

гидродинамических процессов взаимодействия дробинки с посадочными гнездами породоразрушающего кольца (возможен их выход из зоны контакта) и структурными свойствами самой горной массы. С учетом механизма процесса разрушения горной породы, наличие неровностей на забое является положительным фактором.

Таким образом, указание особенностей позволяет охарактеризовать процесс разрушения горной породы под торцом кольца, как ударно-вращательный способ, а в некоторой степени даже вибрационно-вращательный.

#### **Выводы**

Проанализированы состояния и перспективы развития гидродинамического способа бурения. Рассмотрены особенности конструкции и принцип действия усовершенствованного снаряда гидродинамического бурения. Приведена исчерпывающая характеристика качественной стороны забойных процессов, происходящих при работе проектируемого снаряда.

*Проаналізовано стан та перспективи розвитку техніки та технології буріння із застосуванням струминних апаратів. Розглянуто особливості конструкції та принцип дії вдосконаленого пристрою для гідромеханічного буріння.*

**Ключові слова:** Струминний апарат, гідромеханічний спосіб буріння, кульки, забій свердловини, рейс, механізм руйнування.

*The subject of the article is the analysis of the state and prospects of development of technique and technology with the use of streaming apparatus. The features of construction and principle of action of improved device are considered for the hydromechanical method of the drilling.*

**Key words:** Streaming apparatus, hydromechanical method of the drilling, balls, well face of bore hole, trip, mechanism of destruction.

#### **Литература**

1. Уваков А. Б. Шароструйное бурение. – М.: Недра, 1969. – 207 с.
2. Давиденко А. Н., Игнатов А. А., Вяткин С. С. Некоторые вопросы гидромеханического способа бурения // Наук. праці ДонНТУ. Серія Гірничо-геологічна. – 2011. – № 14(181) – С. 75 – 78.
3. Разведочное колонковое бурение / Б. И. Воздвиженский, С. А. Волков, Б. С. Филатов. – М.: Изд-во Госгеолтехиздат, 1957. – 332 с.
4. Остроушко И. А. Бурение твердых горных пород. – М.: Недра, 1966. – 291 с.
5. Сулакшин С. С. Технология бурения геологоразведочных скважин. – М.: Недра, 1973. – 320 с.

*Поступила 15.06.11*

УДК 622. 621. 620. 240. 178. 24

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

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

### **ИЗНАШИВАНИЕ ПЕРФОРАТОРНЫХ БУРОВЫХ КОРОНОК**

*Статья содержит информацию об особенностях изнашивания твердого сплава буровых коронок при перфораторном бурении по сравнению с режущим инструментом. Показаны факторы, влияющие на процесс износа, и пути их снижения. Даны зависимости для определения интенсивности износа твердосплавных вставок различной формы и размеров, а также выражения для ориентировочного определения стойкости инструмента в зависимости от физико–механических свойств твердого сплава и породы, а также режимов бурения.*

**Ключевые слова:** буровые коронки, твердосплавные коронки, лезвийные коронки, штыревые коронки, твердый сплав, бурение горных пород, буровой инструмент, износ твердого сплава, твердосплавные вставки.

В общей себестоимости буровых работ стоимость перфораторных коронок имеет большое значение, тем более, что она постоянно повышается в связи с подорожанием составляющих твердого сплава карбида вольфрама  $WC$  и кобальта  $Co$ , а также работ по изготовлению инструмента.

Так как расход коронок при эксплуатации зависит в основном от их стойкости, изучение причин непосредственного износа инструмента и путей его снижения является актуальным.

В связи с тем, что в процессе бурения физико–механические свойства горных пород могут существенно изменяться, оценивать стойкостные критерии твердосплавных коронок целесообразно не в лабораторных условиях, что крайне затруднительно в связи с необходимостью проведения большого объема буровых работ, а в производственных условиях по состоянию амортизированного инструмента [1].

Наблюдения за формированием макрорельефа и формы поверхности изнашивания твердого сплава бурового инструмента дали основание полагать, что природа изнашивания при ударе весьма сложная и принципиально отличается от других видов изнашивания, в том числе от абразивного изнашивания при скольжении (резании) [2–4]. При резании горных пород процесс взаимодействия твердосплавного элемента реза с породой также носит динамичный характер, так как после сжатия породы, которая является хрупким материалом, в зоне контакта происходит микровзрыв, при котором от массива отделяются крупные частицы породы – усилие на резе существенно снижается, после чего вновь возрастает до максимальной величины. Под задней гранью реза происходит дробление абразивных кристаллов породы и их острые вершины внедряются в заднюю грань реза. При резании на глубину примерно до 3 мм резац контактирует с породой практически постоянно, а при большей глубине резания, в зависимости от упругих свойств породы, скола может образовываться ниже поверхности резания, и тогда усилие на инструменте снижается до нуля [5], а на резе возникают колебательные перемещения.

