

5. Совершенствование регламентов обжига с учетом динамики газовыделения обжигаемых заготовок **Карвацкий А.Я., Лелека С.В.** Восточно-Европейский журнал передовых технологий 6/5 (54) 2011 УДК 536.2
6. **И. В. Пулинец, Е. Н. Панов, А. Я. Карвацкий, С. В. Лелека, Т. В. Лазарев, Т. В. Чирка** Теплообмен в многокамерных печах обжига углеграфитовых изделий монография Киев НТУУ «КПИ» 2014
7. Печи электродных заводов / **Чалых Е.Ф., Пащенко Л.Ф.** Учебное пособие. - Москва: МХТИ им. Д.И. Менделеева, 1983. - 76 с.
8. Усовершенствование технологии обжига электродных материалов / **В. П. Фокин, А. А. Малахов, С. А.** // Цветные металлы. — 2002. — № 4. — С. 48—51
9. **Пулинец І. В.** Підвищення ефективності роботи печей випалу вуглеграфітових виробів автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук спец. 05.17.08 «Процеси та обладнання хімічної технології»/ Київ – 2013 – 20с.
10. **Сошкин Г. С.** Исследование процесса обжига электродной продукции в многокамерных печах и разработка системы управления технологическим режимом автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук Спец. 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» / Владикавказ - 2012–24с.
11. **Шибалов С. Н.** Совершенствование тепловых процессов с целью повышения качества обжига заготовок из углеродистых материалов автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук Спец. 05.16.02 «Металлургия черных, цветных и редких металлов» / Москва 2004– 36с.
12. **Молокова Т.Л., Харламповин Г.Ж., Сухоруков И.Ф.** - Химия твердого топлива, 1977, № 6, с. 114-120.
13. **Сухоруков И.Ф., Атминский А.И., Львова О.К. и др.** - Цветная металлургия, 1965, №20, С. 51-55.
14. **Жученко О.А.** Statement of the optimization problem of carbon products production // Міжнародний науково-виробничий журнал «Автоматизація технологічних і бізнес-процесів» Vol. 8, issue 2/2016. С. 39-44
- Рукопис подано до редакції 17.03.17

УДК 622.233.05

А.С. ГРОМАДСКИЙ, д-р техн. наук, проф., Д.И. КУЗЬМЕНКО, ассистент,
Криворожский национальный университет

РАЗРАБОТКА ШТЫРЕВЫХ КОРОНОК ДЛЯ БУРЕНИЯ КОМПЕНСАЦИОННЫХ СКВАЖИН

Цель. Целью данной работы является разработка штыревых коронок для бурения компенсационных скважин. Применение компенсационных шпуров и скважин обеспечивает возможность повышения мощности взрыва на каждом единичном шпуре (скважине), что позволяет снизить общее количество пробуренных шпуров в проходческом забое и уменьшить количество ВВ, патронов боевиков, медных проводов при зарядании забоя. Однако буровой инструмент для формирования компенсационных шпуров и скважин далеко несовершенен.

Методы исследования. Не рассматривалась эффективность передачи энергии ударного импульса в буровом инструменте с учетом его геометрических параметров, что способствовало передаче энергии к породоразрушающим элементам буровой коронки с минимальными потерями, что значительно повышает эффективность разрушения горной породы.

Научная новизна. Решение данной задачи складывает актуальность работы. Ее целью является моделирование прохождения ударного импульса через буровой инструмент с поиском рациональных геометрических параметров бурового инструмента.

Практическая значимость. Полученные авторами аналитические зависимости для определения геометрических параметров коронки, которые позволяют спроектировать коронки-расширители для бурения компенсационных взрывных скважин, у которых скорость бурения повышена на 45 %.

Результаты. В результате применения эмпирических зависимостей была спроектирована коронка для бурения компенсационных скважин в одну стадию, скорость бурения которой в 1,9 раз выше, чем у коронки-расширителя КРР-65, а удельный износ в 1,5 раз меньше.

