

Н.Г. Бойко, докт. техн. наук, Е.Н. Бойко, канд. техн. наук, Н.А. Марков, канд. техн. наук,
О.В. Федоров, асп., Донецк, Украина

РАЗРУШЕНИЕ ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ РЕЗЦАМИ С РАБОЧЕЙ БОКОВОЙ ГРАНЬЮ

Behavior of coal seam disintegration with cutters of a new technical level – cutters having an working lateral face – were investigated.

Механический способ разрушения материала и в настоящее время является основным как в машиностроительной, так и в других отраслях, например, горной при добыче угля и проведении горных выработок. В горной промышленности для этих целей используются специальные машины (очистные и проходческие комбайны), рабочие (исполнительные) органы которых (шнеки или коронки) оснащаются режущим инструментом, рис. 1.

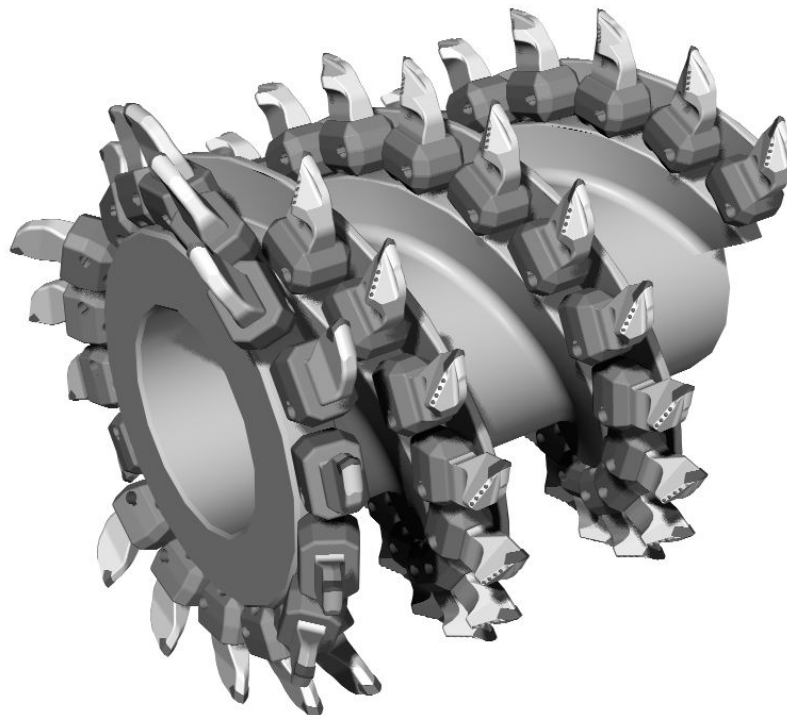


Рис. 1 – Вид шнекового рабочего органа.

Характерной особенностью разрушения пласта современными очистными комбайнами является тот факт, что режущий инструмент находится в сложном пространственном движении – вращательном (со скоростью резания), поступательном (со скоростью перемещения комбайна) и поворотном, частота которого обуславливается частотой формирующегося внешнего возмущения и параметрами подвески [1].

При таком характере движения режущего инструмента параметры разрушения пласта и в первую очередь толщина среза, а также действительные углы (задний угол, угол резания) резца будут переменными даже в одном акте взаимодействия режущего инструмента с разрушаемым пластом и, как установлено в [1], являются случайными величинами.

Тем не менее, несмотря на сложность характера взаимодействия резца с разрушаемым пластом, в нем можно выделить основное (характерное) для принятого разрушения пластов положение – создание в массиве пласта напряжения сжатия. Это означает, что разрушение пласта режущим инструментом современных очистных комбайнов производится путем раздавливания угля в части пласта с параметрами, равными толщине и ширине среза. Следует также отметить, что напряжения сжатия из-за сложного движения резца создаются и той части массива пласта, которая прилегает к задней его грани, и которая остается практически не разрушенной за исключением тех случаев, когда происходят так называемые «выколы», заходящие вглубь пласта.

Применительно к рассматриваемой здесь задаче поворотное движение режущего инструмента может быть опущено. Задача формирования толщины и других параметров среза при сложном движении инструмента, в том числе и поворотном рассмотрена в работе [1]. В этом случае взаимное изменение векторов скоростей резания и перемещения от коллинеарных до компланарных обуславливает серпообразный характер сечения среза, а толщина стружки (среза) в радиальном направлении, как функция угла поворота органа, в общем случае описывается выражением [1]

$$h(\varphi_i) = h_{max} \sin \varphi_i + D/2 [1 - (1 - \delta^2 \cos^2 \varphi_i)^{1/2}], \quad (1)$$

где h_{max} - максимальная толщина среза (стружки) или толщина среза (стружки), φ_i - угол места положения i -го резца на дуге резания, D - диаметр рабочего органа по вершинам резцов, δ - отношение толщины среза (стружки) к радиусу рабочего органа, $\delta = 2h_{max}/D$.

