

## **ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ГОРНЫХ МАШИН**

Бойко Н.Г., докт. техн. наук, проф.,

Бойко Е.Н., канд. техн. наук, доцент

Донецкий национальный технический университет

*В работе рассмотрены некоторые практические пути повышения прочности и ресурса режущего инструмента, в основном, радиального типа, используемого для оснащения рабочих (исполнительных) органов горных машин – очистных и проходческих комбайнов*

*Some practical ways of increase of durability and resource of toolpiece are in-process considered, mainly, radial type, in-use for the equipment of workings (executive) organs of mountain machines - cleansing and entry-driving combines*

**Проблема и ее связь с научными или практическими задачами.** Режущий инструмент горных машин (очистных и проходческих комбайнов) является тем элементом конструкции, который непосредственно соприкасается с разрушаемым пластом или породным массивом и производит его разрушение. Разрушение пласта или породного массива современными комбайнами производится с так называемой «выравненной» поверхности. Это означает, что остающийся межщелевой целик само разрушается под действием внутреннего напряженного состояния, в котором находится пласт или массив. Поэтому шаг резания небольшой и колеблется в пределах 35-55 мм для резцов забойной группы, а число резцов на исполнительном органе достигает 100.

Формирующиеся на резце усилия при разрушении пласта или породного массива значительны и составляют несколько сот Ньютон. Кроме того, пласты, как правило, сложного строения. В них, кроме породных прослоек, имеются твердые включения в виде сернистого колчедана, пирита, кальцита, гальки и др., которые не прорезаются режущим инструментом (сопротивляемость их резанию на порядок, а то и два выше сопротивляемости угля или породы резанию), а выбиваются из пласта. При больших размерах твердого включения происходит или поломка режущего инструмента или опрокидывание двигателя (или двигателей при многодвигательном приводе) привода исполнительного органа. В этом случае практически вся кинетическая энергия вращающихся элементов конструкции (валов,

зубчатых колес и др.) и ротора двигателя (или двигателей) пойдет на дополнительную деформацию элементов привода и режущего инструмента, т.е. имеет место всплеск нагрузки – дополнительная нагрузка в виде «выброса» ее. Так, по данным наших исследований работы комбайна в шахтных условиях в этом случае всплеск нагрузки в приводе превышал максимальный момент двигателя в 2,5 раза [ 1 ] при однодвигательном приводе. На эту же величину, надо полагать, возрастет и нагрузка на резцы, находящиеся в контакте с разрушаемым пластом или породным массивом.

При встрече резца с твердым включением достаточно больших размеров не по передней, а по боковой грани, произойдет либо поломка, либо изгиб его, как показано на рис. 1, рис 2. А это означает, что и в том, и в другом случае резец будет непригоден для его дальнейшей эксплуатации.



*Рис. 1 – Характерные поломки режущего инструмента*

Поэтому одним из важных требований к режущему инструменту горных машин является достаточная прочность инструмента.

Уголь и порода являются абразивной средой. Режущий инструмент, производя разрушение, подвергается интенсивному износу. Об этом свидетельствует вид изношенного инструмента, приведенный на рис. 3.



*Рис. 2 – Изгиб режущего инструмента при боковом приложении нагрузки*

Ресурс современного серийно изготавливаемого режущего инструмента радиального (да и тангенциального) типа не велик – примерно 3-6 рабочих смен. Расход режущего инструмента оценивается его удельным расходом – число резцов на 1000 тонн добытого угля. По данным [ 2 ], регламентированное число резцов на 1000 тонн добытого угля для шахт Украины, т.е. для Донбасса составляет 5,9-26,2. Если учесть стоимость инструмента (порядка 30 грн. за резец), получается, что для средней комплексной лавы с суточной нагрузкой около 3000 тонн суточная стоимость режущего инструмента составляет

около 2350 грн. Месячная стоимость инструмента составит более 70 тыс. грн. на один комбайн.

Фактический расход режущего инструмента на некоторых шахтах особенно при нарушениях пластов значительно больше норматива. Так, на шахте «Должанская-Капитальная» ГП «Свердловантрацит», например, месячный расход режущего инструмента в ноябре 2003 года по пласту  $l_6$  на комбайне типа 1К-101У составил 5000, т.е. почти 170 резцов в сутки.