Ключевые слова: буровая коронка, компенсационная скважина, скорость бурения, коронки-расширители, крепость породы.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Наиболее распространенным и эффективным способом разрушения горных пород средней и высокой крепости являются буровзрывные работы [1-4].

Наиболее сложным и трудоемким процессом является проходка подэтажных выработок. Сложность проведения таких выработок обуславливается специфическими условиями, в которых осуществляется этот процесс, а именно зажимом забоя выработки при малой плоскости забоя, малый размер свободного пространства выработки, который не позволяет применять мощное буровое оборудование. Соответственно и эффективность взрывных работ в таких условиях относительно невысокая. Установлено, что коэффициент использования шпура (КИШ)

при стандартной схеме проходки забоя сечением $5,7 \text{ м}^2$ ш. им. Ленина по породам средней крепости $f=10-12$ составляет $0,75$, а по крепким породам $f=15-18 - 0,92$. Это имеет серьезные негативные экономические последствия в связи с неэффективным использованием ресурсов, которые теряются на буровзрывные работы.

Анализ исследований и публикаций. Одним из наиболее эффективных путей, обеспечивающих увеличение КИШ, является применение компенсационных скважин [2-8]. Применения этих скважин дают такие возможности:

повышение мощности взрыва на каждом единичном шпуре. Это позволяет снизить общее количество пробуренных шпуров в проходческом забое и уменьшить количество ВВ, патронов боевиков, медных проводов;

получается более гладкий и правильный по форме забой после взрыва;

уменьшается выход негабарита и разброс породы при взрыве;

образование оконтуривающих шпуров с максимальным уменьшением прочности на контуре выработки благодаря снижению монолитности компенсационными скважинами.

Зарубежные фирмы выпускают ряд конструкций коронок - расширителей для формирования компенсационных скважин диаметром от 57 до 203 мм для различных горнотехнических условий. Недостатками этих коронок является сложность конструкции и образование компенсационных скважин в две стадии.

Постановка задачи. Целью настоящей работы является разработка штыревых коронок для бурения компенсационных скважин диаметром 65-85 мм для увеличения КИШ буровзрывных работ при проведении подэтажных подземных горных выработок в условиях железорудных шахт.

Изложение материала и результаты. Бурение компенсационных скважин $\text{Ø} 60-85 \text{ мм}$ параллельными врубами с подготовкой забоев для взрыва в горизонтальных подземных горных выработках шпурами $\text{Ø} 40-42 \text{ мм}$ на глубину 1,5-1,6 м является весьма актуальным [5-6]. Особенно на подэтажах, на которые невозможно доставить мощную буровую технику. Например, в Криворожском железорудном бассейне на такие выработки приходится до 60 % от всех горизонтальных выработок. Для повышения эффективности проходки таких выработок в различных частях забоя бурят несколько компенсационных скважин $\text{Ø} 65 \text{ мм}$. В компенсационные скважины взрывчатка не закладывается, однако благодаря этим скважинам увеличиваются глубина отбойки и коэффициент использования шпуров. Забой после взрыва получается гладкий, правильной формы и практически без недозорванных стаканов.

Формирование компенсационных скважин осуществляется в 2 стадии: бурение обычного шпура и его расширение.

Известна коронка-расширитель (рис. 1) предназначена для расширения ранее пробуренных шпуров с целью превращения их в компенсационные скважины.



Рис. 1. Общий вид коронки KPP-65

Однако к недостаткам данного способа образования компенсационных скважин следует отнести необходимость бурения в две стадии. В первой стадии бурится шпур коронкой $\text{Ø} 40-42 \text{ мм}$, а затем осуществляется расширение скважины до $\text{Ø} 65 \text{ мм}$ коронкой с расширяющей частью KPP-65. У нее низкая эффективность передачи ударных импульсов от буровой штанги, по которой наносит удары поршень – ударник перфоратора.

