

УДК 622.232.72

ПРОЧНОСТЬ И РЕСУРС НОВОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ГОРНЫХ МАШИН

Бойко Н.Г, докт. техн. наук, профессор
Донецкий национальный технический университет

Рассмотрены вопросы, относящиеся к повышению прочности и износостойкости режущего инструмента очистных комбайнов.

The questions concerning increase of durability of the cutting tool of clearing combines are considered.

Режущий инструмент очистных, проходческих комбайнов и других машин, производящих силовое разрушение массива (угольного пласта, породного массива, металла и т.д.), является тем их элементом, который непосредственно соприкасается с разрушаемым материалом и производит его разрушение. Режущий инструмент горных машин производит разрушение горной породы в так называемом силовом режиме со средней скоростью около 3 м/с.

Серийно выпускаемый для очистных и проходческих комбайнов режущий инструмент разделяется на два типа – радиальный и тангенциальный. Радиальный режущий инструмент – резцы типа ЗР4-80 – устанавливаются по радиусу рабочего органа, тангенциальные – резцы типа РКС – под определенным углом к радиусу органа.

Проблема и ее связь с научными или практическими задачами. Горная порода (уголь, пустые породы) характеризуются как прочностью, так и абразивностью. Поэтому режущий инструмент должен обладать, по крайней мере, двумя параметрами, характеризующими его долговечность, – это прочность и износостойкость.

Серийно выпускаемый режущий инструмент радиального типа – резцы типа ЗР4-80 – обладает пониженной прочностью и износостойкостью – резцы выходят из строя из-за частых поломок и быстрого изнашивания. Повышение энерговооруженности очистных комбайнов обуславливает повышенные нагрузки на инструмент, и это является одной из главных причин его поломок. Абразивность угля вызывает быстрый износ инструмента. Ресурс резцов оценивается примерно до 6 рабочих смен – 2 суток. Обычно оценка режущего инструмента производится по его расходу на 1000 тонн добытого угля. Для сложных условий работы (сопротивляемость угля резанию более 240

Дан/см, наличие породных прослоек, а таких пластов в Донбассе большинство – около 70 %) предусматривается в среднем 33 резца на 1000 тонн добытого угля [1]. При суточной нагрузке лавы в 3000 тонн и 100 резцах на исполнительном органе комбайне в сутки расходуется 100 резцов. При норме времени на замену одного резца 1 мин требуется 1 час 40 мин и цене одного резца около 25 грн. сумма 2500 грн. Другими словами, месячный расход режущего инструмента составляет порядка 3000 резцов на сумму 75000 грн.

Фактический расход инструмента на большинстве шахт Донбасса значительно больше расчетного. Например, на шахте «Должанская-Капитальная» ГП «Свердловантрацит» месячный расход режущего инструмента по пласту l_6 в ноябре 2003 года составил 5000, на шахте «Трудовская» ГП «Донецкуголь» при отработке нарушенной части пласта k_8 суточный расход резцов составлял 140.

Значительная часть резцов ломается. Особенно частые поломки резцов на комбайне типа ГШ-68 при работе двигателей на суммирующий вал. Этот вопрос будет рассмотрен ниже. Здесь же обратим внимание на следующее обстоятельство. Поломка режущего инструмента, по собственным наблюдениям, происходит при боковом ударе и, как правило, с «закусыванием» хвостовика резца в гнезде кулака. При такой поломке резца отломанный хвостовик извлечь из гнезда практически не удастся в условиях лавы. Поэтому работа комбайна происходит с неполной схемой набора режущего инструмента. Это обуславливает повышение неравномерности нагрузки комбайна, разрушение пласта кулаками, что ведет к аварийной ситуации – выходу из строя комбайна.

Из изложенного следует, повышение прочности и износостойкости режущего инструмента является актуальной задачей для горного машиностроения и имеет связь с научными и практическими задачами.