*Рис. 3 – Характерный износ режущего инструмента*

При присечках боковых пород, что, как известно, связано с «вписываемостью» механизированной крепи в пласт или при нарушениях пласта, расход режущего инструмента значительно возрастает, а суточная нагрузка лавы уменьшается. Авторам известно, что при нарушении пласта  $k_8$  на шахте «Трудовская» ГП «Донецкуголь» суточный

расход составлял 140 резцов типа ЗР4-80.

Поэтому вторым требованием к режущему инструменту является повышенный его ресурс, т.е. повышенная износостойкость режущего инструмента.

К режущему инструменту предъявляется еще и ряд других требований – простота конструкции, быстрая замена в условиях шахты, надежность крепления и др.

Следует еще обратить внимание на следующие очень важные факты. Во-первых, для замены такого количества резцом требуется достаточно большое время. По нормам для замены инструмента предусмотрено 1 мин на 1 резец. А это примерно 2-3 часа в сутки. В действительности для замены резцов, хотя и расходуется это время, но оно частично расходуется в ремонтную смену. Во-вторых, изношенный или вышедший из строя и во время не замененный режущий инструмент обуславливает повышенную неравномерность формируемой на рабочем (исполнительном) органе нагрузки. А это, в свою очередь, приводит к уменьшению устойчивого момента двигателя и, как следствие, – к снижению производительности комбайна и нагрузки на лаву.

**Анализ исследований и публикаций.** Научных разработок по режущему инструменту в последние примерно 25 лет, насколько известно авторам, не ведутся. Последняя работа по режущему инструменту вышла в России в 1990 году. Это «Горные инструменты» – 3-е изд. // М.Г.Крапивин, И.Я.Раков, Н.И.Сысоев. М., Недра, 1990.– 256 с., являющиеся переработанным ранее вышедшим изданием этой же работы и тех же авторов. В основном работы по режущему инструменту в прошлом столетии проводились в ИГД им. А.А. Скочинского [ 2, 3, 4, 5] (Россия). Это в основном работы утилитарного характера, смысл которых виден из их заглавий. Это очень важные и нужные работы, однако, они не являются научно-исследовательскими работами, направленными на повышение прочности и износостойки режущего инструмента.

В упомянутой работе [3] приведены исследования и даны расчетные зависимости по определению прочности и износостойкости режущего инструмента в детерминистической постановке, т.е. авторы работы считают, что определение указанных параметров инструмента можно проводить по строгим (детерминированным) зависимостям.

В последние годы работы по режущему инструменту горных машин проводятся в Донецком национальном техническом универси-

тете под научным руководством и непосредственном участии авторов этой статьи (см., например, [6]). Следует сказать, эти работы были направлены, в основном, на разработку режущего инструмента, обеспечивающего улучшение гранулометрического (сортового) состава угля, добытого современными очистными комбайнами.

Таким образом, работ, направленных на повышение прочности и износостойкости режущего инструмента горных машин, насколько нам известно, нет, и не ведутся исследования в этом направлении.

**Постановка задачи.** Основной задачей настоящей работы является установление путей и определение параметров, обеспечивающих повышение прочности и износостойкости режущего инструмента горных машин.

**Изложение материала и результаты.** Основной причиной частых поломок режущего инструмента и в особенности резцов радиального типа является малый момент сопротивления сечения при боковом его ударе. Увеличение этого момента державки резца при боковой его нагрузке можно достичь путем «переложения» нагрузки на специальные боковые опорные поверхности или, что, то же, более равномерно распределить нагрузку, включив в работу неиспользуемую часть материала резца. Это, собственно, и было положено в основу разработанного авторами резца типа ЗРБ2-80, рис 4.

В случае боковой нагрузки (практически удара при встрече резца с не разрушаемым твердым включением) большую ее часть воспринимает боковая площадка, которая опирается на поверхность кулака.

