

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ БУРОВОГО
ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ВРАЩАТЕЛЬНО-УДАРНОГО
БУРЕНИЯ ШПУРОВ**

Я. А. Серов

Исследование режимов вращательно-ударного способа бурения шпуров производилось нами [1] при различных типах съемных буровых коронок, выбор которых сделан на основании следующих соображений. С некоторым приближением можно считать, что способ вращательно-ударного разрушения горных пород является производным от двух известных способов: вращательного и ударно-поворотного. На основании многолетнего опыта для этих способов разрушения выработан инструмент, который в основном удовлетворяет эксплуатационным требованиям. К требованиям для инструмента вращательного бурения относятся наименьший угол приострения лезвий резца при достаточной прочности и стойкости его против абразивного износа. Геометрия такого резца приведена на рис. 1, б. Угол приострения лезвий составляет $\beta = 65^\circ$. Для увеличения стойкости против абразивного износа резцы оснащены пластинками твердого сплава ВК-6, ВК-8.

Для инструмента при ударно-поворотном бурении на первый план выдвигается требование прочности лезвия при ударной нагрузке, а также относительно высокая стойкость против абразивного износа. Для этого угол заострения буровой коронки увеличивают до $\beta = 100-110^\circ$ (рис. 1, а). Коронки армируют пластинками твердого сплава с повышенным содержанием кобальта, типа ВК-11, ВК-15.

По геометрии и качеству бурового инструмента для вращательно-ударного бурения достаточно обоснованных предложений пока нет. Резцы для вращательно-ударного бурения, видимо, должны удовлетворять тем и другим вышеотмеченным требованиям.

Можно предполагать, что рациональная геометрия инструмента для этого способа бурения должна быть промежуточной между геометрией резцов для вращательного и ударно-поворотного бурения.

В этом диапазоне может быть предложено большое количество разнообразных коронок с различной заточкой и формой лезвий, выполненных из различного материала.

Испытания большого количества коронок при бурении различных горных пород были бы очень трудоемкой и продолжительной работой без достаточной научной обоснованности и последовательности. Поэтому для решения поставленного вопроса о преимуществах вращательно-ударного бурения в первом приближении количество выбранных для испытания буровых коронок должно быть уменьшено до минимума. По нашему мнению, при сравнительных испытаниях вращательного, ударно-поворотного и вращательно-ударного бурения в первую очередь должны быть использованы коронки, широко применяемые для первых двух способов бурения (рис. 1, а и б).

При бурении этими коронками на соответствующих им режимах будут получены основные параметры: скорость бурения и стойкость резца, характеризующие эти способы бурения. При испытании этих же коронок на режимах вращательно-ударного бурения будут выявлены предельные величины скорости и износостойкости в новых условиях эксплуатации. Эти данные позволяют в первом приближении решить вопрос о преимуществах того или иного способа разрушения, а также о конструкции бурового инструмента, предназначенного для вращательно-ударного бурения.

Созданный на основании этих рекомендаций буровой инструмент должен пройти дополнительные сравнительные испытания, результаты которых могут служить основанием для окончательного сравнения технико-экономических показателей различных способов бурения.

Исходя из этих соображений, для сравнительных испытаний горных пород различной крепости нами были приняты пять типов коронок: однодолотчатая коронка, наиболее широко применяемая в настоящее время при ударно-поворотном бурении (коронка № 1, рис. 1, а), коронки вращательного бурения (коронки № 2 и 3, рис. 1, б, в), применяемые при бурении сверлами типа ПЭБ-2м. Кроме этого, были испытаны два типа коронок (рис. 2, а, б, коронки № 4 и 5) при бурении крепких пород. Геометрия их разработана с учетом возможности осуществления скола горной породы в результате вращательного движения инструмента. Для чего передний угол у этих коронок был уменьшен до $\gamma = -25^\circ$ по сравнению с однодолотчатой коронкой, имеющей $\gamma = -55^\circ$.