Характерной для абразивного изнашивания при скольжении является направленная шероховатость на рабочей поверхности инструмента, однако ее следы появляются лишь в том случае, если твердость абразивных зерен равна или превышает твердость рабочей поверхности инструмента. Основные физико–механические свойства абразивных и инструментальных материалов [6, 7] приведены в табл.1, из которой следует, что микротвердость большинства входящих в горные породы кристаллов ниже или равна микротвердости карбида вольфрама  $WC$ , из которого в основном состоит твердый сплав.

Процесс ударного изнашивания для различных сталей и наплавочных материалов обстоятельно исследован в работе [8]. Износ твердого сплава, как таковой, не изучался, несмотря на то, что процесс представляет огромный интерес, так как в горнорудной промышленности используют миллионы твердосплавных буровых коронок, работа которых осуществляется с использованием ударной нагрузки.

**Таблица 1. Основные физико–механические свойства инструментальных и абразивных материалов**

Материал	Микро–твердость $H_v$ , кг/мм <sup>2</sup>	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Твердость по Моосу	Модуль упругости $E$ , кг/мм <sup>2</sup>	Предел прочности на сжатие $\sigma_c$ , кг/мм <sup>2</sup>	Предел прочности при изгибе $\sigma_{из}$ , кг/мм <sup>2</sup>
Алмаз $C$	10000	3,48–3,56	10	90000	200–300	21–49
Кубический нитрид бора $BN$	7500–9500	3,45	–	–	180–200	–
Карбид бора $B_4C$	3700–4300	2,48–2,52	–	20000	180	21–28
Карбид кремния $SiC$	3000–3300	3,12–3,20	–	36500	150	5–15

РАЗДЕЛ 1. ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ  
И ТЕХНОЛОГИЯ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

Твердый сплав Т15К6	2800–3000	11,00–11,70	–	52000	390	115
Карбид титана $TiC$	3000–3200	4,93	–	32200	385	60–66
Карбид вольфрама $WC$	2000–1730	15,60	–	72200	300	52–56
Электрокорунд $Al_2O_3$	2000–2400	2,00–2,10	–	–	70	8–9
Минералокерамика ЦМ–322	2000–2300	3,93	–	400	90–150	30–45
Твердый сплав ВК8	1550–1690	14,40–14,80	–	54000	400–500	160
Корунд	2300	–	9	–	–	–
Быстрорежущая сталь, P18	1300–1400	8,50–8,70	–	22000	360	370
Кварцит	1300	–	–	–	–	–
Кремень	1100	–	–	–	–	–
Гранит	830	–	6,5	–	–	–
Стекло	580	–	–	–	19,0	–
Доломит	390	–	4	–	10,0	–
Мрамор	110	–	3	–	6,5	–

Буровые коронки работают с энергией удара 5–50 кгм и частотой 1000–5000 ударов в минуту в зависимости от их диаметра, конструкции и источника энергии удара с пневмо- или гидроприводом. В то же время буровые коронки во время бурения вращаются вокруг своей оси. Между твердым сплавом коронок и выступающими на забое участками породы, а также оставшимся свободным абразивом происходит трение скольжения, что также способствует износу твердого сплава, особенно вставок, расположенных на периферии коронки, которые трутся о боковые стенки шпура.

Ударно-абразивное изнашивание инструментальных сталей происходит при ударе по твердым частицам, способным поражать поверхность контактирующего инструмента путем образования на ней лунок – следов прямого динамического внедрения твердых абразивных частиц (рис.1). На такой поверхности не наблюдается направленная шероховатость в виде рисок, а, следовательно, не перемещаются твердые частицы вдоль поверхности инструмента. Это и отличает износ при ударном контактировании от износа при резании.