Анализ исследований и публикаций. Наиболее полные исследования и разработанные на их основе рекомендации по режущему инструменту изложены в работе [1]. Согласно этим исследованиям расчет статической прочности резца производится по нормальному напряжению, рис. 1,

$$\sigma_2 = \frac{6}{BH} \left[\left(\frac{Z}{H} + \frac{X}{B} \right) l_p - \frac{Y(l_T + 0,5H)}{H} - \frac{Y}{6} \right]$$

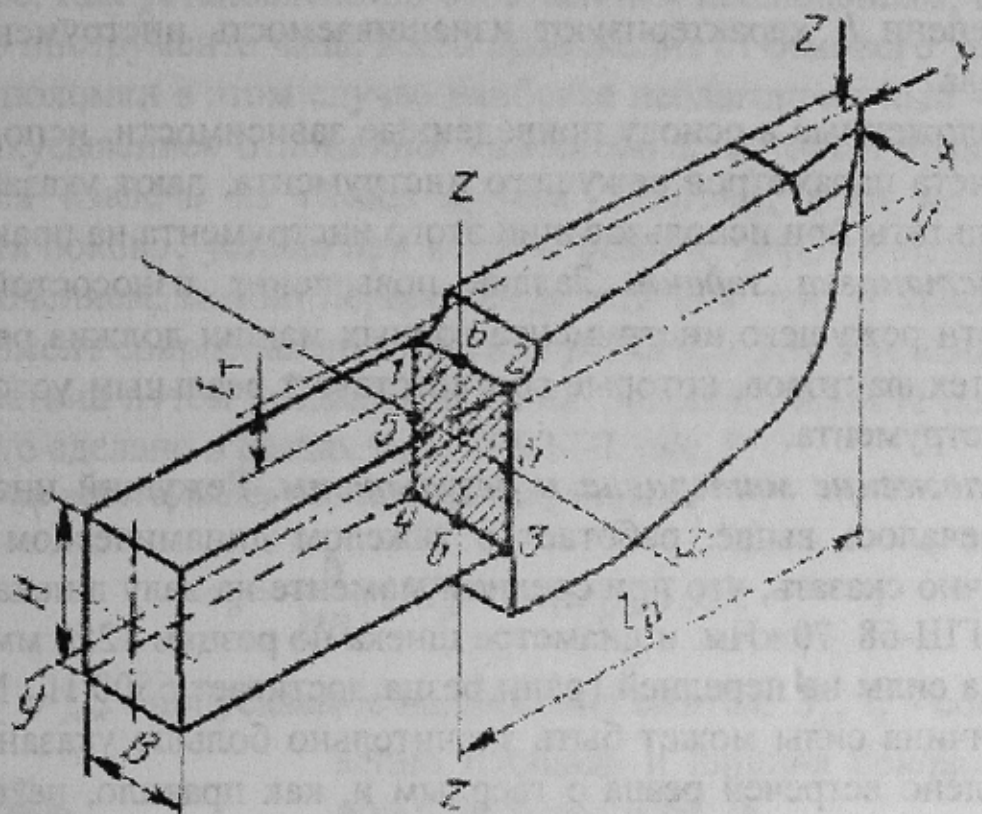


Рис. 1 – К расчету резца на статическую прочность

где l_p, l_T - соответственно радиальный и тангенциальный вылет резца, B, H - ширина и высота сечения хвостовика.

Затем полученное значение нормального напряжения сравнивается с допусаемым напряжением $[\sigma]$ для материала, из которого изготовлен резец, при действии на него максимально возможных сил при наиболее неблагоприятном их соотношении. При этом

$$k = \frac{[\sigma]}{\sigma_2} \geq [k],$$

где $[k]$ - минимально допусаемый коэффициент запаса прочности.

Износ режущего инструмента по высоте i_l , согласно [1], определяется по зависимости

$$i_l = \omega a q^b,$$

где ω - коэффициент износа, a - абразивные свойства породы, q - величина, зависящая от механических свойств породы, конструк-

ции и режима работы инструмента, коэффициент износа ω и показатель степени b характеризуют изнашиваемость инструментального материала.