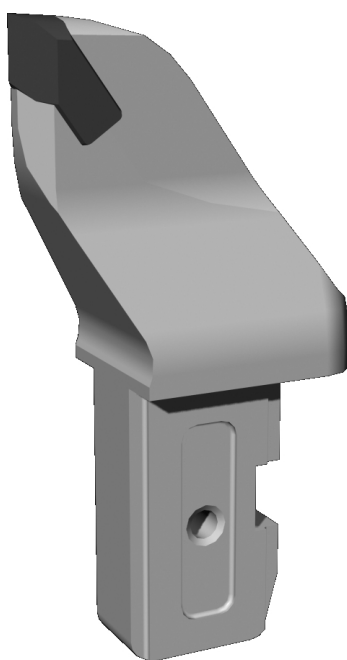


Рис. 4 – Резец радиального типа

с боковыми опорными поверхностями – резец типа ЗРБ2-80

Действительно, это можно учесть в первом приближении, приняв приведенную в [3] зависимость для расчета нормальных напряжений, положив в ней силы  $Z$  и  $Y$  величинами малыми по сравнению с боковой силой  $X$  при ударе, получим

$$\sigma_{д.б} = \begin{cases} \frac{6X_{уд}l_p}{HB^2} & \text{— для резцов существующей конструкции типа ЗР4 – 80,} \\ \frac{6(X_{уд}l_p - 0,5[\sigma]_{сж} S_{б}l_{б})}{HB^2} & \text{— для резцов типа ЗРБ2 – 80.} \end{cases}$$

Здесь  $[\sigma]_{сж}$  - допускаемое напряжения сжатия,  $S_{б}$ ,  $l_{б}$  - соответственно площадь и ширина боковой опорной поверхности резца,  $l_p$  - длина резца,  $HB$  - твердость поверхности резца.

Тогда отношение

$$\delta = \frac{6(X_{уд}l_p - 0,5[\sigma]_{сж} S_{б}l_{б})}{6X_{уд}l_p} \equiv 1 - \frac{[\sigma]_{сж} S_{б}l_{б}}{2X_{уд}l_p}.$$

Откуда следует, что действующее в опасном сечении державки резца нормальное напряжение для вновь разработанных резцов с боковыми опорными поверхностями значительно меньше нормального напряжения в том сечении для резцов существующей конструкции. Поэтому эти резцы имеют больший запас прочности, т.е. являются более прочными.

Проверка этих резцов была проведена в условиях шахты. Первые резцы были установлены на комбайне типа 1ГШ-68 пласта  $k_8$  шахты «Трудовская» ГП «Донецкуголь» по просьбе шахты при «выходе» лавы в нарушение пласта. В верхней части пласта появился песчаник мощностью около 0,5 м. При работе комбайна, исполнительный орган которого был оснащен резцами типа ЗР4-80, суточный расход составлял 140 резцов. При этом в среднем 40 резцов в сутки ломались. При оснащении исполнительного органа комбайна резцами типа ЗРБ2-80 суточный расход резцов уменьшился в 3,5 раза (40 резцов в сутки) и было поломано всего 6 резцов. При этом поломаны резцы, которые были установлены на лопастях шнека. Поломка резцов типа ЗРБ2-80 при работе комбайна в указанных условиях объяс-



няется следующим. Шаг установки резцов на шнеке (шаг резания в забойной группе) составлял 55 мм и не изменялся. При разрушении песчаника такой шаг обусловил, наиболее вероятно, рез, близкий к блокированному резу. Для породы шаг резания примерно в 2, а для песчаника даже в 3 раза должен быть меньше. Очевидно, происходил «захват» режущей части резца образовавшимися стенками песчаника, а качания десяти тонного комбайна вокруг диагонали корпуса (по данным собственных исследований качания комбайна и, особенно, при потере его устойчивости происходит именно вокруг диагонали корпуса) делали свое дело – ломали резцы. И то даже в этом случае число поломанных резцов типа ЗРБ2-80 было в 6,5 раз меньше. При доработке резцов указанного типа это обстоятельство было учтено – боковые опорные поверхности резцов типа ЗРБ3-80, ЗРБ4-80 были увеличены.