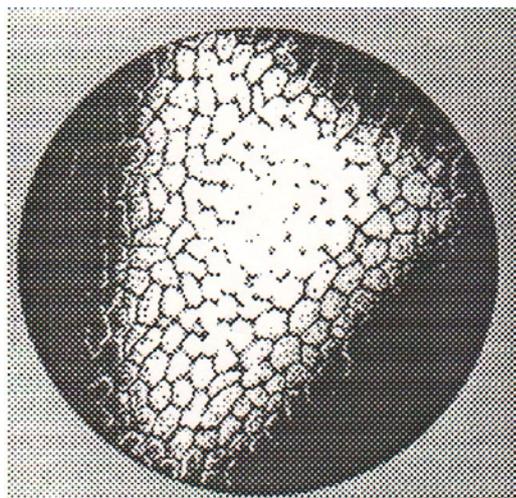


Рис. 2. Общий вид усталостных и тепловых трещин на рабочей поверхности твердого сплава после бурения



Рис. 1. Общий вид микрорельефа поверхности стали при ударно-абразивном изнашивании

Твердость зерен WC превышает твердость большинства абразивных зерен разрушаемых пород. Результаты наблюдений за поверхностью износа вставок в процессе бурения позволяют предположить, что износ происходит в результате ударно-усталостного выкрашивания зерен WC под действием знакопеременных нагрузок. В зависимости от марки сплава размер зерен WC колеблется от 1,0 до 15,0 мкм, а прослойка кобальта – от 0,2 мкм, например, для твердого сплава ВК6, до 2–3 мкм для сплава ВК10. Радиус скругления острых углов абразивных частиц составляет 10–30 мкм, поэтому они контактируют с несколькими зернами WC, которые постепенно под воздействием знакопеременных нагрузок растрескиваются и выкрашиваются. Поэтому изношенные твердосплавные вставки имеют матовую поверхность в отличие от стального инструмента. Наиболее износостойким является твердый сплав с высоким коэффициентом трещиностойкости  $K_{Ic}$ , который характеризует скорость возникновения трещин. В этом случае важную роль играет процент содержания кобальта  $Co$ , прослойки которого затормаживают развитие трещин. На износ также влияет трение о выступы породы и боковые стенки шпура.

Обычно бурение осуществляется с интенсивной подачей охлаждающей жидкости. В момент соприкосновения вставок с породой в зоне контакта образуются мелкодисперсные ядра из частиц разрушенной и спрессованной породы. Согласно данным [8] температура поверхности в зоне контакта вставок достигает 500–600° С. Если охлаждающая жидкость подается неравномерно,

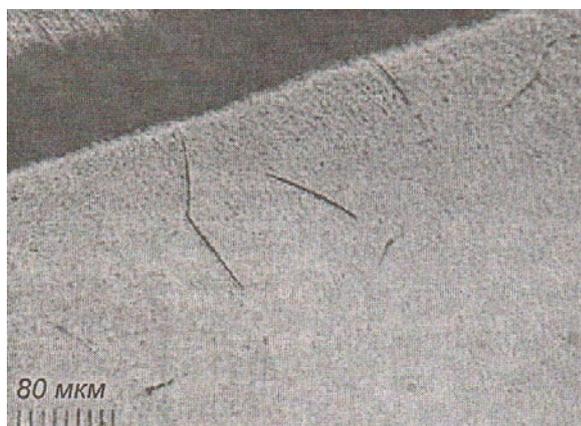


Рис. 3. Общий вид микро- и макротрещины в слое вставки, прилегающей к поверхности износа, полученный при оптической микроскопии

температура повышается, и при резком охлаждении возникают тепловые удары, в результате которых поверхности твердосплавных вставок покрываются сеткой микротрещин – так называемой «змеиной кожей» (рис. 2). Это типичная мезоструктура дефектов вокруг агрегатов твердого сплава размером 100–200 мкм и глубиной 15 мкм [9].

При бурении с нормальным охлаждением знакопеременные точечные нагрузки на рабочих поверхностях твердосплавных вставок после 12 тысяч циклов взаимодействия с породой на блоках WC появлялись микротрещины, которые развиваются как от поверхности износа, так и в объеме, прилегающем к поверхности износа. Результаты исследований на микроуровне методами оптической растровой микроскопии показали, что в зоне, перпендикулярной поверхности износа, выявлены микротрещины (рис. 3).

При резании на твердосплавных резцах «змеиная кожа» не образуется, так как происходит более интенсивный износ, при котором дефектный слой на твердом сплаве удаляется быстрее, чем формируется сетка микротрещин.

В процессе бурения рабочая поверхность твердосплавных вставок взаимодействует как с монолитным абразивом, закрепленным в высокопрочной горной породе, так и по незакрепленному абразиву или абразивной массе, разрушенной предыдущим ударом. В последнем случае износ всегда больше, так как закрепленный абразив при соударении разрушается, утрачивает абразивность и не перемещается относительно рабочей поверхности твердого сплава. В этой связи износ при бурении не существенно зависит от энергии удара и глубины внедрения вставок в породу. Таким образом, для повышения износостойкости буровых коронок целесообразно повышать удельную энергию удара и обеспечивать интенсивное удаление частиц разрушенной породы с забоя шпура.

