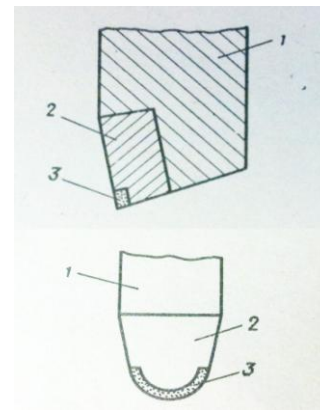


Рис.5. Схема резца для горных пород с алмазной режущей кромкой [6]

Это позволило существенно повысить эффективность вращательного бурения благодаря высокой износостойкости (АТП) цилиндрической формы. При этом усилие подачи и крутящий момент, были уменьшены, появилась возможность вести бурение на больших скоростях резания и с большей глубиной резания без частой замены инструмента. Вместо тяжелых буровых машин использовались более лёгкие. По мере эксплуатации коронок с АТП совершенствовалась его конструкция (рис. 6) [7], а также резцы типов РШ-140, РШ-152, РШ-153, и сами АТП путём увеличения толщины алмазного слоя, его геометрии и обработки [8].

Несмотря на полученные положительные результаты, при бурении коронками с АТП возможно их дальнейшее существенное улучшение при использовании разработанной нами конструкции коронки, в которой вместо неподвижных резцов с АТП установлены в корпусе коронки резцы с вращающейся режущей кромкой, оснащённые алмазно-твёрдосплавными шайбами (АТШ), у которых не вся поверхность передней грани покрыта алмазным слоем, а лишь кольцо по периферии шайбы (рис. 7) [9].

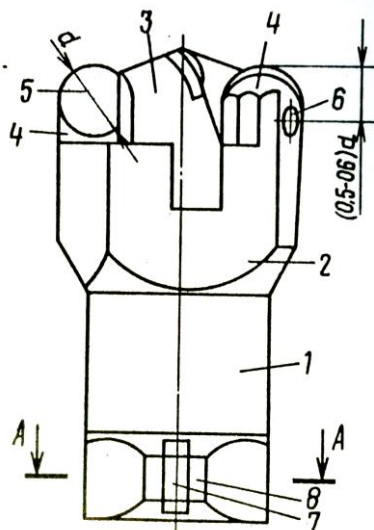


Рис.6. Схема долота для вращательного бурения с алмазно-твёрдосплавными элементами [7]

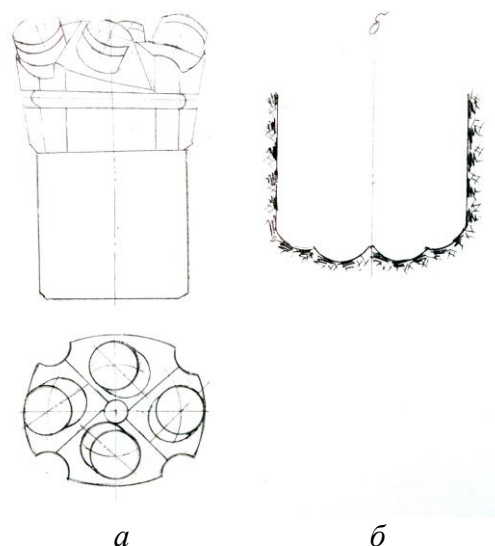


Рис.7. Схема буровой коронки с вращающимися резцами, оснащёнными АТП (а) и схема забоя в радиальном сечении (б)

В этом случае благодаря самовращению таких резцов их износостойкость многократно возрастёт, а количество расходуемых алмазов уменьшится, что значительно удешевит инструмент.

Такое конструктивное решение позволяет уменьшить поверхность контакта коронки с породой, что увеличит напряжение в зоне резания и повысит скорость бурения. Таким образом, применение в коронках АТП и АТШ позволяет повысить эффективность вращательного бурения.

Результаты исследований [10–13] показали, что при механическом разрушении горных пород, как при резании, так и при ударном воздействии происходит не только отделение определённого объёма породы от забоя, которое имеет дискретный характер, но и создаётся область, в зоне контакта инструмента с породой с разупрочнённым слоем, разрушенным микротрещинами. Академик И.А.Ребиндер назвал этот слой зоной предразрушения [14], а М.И. Койфман – зоной законтрактного разрушения [15]. Наличие зародышевых трещин приводит к тому, что после приложения нагрузки они сразу начинают развиваться и в зависимости от степени структурного ослабления прочность горной породы может снижаться в десятки и сотни раз, что существенно облегчает процесс бурения.