При бурении горных пород средней крепости за критерий затупляемости инструмента была принята средняя ширина пло-

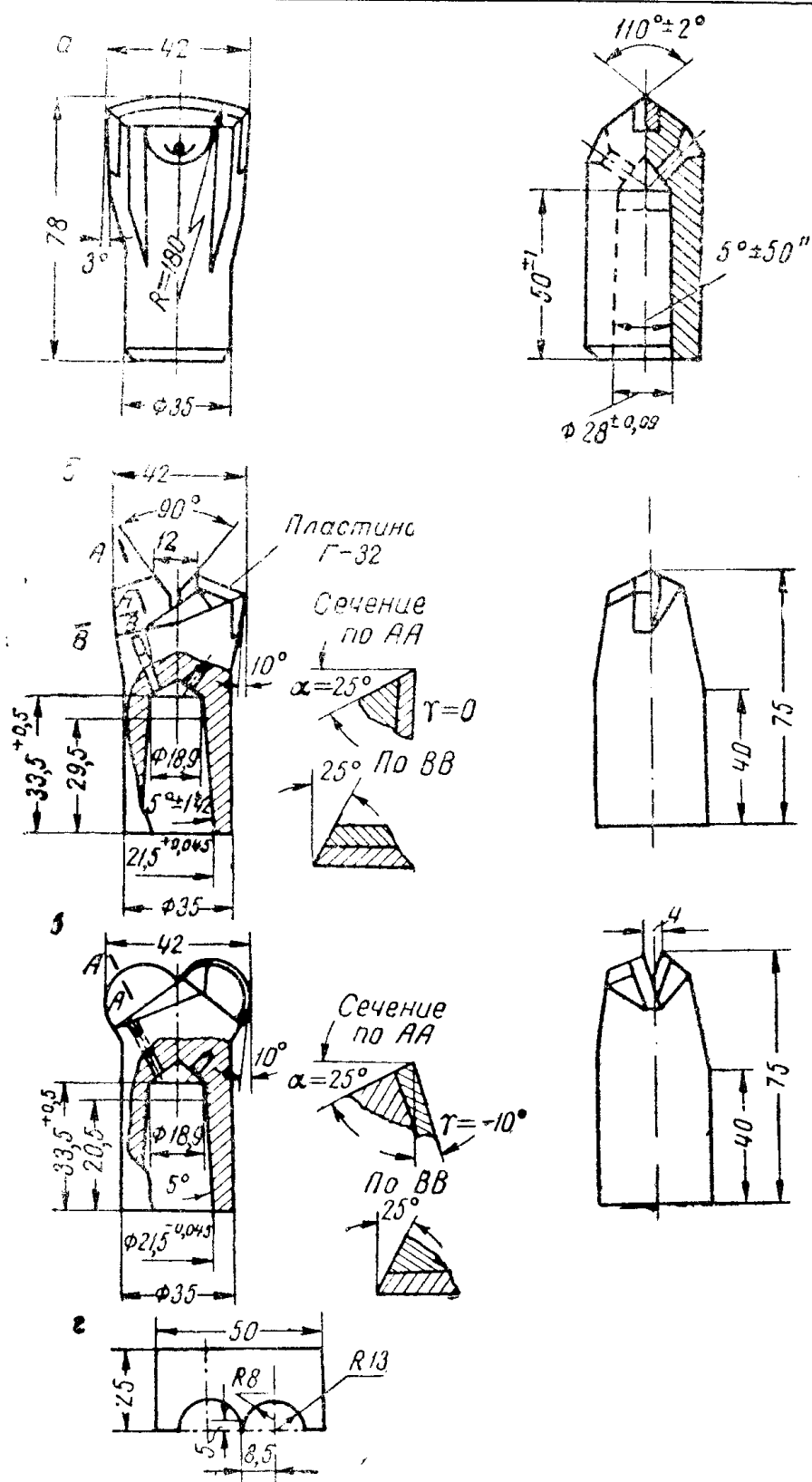


Рис. 1. Буровой инструмент, применяемый для различных способов бурения:

а — однолопатчатая коронка № 1 для ударно-поворотного бурения;
 б — коронка № 3 для вращательного бурения; в — коронка № 2 для вращательно-ударного бурения горных пород средней крепости;
 г — шаблон для контроля формы заточки коронки № 2.

щадки затупления m пластинки твердого сплава по задней грани главной режущей кромки (рис. 3). При бурении же крепких пород — ширина торцевой площадки износа, измеренной на расстоянии 3 мм от края пластинки (рис. 4). Замер ширины площадки износа осуществлялся на расстоянии 3 мм от края, так как износ на краю носит случайный характер, а интенсивность износа почти одинакова для всех режимов бурения. При замере с помощью шаблона отрезок пластинки твердого сплава длиной 3 мм от края исключался из поля зрения отсчетного микроскопа МИР-1м.

