

УДК 622.24.05

**Н. Т. Лоладзе**, канд. тех. наук, **М. П. Церодзе**, канд. хим. наук, **Ю. Г. Дзидзишвили**,  
**З. А. Авалишвили**

*Грузинский технический университет, г. Тбилиси, Грузия*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И СТОЙКОСТИ АЛМАЗНЫХ СВЕРЛ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ**

*Работа посвящена изучению процесса алмазного сверления Емельяновского гранита алмазными трубчатыми сверлами с цельноспеченными коронками созданного в ГТУ из алмазкомпозиционного материала МГ-17. Установлено, что при описанных в работе условиях сверления максимальная стабильность в производительности и стойкости алмазного инструмента достигается при сравнительно низких скоростях резания  $V = 0,4$  м/с; экспериментально показана существенное влияние геометрии алмазной коронки сверла на производительность и стойкость инструмента при различных режимах работы в диапазоне  $N = 350-700$  об/мин.*

**Ключевые слова:** *трубчатые сверла, длина сегментов, стойкость сверла.*

Высокопроизводительная и рентабельная работа алмазного инструмента на конкретной технологической операции зависит от целого ряда факторов:

– физико-механических, физико-химических и теплофизических свойств алмазных кристаллов принимающих участие в процессе резания. Прочностные и термпрочностные характеристики алмазных кристаллов определяют их возможность противостоять возникающим нагрузкам без разрушения. Наряду с указанными свойствами, существенный вклад на увеличение ресурса работы отдельно взятого алмазного зерна (кристалла) оказывает его габитус и морфология. Высокопрочные алмазы высокой марки (АС 100 – АС 200) в основном представляют собой изометричные кристаллы с зеркальными гранями, что создает дополнительные трудности для их удержания в связке. Применение алмазных кристаллов с высокой удельной прочностью обладающие специфическим габитусом и морфологией облегчающие их закрепление в металлической матрице, требует применение специальных тех. процессов на этапе алмазного синтеза [1] или на других этапах производства;

– металлическая связка алмазкомпозиционного материала, которая обеспечивает оптимальную прочность закрепления алмазных зерен, а также необходимую износостойкость при контакте с обрабатываемым материалом и шламов в зоне резания. Оптимальный подбор указанных параметров при проектировании алмазного инструмента обеспечивает работу инструмента в экономически выгодном режиме самозатачивания. Алмазоудерживающая способность металлической связки в свою очередь определяется его физико-механическими (прочность, твердость, коэффициент Пуассона), теплофизическими (теплопроводность, коэффициент термического расширения, горячая твердость) и физико-химическими (смачиванием и адгезионной способностью жидкой фазы металлической композиции по отношению к различным граням кристаллов алмаза) свойствами. Кроме всего прочего, прочность закрепления алмазного кристалла в связке может меняться в процессе работы и зависит от цикличности нагрузки и величины самой нагрузки [2, 3]. Значение удельной нагрузки, и его динамика приходящие на единичные алмазные кристаллы, зависят от таких факторов, как концентрация алмазов в связке и его зернистость, кинематическая схема тех. процесса (шлифование, фрезерование, резка сегментными пилами, бурение) а также от свойств и природы обрабатываемого материала [4]. Кроме того, рабочие условия во многом будут определяться режимами обработки, гидродинамикой охлаждающей жидкости и конструкцией рабочей части алмазного инструмента. Суммируя, можно констатировать, что алмазообразивная обработка является многофакторным процессом.