Ударные импульсы трансформируются в волну напряжения, которая пройдя буровую штангу через конусное сопряжение штанга-коронка, передается на корпус KPP-65 и далее на ее расширяющую часть. На этом участке происходят основные потери энергии ударных импульсов из-за несовершенной формы перехода корпуса коронки на ее расширяющую часть (рис. 2), так что на породоразрушающих лезвиях напряжение $< 50 \text{ МПа}$, а также несовершенной лезвийной формы ее продоразрушающих элементов и нерациональной треугольной формой пазов для выноса шлама.

Такая форма пазов не только не обеспечивает необходимую очистку забоя от шлама, который повторно измельчается твердосплавным вооружением коронки, увеличивая износ всех элементов коронки, но и снижает передачу энергии ударов поршня перфоратора на лезвия коронки.

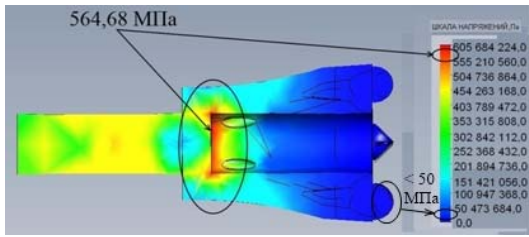


Рис. 2. Компьютерные исследования прохождения ударной волны через корпус расширителя КРР – 65

Кроме того направляющий стержень вследствие того, что он не прижат к забою, а находится в уже пробуренном шпуре под действием ударных волн, проходящих через коронку, часто отсоединяется от коронки и остается в расширенной скважине.

Это происходит потому, что волна напряжения, проходящая через корпус расширяющей части коронки, на несколько микрон увеличивает его в размере и, соответственно, увеличивает диаметр внутреннего конуса в нем.

Поэтому натяг конусного сопряжения постепенно ослабляется и направляющий стержень отсоединяется от корпуса в среднем 1 раз после расширения двух шпуров. Для его извлечения непроизводительно тратится время, снижая эффективность процесса расширения шпуров.

Поставленная задача реализуется за счет того, что у выпуклой боковой поверхности расширяющей части, форма которой подобна форме изгиба лепестков цветка лотоса, оптимальный радиус изгиба R принимают с помощью эмпирической зависимости $\sigma_{max} = k_{1D} - 0,019 \cdot R$, где k_{1D} - эмпирический коэффициент диаметра D расширяющей части (ноу-хау авторов). Коронку снабжают четырьмя пазы для выноса бурового шлама радиусом r мм так, что обеспечивают максимальные напряжения σ_{max} на породоразрушающих штырях расширяющей части.

Оптимальную длину L мм расширяющей части принимают из эмпирической зависимости $\sigma_{max} = k_{2D} - 0,13 \cdot L$, МПа, где k_{2D} - эмпирический коэффициент диаметра расширяющей части коронки. Это обеспечивает максимальные напряжения на породоразрушающих штырях расширяющей части.

Оптимальную длину l шейки конуса от расширяющей части до опережающей коронки принимают равной l_{opt} , мм в зависимости от эмпирического коэффициента k_d (ноу-хау авторов) диаметра опережающей коронки так, что обеспечивают максимальные напряжения $\sigma_{max} = k_d + 1,47 \cdot l$ на породоразрушающих штырях опережающей коронки.

При этом для коронок диаметром больше 65 мм в расширяющей части со стороны буровой штанги выполняют глухое резьбовое отверстие, которое снабжают закругленной верёвочной резьбой, а наружный торец буровой штанги снабжают такой же резьбой и обеспечивают натяг с внутренней плоскостью глухого отверстия коронки, которую выполняют перпендикулярно оси коронки.