Более обстоятельная проверка резцов указанного типа проведена в 102 лаве пласта  $l_6$  шахты «Должанская-Капитальная» ГП «Свердловантрацит». Проверке подвергались 250 резцов, которые были установлены на шнеках комбайна типа 1К-101, и получены следующие результаты по этому параметру – ни один резец не был сломан.

Испытания резцов этого типа небольшими партиями – по 5-10 резцов проводились и на других шахтах, например, на шахте «Украина», им. Д.Коротченко ГП «Селидовоуголь», на АП «Шахта им. А.Ф.Засядько». Случаев поломки резцов не установлено.

Согласно [ 3 ], износ режущего инструмента горных машин описывается выражением вида

$$i_l = k_u a q^b,$$

где  $k_u$  - коэффициент износа,  $a$  - абразивность угля или породы,  $q$  - величина, зависящая от механических свойств угля или породы, конструкции и режима работы инструмента и есть не что иное, как давление на заднюю грань резца со стороны разрушаемого массива,  $b$  – величина, характеризующая изнашиваемость материала.

На износ режущего инструмента, как видим, влияет много факторов. К основным факторам следует отнести: абразивность угля и породы, материал резца и его абразивная стойкость, сопротивляемость угля резанию, строение пласта, отжим угля и режим работы комбайна, определяющие нагрузку на режущий инструмент, и ряд других факторов. При этом, следует отметить, что практически все из

перечисленных факторов являются случайными. Поэтому попытки исследователей этого вопроса представить в виде детерминированных зависимостей связи между износом режущего инструмента и указанными факторами имеют или довольно значительные погрешности или справедливы только для тех условий, в которых проведены те или испытания, или исследования режущего инструмента. И практически все расчетные зависимости для определения или износа, или интенсивности износа инструмента имеют ряд поправочных коэффициентов, полученных на основании обработки экспериментального материала.

Интенсивность износа резцов обусловлена, с одной стороны, абразивностью разрушаемого угля, с другой, – силой, формирующейся на его задней грани и параметрами армирующей твердой вставки, точнее, давлением на задней грани резца.

Серийно изготавливаемые резцы радиального типа (резцы типа ЗР4-80) армированы твердой вставкой, изготовленной из вольфрамкобальтового карбида типа ВК (ВК-6, ВК-8 и др.). Форма твердой вставки – клиновидная передняя и плоская противоположная грань, которой она и припаивается к державке резца. Задняя грань вставки овальная. Масса вставки около 30 гр., размеры – 25 мм высота, 15 мм ширина и 7 мм толщина, площадь задней грани вставки около 0,1 см<sup>2</sup>.

Поэтому, при оценке износа или интенсивности износа резца следовало бы исходить из случайного представления этого процесса и устанавливать законы распределения их вероятностей и учитывать массу твердой армирующей вставки, которая не учитывается в приведенной выше зависимости, и другие ее параметры, в том числе и геометрические.

Износ режущего инструмента при данной абразивности угля и скорости резания оценим, исходя из зависимости

$$m_{и.тв} = fbq_3l_{тр} \equiv fbP_3S_3^{-1}l_{тр},$$

где  $m_{и.тв}$  – изнашиваемая часть массы твердой вставки,  $f$  – коэффициент трения резца о пласт,  $b$  – абразивная стойкость твердой вставки,  $q_3$ ,  $P_3$  – соответственно давление и сила на заднюю грань вставки,  $S_3$  – площадь затупления резца по задней грани,  $l_{тр}$  – путь трения резца о пласт.

Если принять в первом приближении, что только сила, действующая на заднюю грань резца, – величина случайная и закон распределения ее вероятностей не противоречит закону Гаусса, то закон



распределения вероятностей износа режущего инструмента, точнее, его твердой вставки, согласно [7], также будет нормальным с параметрами:

- математическое ожидание

$$\bar{m}_{u.m\epsilon} = fb\bar{q}_3 l_{mp} \equiv fb\bar{P}_3 S_3^{-1} l_{mp},$$

- среднеквадратичное отклонение

$$\sigma_m = fbS_3^{-1} l_{mp} \sigma_{P_3}.$$

Тогда математическое ожидание пути трения резца будет

$$\bar{l}_{mp} = \frac{\bar{m}_{u.m\epsilon} S_3}{fb\bar{P}_3} \equiv \frac{k_\partial m_{m\epsilon} S_3}{fb\bar{P}_3}.$$

Здесь  $k_\partial$  - величина, определяющая ту часть массы твердой вставки, которая допускается к износу,  $k_\partial < 1$ ,  $m_{m\epsilon}$  – масса твердой вставки.