Единой формулы, которая включала бы в себя совокупность всех параметров влияющих на процесс алмазной обработки, а также на динамику изменения этих параметров уже непосредственно в тех. процессе – не существует. Нет формулы, которая дала бы возможность при создании новых тех. процессов безошибочно прогнозировать и планировать необходимые параметры алмазного инструмента (марка и зернистость алмазов, концентрация, состав связки, геометрия режущей части) и режимы обработки для достижения максимальной эффективности алмазной обработки. В научной литературе фигурирует множество эмпирических выражений, которые находятся в хорошем согласии с экспериментальными данными. Они в основном включают в себя не весь комплекс, а определенный

набор функциональных параметров и поэтому пригодный для описания вполне конкретного диапазона технологического процесса, как по инструменту, так и по обрабатываемому материалу и режимам его обработки. При планировании нового тех. процесса включающего в себя применение нового алмазкомпозиционного материала в качестве режущего элемента или обрабатываемого материала выставление режимов обработки и подбор необходимой геометрии инструмента в основном происходит учетом имеющихся знаний по алмазной обработке, а также используя базу экспериментальных данных и рекомендации, близких по сущности тех. процессов. Дальнейший этап совершенствования тех. процесса предполагает уточнение и корректировку, как геометрии инструмента, так и режимов обработки с целью достижения наибольшей эффективности использования алмазного сырья применительно к конкретному обрабатываемому материалу и к конкретным условиям его обработки (станок, кинематическая схема обработки, интенсивность охлаждения и т.п.). Поэтому, расширение и пополнение базы экспериментальных данных новыми результатами и рекомендациями ценны как для дальнейшего углубления знаний в области алмазной обработки так и с практической стороны, поскольку облегчает путь при создании новых эффективных технологий.

В работе [5] показана взаимосвязь между рациональной длиной сегментов и режимами обработки конкретного материала – гранита алмазными дисковыми пилами. Получено выражение для определения длины сегмента дисковой пилы для процесса резания:

$$l_c = 0.25R \frac{V_0 \varphi_h H_3 K_3}{V_n H_p K_p} - l_p \quad (1)$$

где  $R$  – радиус инструмента,  $V_0$  – скорость резания,  $V_n$  – скорость подачи,  $\varphi_h$  – угол контакта инструмента с обрабатываемым материалом,  $H_3$  – эквивалентный зазор,  $H_p$  – глубина резания,  $K_3$  – коэффициент заполнения (отношение объема разрушенного мат.-ла к свободному межзеренному пространству),  $K_p$  – коэфф. разрыхления обрабатываемого мат.-ла,  $l_p$  – длина паза между сегментами.

Установлено, хорошее совпадение с результатами экспериментальных данных по работоспособности дисковых пил с различной длиной алмазных сегментов. Представляло интерес, насколько описанная модель приемлема и для других технологических операции с участием алмазно-абразивного инструмента.

В данной работе приводятся экспериментальные данные по производительности и стойкости конкретного алмазного инструмента в зависимости от геометрии его режущей части и применяемых режимов обработки

Изучали процесс сверления глухих отверстий алмазными трубчатými сверлами с цельно спеченными алмазными коронками. В данном случае алмазный инструмент по сравнению с резанием дисковыми пилами находится в еще более экстремальных условиях.

Диаметр алмазных трубчатых сверл  $\Phi = 22$  мм, толщина режущей кромки (коронки) 2 мм; глубина сверления 35 мм; обрабатываемый материал цветной гранит Емельяновского месторождения (Украина). Применяли алмазный инструмент с цельноспеченными алмазными коронками различной геометрией. Различие состояло в наличии на контуре коронки различного количества 5мм-ых пазов для доступа охлаждающей жидкости и выноса шлама. Меняя количество пазов, фактически менялась длина алмазного сегмента  $l_c$  принимающего участие в процессе резания. Скорость резания  $V_0$  менялась в диапазоне 350–700 об/мин (0.4–0.8 м/с соответственно), подача –  $S$  осуществлялась в режиме самоподачи при постоянном давлении  $P \sim 7$  кг/см<sup>2</sup>, охлаждение средней интенсивностью – 1,5 л/мин, подача воды через боковые приемники в корпусе трубчатого сверла. Алмазные коронки изготавливались методом горячего прессования, использовались алмазы марки АС100-АС125 зернистостью 400/250. Связка на железоникелевой основе условным обозначением МГ 17. Состав разработан в ГТУ ( $\sigma_B \sim 80\text{--}90$  кг/мм<sup>2</sup>, HRB-100÷102). Концентрация алмазов  $\sim 80\%$ -ов. Определяли производительность процесса  $V$  сверл.мм/мин и показатель стойкости инструмента  $R$  м/мм-отношение просверленного расстояния в м-ах к износу алмаз содержащего слоя в мм. Фиксировали также кинетику изменения производительности в зависимости от проделанного объема работы при различных скоростях резания. Изучали зависимость производительности  $V_{\text{сверл.}}$  мм/мин и показателя стойкости  $R$  м/мм инструмента от соотношения суммарной длины режущих сегментов и пазов между ними  $K = l_{\text{паз}}/l_{\text{св.мг}}$  при различных режимах обработки.