Под износом инструмента мы подразумеваем ширину площадки затупления, а износостойкостью — количество шпурометров, пробуренных одной коронкой до заточки.

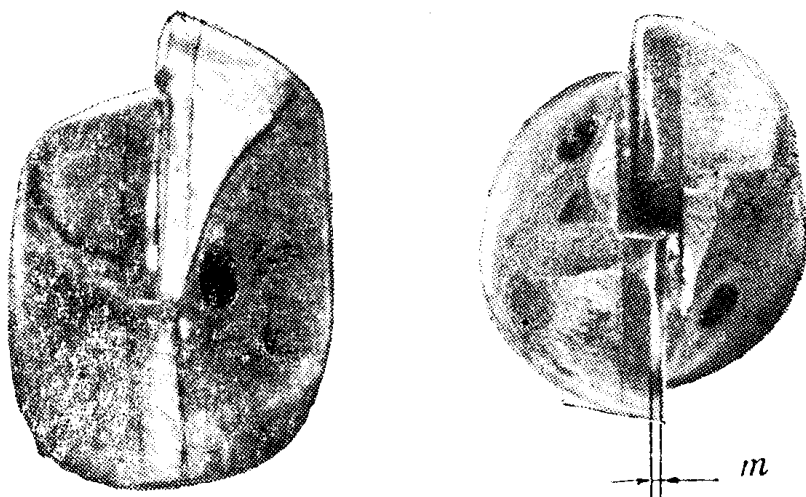


Рис. 3. Износ коронки при вращательно-ударном бурении горных пород средней крепости.

На рис. 3 дан фотоснимок коронки № 2 с затупленными лезвиями. Бурение осуществлялось по песчанику $f = 6 - 8$. В результате было выяснено, что характер износа коронок для вращательного и вращательно-ударного бурения в этом случае совершенно одинаков. Износ коронок представляет собой площадку примерно одинаковой ширины, расположенную по всей длине главной режущей кромки (рис. 3). Поверхность площадки износа пластинки твердого сплава коронки матовая, ровная. На поверхности пластинки, не подвергшейся абразивному воздействию горной породы, хорошо видны поперечные полоски — следы заточки (рис. 3). Характер износа коронок несколько меняется при различных способах удаления буровой мелочи из шпура. При бурении с продувкой поверхность износа пластинки твердого сплава менее гладкая а границы площадки затупления более резко очерчены чем при бурении с промывкой.

При бурении горных пород высокой крепости износ лезвий коронки наиболее интенсивный на краю. Характер износа при

ударно-поворотном (рис. 4, а) и вращательно-ударном (рис. 4, б) способах бурения горных пород высокой крепости одинаков. Поверхность затупления в этом случае не плоская, а выпуклая, без резких переходов от изношенной к неизношенной части пластинки твердого сплава. При вращательном бурении (рис. 4, в) площадка износа ровная с резким переходом от изношенной части пластинки к поверхности, не подвергшейся абразивному воздействию горной породы.

Износостойкость инструмента является одним из главных показателей вращательно-ударного бурения. Износостойкость буровых коронок испытывалась при следующих режимах вращательного и вращательно-ударного бурения песчаника $f = 6 \div 8$.

