

УДК 621. 922. 026

Ю. П. Линенко-Мельников, канд. техн. наук¹,
И. Ю. Агеева, канд. физ.-мат. наук¹, **С. Е. Агеев**, канд. техн. наук²

¹ *Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев*

² *Национальный Авиационный Университет, г. Киев, Украина*

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЕ ШЛИФОВАНИЕ БУРОВЫХ КЛРОНОК АЛМАЗНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Рассмотрены особенности долотчатых и крестовых твердосплавных буровых коронок, обоснована необходимость их восстановления алмазным инструментом. Предложен метод оценивания различных схем и способов обработки по производительности с учетом условной площади контакта в зоне шлифования.

Обоснована необходимость создания специальных мощных станков и фасонных алмазных кругов на металлической связке. Показано преимущество врезного шлифования применительно к горному инструменту, Определены режимы обработки и характеристика алмазных кругов на металлической связке.

***Ключевые слова:** производительность шлифования, схема взаимодействия круга с изделием, врезное шлифование, засаливание алмазного инструмента, режимы работы.*

Введение

К началу 1975 г. в Советском Союзе была широко внедрена алмазная обработка затупленного металлообрабатывающего твердосплавного инструмента, что приносило огромный экономический эффект, так как позволяло повысить производительность обработки и качество изделий. Было установлено, что на твердосплавных лезвиях резцов не имеются сколы, наблюдавшиеся после их обработки абразивными кругами. Режущие лезвия не имели зазубрин, вместо напряжений растяжения наблюдались напряжения сжатия, что для такого хрупкого материала, как твердый сплав, крайне важно.

Это дало основание первому директору ИСМ В. Н. Бакулю, который был специалистом по твердым сплавам (возглавлял киевский филиал «Оргпримтвердосплав») и в области твердосплавного перфораторного бурового инструмента [1], взяться за решение проблемы восстановления горного инструмента алмазными кругами. Специалисты, исследовавшие шлифование металлорежущего инструмента алмазными кругами, отказывались решать эту проблему, поскольку ширина площадки затупления горного инструмента составляет до 5 мм, в отличие от 0,1 – 0,2 мм. металлообрабатывающего, т.е. в 50 раз больше, что требует снятия большего объема твердого сплава и стали корпуса (2–4 см³). До решения этой проблемы горный инструмент восстанавливали вручную на точильно-шлифовальных станках абразивными кругами из карбида зеленого кремния. Станки, создаваемые для механизированного восстановления горного инструмента, изнашивались в течение одного-двух месяцев, поскольку микронная абразивная пыль, которая не смачивается охлаждающей жидкостью, способствует полному износу трущихся узлов. При восстановлении горного инструмента вручную неизбежны такие профессиональные заболевания заточников как силикоз и виброболезнь.

Шлифование и доводку металлорежущего инструмента алмазными кругами осуществлялась на станках мощностью до 2 кВт. Для восстановления производительности горного инструмента не ниже, чем при ручной обработке (800–1200 за смену), требуется оборудование мощностью 5–7 кВт. При этом схема взаимодействия инструмента с кругом должна обеспечивать наибольшую площадь контакта и наибольшее количество алмазных зерен, одновременно снимающих обрабатываемый материал.

В этой связи при восстановлении горного инструмента необходимо одновременно снимать твердый сплав и сталь корпуса, а алмазные круги на металлической связке подвержены засаливанию, что приводит к потере режущей способности. Для восстановления коронок применили алмазно-электролитический метод, в соответствии с которым электрические разряды в зоне контакта позволяют очищать круг от налипших частиц металла [3].

Кроме того, очищению круга от засаливания способствует отведение и подведение к его рабочей поверхности обрабатываемого изделия. При этом существенно изменяются динамика взаимодействия алмазных зерен с обрабатываемым материалом и частота колебаний в зоне контакта. Этому способствует также высыхание алмазного круга. Растворенные в СОЖ соли кристаллизуются и сдвигают налипшие частицы стали от связки круга.

Аналитическое исследование

Для сравнительного оценивания различных схем шлифования необходимо выбрать такой критерий, который давал бы наиболее полную его характеристику с позиций производительности. Таким критерием, по нашему мнению, может являться средняя мгновенная контактная площадь $F_y=f(t)$, равная интегральной сумме за цикл и отнесенная к продолжительности цикла T . В дальнейшем будем называть этот параметр условной контактной площадью и рассчитывать по формуле:

$$F_y = \frac{\int_0^T f(t) dt}{T}$$

Для сравнения кинематических схем шлифования по производительности зададим ограничения, считая, что удельная производительность шлифования, зависящая от режима обработки, физико-механических свойств материала и характеристики абразивных кругов постоянна. В этом случае условная машинная производительность шлифования прямо пропорциональна условной контактной площади.