Было установлено, что максимальный показатель стойкости ( $R$ ) сверл оснащенных двух сегментными коронками ( $K = l_{\text{паз}}/l_{\text{св.мг}} \approx 0,16$ ) на металлической связке МГ-17 при обработке Емельяновского гранита достигается при сравнительно низких скоростях резания  $N = 350$  об/мин т.е.

$V_0 = 0,4$  м/с рис.1, а). С увеличением скорости резания показатель стойкости инструмента заметно снижается. С изменением скорости резания существенно меняется и производительность на начальных этапах процесса. Увеличение скорости резания с 350 об/мин до 700 об/мин обеспечивает повышения производительности примерно в 1,6 раза (рис.1, б). На следующем условном этапе процесса с увеличением просверленного расстояния ( $L$ ) имеет место значительное снижение производительности и тем резче проявляется этот феномен, чем выше выставленная скорость резания (рис.1, б, кривые 1, 2). При сравнительно низких оборотах (350 об/мин, кривая 3) работа инструмента характеризуется сравнительно высокой стабильностью. Микроскопический анализ режущей поверхности инструмента работающего при различных режимах выявил основные причины изменения режущей способности сверла на разных этапах работы.

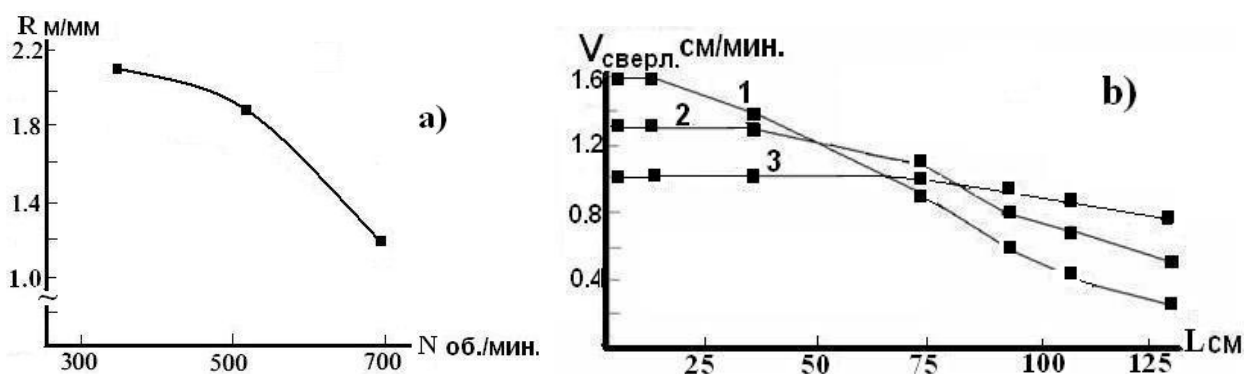


Рис. 1. Зависимость стойкости алмазного сверла и производительности процесса от скорости резания, а) изменение стойкости инструмента от скорости резания, б) изменение производительности в зависимости от просверленного инструментом расстояния при различных режимах обработки: 1 –  $N = 700$  об/мин.; 2 –  $N = 500$  об/мин., 3 –  $N = 350$  об/мин