На рис. 3 показаны графики изменения напряжений σ , МПа, на штырях расширяющей части коронки в зависимости от радиуса закругления R (график 1) боковой поверхности и её длины L (график 2), где обозначено

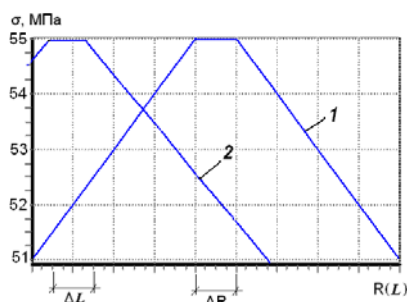
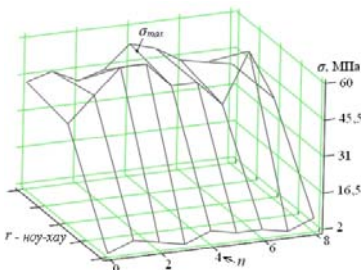


Рис. 3. Напряжения на штырях расширяющей части коронки в зависимости от радиуса закругления R боковой поверхности и её длины L

$\Delta R(\Delta L)$ - диапазоны оптимальных радиусов и длин, обеспечивающих максимальные напряжения на породоразрушающих штырях.

На рис. 4 показан трехмерный график к определению оптимального количества пазов n для выноса шлама и радиуса r закругления этих пазов, на котором обозначено: σ - напряжение на породоразрушающих штырях, МПа; $n=4$ - оптимальное количество пазов при котором напряжение на породоразрушающих штырях максимально; r мм - радиус закругления пазов, при котором напряжение на породоразрушающих штырях максимально σ_{max} .

Рис. 4. График оптимального количества пазов n для выноса шлама и радиуса r закругления этих пазов



На рис. 5 показан график изменения напряжений σ , МПа, на породоразрушающих штырях опережающей коронки в зависимости от длины шейки конуса l , на котором обозначено: l_{opt} , мм - оптимальная длина шейки конуса (ноу-хау авторов), при которой напряжение на породоразрушающих штырях максимально σ_{max} .

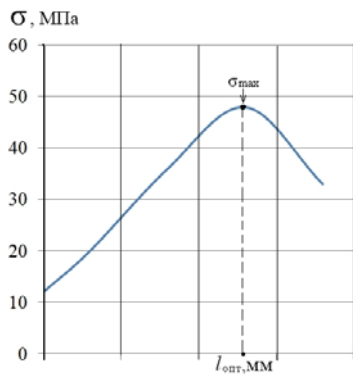


Рис. 5. Напряжения на породоразрушающих штырях опережающей коронки в зависимости от длины шейки конуса l

На рис. 6а показана интенсивность передачи напряжений на элементы предлагаемой коронки при ее соединении со штангой треугольной упорной резьбой, из которого видно, что напряжение на всех штырях $\sigma_{треуг} \approx 13$ МПа.

На рис. 6б показана интенсивность передачи напряжений на элементы предлагаемой коронки при ее соединении со штангой круглой веревочной резьбой, из которого видно, что напряжение на всех штырях $\sigma_{верев} > 57$ МПа, т.е. значительно больше чем с треугольной резьбой.

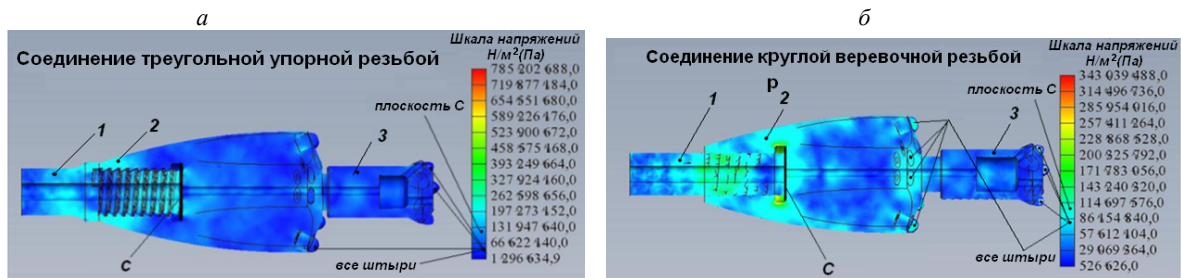


Рис. 6. Соединения коронки с буровой штангой: а – треугольной упорной резьбой; б – круглой веревочной резьбой; 1 – буровая штанга; 2 – расширяющая часть коронки; 3 – опережающая коронка; С – внутренняя плоскость на глухого резьбового отверстия расширяющей части коронки

Используя полученные взаимосвязи между параметрами корпуса коронки влияющих на процесс передачи энергии ударного импульса и результаты исследований Эйгелеса Р.М. [7], Протасова Ю.И. [8] и Прядко Ю.А. [9], Хруцкий А.А. [10] были разработаны коронки для бурения компенсационных скважин диаметром от 65 мм до 85 мм (см. рис. 7).