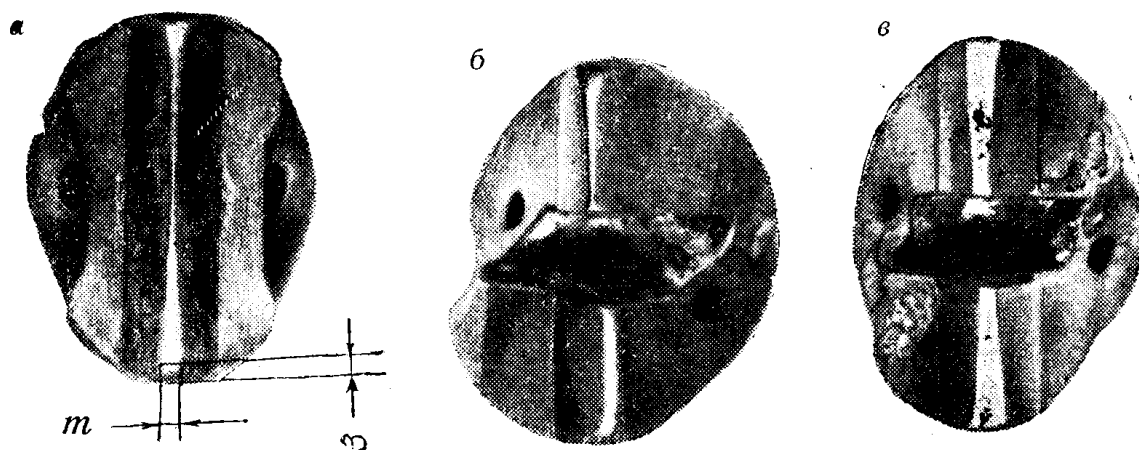


Рис. 4 Износ коронок при ударно-поворотном, вращательном и вращательно-ударном способах бурения горных пород высокой крепости

число оборотов бура в минуту 196 и 408; усилия подачи 500, 750 и 1000 кг; молоток ударного узла, работающий на давлении воздуха 4 атм; удаление буровой мелочи производилось продувкой или промывкой.

Зависимость износа коронок от количества пробуренных шпурометров при различных усилиях подачи приведена на рис. 5, согласно которому износ коронок при вращательном бурении выше износа коронок при вращательно-ударном бурении. Это увеличение составляет в среднем 150% при скорости вращения бура 196 об/мин и 200% при числе оборотов бура 408 в минуту. Отсюда следует, что износостойкость коронок, выраженная количеством пробуренных шпурометров, при вращательно-ударном бурении в 1,5—2 раза выше износостойкости коронок вращательного способа.

При повышении усилия подачи во всех случаях износ коронок увеличивается как при вращательном, так и вращательно-ударном способах бурения. Однако скорость нарастания износа с

увеличением усилия подачи при вращательно-ударном бурении значительно меньше, чем при вращательном.

Увеличение скорости вращения бура со 196 до 408 об/мин ведет к возрастанию износа инструмента при вращательном бурении на 150%, а при вращательно-ударном на 130%.

Применение промывки вместо продувки приводит к увеличению износа коронок на 10—16%. Это положение можно объяснить следующим образом.

Как было выяснено при проведении исследования режимов бурения [1], применение промывки вместо продувки приводит к значительному снижению скорости бурения. Снижение скорости

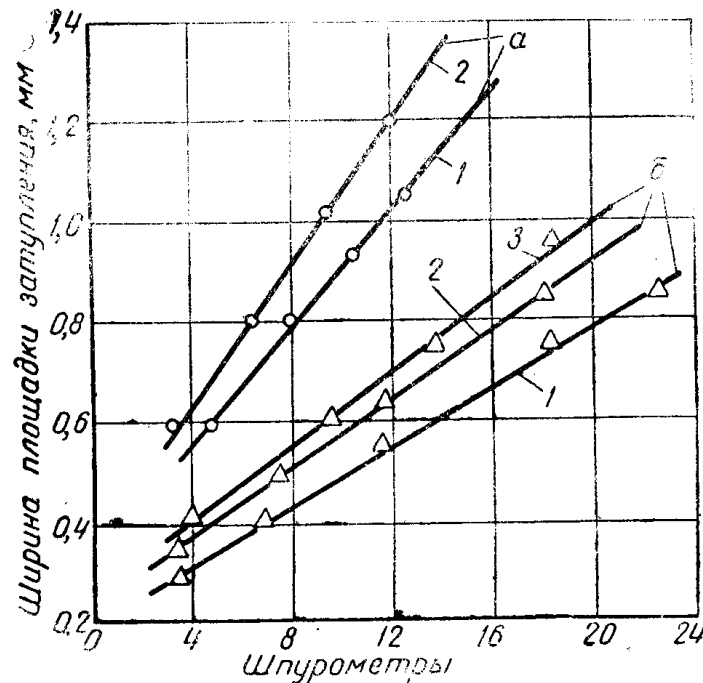


Рис. 5. Износ коронок при различных режимах бурения: горная порода — песчаник $f = 6 \div 8$; молоток ударного узла RH-754; коронка № 2; $n_0 = 408$ об/мин; удаление буровой мелочи промывкой: а — вращательное бурение; б — вращательно-ударное бурение $p = 4$ атм; 1 — усилие подачи 500 кг; 2 — усилие подачи 750 кг; 3 — усилие подачи 1000 кг.