Положенные в основу приведенные зависимости, используемые для расчета параметров режущего инструмента, дают указанные выше результаты при использовании этого инструмента на практике.

Постановка задачи. Задача повышения износостойкости и прочности режущего инструмента горных машин должна решаться с учетом тех факторов, которые соответствуют реальным условиям работы инструмента.

Изложение материала и результаты. Режущий инструмент, как отмечалось выше, работает в тяжелом динамическом режиме. Достаточно сказать, что при среднем моменте на валу шнека комбайна типа ГШ-68 70 кНм и диаметре шнека по резцам 1250 мм средняя величина силы на передней грани резца достигает 6500 Н. Мгновенная величина силы может быть значительно больше указанной. Это обусловлено встречей резца с твердым и, как правило, не прорезаемым включением в виде кварцита, кальцита, сернистого колчедана и др. т.п. включений, когда происходит опрокидывание двигателя и почти вся или большая часть кинетической энергии привода исполнительного органа идет на деформацию инструмента. В этом случае максимальная величина силы будет [2]

$$Z_{\max} = Z_{\text{ср.р}} + \frac{2\omega}{D_{\text{ор}}} \sqrt{c_3 J_c},$$

где c_3 – эквивалентный коэффициент жесткости, J_c – момент инерции привода рабочего органа.

Поскольку имеет место последовательное соединение элементов, обуславливающих эквивалентную жесткость,

$$c_{\text{пр}}^{-1} = c_{\text{р}}^{-1} + c_{\text{н}}^{-1} + c_{\text{вк}}^{-1} + c_3^{-1},$$

где $c_{\text{пр}}, c_{\text{р}}, c_{\text{н}}, c_{\text{вк}}, c_3$ – коэффициент жесткости соответственно привода рабочего органа, резца, подвески органа, твердого включения и «заделки» твердого включения в пласт.

Откуда следует, что с увеличением жесткости и момента инерции привода исполнительного (рабочего) органа, жесткости резца, твердого включения, «заделки» его в пласт, подвески и частоты вращения органа сила, возникающая на резце и органе, увеличивается.

Далее. Как установлено по собственным наблюдениям, поломка режущего инструмента чаще всего происходит от бокового усилия. И характер поломки в этом случае наиболее неблагоприятный – происходит «закусывание» отломанного хвостовика, который практически не удается извлечь из гнезда кулака. Поэтому, если не удастся уменьшить боковое усилие при встрече резца с твердым не прорезаемым включением, можно перераспределить или, проще говоря, увеличить момент сопротивления сечения резца для этого усилия. Этого можно достичь путем создания на резце боковой опорной поверхности, как это сделано в резцах типа ЗРБ2-80, рис. 2.

В этом случае действующее нормальное напряжение

$$\sigma_{\delta} = \frac{6}{HB^2} (Xl_p - 0,5[\sigma]_{сж} S_{\delta} l_{\delta}),$$

где $[\sigma]_{сж}$ - допускаемое напряжения сжатия, S_{δ}, l_{δ} - соответственно площадь и ширина боковой опорной поверхности резца.

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 сразу 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 мощность около 0,5 м. При работе комбайна, исполнительный орган которого