Буровые коронки в зависимости от крепости и абразивности горных пород, свойств твердого сплава и энергии удара до амортизации выдерживают 8000–20000 циклов взаимодействия с породой. При этом не только происходят нарушения в зернах WC, но кубическая модификация кобальта превращается в гексагональную  $Co_{ГПК}-Co_{ГПУ}$  по мартенситному механизму. Результаты рентгеноспектрального анализа показали, что этот переход охватывает слой толщиной до 3 мм [9].

При ударном разрушении горных пород по сравнению с их резанием существенно изменяются взаимодействие инструмента с породой и его износ.

При прохождении ударной волны твердый сплав вдавливается в породу, а так как энергия удара постоянна и не зависит от размера рабочей поверхности вставок, удельное давление в зоне контакта с породой по мере углубления вставок или увеличения их износа снижается.

От формы и размеров рабочей части твердосплавных вставок зависит глубина внедрения коронки в породу. Чем глубже внедрение инструмента, тем больше частицы разрушенной породы и меньше энергоемкость процесса. Затупленная коронка также будет бурить, но с более низкой скоростью, поскольку при соударении затупленных твердосплавных вставок с породой будут образовываться трещины предразрушения, которые обеспечат ее разрушение. Исследования в целях более полного использования трещин предразрушения представляют научный и практический интерес для создания принципиально нового бурового инструмента с использованием гидроперфораторов.

В этом случае в полной мере оправдывается латинская поговорка: *gutta cavat lapidem non vi, sed saepe cadendo* – капля долбит камень не силой, но частым падением. Результаты наблюдения за



Рис. 4. Внешний вид рабочей части изношенной долотчатой буровой коронки

работой твердосплавных коронок как лезвийных, так и штыревых показали, что с увеличением частоты ударов повышается скорость бурения и снижается показатель затупления. На первый взгляд такой вывод кажется нелогичным, так как увеличивается количество взаимодействий твердосплавных вставок с абразивными частицами породы. Однако, если учесть, что больший объем породы разрушается за счет проникновения в нее трещин и скалывания частично разрушенной породы, а не за счет ее переизмельчения в зоне ядра, понятна причина снижения износа. Наглядным примером может служить лезвийная долотчатая коронка, у которой лезвие в центральной части длиной около 10 мм не тупится и остается с малым радиусом закругления до полной амортизации инструмента (рис. 4).

Вышеизложенное объясняется тем, что расположенный в центральной зоне шпура небольшой объем породы, разрушается при нанесении ударов и сотрясении забоя без контактирования в этой зоне коронки с породой. По мере увеличения расстояния от

оси коронки к ее периферии ширина площадки затупления равномерно увеличивается пропорционально увеличению площади забоя. Наибольшее количество взаимодействий с породой наблюдается на периферии, где кроме износа от ударного взаимодействия лезвия с породой проявляется трение в угловой зоне шпура при вращении коронки.

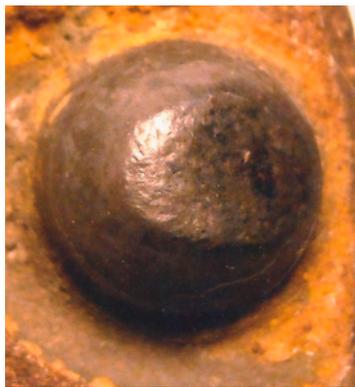


Рис. 5. Внешний вид рабочей поверхности сферической твердосплавной вставки с вмятинами от действия разрушенных частиц твердого сплава при бурении

Большое разрушающее действие на твердый сплав штыревых коронок оказывают отколовшиеся частицы вставок. Если размеры этих частиц велики (4–8 мм и более), и частицы не могут вместе со шламом выйти из зоны контакта, то, располагаясь между корпусом коронки и породой при прохождении ударной волны, рабочие поверхности вставок сталкиваются с отколовшимися ранее, что приводит к их дальнейшему поломкам или образованию на рабочих поверхностях вмятин глубиной 0,05–0,1 мм (рис. 5). Вышеописанное явление наблюдается в случае, если марка твердого сплава, ее прочностные показатели и размеры не соответствуют удельной энергии удара перфоратора и крепости разрушаемых пород.