По признаку кинематического подобия рассматриваемые схемы взаимодействия коронок с абразивным инструментом, показанным на рис. 1, можно разделить на три группы (рис. 2).

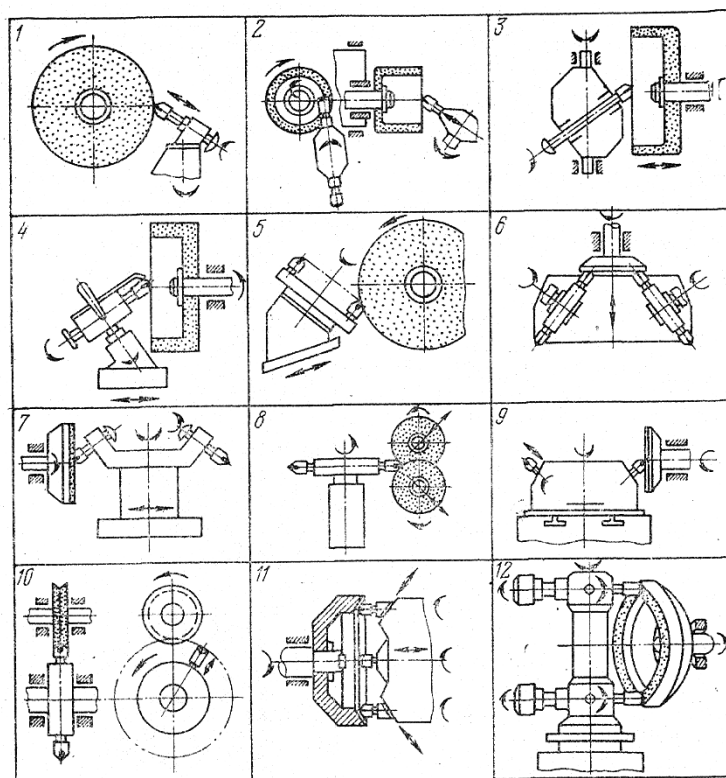


Рис. 1. Кинематические схемы взаимного расположения коронок и абразивного инструмента на существующем и создаваемом заточном оборудовании

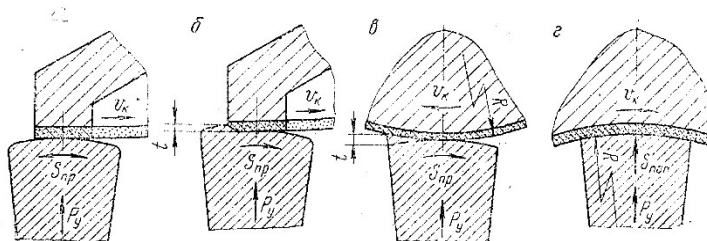


Рис. 2. Способы затачивания коронок на оборудовании: а – группы I (обычное многопроходное шлифование); б, в – группы II (глубинное шлифование); з – группы III (торцевое шлифование); I – с качательным перемещением заточного инструмента относительно абразивного (обычная многопроходная схема шлифования); II – с круговым перемещением коронок на роторных приспособлениях (глубинное шлифование); III – с перемещением заточного инструмента на абразивный (торцево-врезное шлифование)

Условную контрольную площадь для всех рассмотренных схем обработки определяют по формулам, приведенным в табл. 1. Эти формулы можно использовать для расчета F_y различных типов долотчатых буровых коронок. Например КДП, БКПМ, «Истра 20». Отличия расчетов приведены в табл. 1. Сравнив приведенные данные, установили, что наиболее перспективны схемы группы III, а именно, разработанные в ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины схемы 11 и 12 (рис. 1), обеспечивающие обработку одновременно нескольких коронок способом врезного шлифования. При осуществлении этих схем, производительность на порядок выше по сравнению с производительностью в случае применения известных схем.