бурения происходит потому, что промывка по сравнению с продувкой обеспечивает худшее удаление буровой мелочи от режущих граней бурового инструмента. По этой причине буровая мелочь, находясь в зоне работы режущих граней коронки, ведет к более быстрому износу их. При замере ширины площадки износа микроскопом было замечено, что границы поверхности износа резко очерчены при продувке и размыты при промывке. Все это говорит о том, что при промывке лезвия коронки движутся в смеси, образованной из воды и буровой мелочи, и тем самым подвергаются более интенсивному абразивному износу.

Износостойкость инструмента при вращательно-ударном бурении горных пород высокой крепости диабаз $f = 14 \div 16$ и роговика $f = 18$ исследовалась при следующих режимах: число обо-

ротов бура в минуту 51, 95 и 152, усилия подачи 100, 500, 1000 и 1500 кг, частота ударов 2700 и 3700 в минуту, энергия удара 4 и 5 кгм соответственно при давлении воздуха в молотке ударного узла RH-754 4 и 6 атм, удаление буровой мелочи производилось продувкой.

Для сравнения износа инструмента при ударно-поворотном бурении и вращательно-ударном с большими усилиями подачи за износ при ударно-поворотном бурении был принят износ ко-

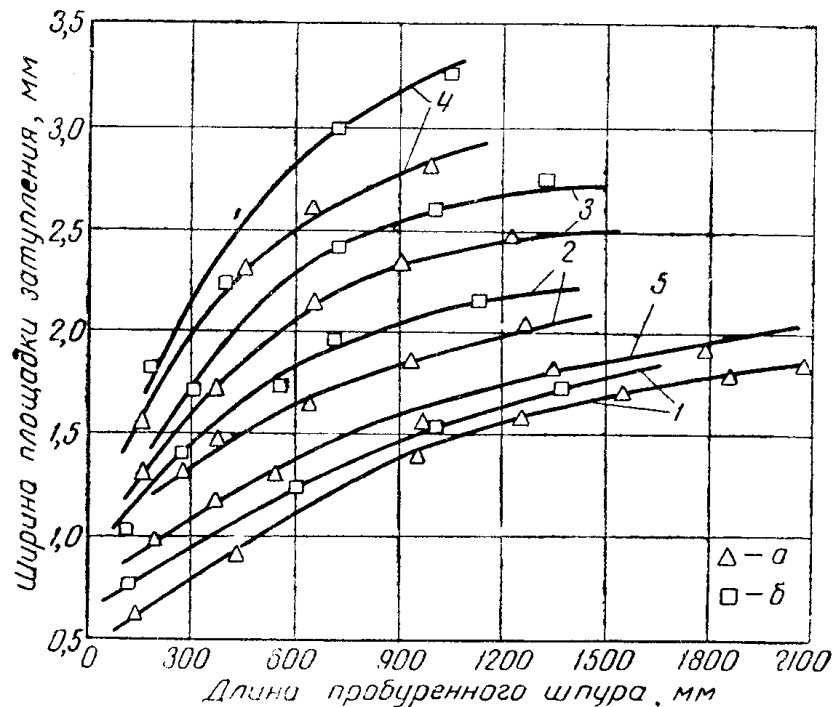


Рис. 6. Износ коронок при различных режимах вращательно-ударного бурения:

горная порода — диабаз $f=14\div 16$; коронка № 4; $n_0=95$ об/мин:
а — $p=4$ атм; б — $p=6$ атм; 1 — усилие подачи 100 кг; 2 — усилие подачи 500 кг; 3 — усилие подачи 1000 кг; 4 — усилие подачи 1500 кг; 5 — усилие подачи 250 кг.

ронок при вращательно-ударном бурении с усилием подачи 100 кг.