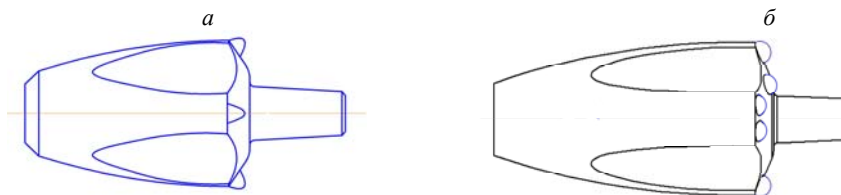


Рис. 7. Коронки для бурения компенсационных скважин: а) – с конусным соединением со штангой $\varnothing 65$ мм для ручных перфораторов на пневмоподдержках; б) – с резьбовым соединением со штангой $\varnothing 90$ мм для колонковых перфораторов ПК – 60 на буровых каретках

Коронка (рис. 7а) была испытана на ш. им. Ленина КЖРК. Установлено, что она обеспечивает скорость бурения в 1,9 раза больше, чем у коронки КРР – 65, а удельный износ в 1,5 раз меньше.

Выводы. Одним из наиболее эффективных путей, обеспечивающих увеличение КИШ, является применение компенсационных скважин;

Полученные авторами аналитические и экспериментальные зависимости для определения геометрических параметров коронки;

В результате применения эмпирических зависимостей была спроектирована коронка для бурения компенсационных скважин в одну стадию, скорость бурения которой в 1,9 раз выше, чем у коронки-расширителя КРР-65, а удельный износ в 1,5 раз меньше.

Список литературы

1. Каварма И.И. Новый штыревой породоразрушающий инструмент для бурения скважин на шахтах Кривбаса / И.И.Каварма, А.А.Хруцкий // Разраб. рудн. месторожд. - Кривой Рог, 2002. - КТУ. - Вып. 78.
2. Чувилин А.М., Ермаов Г.Т., Соколов Н.П. и др. Применение коронок – расширителей для бурения компенсационных скважин на проходческих работах / А.М. Чувилин, Г.Т. Ермаов, Н.П. Соколов и др. // Минцветмет СССР, ЦНИИ экономики и информации цветной металлургии. Обзорная информация. Вып. 6. М. 1988. 39 с.
3. Рабинович М.И. Введение в теорию колебаний и волн / М.И. Рабинович, Д.И. Трубецков. – М.: Регулярная и хаотическая механика, 2000. – 560 с.

4. **Жуков И.А.** Формирование упругих волн в волноводах при ударе по ним полукатеноидальными бойками: Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Томск, 2005. – 132 с.
5. **Рындин В.П.** Определение энергетических параметров и совершенствование динамики ударных систем бурильных машин: Автореф. ... дисс. докт. техн. наук. – Кемерово, 2005. – 330 с.
6. **Губанов Е.Ф.** Ударное разрушение хрупких сред при использовании в них отверстий без поворота инструмента: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Томск, 2003. – 22 с.
7. **Эйгелес Р.М.** Пути использования результатов экспериментального исследования единичных актов разрушения горных пород для решения некоторых задач бурения / **Р.М.Эйгелес, Ю.А.Боксерман** // Разрушение горных пород. - М. : ВНИИБТ, 1975. - Вып. 33. - С.200-209.
8. **Протасов Ю.И.** Теоретические основы механического разрушения горных пород / **Ю.И.Протасов**. - М. : Недра, 1985. - 24 с.
9. **Прядко Ю.А.** Разработка методики проектирования коронок с цилиндросферическими твердосплавными вставками для штангового бурения: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. тех. наук: спец. 05.05.06 «Горные машины» / **Ю.А.Прядко**. - ИГД СО АН СССР. – Новосибирск, 1988. – 21 с.
10. **Хруцкий А.А.** Методика проектирования штыревых коронок для бурения скважин / Вісник Криворізького технічного університету, 2008. – Кривий Ріг. – КТУ. – Вип. 20. – С.98-102