Для ударно–поворотного или ударно–вращательного бурения характерным является тот факт, что бурение при некоторой достаточной энергии удара будет происходить даже в случае поломки части твердосплавных вставок, пока корпус коронки не заклинит в шпуре при образовании на его периферии обратного конуса. Скорость бурения при этом

существенно снизится, однако благодаря развитию трещин предразрушения [1] и воздействия на породу последующими ударами частицы породы будут отделяться от забоя. Эта особенность представляет интерес с позиции создания нового бурового инструмента с использованием мощных гидроперфораторов.

На интенсивность процесса изнашивания в направлении, перпендикулярном поверхности взаимодействия вставок коронки с породой, влияют многие факторы, в том числе, микротвердость  $HV_{\Pi}$  и крепость  $P_k$  разрушаемых пород, микротвердость твердого сплава  $HV_T$ , частота удара  $n_{уд}$  и энергия удара  $E$ , сила подачи  $P$ , частота вращения инструмента

$$n_{вр} : h = f (HV_{\Pi} \cdot P_k \cdot HV_T \cdot n_{уд} \cdot E \cdot P \cdot n_{вр}),$$

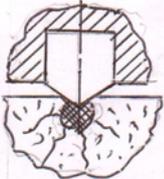
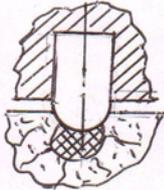
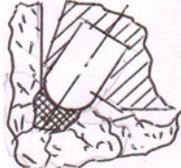
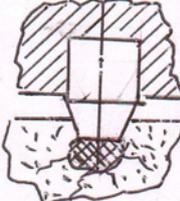
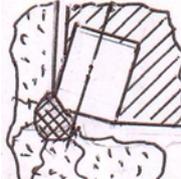
а на размер поверхности износа – форма и размеры рабочей части твердосплавных вставок.

Твердосплавное вооружение, которым оснащаются штыревые коронки, делится на две части: расположенное в центральной зоне и на периферии. У первых рабочая часть может иметь форму тел вращения, что хорошо воспринимает ударную нагрузку, и, благодаря тому, что при внедрении в породу размер их контактной поверхности постепенно увеличивается, удельная энергия в твердом сплаве снижается. Вставки на периферии работают в угловой зоне шпура и выдерживают наибольшую нагрузку, поэтому они имеют больший диаметр и устанавливаются под углом 30°–40° к оси коронки в целях уменьшения изгибающего момента. Однако, чем больше этот угол, тем быстрее при износе периферийных вставок уменьшается диаметр коронки.

Разработанные в ИСМ им. В.Н.Бакуля НАН Украины под руководством Ю.П. Линенко-Мельникова буровые коронки с периферийными вставками, имеющими плоский торец, позволили решить проблему угловой зоны в шпуре, так как эти вставки обеспечивают разрушение породы под действием напряжений сдвига вместо сжатия и контактирование с породой вдоль окружности шпура, что охватывает большую зону разрушения и снижает интенсивность износа.

При переходе от перфораторов, работающих на сжатом воздухе, к гидроперфораторам обеспечивается более высокая энергия удара, поэтому для средней части коронки целесообразно применять новые твердосплавные вставки с конической боковой поверхностью и плоским торцом, так как интенсивность их износа существенно ниже по сравнению с другими известными вставками (табл. 2) при хорошем трещинообразовании и сколах породы конусной поверхностью. Для периферии коронки также разработана новая эффективная вставка цилиндрической формы, расположенной в радиальном направлении под небольшим углом. Такая вставка хорошо воспринимает радиальные усилия от боковой стенки шпура и обеспечивают постепенное увеличение площади поверхности контакта с породой по мере внедрения.

**Таблица 2. Формы (1–6 на рис. 6) твердосплавных вставок с рабочей частью Ø 10 мм, расположенных в разных местах корпуса коронки**

Известные		Предложенные			
в центральной части		на периферии	в центральной части	на периферии	
призматические	полусфера	полусфера	конические с плоским торцом	бицилиндрические с плоским торцом	цилиндрические с плоским торцом
1	2	3	4	5	6
					

В настоящее время разработаны новые методы исследования твердых сплавов, в том числе, электронная микроскопия высокого разрешения, усовершенствованы методы инициирования микротрещин в твердом сплаве, развиваются компьютерная техника, спектрометрия, техника высоких давлений и температур. Появилась возможность существенно улучшить структуру твердых сплавов, их физико-механические и эксплуатационные свойства [10]. Замена твердого сплава с 10% *Co*, коэффициентом трещиностойкости  $K_{Ic}=17$ , твердостью 88 HRA на твердый сплав с 6% *Co* и увеличение его коэффициента трещиностойкости при твердости 90–91 HRA, позволит существенно повысить стойкость твердосплавных буровых коронок, в частности, прочность и износостойкость, а также снизить их стоимость.