Из рис. 6 видно, что износ коронок возрастает с увеличением усилия подачи и количества пробуренных шпурометров. При увеличении скорости вращения бура примерно в 2 раза (с 51 до 95 об/мин) износ коронок при бурении роговика возрастает на 30—40%. Увеличение числа оборотов бура с 95 до 152 в минуту приводит к повышению износа инструмента на 4—15% для роговика и на 6—14% для диабаз.

Износостойкость коронок зависит от их геометрии. Уменьшение угла заострения коронок ведет к увеличению их износа. Поэтому износ коронок № 4 выше износа коронок № 1 на 23—27% для роговика и на 16—24% для диабаз.

Повышение давления воздуха в молотке ударного узла несколько увеличивает износ инструмента.

С точки зрения износостойкости инструмента и скорости бурения в исследованном диапазоне чисел ударов для бурения крепких пород можно рекомендовать число оборотов бура 95 в минуту. Скорости бурения при больших числах оборотов бура (например при 152 об/мин) увеличиваются, но износостойкость инструмента резко снижается.

Отличительной особенностью вращательно-ударного бурения является большое усилие подачи. Износ коронок при вращательно-ударном бурении с усилиями подачи 1000—1500 кг выше износа коронок при усилии подачи 100 кг на 40—80% при бурении роговика и на 50—100% при бурении диабаз. Следовательно, износ инструмента при вращательно-ударном бурении возрастает в среднем в 1,5—2 раза по сравнению с ударно-поворотным бурением, когда усилие подачи равно 100 кг.

В результате проведенных исследований режимов вращательно-ударного бурения горных пород средней крепости [1] было установлено, что основным движением инструмента, который обеспечивает наибольшую работу по разрушению забоя и скорость бурения, является вращательное. С этой точки зрения конструкция режущей части инструмента для вращательно-ударного бурения должна быть весьма близкой к конструкции инструмента для вращательного бурения. Однако наличие осевых ударов требует упрочения и связанного с этим некоторого изменения формы и углов заточки режущей грани инструмента. Это приводит к сближению конструкции инструмента вращательно-ударного и ударно-поворотного способов бурения. Формы и углы заточки режущего лезвия инструмента для вращательно-ударного бурения должны быть промежуточными между характеристиками инструмента вращательного и ударно-поворотного способов.

При вращательном и вращательно-ударном бурении с усилием подачи свыше 1000 кг прочность лезвий коронки № 3, оснащенной пластинками твердого сплава марки ВК-6 с передним углом $\gamma = 0^\circ$, оказалась недостаточной. Наблюдались частые поломки пластинок твердого сплава преимущественно на краю и в центре коронки. После замены твердого сплава ВК-6 более вязким сплавом ВК-8 случаи выкрашивания пластин сократились, но полностью ликвидировать поломки не удалось.

В аналогичных условиях бурения коронки № 2 (с формой лезвия как у коронки № 3), имеющие отрицательный передний угол $\gamma = -10^\circ$, обеспечивали по сравнению с коронками № 3 несколько меньшие скорости бурения. Однако у коронок № 2, оснащенных пластинками твердого сплава марки ВК-8, поломки и выкрашивания пластин, как правило, не наблюдались. Исходя из вышеизложенного, нами была принята коронка № 2 в качестве основы для разработки конструкции инструмента вращательно-ударного бурения горных пород средней крепости.

Коронки вращательного бурения имеют недостаточную прочность лезвий и неравномерный износ пластин твердого сплава. Для упрочения вершин лезвий можно устранить вспомогательные грани и образовать переемычку. Однако это приведет к необходимости увеличения усилия подачи, так как переемычка имеет большие отрицательные углы. Поэтому, например, при сверлении в высокопрочных сталях созданы бесперемычные сверла с небольшой рассечкой между лезвиями, которые по сравнению с обычными сверлами без рассечки обеспечивают снижение осевых усилий подачи на 35% и повышение стойкости сверла в 2,5—3 раза при той же скорости подачи [2]. Следовательно, наличие вспомогательных режущих кромок, образующих угловую выемку у буровых коронок, можно считать необходимым. Для упрочения лезвий и устранения неравномерного износа режущих граней и особенно их вершин необходимо округлить вершину сопряжения вспомогательной и главной режущей кромки и обеспечить заточку резца с двойным или большим числом углов в плане. К аналогичным выводам при вращательном бурении горных пород пришел М. К. Цехин [3]. Повышение стойкости лезвий в этом случае достигается за счет увеличения длины режущей кромки и соответствующего снижения удельной нагрузки на лезвие. При одинаковой подаче всего резца толщина стружки, измеряемая по нормали к режущей грани, уменьшается по мере удаления от центра резца и уменьшения угла в плане. Постепенное плавное уменьшение угла в плане приводит к устранению быстроизнашивающихся вершин. Режущие грани коронки принимают в этом случае округленную форму (рис. 1, в).