Было выявлено, что при высоких скоростях резания (700–500 об/мин) имеет место неадекватный износ запеченных в связке алмазных кристаллов (в основном в виде хрупкого разрушения) и их частичная графитизация. Установленные обстоятельства свидетельствуют о высоких удельных механических и тепловых нагрузках на алмазные кристаллы при данных условиях работы. Алмазные кристаллы, принимающие участие в процессе резания в результате разрушения и графитизации теряют режущую способность, соответственно снижается и производительность. Вторым основным фактором, который способствует снижению производительности процесса, является “засаливание” режущей поверхности сверла. Имеет место покрытие части режущей поверхности дисперсной массой снятой с обрабатываемого материала и своевременный вынос, которого охлаждающим потоком из зоны резания при данных условиях работы не удается. Восстановление режущей способности инструмента и дальнейшая его эксплуатация возможна лишь после проведения операции зачистки режущей кромки сверла с помощью крупнозернистого абразивного материала или металлической щетки.

При низких режимах работы ( $N = 350$  об/мин) данные явления не фиксируются – алмазные кристаллы сохраняют режущую способность, и процесс протекает высокой стабильностью характерной для режима самозатачивания. Из теории и практики алмазной обработки известно, что для создания условия работы инструмента в режиме самозатачивания необходимыми условиями являются: правильный подбор пары материалов – обрабатываемый материал – обрабатываемый материал, режимы обработки и конструкция инструмента. Ниже приводятся данные по исследованию геометрического фактора алмазного сверла при различных режимах работы. На рис. 2 и 3 показаны зависимости производительности и стойкости алмазных сверл от геометрии режущей коронки при различных скоростях резания. С увеличением количества пазов облегчающих своевременный вынос стружки (шлама) из зоны резания резко возрастает производительность процесса до определенного значения коэффициента  $K$ . Дальнейшее уменьшение общего количества алмазных кристаллов принимающих участие в разрушении породы, естественно приводит к снижению общего объема срезанного материала, т.е. к снижению производительности. Улучшение условий работы инструмента не могло не сказаться на его стойкостных показателях. Иллюстрация данного факта на рис. 3. Зависимость стойкости сверл от конструкции коронки имеет максимум для определенного значения коэффициента  $K$ , что характерно для всех используемых режимов работы. Снижение стойкости алмазного инструмента после определенного “критического” значения  $K$  обусловлено по причине аналогичной, как и в случае снижения производительности.

Полученные экспериментальные данные еще раз подтверждают, что алмазообразивная обработка, в частности алмазное сверление является сложным многофакторным процессом.

Обилие влияющих факторов и тех. параметров на процесс алмазной обработки, а также тесная взаимосвязь и взаимодействие этих факторов иной раз влекут самопроизвольное изменение рабочих условия в процессе резания. Нестабильность процесса создает определенные сложности с оптимизацией технологии.

Несмотря на большой научный базис в области алмазной обработки с применением алмаз-композиционных материалов, освоение даже незначительно отличающего тех. процесса от уже известного на наш взгляд кроме теоритических и статистических данных обязательно требует экспериментального уточнения. Этому свидетельства множество как наших, так и данных из мировой практики, подтвержденные экспериментальными фактами.

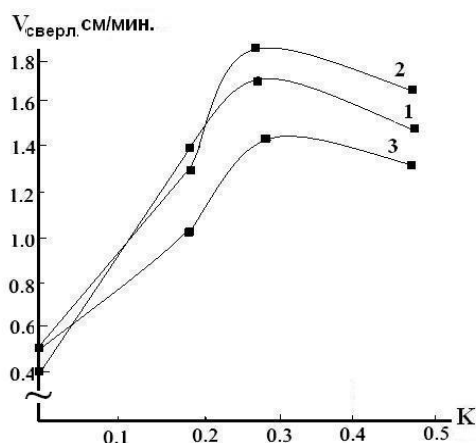


Рис. 2. Зависимость производительности процесса от геометрии режущей коронки алмазного сверла при различных режимах сверления: 1 –  $N = 700$  об/мин., 2 –  $N = 500$  об/мин., 3 –  $N = 350$  об/мин

