

УДК 622. 24. 05

Ю.П. Линенко-Мельников, канд. техн. наук

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

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗЦОВ С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ РЕЖУЩЕЙ КРОМКОЙ

In this article the design of cutters with rotating cutting bit (self-rotating cutters), their distinctive exploitation features, wear resistant characteristics, the distinction from common mining cutting instrument, and the conditions ensuring self-rotation are considered. The original constructive decisions, which allow increasing the effectiveness of the cutters exploitation in different areas, are offered.

Разновидностью режущего инструмента является резец с вращающейся режущей кромкой или самовращающийся резец.

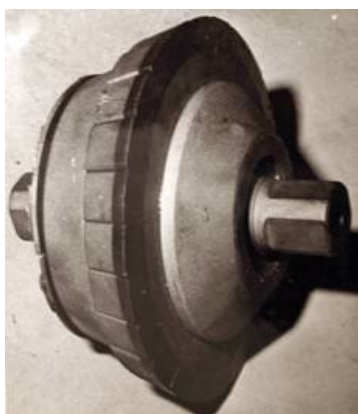


Рис. 1. Общий вид СВР для проходческих комбайнов с твердосплавной опорой вращения и набором быстросменных твердосплавных ножей

Этот инструмент используют тогда, когда обычные стержневые резцы не обеспечивают достаточной стойкости, например, при обработке жаропрочных, высоколегированных и трудно обрабатываемых сталей в машиностроении [1]. Особенно это относится к горнорезущему инструменту, так как породы – прочный и абразивный материал.

Известны резцы с принудительным вращением режущей кромки, (например А.М. Ронина и А.И. Каширина [2]) и резцы, у которых режущая кромка вращается под действием сил, возникающих в зоне резания – СВР. Последние проще конструктивно и удобнее в эксплуатации, поэтому рассмотрим их подробнее.

Хорошие результаты были достигнуты в 60 – 70-е годы прошлого века при разработке СВР для проходческих комбайнов и тоннельных машин. Работы были выполнены в ИСМ НАН Украины под руководством Ю.П. Линенко-Мельникова (рис. 1) [3].

Стойкость СВР диаметром 200 мм с мощными твердосплавными опорами, состоящими из легкозаменяемых твердосплавных резцов, была в десятки раз выше по сравнению с обычным горнорезущим инструментом. Это обеспечивало длительную непрерывную работу проходческого комбайна без остановки для замены изношенного инструмента [4; 5].

Об этом свидетельствуют зависимости среднего линейного износа по задней грани сменных резцов, установленных на корпусе СВР при его вращении – (1 и при искусственном стопорении – (2 на рис. 2) от объема разрушенной породы при резании песчаника с коэффициентом крепости $f=8$ и абразивностью $a=37$ мг.

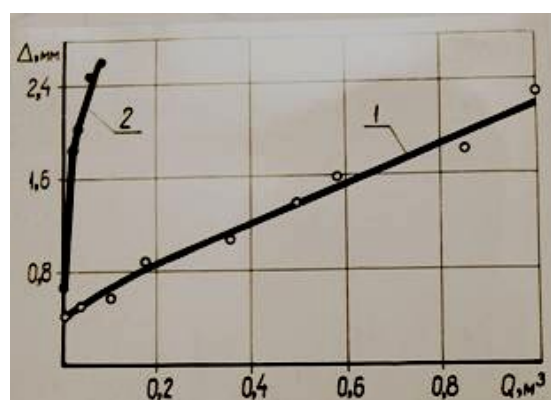


Рис.2. Зависимости линейного износа по задней грани сменных резцов от объема разрушенного песчаника при его вращении (1) и на застопоренном СВР (2).

Отношение интенсивности износа приведенных кривых равно 10, что свидетельствует о существенном повышении износостойкости СВР. Такая высокая стойкость достигается не только за счет того, что длина режущей кромки СВР существенно превышает длину ее участка, контактирующего с породой, но и потому, что на этом инструменте благодаря его самовращению в зоне контакта не возникает высоких температур [6], на задней грани не образуются плоские площадки износа, затупленные поверхности имеют скругленную форму.