На основании вышеизложенного нами была разработана конструкция коронки № 2 (рис. 1, в), которая показала хорошие результаты и может быть рекомендована для вращательного и вращательно-ударного бурения горных пород средней крепости $f = 6 \div 10$. Скорость бурения коронкой № 2 с округленными лезвиями и с формой лезвий как у коронки № 3 была одинакова.

При вращательно-ударном бурении горных пород средней крепости коронками № 2 с усилием подачи 1500 кг наблюдались поломки пластин твердого сплава (рис. 7), особенно при бурении пород с неравномерной структурой или с наличием трещин. Поэтому для обеспечения надежности работы инструмента и устранения выкрашивания пластин твердого сплава усилия подачи при работе этими коронками следует принимать в пределах 1000—1200 кг.

При вращательно-ударном бурении горных пород высокой крепости (диабазы $f = 14 \div 16$ и роговика $f = 18$) было выяснено, что основное разрушение происходит за счет внедрения коронок от действия ударов, а конструкция инструмента должна удовлетворять требованию исключительной прочности от поломок. Поэтому при разработке конструкции инструмента для вра-

щательно-ударного бурения за основу была принята коронка ударно-поворотного способа (рис. 1, *а*). На основании этих предпосылок и разработана геометрия коронок № 4 и 5 (рис. 2, *а, б*).

В результате испытаний инструмента для вращательно-ударного бурения шпуров в монолитных крепких породах нами рекомендуется буровая коронка № 4 (рис. 2, *а*), которая при бурении диабаз и роговика обеспечивала хорошие показатели по скорости бурения и износостойкости. Однако при бурении трещиноватых пород этой коронкой наблюдались поломки пластин твердого сплава. В аналогичных условиях поломки пластин, как правило, не наблюдались при бурении коронкой № 5 (рис. 2, *б*). По скорости бурения и износостойкости коронка № 5 не уступает

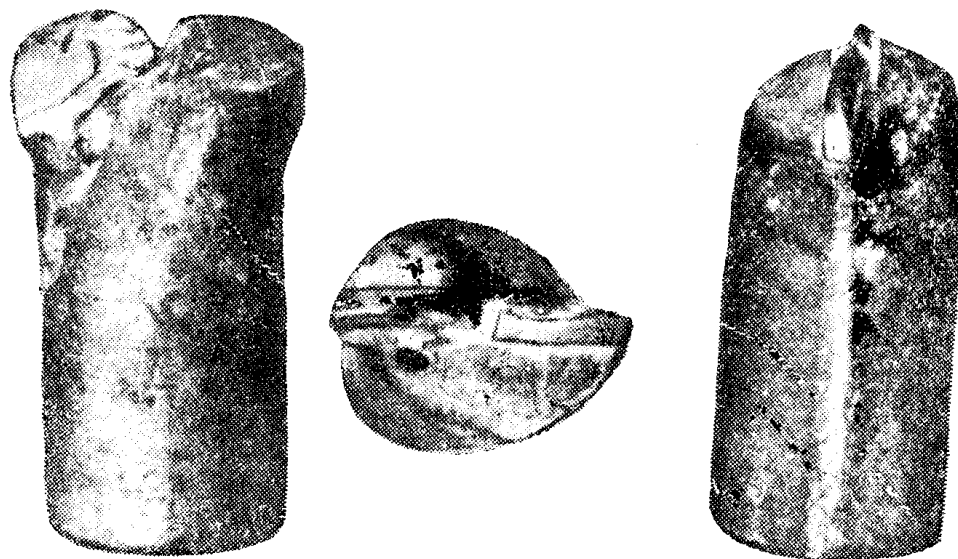


Рис. 7. Выкрашивание пластин твердого сплава при вращательно-ударном бурении горных пород средней крепости.