Большой объем испытаний серийных лезвийных и штыревых коронок, а также коронок нового технического уровня (КНТУ), проведенных на существующих перфораторах горнорудных предприятий г. Кривого Рога в различных горно-геологических условиях, позволил определить стойкость применяемых буровых коронок.

**Таблица 3. Влияние условий бурения на стойкость коронок различных типов**

Категория пород	Виды горных пород	Коэффициент крепости $f$	Контактная прочность $P_{к}$ , кг/мм <sup>2</sup>	Коэффициент буримости $K_{б}$ , кг/см <sup>2</sup>	Поправочный показатель $n_{ст}$ определения стойкости коронок		
					лезвийных	штыревых	типа КНТУ
I	Известняки, мрамор, аргиллиты, песчаники	6–9	до 40	5–10	40,0	12,0	5,0
II	Амфиболиты, кремнистые песчаники, алевролиты, аргиллиты	9–12	40–65	10–15	50,0	15,0	6,0
III	Базальты, пористые граниты, габбро, кремнистые песчаники и известняки	12–15	65–125	15–20	60,0	25,0	8,0
IV	Андезиты, гнейсы окварцованные, роговики, железистые, диабазы	15–17	125–245	20–30	75,0	30,0	10,0
V	Окварцованные гнейсы, кварциты, скарны, диабазы, железистые роговики	17–19	245–450	30–40	110,0	40,0	13,0
VI	Сливной кварц, кремль, крепчайшие скарны, базальты, джеспилиты, моноциты	19 и более	450 и более	40–60 и более	240,0	90,0	30,0

На основании указанных данных в табл. 3 приведены значения стойкости  $n_{ст}$  для коронок разных типов, где наряду с известными коэффициентом крепости  $f$  и коэффициентом контактной прочности  $P_k$ , приведен коэффициент буримости  $K_\sigma$ , наиболее полно отражающий свойства горных пород при их разрушении под действием ударной нагрузки [1]. При этом метод определения абразивности пород ближе к резанию горных пород, потому что определяется при трении образца о породу, а не при разрушении ударом. На стойкость бурового инструмента существенно влияют упругие свойства пород, от которых зависит «отскок» коронки от забоя после удара и усилие подачи. Такой показатель не определялся, а показатель дробимости не связан с отражаемой энергией удара.

Стойкость коронок и, соответственно, длина пробуренного шурфа существенно зависят от количества соударений инструмента с породой и в меньшей степени от энергии удара, поскольку после соударения рабочая поверхность твердосплавных вставок, как было показано, контактирует с одними и теми же абразивными частицами породы независимо от их проникновения вглубь шпура. При большой энергии удара повышается скорость бурения, а количество соударений с породой на единицу длины шпура уменьшается. В связи с тем, что длина пробуренных шпурометров увеличивается с повышением микротвердости твердосплавных вставок, увеличением ширины поверхности их износа, энергии удара и их количества и уменьшается с повышением микротвердости абразивных кристаллов породы и ее коэффициента буримости. Как показано на рис. 6 и рис. 7, форма рабочей части твердосплавных вставок существенно влияет на интенсивность увеличения поверхности износа при бурении. Это влияние учтено в поправочном показателе стойкости  $n_{ст}$  (табл. 2) для коронок разных типов.

Таким образом, стойкость коронок можно определить по формуле:

$$L = \frac{HV_T E n_{уд} \Delta}{HV_{II} K_\sigma n_{ст} K_{сот}},$$

где  $L$  – стойкость, м;

$HV_T$  – микротвердость твердосплавных вставок, кг/мм<sup>2</sup>;

$\Delta$  – ширина поверхности износа, мм;

$E$  – энергия удара, кгм;

$n_{уд}$  – частота ударов, с<sup>-1</sup>;

$HV_{II}$  – микротвердость абразивных кристаллов породы кг/мм<sup>2</sup>;

$K_\sigma$  – коэффициент буримости, кг/см<sup>2</sup>;

$n_{ст}$  – поправочный показатель стойкости;

$K_{сот}$  – коэффициент согласования,  $K_{сот}=20$ .