Таблица 1. Определение условной контактной площади F_y

Номер группы оборудования	Номер схемы	Формула для определения условной контактной площади F_y	F_y , доли hl	Соотношение контактных площадей $F_v/F_{v.min}$	F_y , мм ² (первая переточка)		
						z	z ₁
I	2	$\sqrt{\frac{R\delta}{\sin \alpha / 2n_k t_k} - \left(\frac{\delta}{n_k t_k}\right)^2} h$	0,23	2,1	104	2	1
	3		0,36	3,3	162	1	1
	4	$\left[\frac{Bl}{A} - \frac{(B+l-A)^2}{4A}\right] h$	0,50	4,5	225	1	1
	7		0,48	4,4	216	2	1
II	5	$\frac{zB}{\pi D_y} hl$	0,64	5,8	288	20	1
	9		0,11	1,0	50	8	1
	6	$\frac{z}{\pi R} \sqrt{2R \frac{\delta}{n_3} - \left(\frac{\delta}{n_3}\right)^2} hl$	0,12	1,1	54	16	2
	10		0,32	2,9	144	12	1
	8	$\frac{zB}{\pi R} hl$	1,00	9,1	450	18	2
III	11	zhl	6,0	54,6	2700	6	6
	12	$z \left[\frac{Bl}{A} - \frac{(B+l-A)^2}{4A}\right] h$	1,94	17,6	874	2	2

Примечания: Обозначения в формулах: B – ширина алмазного слоя круга, мм; R – радиус кривизны лезвия коронки, мм; α – угол заострения коронки, град; δ – общий снимаемый припуск в направлении нормали и затачиваемой поверхности, мм; n_k – количество двойных

качаний до полного затачивания одной стороны коронки; z_1 – количество коронок, одновременно находящихся в контакте с абразивным кругом; h – средняя ширина затачиваемой части, мм; n_3 – количество оборотов ротора до полного затачивания одной стороны коронки; z – число коронок в приспособлении; l – длина лезвия коронки, мм; t_k – продолжительность контакта одной стороны коронки с кругом, мин; D_y – установочный диаметр приспособлений, мм; A – амплитуда осциллирующего движения

Аналогично осуществили аналитическое исследование крестовых буровых коронок, широко применяемых для более крепких и трещиноватых горных пород. Кроме того, определяли не только соответствующую производительности условную площадь контакта крестовой коронки с кругом, но и режущую способность инструмента.

Различные схемы взаимодействия крестовых коронок с инструментом показаны на рис. 3. В табл. 2 приведены режимы обработки для схем 1–12, а в табл. 3, режущая способность алмазного инструмента и его условное производство.

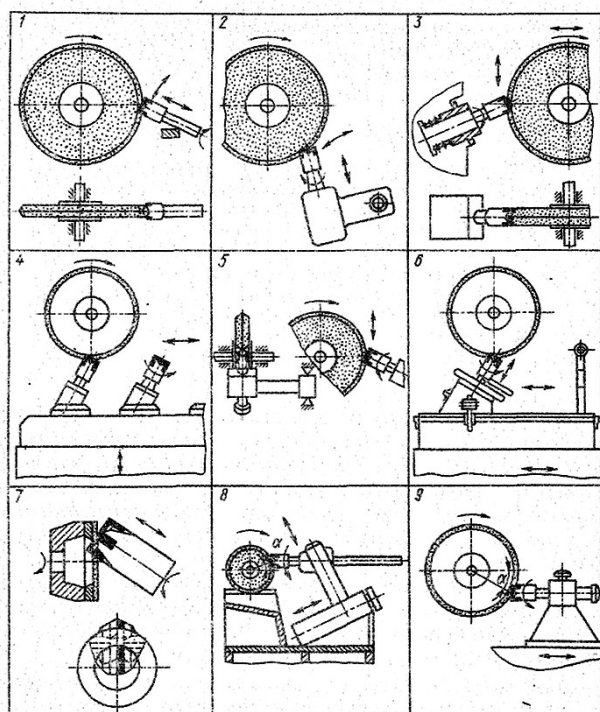


Рис. 3. Схемы затачивания крестовых буровых коронок: 1 – ручное затачивание на точильно-шлифовальном станке ЗС-30; 2 – затачивание одновременно двух смежных граней коронки путем качательного перемещения относительно абразивного круга; 3 – затачивание при возвратно-поступательном перемещении стола с коронкой (станок ВЗ-140); 4, 6 – затачивание коронок с многопозиционной установкой; 5 – обработка с незначительной амплитудой возвратно-поступательных качаний; 7 – затачивание двух диаметрально противоположных граней путем врезного шлифования чашечным алмазным кругом (пат. 200920, Швеция); 8 – затачивание горизонтально расположенных коронок, позволяющее обрабатывать цельнометаллические буры (пат. 373529, США); 9 – затачивание путем врезного шлифования фасонным алмазным кругом