коронке № 4, но она сложнее в изготовлении и заточке. Поэтому коронку № 5 можно рекомендовать для применения в крепких и трещиноватых горных породах.

При изготовлении коронок № 4 и 5 твердый сплав припаивали к корпусу коронок с помощью латуни. Такое крепление пластинок твердого сплава вполне оправдало себя. Некоторые зарубежные авторы [4] рекомендуют при вращательно-ударном бурении ввиду высокой изгибающей и ударной нагрузок твердый сплав к корпусу коронок не припаивать, а запрессовывать. По нашему мнению, такое крепление будет ненадежным, так как значительные динамические нагрузки, действующие на коронку, очень быстро расшатывают пластинку твердого сплава и коронка выйдет из строя.

Коронки для вращательно-ударного бурения можно оснащать пластинками твердого сплава марки ВК-11 и ВК-15 толщиной 8 мм. Применение пластинок толщиной 10 мм не повышает проч-

ность инструмента, а увеличивает расход твердого сплава. Для коронок вращательно-ударного способа бурения, по нашему мнению, целесообразно выпускать специальные пластинки твердого сплава с передним углом $\gamma = -30^\circ$, так как при переточке обычных пластинок с $\gamma = -55^\circ$ теряется большая часть твердого сплава.

Инструмент для вращательно-ударного бурения при соответствующем конструктивном исполнении требует особо тщательной термообработки. Недостаточная твердость и толщина венчика коронок приводит к значительному расширению конической части, после чего коронка не закрепляется на конусе буровой штанги. Чрезмерная твердость венчика ведет к разрыву корпуса коронки (рис. 8). Термообработке должен подвергаться только венчик (коническая часть) коронки. Закалка перьев коронки придает им хрупкость и при бурении вместе с пером ломается пластинка твердого сплава от действия больших изгибающих нагрузок (рис. 8).

Необходимо отметить, что при повышении давления воздуха в молотке ударного узла RH-754 до 7,5 атм, а следовательно, увеличении энергии удара свыше 5 кгм, стойкость инструмента от поломок при усилиях подачи 1000—1500 кг резко снижается. К тому же меняется характер износа коронок. Поверхность износа пластинки твердого сплава становится не гладкой, а с многочисленными углублениями, т. е. износ в этом случае будет неравномерным. С повышением давления воздуха увеличивается не только энергия, но и число ударов молотка. Увеличение числа ударов, по нашему мнению, способствует снижению доли вращательного разрушения горной породы, а следовательно, благоприятно сказывается на уменьшении износа. Поэтому снижение износостойкости коронок происходит за счет увеличения энергии удара свыше 5 кгм.

При проведении исследований бурение шпуров осуществлялось буровыми штангами из шестигранной стали диаметром 25 мм. В случае бурения шпуров глубиной более 1,5 м жесткость штанг оказалась недостаточной, в результате чего наступало искривление шпуров при бурении горных пород средней крепости и скручивание штанг при бурении трещиноватых крепких пород, когда скорость вращения бура незначительная, а крутящий момент на буре наибольший. Поэтому для бурения шпуров глубиной 2—3 м без смены инструмента необходимо приме-



Рис. 8. Вид сломавшейся коронки при вращательно-ударном бурении горных пород высокой крепости

нять буровую сталь диаметром 32 мм с центральным осевым отверстием для подачи в шпур воздуха или воды.

Для большей стойкости буровые штанги и коронки для вращательно-ударного бурения целесообразно изготавливать из легированных сталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. О. Д. А л и м о в, И. Г. Л я п и ч е в, Я. А. С е р о в. Исследование вращательно-ударного бурения. Известия ТПИ, т. 106, Metallurgizdat, 1958.
 2. Г. А. К р и в о у х о в, М. А. М я к и ш е в. Физическое обоснование обрабатываемости высоколегированных сталей сверлением. Машгиз, 1951.
 3. М. К. Ц е х и н. Исследование буровзрывных работ и повышение их эффективности при проведении горизонтальных выработок по породе на шахтах Прокопьевского рудника. Кандидатская диссертация, Томск, ТПИ, 1955.
 4. К. Н. V o s s. Kritische Untersuchungen und Betrachtungen über das Drehlagbohren. Bergfreiheit, № 10—11, 1954.
-