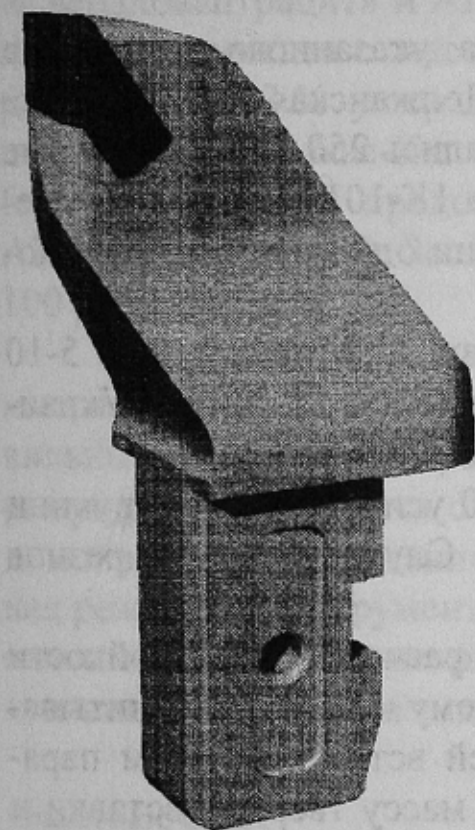


Рис. 2 – Вид резца типа ЗРБ2-80

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 объясняется 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 заблокированному резу. Для породы шаг резания примерно в 2, а для песчаника даже в 3 раза меньше. Очевидно, происходил «захват» режущей части резца образовавшимися стенками песчаника, а качания десяти тонного комбайна вокруг диагонали корпуса (по данным [3] 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 была проведена в 102 лаве пласта l_6 шахты «Должанская-Капитальная» ОП «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 поломан.

Испытания резцов этого типа небольшими партиями – по 5-10 резцов проводились и на других шахтах, например, на шахте «Украина», им. Д. Коротченко ГП «Селидовоуголь».

В настоящее время резцы типа ЗРБ2-80 усиленной конструкции работают на АП «Шахта им. А.Ф. Засядько». случаев поломок резцов не установлено.

Приведенная выше и используемая для расчета износостойкости режущего инструмента зависимость, по нашему мнению, не учитывает важных параметров твердой армирующей вставки. К этим параметрам, в первую очередь, следует отнести массу твердой вставки и ее геометрию.

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

$$m_{и.тв} = fbq_3 l_{mp} \equiv fbP_3 S_3^{-1} l_{mp},$$

где $m_{и.тв}$ – изнашиваемая часть массы твердой вставки, b – абразивная стойкость твердой вставки, q_3 , P_3 – соответственно давле-

ние и сила на заднюю грань вставки, S_3 - площадь задней грани вставки, $l_{тр}$ - путь трения резца об уголь или пласт.

$$\text{Тогда } l_{mp} = \frac{m_{и.тв} S_3}{fbP_3} \equiv \frac{k_o m_{тв} S_3}{fbP_3}.$$

Здесь k_o - величина, определяющая ту часть массы твердой вставки, которая допускается к износу, $k_o < 1$, $m_{тв}$ - 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 ресурс резца уменьшается.

Проверка правильности и этого положения проведена в реальных условиях шахт - на шахте «Должанская-Капитальная» ГП «Свердловантрацит» и АП «Шахта им. А.Ф. Засядько». Расход режущего инструмента с массой твердой вставки около 10 % от массы резца (против 3 % у серийно изготавливаемых резцов типа ЗР4-80) на шахте «Должанская-Капитальная» составил 3 резца на 1000 тонн добытого антрацита, продолжительность работы указанных резцов на АП «Шахта им. А.Ф. Засядько» составляет около 1 месяца, т.е. около 100 рабочих смен.

Выводы и направление дальнейших исследований. Выполненные исследования и полученные результаты свидетельствуют о правильно выбранном направлении в повышении прочности и ресурса режущего инструмента очистных комбайнов. В дальнейшем необходимо вести исследования в направлении оптимизации параметров, как режущего инструмента, так и твердых армирующих вставок, в частности форма и геометрические параметры, масса вставок, углы установки, крепление и т.п.

Список источников.

1. Горные инструменты. М.Г. Крапивин, И.Я. Раков, Н.И. Сысоев. - М.: Недра, 1990. - 256 с.
2. Бидерман В.Л. Прикладная теория механических колебаний. Учебное пособие для вузов. М., «Высшая школа», 1972. - 416 с.
3. Бойко Н.Г. Динамика очистных комбайнов. - Донецк: РВА ДонНТУ, 2004. - 206 с.