Самовращающиеся резцы с консольным креплением на опоре [7] применяются на планетарном исполнительном органе (рис. 3) проходческого комбайна 2ПП (рис. 4) [8] конструкции Гипроуглемаша (г. Кривой Рог). Испытания комбайна проводили на руднике «Ихтвиси–Новый» треста Чиатурмарганец, где впервые вместо буровзрывного метода применили комбайновую добычу руды. Эти испытания подтвердили перспективность применения СВР диаметром 150 мм со сменными твердосплавными ножами для разрушения абразивных горных пород средней и выше средней крепости.



Рис. 3. Общий вид планетарного исполнительного органа проходческого комбайна 2ПП с консольным креплением СВР, оснащенных твердосплавными резцами



Рис. 4. Общий вид проходческого комбайна 2ПП конструкции Гипрорудмаша, оснащенного СВР, на испытательном полигоне

Интересные результаты были получены при испытании СВР во время резания гранита. Испытания проводили при обработке каландровых валов диаметром 1,2 м и длиной 6 м бумагоделательных машин [9]. Резание осуществлялось на вращающемся и застопоренном СВР при установке оси резца под углом 45° , глубине резания 4 мм, подаче 8 мм/об и скорости резания 16,8 м/мин. Результаты испытаний показаны на рис. 5, из которого следует, что интенсивность износа СВР по сравнению с застопоренным резцом меньше в 44 раза для прямолинейного участка 1 и в 158 раз – для участка 2. Такое снижение интенсивности износа объясняется не только большим «запасом» длины режущей кромки, равным отношению длины окружности сплошной режущей кромки к ее части, находящейся в зоне резания, которая в рассматриваемом случае составила 20 м. Снижению интенсивности износа способствовали также уменьшение длины пути трения, увеличение градиента температур в зоне резания [6] и получение профиля износа с большей кривизной [10].

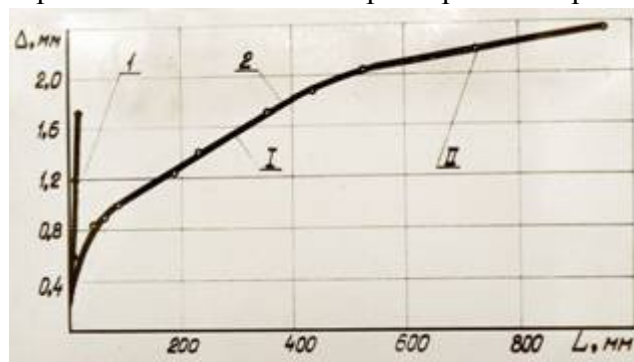


Рис. 5. Зависимости линейного износа СВР по задней грани от длины пути резания гранита с застопоренным резцом (1) и при его самовращении (2).

Из приведенных данных следует, что показатели стойкости СВР по сравнению с обычным режущим инструментом повышаются с увеличением абразивных и прочностных свойств разрушаемого материала.

Наиболее эффективными являются СВР с большим диаметром режущей кромки – 150 – 250 мм, так как в этом случае вращающие усилия приложены к большому диаметру, чем тормозящие в опоре вращения.

Обязательным условием эффективной работы СВР является обеспечение их надёжного вращения. Для объяснения механизма самовращения рассмотрим силы и скорости, действующие и возникающие на режущей кромке СВР в зоне контакта с породой (рис. 6) [11].

При установлении оси СВР под некоторым углом λ к направлению движения возникает вращение его режущей кромки. На поверхности резца контактирующей с породой действуют: результирующие давления породы на грани заднюю N_3 (рис. 6, а) и переднюю N_n (рис. 6, в). В подшипнике возникает тормозящий момент M_T , который может выражаться через приведенную к режущей кромке силу P_T (рис. 6, з), направленную в сторону, противоположную вращению резца. При работе СВР каждая точка на режущей кромке участвует в двух движениях – переносном (поступательном) и относительном (вращательном). Вектор фактической скорости движения \bar{V}_ϕ (рис. 6, з) построенный на векторах скорости резания \bar{V}_p и окружной скорости \bar{V}_o , определяет фактическое направление перемещения точек режущей кромки относительно породы. Сила трения F_3 , возникающая на задней грани, будет направлена в сторону противоположную вектору \bar{V}_ϕ . На застопоренном корпусе резца сила трения будет направлена по оси Z и её проекция на переднюю грань будет максимальной $P_{o\max}$. В действительности в зависимости от типа и состояния подшипников тормозной момент и соответствующая ему приведенная сила P_T могут различаться. При их увеличении снижается окружная скорость \bar{V}_o , увеличивается угол φ между осью резца и направлением вектора \bar{V}_ϕ , т. е. изменяется на-