Интересные исследования влияния зоны предразрушения на процесс бурения были проведены Г. В. Арцимовичем [16], который показал, что глубина зон предразрушения зависит от характера воздействия инструмента на массив. Вращательное бурение без нанесения ударов по породе протекает с малыми скоростями проходки за оборот при высоком уровне крутящего момента. При переходе к вращательно-ударному бурению резко в 5 раз увеличивается проходка на оборот при некотором росте (в 1,5–2,0 раза) крутящего момента. Энергоемкость процесса разрушения снижается примерно вдвое, а увеличение осевой статической нагрузки в 2,5 раза незначительно влияет на энергетические показатели, как вращательно-ударного, так и вращательного способов бурения. Это обусловлено тем, что при бурении с наложением ударной нагрузки инструмент в процессе отделения породы от массива всё время движется по предразрушенному слою, снимая его и одновременно заново восстанавливая.

По данным работы [17] для ударного бурения энергии на отделение породы от массива и процесса формирования зоны предразрушения затрачивается примерно в равных долях и в сумме не превышают 10–20 % от количества энергии вводимой в массив. Остальные более 80 % энергии рассеиваются в породе в основном на образование микротрещин в стенках шпура, которые не используются.

Несмотря на то, что вращательно-ударное бурение позволило расширить область его применения и повысить скорость бурения из-за непрерывного трения коронок о породу, его износ остался примерно таким же, как и при вращательном бурении, в связи с чем, это направление нельзя считать перспективным.

Для дальнейшего расширения области применения буровых работ по породам с коэффициентом крепости до  $f = 20$  в середине XIX века был изобретён ударный механизм (перфоратор), что существенно повысило эффективность бурения. При этом были существенно уменьшены крутящий момент и усилие подачи. Последнее было необходимо, чтобы обеспечить прижатие инструмента к породе в момент прохождения ударной волны для её полного использования. В дальнейшем после снятия ударной нагрузки сжатия система ударник-штанга-коронка-порода разгружалась и инструмент на определённую величину «отскакивал» от породы (особенно с упругими свойствами) и в этот момент коронка поворачивалась вокруг своей оси при возвратном движении ударника перфоратора под воздействием геликоидального скоса на хвостовике поршня.

Для бурения шпуров и скважин большого диаметра (60–300 мм) и на большую глубину были созданы погружные пневмоударники, которые подаются в скважину вместе с инструментом; при этом поршень ударяет непосредственно по хвостовику коронки. Вращение инструмента осуществляется непрерывно от отдельного привода. Преимущества этой системы заключается в том, что частоту вращения коронки можно изменять, подбирая её оптимальное значение, при котором расстояние между смежными ударами твёрдосплавных вставок, расположенных на одной окружности, обеспечивает наибольшую эффективность бурения для данных условий, режима бурения и конструкции инструмента

Во всех перечисленных видах бурения осуществляется разрушение пород не той крепости, которая определена маркшейдерами согласно геологическим картам, так как нарушена в большей или меньшей степени, как было показано выше, трещинами предразрушения, глубина которых достигает 20 – 30мм. Поэтому прочностные свойства разрушаемой породы значительно ослаблены, и фактическое их состояние можно определять по методике, изложенной в работах [18, 19] без раздавливания различных образцов, а непосредственно при бурении по состоянию амортизированных коронок.

Рассмотрим износ бурового инструмента при вращательном бурении и при бурении с наложением ударной нагрузки. Свойства породы, выраженные в её способности изнашивать контактирующий с ней инструмент, оцениваются через показатель абразивности  $a$  [20]. Он, как было показано выше, в наибольшей степени соответствует режущему инструменту – коронкам для вращательного бурения, износ которых происходит при трении его задней грани о породу.

При соударении коронки с породой рабочие поверхности твёрдосплавных вставок после упругой деформаций сжимают и дробят породу в зоне контакта, образуя уплотнённое ядро. В момент дробления острые кромки кристаллов породы срезают прослойки кобальта между зёрнами карбида вольфрама, которые в дальнейшем срываются с поверхности твёрдого сплава. Этот слой породы, находящийся в контакте с твёрдосплавными вставками не меняется при различной глубине их внедрения в породу. Поэтому износ инструмента при ударном бурении значительно меньше, чем при резании. Несмотря на то, что этот механизм износа имеет другой характер, для его оценки пользуются указанным показателем в связи с отсутствием другого.

Тем не менее, при вращении перфораторных коронок окружное перемещение твёрдосплавных вставок относительно породы имеет место. Под действием усилия подачи после прохождения ударной волны коронка «отходит» от забоя, однако образовавшийся зазор невелик, и твёрдосплавные вставки касаются выступающих участков частично разрушенной породы, срезая их, что вызывает дополнительный износ инструмента. Особенно интенсивно изнашиваются периферийные вставки, которые трутся о боковые стенки шпура непрерывно, что приводит к образованию на корпусе обратного конуса, и, в дальнейшем, заклиниванию инструмента в шпуре. Наглядным примером сказанному может служить характер износа долотчатой коронки, у которой максимальная ширина износа на периферии, а по центру его практически нет. То-есть по мере уменьшения поверхности разрушаемой породы и расстояния между смежными ударами снижается величина износа инструмента. При небольшом усилии подачи увеличивается амплитуда ударной системы, и наблюдаются холостые перемещения инструмента. Особенно это ощутимо при бурении крепких и упругих пород, таких как кварциты, жеспициты, скарны и др.