Откуда следует: с увеличением массы твердой вставки и ее геометрических размеров (площади задней грани) при прочих равных условиях путь трения или, что тоже, ресурс резца увеличивается; с увеличением интенсивности работы комбайна (с увеличением силы по задней грани) ресурс резца уменьшается.

Путь трения резца за рабочую смену

$$l_{mp} = 0,5k_m \pi D_{op} n_{op} T_{cm},$$

где  $k_m$  – коэффициент машинного времени,  $n_{op}$  – частота вращения органа,  $T_{cm}$  – продолжительность рабочей смены.

Например, при коэффициенте машинного времени 0,5 для комбайна типа 1К-101, К-103 при частоте вращения органа (шнека) 80 мин<sup>-1</sup> и диаметре 800 мм путь трения резца за одну рабочую смену составляет около 18 км, за сутки – около 55 км.

Следовательно, для серийно изготавливаемых резцов типа ЗР4-80, временной ресурс которых составляет, как правило, не более двух суток, т.е. шести рабочих смен, путь трения будет порядка 110 км при коэффициенте машинного времени 0,5.

Математическое ожидание относительного изменения (увеличения) ресурса нового режущего инструмента определится из следующего соотношения

$$\bar{\delta}_p = \frac{\bar{m}_{тв.н} S_{з.н}}{\bar{m}_{тв.с} S_{з.с}},$$

где индексы «н» и «с» обозначают соответствующий параметр нового и серийно изготавливаемого режущего инструмента.

Так, например, для нового режущего инструмента, твердая вставка которого имеет массу 150 гр. и площадь задней грани 3,1 см<sup>2</sup> математическое ожидание относительного увеличения ресурса по сравнению с серийно изготавливаемыми резцами типа ЗР4-80 составляет около 25 раз, т.е. временной ресурс нового режущего инструмента составляет порядка 150 рабочих смен (50 календарных суток) или порядка полутора месяцев.

Проведенные испытания нового режущего инструмента в шахтных условиях – резцов типа ЗРБ2-80 (шахта «Должанская-Капитальная» ГП «Свердловантрацит») подтвердили полученный теоретическим путем вывод о повышении ресурса: временной ресурс резцов типа ЗРБ2-80 составил 42 календарных суток, т.е. 1 месяц и 12 суток.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Выполненные разработки и полученные практические результаты свидетельствуют о правильном подходе к решению задачи повышения прочности и износостойкости (ресурса) режущего инструмента горных машин и требует дальнейшего исследования в этом направлении.

Список источников.

1. Динамические характеристики системы привода исполнительного органа комбайна 1К-101 // Я.И. Альшиц, В.Г. Гуляев, Г.В. Малеев и др. – В кн. Горные машины. Киев, МВССО Украины, 1971, с. 61-87.
2. Отраслевые нормы удельного расхода резцов (зубков) для очистных и проходческих комбайнов. Минуглепром СССР, М., 1985. – 12 с.
3. Горные инструменты – 3-е изд.//М.Г. Крапивин, И.Я. Раков, Н.И. Сысоев. М., Недра, 1990. – 256 с.
4. Методика испытания резцов на прочность при динамическом приложении нагрузки. М., ИГД им. А.А. Скочинского, 1984. – 32 с.
5. Методика расчета норм расхода резцов ЗР4-80 и РКС-1 для угледобывающих комбайнов. М., ИГД им. А.А. Скочинского, 1986. – 25 с.
6. Різець гірничої машини / М.Г. Бойко, В.Г. Шевцов, М.О. Марков. Патент на винахід. Е21С25/38. Опубл. в бюл. № 4, 2002.
7. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1964. – 576 с.

Дата поступления статьи в редакцию: 14.05.07