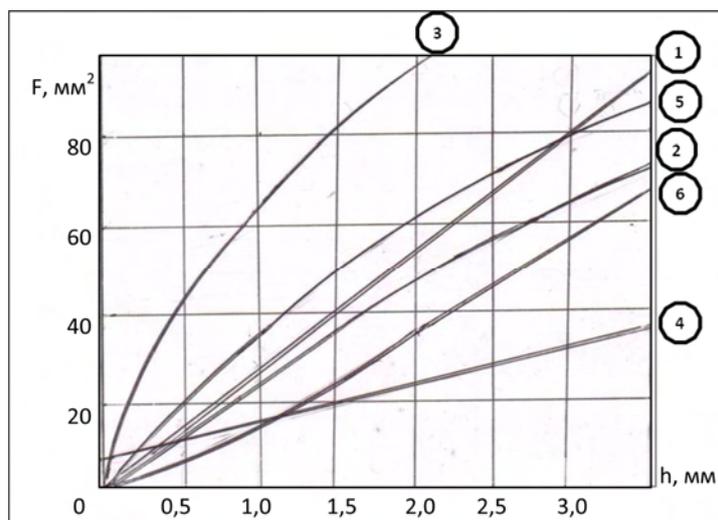


Рис. 6. Зависимость влияния глубины внедрения в породу на площадь контакта для твердосплавных вставок формы 1–6 (см. табл. 2)

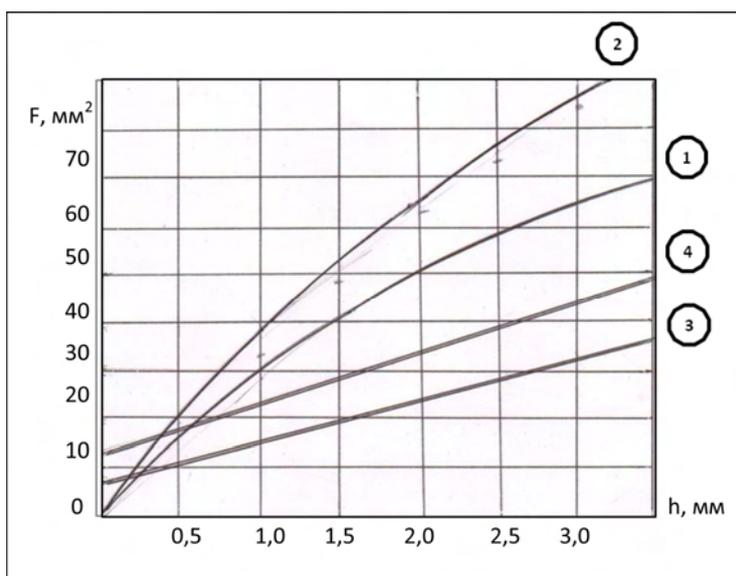


Рис. 7. Зависимости влияния глубины внедрения в породу на площадь контакта для твердосплавных вставок с рабочей поверхностью в форме полусферы диаметром 1–12 и 2–10 мм и усеченного конуса с углом при вершине  $60^\circ$  и диаметрами цилиндра и плоского торца, соответственно, 3–10 и 3 мм, и 4–12 и 4 мм

### Выводы

Для повышения стойкости буровых коронок необходимо:

1. Обеспечить интенсивное удаление из шпура свободных абразивных частиц.
2. Повысить качество твердых сплавов для коронок ударного действия, что позволяют современные методы его изготовления, для применения вставок микротвердостью 1800–2000 кг/мм<sup>2</sup> (HRA 90–91).
3. Заменить пневмоперфораторы на гидроперфораторы, что позволит повысить энергию и частоту ударов.
4. Применять конструкции буровых коронок, которые обеспечивают разрушение горных пород под действием напряжений сдвига вместо напряжений сжатия.
5. Использовать твердосплавные вставки новой формы, у которых интенсивность увеличения поверхностей износа значительно ниже, чем у известных.

*Стаття містить інформацію стосовно особливостей спрацьовування твердого сплаву бурових коронок при перфораторному бурінні в порівнянні з різучим інструментом. Виявлені фактори, що спричиняють вплив на процес спрацьовування, і шляхи їх зменшення. Надані залежності для визначення інтенсивності спрацьовування твердосплавних вставок різних форм та розмірів, а також формули для орієнтувального визначення стійкості інструменту в залежності від от фізико-механічних властивостей твердого сплаву й породи, а також режимів буріння.*

**Ключові слова:** бурові коронки, твердосплавні коронки, лезоподібні коронки, штирові коронки, твердий сплав, буріння гірничих порід, буровий інструмент, спрацьовування твердого сплаву, твердосплавні вставки.