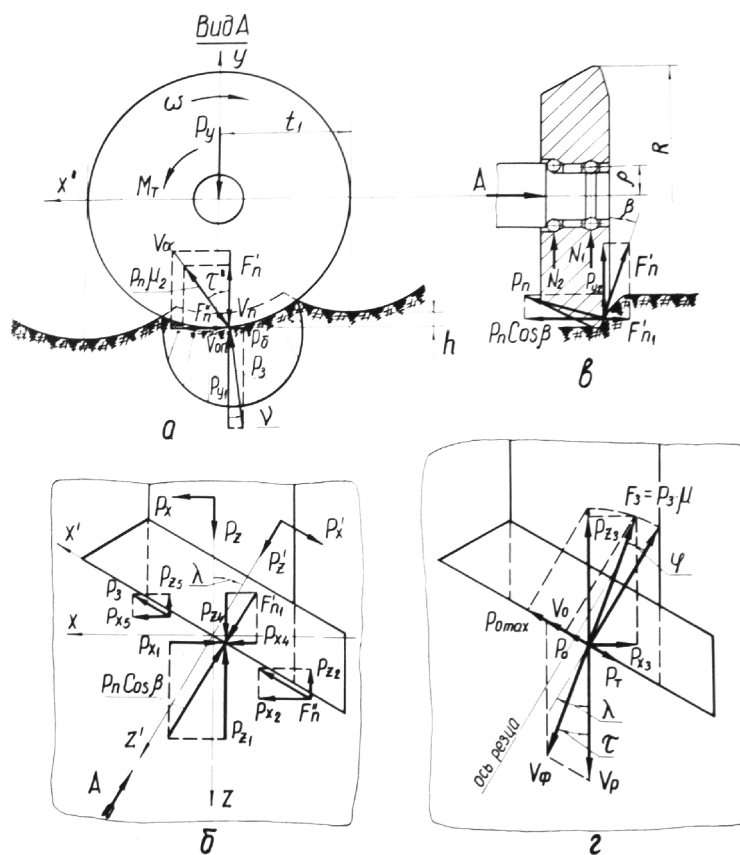


Рис. 6. Схемы сил и скоростей, действующих и возникающих на режущей кромке СВР в зоне контакта с породой

правление действия силы трения F_3 и соответственно увеличивается её составляющая P_o (рис. 6, з). Таким образом, автоматически происходит уравнивание тормозного момента в опоре, при этом сила F_3 может менять своё направление в пределах угла λ [11].

Силы трения действуют по задней и передней граням резца, но в связи с тем, что контакт с породой передней грани происходит периодически (перед очередным сколом породы), а задняя грань практически всегда в контактирует с породой, вращение СВР обеспечивается в основном составляющими сил трения на задней грани инструмента [12].

Так как резец при устойчивом вращении находится в состоянии равновесия, момент $M_{вр}$ от действия внешних сил, вызывающих вращение резца, равен моменту M_T , от сил трения в опоре (рис. 6):

$$M_{вр} = M_T ;$$

где $M_{вр} = P_o R$; $M_T = P_T R$; R – радиус СВР

В свою очередь

$$P_T = N_3 \mu_1 \sin \lambda_{\min}$$

где μ_1 – коэффициент трения на задней грани СВР.

Отсюда получаем, что минимальный угол поворота

$$\sin \lambda_{\min} = \frac{P_T}{N_3 \cdot \mu_1}$$

Некоторые исследователи [13; 14] ошибочно считают, что крутящий момент, обеспечивающий вращение резца относительно его оси, формируют составляющие усилия резания. Усилия резания и подачи действуют перпендикулярно к поверхности режущей кромки, и поэтому не могут участвовать во вращении резца. Как было показано, вращение обеспечивает в основном составляющая силы трения на задней грани СВР. Чем больше радиус приложения этой силы и меньше сопротивление в опоре, тем стабильнее процесс самовращения.