С увеличением усилия подачи и снижением частоты вращения инструмента уменьшается расстояние между смежными ударами твёрдосплавных вставок по окружности разрушения, увеличиваются количество и глубина трещин предразрушения. Прочность горной породы снижается и повышается возможность срезания и скалывания выступающих участков породы на забое при вращении коронки [21].

Буровой инструмент ударного действия в своём развитии прошёл три основных этапа: замену стального инструмента на твёрдосплавный, переход от лезвийных буровых коронок к штыревым, и создание конструкции инструмента, который обеспечивает разрушение породы не под действием напряжений сжатия и изгиба, а под действием напряжений сдвига (скола) и изгиба. В настоящее время развиваются конструкции коронок ударного действия, находящиеся на третьем этапе. Наглядным примером является использование в наиболее сложной угловой зоне шпура твёрдосплавных вставок с плоскими торцами вместо сферических или баллистических [22]. Это способствует существенному повышению стойкости инструмента и снижению энергоёмкости бурения.

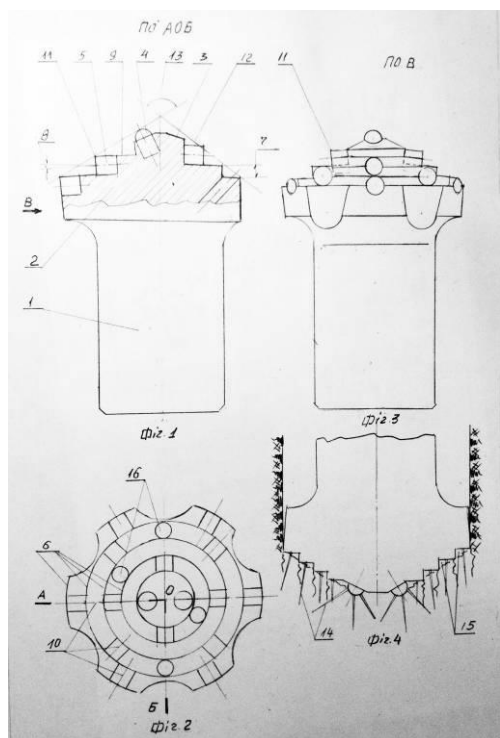


Рис. 8. Схема конструкции перфораторной буровой коронки, обеспечивающей разрушение породы по всему забою методом скалывания (фиг. 1–3), схема разрушения забоя в радиальном сечении (фиг. 4)

элементов в коронках для вращательного бурения позволяет существенно повысить стойкость инструмента, однако ещё более перспективны коронки, оснащённые самовращающимися резцами с алмазно-твёрдосплавными шайбами, как по стойкости, так и по себестоимости.

3. Большие, далеко не используемые возможности, имеет перфораторное бурение как в области совершенствования бурового инструмента, так и в области развития буровых установок.

4. Совершенствование технологии изготовления твёрдых сплавов для горного инструмента с использованием компрессионных печей с компьютерным управлением позволило существенно повысить их качество и заменить пневматические перфораторы, у которых давление сжатого воздуха не всегда соответствует 5 атм., вследствие потерь в воздушной магистрали, на гидроперфораторы давление в которых на порядок выше. При этом создание и использование системы с автоматическим выбором частоты вращения коронок для обеспечения оптимального расстояния между смежными ударами штырей по забою увеличивает скорость бурения и снижает расход инструмента.

5. Освоение в производстве и использование буровых коронок, которые по всему забою позволяют осуществлять разрушение породы в режиме сдвига вместо сжатия, является перспективным направлением, совершенствования бурового инструмента ударного действия.

### Литература

1. Гетопанов В. И. Некоторые закономерности процесса разрушения горных пород резцовым инструментом / Науч. тр., МГИ. – 1959. – № 21. – С. 77–107.
2. Смирнов Ю. Н. Результаты испытаний резцов крупного скола для вращательного бурения // Взрывное дело. – 1964. – № 56/13 – С. 180–183.
3. Линенко Ю. П. Аналитические исследования износостойкости горнорезущего инструмента // Физико-техн. пробл. разработки полезных ископаемых. – 1972. – № 2. – С. 56–61.