*The article contains information about the particularities of abrasion of boring bits' hard alloy during punch boring in comparison with cutting tools. Factors influencing the abrasion process and the ways of their reduction are shown. Expressions to define intensity of abrasion of hard-alloy inserts, having various shapes and sizes, are presented, as well as formulas to define tools resistance depending on physico-mechanical characteristics of hard alloy and rocks, and also boring modes.*

**Key words:** boring bits, hard-alloy bits, edge cutting bits, pin boring bits, hard alloy, rocks boring, boring tools, hard-alloy abrasion, hard-alloy inserts.

### Литература

1. Линенко–Мельников Ю. П. Оценка свойств горных пород при перфораторном бурении и эффективности работы коронок по состоянию твердосплавного вооружения после

- амортизации инструмента // Породоразрушающий и металлорежущий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр., –К. ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2009. – С.31 – 36.
2. Акопов Р. В. Геометрия режущего инструмента при резании камня. –Ереван, Изд-во АН АрмССР, 1956. – 37 с.
  3. Барон Л.И., Глатман Л.Б., Гуюенков Е.К. Критерии и методы измерения износа режущего инструмента для горных пород. –М., 1961. – 56 с.
  4. Линенко–Мельников Ю. П. Аналитические исследования износостойкости горнорезущего инструмента // Физ.–техн. пробл. разраб. полезных ископаемых, 1972. – № 2. – С. 56–61.
  5. Линенко Ю. П., Карюк Г. Г. Исследование формы и размеров режущей кромки инструмента при резании горных пород// Физ.–техн. пробл. разраб. полезных ископаемых, – 1967. – № 1. – С. 72–84.
  6. Справочник по алмазной обработке металлорежущего инструмента. –К. Техника, 1971. – 288 с.
  7. Спивак А.И. Механика горных пород. –М. Недра, 1967. –192 с.
  8. Виноградов В. И., Сорокин Г. М., Албагачиев А. Ю. изнашивание в твердосплавной вставке буровой коронки// Сверхтвердые матер., 2004. – №3. – С. 84–90.
  9. Лисовский А. Ф., Линенко–Мельников Ю. П. Образование дефектов при ударе. –М. Машиностроение, 1982. – 192 с.
  10. Бондаренко В. П., Новиков Н. В., Гнатенко И. А. О перспективах управления состоянием межкарбидных границ в твердом сплаве WC–Co // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. Сб. науч. тр. –К. ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2010. – Вып. 13. – С. 168–173.

Поступила 08.06.11

УДК 622.244

**Г. П. Богатырева**, д-р техн. наук, **В. Н. Ткач**, д-р физ.-мат. наук, **А. М. Исонкин**,  
**Г. Д. Ильницкая**, **Г. А. Петасюк**, кандидаты технических наук

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

### **ВЛИЯНИЕ ВКЛЮЧЕНИЙ В КРИСТАЛЛАХ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ НА ХАРАКТЕР ИХ ИЗНОСА В БУРОВЫХ КОРОНКАХ**

*Исследовано влияние включений в кристаллах синтетических алмазов на их прочностные характеристики и основные виды их износа в буровых коронках. Показаны пути повышения работоспособности алмазного бурового инструмента.*

**Ключевые слова:** алмаз, включение, буровая коронка, износ.

Разные исследователи по-разному определяют характер износа алмазов в алмазно-абразивном инструменте. Так, по мнению М. Сила износ алмазов вызывается тепловыми процессами, приводящими к графитизации алмаза [1]. Т. Н. Лоладзе, Т. В. Бокучава и С. И. Тараканов рассматривают износ алмазов как сочетание нескольких процессов и различают адгезионный, абразивный и диффузионный виды износа в процессе трения, а также хрупкое разрушение в виде микро- и макроскалывания. При этом преобладание одного из этих видов износа определяется качеством обрабатываемого материала и режимом работы алмазного инструмента [2; 3].

Кристаллы синтетических алмазов образуются при высоком давлении и температуре в присутствии сплавов переходных металлов. В процессе роста кристалл алмаза захватывает в виде включений и примесей все побочные фазы, находящиеся в реакционной камере. При этом включения и примеси становятся объемными дефектами, непосредственно влияющими на прочностные характеристики порошков. Известно, что в условиях синтеза за один цикл в реакционном объеме получают зерна алмаза различного размера с различным содержанием внутрикристаллических металлических включений [4].

Как правило, реальный кристалл алмаза отличается от соответствующей идеальной структуры наличием дефектов: от точечных до объемных. Структура реального кристаллического материала –