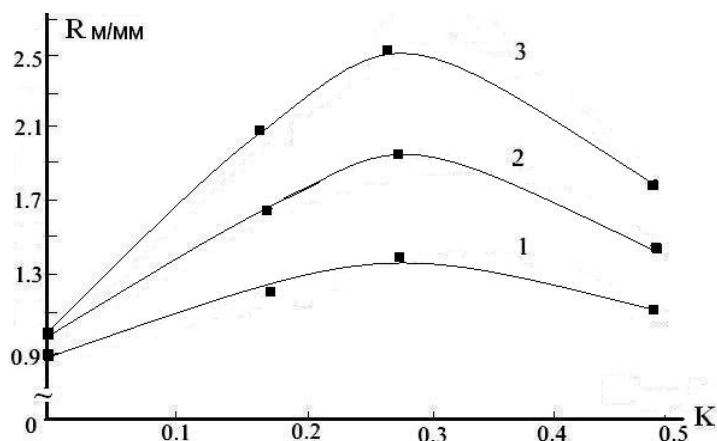


Рис. 3. Зависимость стойкости алмазного сверла от конфигурации алмазной коронки при различных режимах сверления: 1 –  $N = 700$  об/мин., 2 –  $N = 500$  об/мин., 3 –  $N = 350$  об/мин

Робота присвячена вивченню процесу алмазного сверління Омелянівського граніту алмазними трубчастими сверлами з цільноспеченими коронками створеного в ГТУ з алмазнокompозиційного матеріалу МГ-17. Встановлено, що при описаних в роботі умовах сверління максимальна стабільність в продуктивності і стійкості алмазного інструмента досягається при порівняно низьких швидкостях різання  $V = 0,4$  м/с; експериментально показана істотний вплив геометрії алмазної коронки сверла на продуктивність і стійкість інструменту при різних режимах роботи в діапазоні  $N = 350-700$  об/хв.

**Ключові слова:** трубчасті сверла, довжина сегментів, стійкість сверла.

The work is dedicated to the study of process of Emelyanovsk granite drilling with tubular diamond drills having sintered bits made of diamond composite material MG-17 developed at the GTU. It is stated that in concrete conditions described in the presented work the maximum stability of productivity and durability of diamond tool is achieved at comparatively low cutting speeds  $V = 0.4$  m/s; the significant effect of the geometry of drills cutting edge on instrument productivity and durability in different operating regimes  $N = 350-700$  rot/min is experimentally determined.

**Key words:** tubular diamond drills, segments length, tool life.

#### Литература

1. Лоладзе Н.Т., Буцхрикидзе Д.С., Церодзе М.П. Исследование взаимосвязи геометрических свойств алмазных шлифпорошков и эксплуатационных свойств шлифовальных кругов. / XIII межд. конф. Породоразрушающий металлообрабатывающий инструмент – техника, технология его изготовления и применения, Крым, 17 – 22 сент., 2010 г.: Сб. научн. трудов – Киев, 2010. – Вып. 13. – С.87–96.
2. Коновалов В.А., Ткач В.Н., Шатохин В.В. Разрушение металлической связки при высокоскоростном циклическом нагружении алмазного зерна. / XII межд. конф. Породоразрушающий металлообрабатывающий инструмент – техника, технология его изготовления и применения, Крым, 17 – 22 сент., 2009 г.: Сб. научн. трудов – Киев, 2009. – Вып. 12. – С.504 –508.