Практически на СВР рассмотренных конструкций самовращение начинается при угле поворота их оси относительно направления переносного движения равном 4° . При угле, равном $10 - 15^\circ$, наблюдаются стабильное самовращение, равномерный износ и высокая стойкость инструмента.

В связи с тем, что в настоящее время в Украине мощные проходческие и добычные комбайны, на которых могут применяться СВР диаметром $150 - 200$ мм, не изготавливаются, этот тип уникального инструмента сохранился в виде пальчиковых СВР на очистных комбайнах диаметром 1400 мм и проходческих комбайнах типа 4ПП2, предназначенных для работы по углю с просечкой породы средней крепости. Схема такого резца типа РГ501 показана на рис. 7. Резцы аналогичного типа широко применяются на машинах барабанно-фрезерного типа для снятия асфальтобетонных покрытий при ремонте дорог. В Киеве используют машины фирм «Wirtgen» и «Bobkett» производства Германии [13].

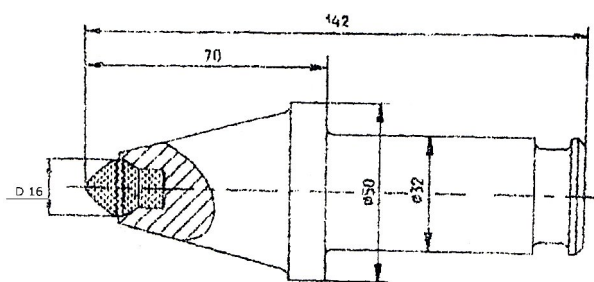


Рис. 7. Схема резца типа РГ501 для комбайнов очистных диаметром 1400 мм и проходческих 4ПП2 для работы по углю с просечкой пород средней крепости

Ранее пальчиковые СВР с центральной конусообразной твердосплавной вставкой поставляли из Германии. С 2005 года их производство освоено в ИСМ НАН Украины (рис. 8). По качеству они не уступают зарубежным. Недостаток этого инструмента, состоит в том, что коническая твердосплавная вставка в контакте с породой образует большую поверхность и соответственно усилия подачи P_y и резания P_z , под действием которых происходит отрыв твердосплавной вставки или разрушение корпуса инструмента.

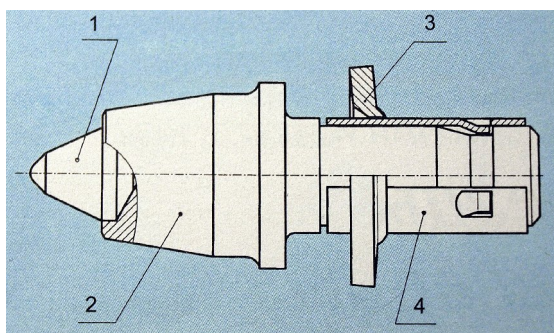


Рис. 8. Общий вид дорожного резца СВР в сборе, изготавливаемого в ИСМ НАН Украины

Еще один недостаток этого инструмента состоит в том, что радиус приложения составляющих усилия трения образуемый крутящим моментом M_0 , на задней грани резца значительно меньше (в 8-10 раз) радиуса цилиндрической части опоры или кольцевой проточке для восприятия осевого усилия. В результате момент сопротивления всегда больше вращающего момента, особенно при наличии в опоре абразивной пыли. Тем не менее, самовращение все же осуществляется, но не непрерывное, а прерывистое вследствие того, что резание является высокодинамичным процессом и после очередного скола породы усилия на резце резко снижаются, а составляющие силы трения на задней грани, обеспечивающие вращательный момент, сохраняются и происходит очередной поворот СВР (Рис.9, б). Когда во время стопорения на рабочей поверхности инструмента образуется плоская лыска, резец повернуться, не может, твердосплавная вставка отрывается, вследствие чего происходит и резкий износ корпуса резца (рис. 9, в) [13].