Дальнейшее развитие этого направления позволило создать коронку, которая обеспечивала эффективное разрушение породы не только в угловой зоне, но и по всему забою. Конструкция такой коронки показана на рис. 8 [23]. Ступенчатое расположение её твёрдосплавных вставок обеспечивает разрушение 90 % породы с преобладанием напряжений сдвига, что существенно повышает эффективность бурения.

Создание штыревых коронок вместо вийных позволяет в широком диапазоне изменять количество твёрдосплавных вставок на инструменте и тем самым регулировать удельную энергию удара в зависимости от мощности ударного механизма и свойств горной породы.

### Выводы

1. Создание алмазно-твёрдосплавных элементов и их применение в коронках позволило расширить область применения тельного бурения и упростить привод благодаря снижению усилия подачи и крутящего момента, что эффективнее и экономичнее по сравнению с вращательно-ударным бурением, в связи с чем последнее применяется всё реже.

2. Применение алмазно-твёрдосплавных

4. А. с. № 381753 СССР. МКИ Е21с 13/02. Буровой резец / Ю. П. Линенко-Мельников. – Оpubл. 22.05.73. – Бюл. № 29.
5. Линенко Ю. П. Износостойкий горнорезущий инструмент, оснащённый алмазами // Синтетические сверхтвёрдые материалы и твёрдые сплавы : Сб. науч. тр. – К: Изд-во ИСМ АН УССР. – 1973. – С. 158–164.
6. А. с. № 281349 СССР МПК Е 21с 25/38, Е 21с 35/18. Резец для горных пород / Л. И. Барон, В. С. Вобликов, Г. Г. Карюк, Ю. П. Линенко-Мельников. – Оpubл. 14.09.79. – Бюл. – № 29.
7. А. с. 1678106 СССР МКИ Е21В 10 /42. Долото для вращательного бурения / Б. А. Олейников и др.
8. Свешников И. А., Стасюк Л. Ф., Заболотный С. Д., Смекаленков С. В. Оценка износостойкости новых модификаций алмазно – твёрдосплавных пластин. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. Сб. науч. тр. –К, : Изд-во ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2009. – С. 93–98.
9. Пат. по заяв. № а 2010 02670 от 10.03. 10. Бурова коронка з обертальними різцями, Ю. П. Линенко-Мельников та ін.
10. Остроушко И. А. Разрушение горных пород при бурении. – М.: Госгортехиздат. – 1952. – 254 с.
11. Эйгелес Р. М. О методе изучения свойств горных пород при динамическом воздействии на них // Механические свойства горных пород. – М.: Изд -во ИГД АН СССР. – 1959. –С. 315–319.
12. Царицын В. В. Бурение горных пород. – К.: Госгортехиздат УССР, 1959. – 312 с.
13. Павлова Н. Н., Шрейнер Л. А. Разрушение горных пород при динамическом нагружении. – М.: Недра. – 1964. – 160 с.
14. Ребиндер П. А., Шрейнер Л. А., Жигач К. Ф. Показатели твёрдости в бурении // Изд – во АН СССР. –1944. – 230 с.
15. Койфман М. И. Обобщение некоторых закономерностей разрушения горных пород при вращательном, ударном и вращательно- ударном бурении // Вопросы горного дела. – М.: Углетехиздат. – 1958. –С. 111–132.
16. Арцимович Г. В., Поладко Е.П., Свешников И.А. Исследование и разработка породоразрушающего инструмента для бурения. – Новосибирск: Недра. – 1978. –184 с.
17. Иванов К. И., Варич К. С., Дусев В. И., Андреев В. Д. Техника бурения при разработке полезных ископаемых. – М.: Недра, 1974. – 408 с.
18. Линенко-Мельников Ю. П. Оценка свойств горных пород при перфораторном бурении // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К: Изд - во ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2003. – Вып. 6. –С. 315–319.
19. Линенко - Мельников Ю. П. Оценка свойств горных пород при перфораторном бурении и эффективности работы коронок по состоянию твёрдосплавного вооружения после амортизации инструмента // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр – К: Изд – во ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2009.–Вып. 12. – С. 31–36.
20. Барон Л. И., Кузнецов А. В. Методика испытания горных пород на абразивность / ИГД АН СССР. – М., 1960. – 87 с.
21. Латышев В. А., Пашков А. Д. О механизме разрушения горных пород при ударно - вращательном бурении // Взрывное дело – 1964. – № 56/13. – С. 12–18.
22. Линенко-Мельников Ю. П. К вопросу о механизме разрушения горных пород в шпуре применительно к штыревым коронкам // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. - К.: Изд-во ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2003. – Вып. 6. – С. 273–279.
23. Пат. по заяв. № а 2009 03709 от 15.04.09. Перфораторная буровая коронка режущего действия./ Ю. П. Линенко-Мельников и др.

*Поступила 10.06.10*