Рукопись поступила в редакцию 17.03.17

УДК 622.7.622.341.1

О.В. БУЛАХ, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБАГАЧЕННЯ ЗМІШАНИХ РУД

Мета. Метою даної роботи є визначення можливості та необхідності збагачення змішаних руд в Україні та закордоном та вдосконалення технології їх переробки. Технологічна і економічна оцінка найбільш ефективної та екологічно чистої технології збагачення змішаних залізних руд, яка забезпечить отримання високоякісного концентрату при мінімальних втратах заліза з хвостами. Отримання високоякісних концентратів зумовлено складною рудною базою розроблюваних родовищ і невисокою їх конкурентоспроможністю, що можливо досягти завдяки розвитку технологій та обладнання при збагаченні залізних руд.

Методи дослідження. Аналіз раніше виконаних досліджень і розробок з переробки змішаних залізних руд в Україні, СНД і країнах далекого зарубіжжя. При аналізі технологій переробки змішаних залізних руд, що дозволяють отримувати високоякісні концентрати з'ясовано, що найбільш перспективним напрямком робіт з підвищення якості концентрату є зниження вмісту шламів, утворених при рудопідготовці, які в подальшому погіршують якість магнітного продукту.

Наукова новизна. Ефективність комплексної переробки змішаних (напівокислених) залізних руд досягається шляхом оптимізації глибини їх збагачення, дозволяючи визначити граничні умови механічних методів розділення на основі розкриття, знешламливання, магнітної сепарації мінеральних компонентів. Вибір оптимального технологічного обладнання для збагачення змішаних руд здійснюється на основі показників ефективності розділення.

Практична значимість. Поліпшення ефективності процесів подрібнення і магнітної сепарації завдяки оптимізації глибини збагачення, визначених граничних умов застосування механічних способів переробки змішаних залізних руд та на основі поліпшення параметрів розкриття і сепарації мінеральних компонентів.

Результати. Показано, що у вітчизняній практиці переробка змішаних залізних руд відсутня, у зарубіжній практиці застосовується, більшою мірою, технологія гравітаційно-флотаційного збагачення. На підставі досвіду роботи передових зарубіжних фабрик, що переробляють аналогічну сировину, а також на основі власних експериментальних досліджень визначено технологічні можливості магнітного збагачення змішаних залізних руд з попередньою підготовкою сировини до збагачення. Використання операції знешламливання руди перед збагачувальним переделом значно покращує технологічні показники їх магнітного збагачення, що в комплексі дозволить отримувати концентрати з вмістом заліза більше 65%.

Ключові слова: змішані залізні руди, технологія збагачення, рудопідготовка, шламоутворення, магнітна сепарація, концентрат.

Проблема та її зв'язок з науковим і практичним завданням. В останні роки мінерально-сировинний комплекс України забезпечує близько 40% доходів держбюджету. Істотну частку валютних надходжень Україна отримує за рахунок експорту первинної мінеральної сировини, насамперед, залізорудного концентрату, агломерату, окатишів.

В надрах України зосереджена значна частина світових розвіданих запасів залізних руд. При загальній чисельності населення України, що становить приблизно 0,65% загальної чисельності населення Землі, країна забезпечує близько 15% світового видобутку залізорудної сировини. Видобуток і переробка залізорудної сировини становить основу економіки України.

У багатьох регіонах країни залізорудні підприємства, а також обслуговуючі організації, є містоутворюючими і забезпечують до 80% робочих місць. Криворізький залізорудний басейн є