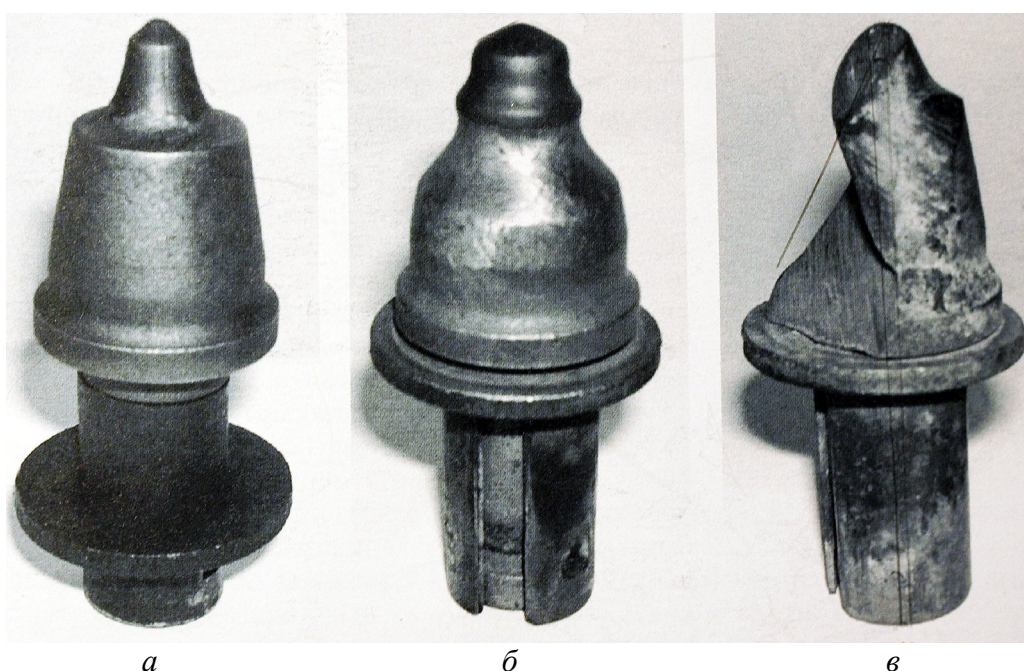


Рис. 9. Общий вид дорожных резцов СВР в сборе: а – после изготовления; б – при эксплуатации с вращением, в – изношенного в результате отсутствия вращения

Конструкцию такого резца можно существенно улучшить, если вставку с конической рабочей частью заменить на вставку с плоским торцом (рис. 10). Тогда уменьшится поверхность контакта с породой и увеличится радиус приложения крутящего момента ($R_2 > R_1$ на рис. 10). Такой инструмент можно периодически затачивать, сошлифовывая плоскую торце-

вую поверхность. При этом необходимо изменить расположение оси резца относительно обрабатываемой поверхности так, чтобы задняя грань стала передней и наоборот. В связи с тем, что усилия резания и подачи поменяются местами большую опорную поверхность под головкой резца нужно заменить на шариковую опору на торце хвостовика корпуса (рис. 10, б). Такая конструкция инструмента позволит уменьшить усилия резания (особенно осевое P_y) и сопротивление вращению в опоре, тем более, что шариковой опоре можно обеспечить работу со смазкой.

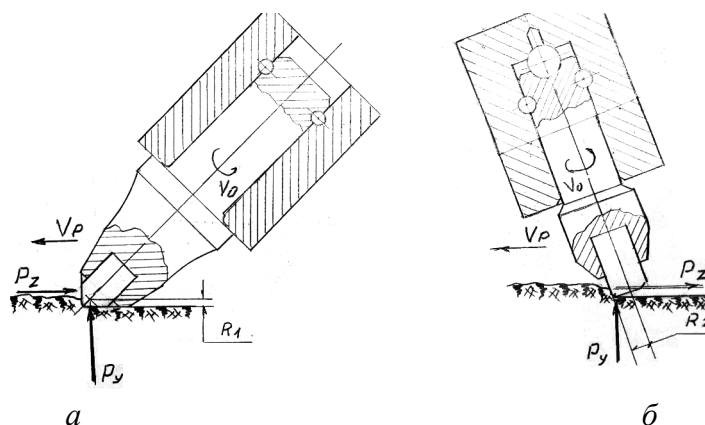


Рис. 10. Применяемый (а) и предложенный (б) пальчиковые СВР с твердосплавной вставкой, имеющей плоский торец, и с измененным расположением его оси относительно разрушаемой поверхности породы и с шаровой опорой на торце хвостовика