3. Коновалов В.А., Шатохин В.В. Взаимосвязь прочности закрепления зерен в связке со стойкостью алмазно-абразивного инструмента. /XII межд. конф. Породоразрушающий металлообрабатывающий инструмент – техника, технология его изготовления и применения, Крым, 17 – 22 сент., 2010 г.: Сб. научн. трудов – Киев, 2009. – Вып. 12. – С. 508–513.
4. Пегловский В.В., Сидорко В.И., Ляхов В.Н., Поталыко Е.М. Исследование производительности и трудоемкости шлифования природных камней алмазным инструментом. /XII межд. конф. Породоразрушающий металлообрабатывающий инструмент – техника, технология его изготовления и применения, Крым, 17 – 22 сент., 2010 г.: Сб. научн. трудов – Киев, 2009. – Выпуск 12. – С. 500–604.
5. Александров В.А., Левин М.Д., Мечник В.А. Определение длины сегмента алмазного дискового инструмента // Сверхтвердые материалы, 1984. – №1. – С.42–45.

Поступила 08.07.11

УДК 622.24.057

В. И. Бугаков, д-р техн. наук, А. А. Поздняков, канд. техн. наук

Институт физики высоких давлений им. Л. Ф. Верещагина РАН, г. Троицк, РФ

### АЛМАЗНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОБРАБОТКИ БЕТОНА И ДРУГИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫЙ МЕТОДОМ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ ПРИ ДАВЛЕНИИ 1–1,5 ГПа

Рассмотрены процессы обработки бетона и других строительных материалов алмазным инструментом. Экспериментально показана эффективность алмазного инструмента изготовленного методом горячего прессования при давлении 1–1,5 ГПа, с использованием алмазов АРК-4 2000/1600 и связки никель – диборид хрома твердостью 30 HRC.

**Ключевые слова:** алмаз, высокое давление, алмазный инструмент, горячее прессование.

Алмазный инструмент для обработки природного камня различного минерального состава и других искусственных строительных материалов, обладающих необходимой прочностью и погодостойкостью, находит все более широкое применение в строительстве.

Прежде чем перейти к анализу работоспособности алмазного инструмента в конкретных условиях, рассмотрим общие закономерности работы алмазосодержащих элементов [1]. Общее явление для всех обрабатываемых материалов – образование стружки (шлама). Однако при обработке камня имеются характерные особенности. Модель, схема которой показана на рис. 1, основана на процессе обработки камня зерном алмаза без его предварительного затачивания.

Как видим на рис. 1, в зоне 1 наблюдается трение между абразивным шламом и матрицей, в зоне 2 – износ матрицы абразивным шламом, первичное разрушение происходит в зоне 3, для зоны 4 характерно трение между алмазным зерном и камнем, пластическая деформация происходит в зоне 5, упругая – в зоне 6, в зоне 7 наблюдается вторичное разрушение.

В процессе обработки природного камня и другого строительного материала происходит износ алмазного инструмента (сегментов), который можно разделить на два вида: износ алмаза и матрицы.

Параметры износа инструмента зависят от минерального состава материала и условий обработки. К износу алмазов приводит абразивное воздействие обрабатываемого камня или строительного материала, возникающее вследствие высоких механических и термических нагрузок. К износу матрицы приводит абразивное воздействие шлама (смеси стружки и охлаждающей жидкости), возникающее в процессе обработки. Абразивность шлама определяется главным образом размером его частиц и минеральным составом обрабатываемого материала.

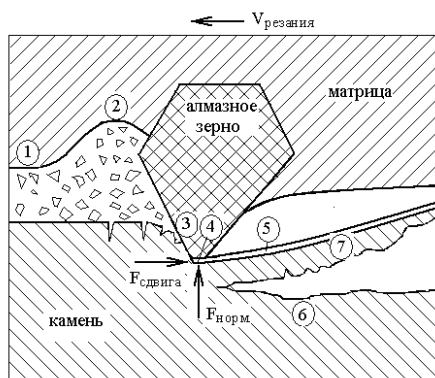


Рис. 1. Схема механического взаимодействия алмазного инструмента и обрабатываемого материала