Таблица 2. Режимы шлифования для различных схем заточного оборудования

Номер схемы заточки	Режимные параметры
1	Ручная подача, $V_{кр} = 25$ м/с; $S_{non} = 2$ мм/мин
2	$S_{non} = 0,1$ мм/дв.ход; $n = 40$ дв.ход/мин; $L = 136$ мм
3	$S_{non} = 0,1$ мм/дв.ход; $n = 60$ дв.ход/мин; $L = 100$ мм
4	$S_{пр} = 0,25$ м/мин; $t = 1$ мм; $L = 60$ мм
5	$S_{non} = 0,05-0,1$ мм/дв.ход; $n = 200$ дв.ход/мин; $L = 25$ мм
6	$S_{пр} = 0,25$ м/мин; $t = 1$ мм; $L = 40$ мм
7	$S_{non} = 10$ мм/мин; $S'_{non} = 6$ м/мин; $t = 1$ мм; $L = 100$ мм
8	$S_{non} = 0,1$ мм/дв.ход; $n = 34$ дв.ход/мин; $L = 100$ мм
9	$S_{non} = 10$ мм/мин; $S'_{non} = 6$ м/мин; $t = 1$ мм

Таблица 3. Режущая способность инструмента и производительность при различных схемах заточного оборудования

Группа оборудования	Номер схемы затачивания (см. рис. 3)	Режущая способность инструмента		Производительность		$k = Q/Q_p$
		Формула	Q_p , мм ³ /мин	Формула	Q_p , мм ³ /мин	
I	2	$\frac{FS_{non}Ln}{l}$	2760	FS_{non}^n	320	0,12
	3		3000		480	0,16
	8		1700		270	0,16
II	4	$\frac{FtS_{np}}{l}$	3830	$\frac{FtS_{np}}{L}$	1020	0,27
	6	$\frac{FtS_{np}}{l}$	3830	$\frac{FtS_{np}}{L}$	1530	0,40
III	1	-	2500–3000	-	2000–2500	0,80
	5	$\frac{FS_{non}Ln}{l}$	890–1260	FS_{non}^n	560–800	0,63
	7	FS_{non}	3400	$\frac{FtS_{non}S'_{non}}{tS'_{non} + LS_{non}}$	2720	0,80
	8	FS_{non}	3400	$\frac{FtS_{non}S'_{non}}{tS'_{non} + LS_{non}}$	2830	0,83

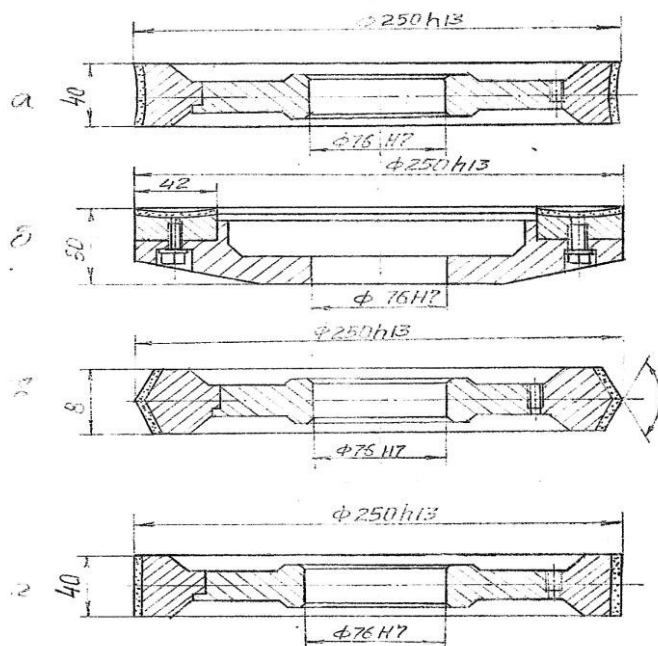


Рис. 4. Схемы фасонных алмазных кругов для восстановления буровых коронок разных типов: а, б – долотчатых; в – крестовых; г – алмазный круг прямого профиля для сравнения

Результаты анализа показывают, что в основу обработки твердосплавного бурового инструмента должно быть положено врезное шлифование, обеспечивающее наибольшую площадь контакта и сокращение времени на вспомогательные перемещения. Это возможно при условии создания алмазного круга с фасонной рабочей поверхностью, которая позволит охватывать криволинейную рабочую поверхность долотчатой коронки и коническую крестовой коронки.