Таким образом, рассмотренные особенности работы СВР, их отличие от обычных резцов, усилия, действующие в зоне контакта, их ориентация относительно обрабатываемой породы и условия, обеспечивающие стабильное самовращение, позволили создать надежный инструмент со сменными твердосплавными резцами для мощных проходческих комбайнов и разработать предложения по совершенствованию пальчиковых СВР для комбайнов по углю и машин для ремонта дорожных покрытий.

Литература

1. Гранин Ю.Ф. Экспериментальные исследования стойкости круглых самовращающихся резцов при точении трудных материалов// Обработка жаропрочных и титановых сплавов. – Куйбышев.Изд-во КАИ. – 1962. – С. 5-8.
2. Каширин А.И., Ронин А.М. Резание металлов принудительно вращающимся резцом системы А.М. Ронина и А.И. Каширина//Известия АН СССР. ОНТ. – 1940. – № 7. – С. 19- 22.
3. З.А. с. № 562648. Самовращающийся резец для резания горных пород. / Ю.П. Линенко-Мельников и др. – Опубл. 25.06.77. Бюл. №23.
4. Линенко Ю.П. Исследование работы вращающихся резцов для резания горных пород// Разрушение горных пород механическим способом. – М.: Наука. – 1966. – С. 202 – 207.
5. Ю.П. Линенко- Мельников и др. Испытания вращающихся резцов на проходческом комбайне ШБМ – 2. //Уголь Украины. – 1966. – № 2. – С. 30-33.
6. Черасов Н.Е., Шляпин К.Б., Мотовилов Э.А. Температурный режим работы породных воащающихся резцов//Горные машины и автоматика.– 1964. – № 47. – с. 23 – 25.
7. А. с. № 221621. Вращающийся резец./ Ю.П. Линенко-Мельников, Л. Н. Вировец. Не подлежит опубл.
8. Производственные испытания проходческого комбайна 2ПП, оснащенного самовращающимися резцами/ Ю.П. Линенко-Мельников и др.// Уголь Украины. – 1969. – № 5. – С. 35 – 36.

9. Линенко Ю.П., Дубский Г.С., Полупан Б.Н. Исследование твёрдосплавного инструмента для обработки гранитных валов бумагоделательных машин//Сб. Лесная, бумажная и деревообрабатывающая промышленность; – К.: Техника, 1966. – № 4. – С. 30 – 33.
10. Шляпин К.Б., Мотовилов Э.А., Линенко Ю.П. Резцы для механизированной разработки абразивных горных пород//Транспортное строительство, № 12. – 1962. – С. 31 – 34.
11. Линенко Ю. П. К теории работы вращающихся резцов// Сб. Алмазный и твёрдосплавный инструмент в горном деле; – К.: Техника. – 1965. – С. 127 – 145.
12. Линенко Ю.П., Яковенко Э.Д. Исследование сил трения на вращающемся резце//Сб. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, Новосибирск: Наука. – 1966. – № 3. – С.17 -20.
13. Вировец Л.Н., Лукаш В.А., Майстренко А.Л., Мельничук А.В., Свешников И. А. Отечественные резцы для дорожно-фрезерных машин // Инструментальный світ. – 2005. – № 2 (26) – С. 25 – 27.
14. А.Л. Майстренко, А.В. Дудка, В.М. Колодніцкий, А.В. Лукаш, Л.М. Вировец Забезпечення високої міцності різців з твердосплавними вставками на основі комп'ютерного моделювання індукційного паяння // Породорозрушаючий і металлооброблювальний інструмент – техніка і технологія його виготовлення і застосування: Сб н. тр. – К: Изд-во ИСМ им. В. Н. Бакуля, ИЦП Алкон НАН Украины. – 2006. – С. 333 – 337.

Поступила 07.07.08