Такие конструкции алмазных кругов и пресс-формы для их изготовления, а также спекание алмазосодержащего слоя на металлических связках, были разработаны в ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины. Конструкция алмазных кругов показана на рис. 4.

Эффективно использовать алмазные круги можно только при условии изучения их характеристик и режимов работы в процессе съема с них

легированной стали и твердого сплава при врезном шлифовании.

Соответствующее экспериментальное исследование осуществили в ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины.

Методика экспериментальных исследований

Как указывалось, исследование осуществляли в ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины. Для этого спроектировали и изготовили экспериментальный стенд, на котором осуществляли врезное и глубинное шлифование с высокой удельной мощностью в режиме непрерывного и прерывающегося контакта круга с заготовкой. Стенд был снабжен установкой, позволяющей изменять продолжительность контакта заготовки с кругом [4]. Усилие подачи составляла 30–

2000 Н, частота прерываний шлифования 30–0,1 мин⁻¹. На опытном заводе изготовили алмазные круги 1А1200×15×3×76 с алмазами АС6160/125, концентрацией 100% на связках М1-10 (М04-2), М016 и М2-01 (М1). Частота вращения круга – 2300 об./мин. Фиксировали перемещение заготовки на круг и мощность шлифования.

Результаты исследования и их обсуждение

Аналитические и экспериментальные исследования (табл. 4) показали, что восстановление бурового твердосплавного инструмента возможно. Для этого необходимо применить врезное шлифование, обеспечивающее наибольшую площадь в зоне контакта при минимальных холостых перемещениях. Этому способствует использование технологического тока, которое позволяет эффективно очищать алмазный инструмент от засаливания, а также применение фасонного алмазного инструмента и мощных заточных станков (5–10 кВт), что позволяет обрабатывать одновременно несколько коронок.

Таблица 4. Энергоемкость и производительность врезного шлифования

Параметр	Единица измерения	Значение при усилии подачи, Н	
		100	300
Усилие подачи	Н	100	300
Связка круга	–	М-10; М016	М-10; М016; М2-01
Обработка при постоянной подаче	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{см}^3}$	36,0; 72,0	33,6; 57,6; 76,8
	$\frac{\text{см}^3}{\text{мин}}$	1,2; 0,6	4,8; 2,8; 2,0
Обработка при прерывистой подаче	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{см}^3}$	43,2; 60,0	31,2; 42,0; 46,8
	$\frac{\text{см}^3}{\text{мин}}$	1,0; 0,7	5,4; 4,0; 3,5

Аналогичное аналитическое исследование осуществили с крестовыми буровыми коронками, широко применяемыми для более крепких и трещиноватых горных пород. Для крестовых коронок определяли не только соответствующую производительность, условную площадь контакта крестовой коронки, но и режущую способность инструмента.

Показаны различные схемы взаимодействия крестовых коронок с абразивным инструментом на рис. 3. Режимы обработки коронок для указанных схем 1–9 приведены в табл. 2. Режущая способность алмазного инструмента и его условная производительность в табл. 3.

Литература

1. Бакуль В.Н., Кравцов М.М. Горный инструмент для бурения шпуров. Харьков, М.: Metallurgizdat, 1952. – 282 с.
2. Гнусарев В.Ф., Кудря Н.А. Влияние абразивного затачивания на прочностные характеристики металлокерамических твердых сплавов. – Горный журн. – 1969, №5. – с. 40–43.
3. Студентский Е.И., Богатырев В.И., Кадышев Н.Т. Электроалмазное шлифование. М.: Машиностроение, 1971. – 80 с.
4. А.С. № 931393 (СССР) Станок для врезного, глубинного шлифования алмазно-абразивным инструментом. / Г.И. Рудник, Ю.П. Линенко-Мельников, В.В. Евдокименко. – Оpubл. в БИ, 1982. – № 20.
5. Линенко-Мельников Ю.П., Рудник Г.И. Влияние характера контактирования на производительность врезного алмазного шлифования // Сверхтвердые матер. – 1991. – № 13. – С. 47–50.

Поступила 03.06.14