Из приведенного выражения следует: при малых δ , что и имеет место практически для всех рабочих органов очистных комбайнов, с достаточной для инженерных расчетов точностью и понимания физической сущности протекающих процессов разрушения массива пласта, толщина среза (стружки) в радиальном направлении примет вид

$$h(\varphi_i) = h_{max} \sin \varphi_i . \quad (2)$$

Из (2) следует, что толщина среза (стружки), как функция угла поворота резца, - величина переменная и изменяется от 0 при $\varphi_i = 0$ и $\varphi_i = \pi$ (соответственно, входе (выходе) резца в контакт (из контакта) с пластом) до h_{max} при $\varphi_i = \pi/2$ (в так называемой диаметральной плоскости). По мере поворота резца толщина среза (стружки) увеличивается, образуя уступ толщиной, равной расстоянию между предыдущей и последующей траекториями резца, и шириной, равной или близкой расстоянию между соседними линиями резания. И на этот уступ резец воздействует (давит) своей передней гранью, создавая в массиве напряжение сжатия. Разрушение уступа произойдет в момент достижения напряжением сжатия массива пласта величины, равной предельной. При этом сформировавшееся усилие на передней грани резца уменьшится и возможно до нуля, затем процесс повторится. Описанный процесс разрушения массива по анализу мгновенных значений сил, полученных экспериментально путем их тензометрирования [1], не противоречит действительной его картине.

Отличительной особенностью резцов новой конструкции (резцы типа ЗРБ) является наличие в них рабочих боковых граней, рис. 2.

Для этих, как и для радиальных резцов существующей конструкции, толщина среза (стружки) изменяется в соответствии с приведенными выше зависимостями. Процесс разрушения пласта этими резцами производится следующим образом. По мере поворота резца и увеличения толщины среза (стружки) в радиальном направлении вступает в работу его боковая (правая или левая) рабочая грань. При этом передняя и задняя грани резца, вступая в контакт с массивом пласта, создают в нем напряжения сжатия подобно тому, как это происходит и у резцов существующей конструкции, а боковая грань - напряжение сдвига (разрыва). При достижении напряжением сжатия предельной величины происходит разрушение указанного выше уступа (части массива пласта) передней гранью, а боковая рабочая грань резца произведет разрушение и угла межщелевого целика, рис. 3.

Из изложенного следует, что при разрушении пласта резцами новой конструкции усилия формируются уже на трех его гранях - передней, задней и рабочей боковой грани. Вместе с тем, следует также отметить, что разрушение части массива пласта напряжением сдвига, предельная величина которого для горных пород, в том числе и угля на порядок меньше предельной величины напряжения сжатия.

Оценим эффективность разрушения пласта резцами новой конструкции по сравнению с разрушением его резцами существующей конструкции. С этой целью определим

относительное изменение наиболее характерных интегральных параметров очистного комбайна – удельных энергозатрат и его минутную теоретическую производительность.

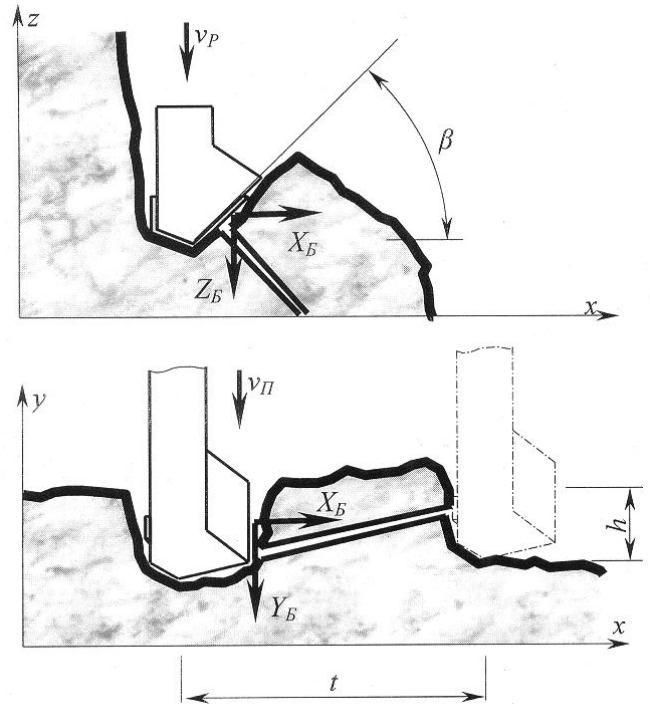
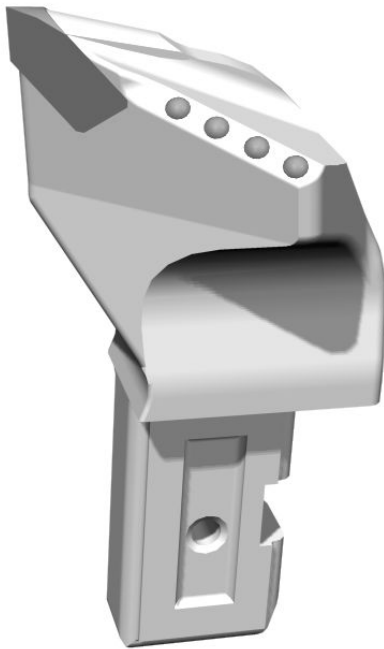


Рис. 2 - Вид реза с рабочей боковой гранью – резец типа ЗРБ.

Рис. 3 - Схема разрушения угла резцом с рабочей боковой гранью.

Для решения поставленной задачи необходимо оценить один из наиболее существенных параметров разрушения пласта – ширину среза, который для резцов новой конструкции определим исходя из тех же предпосылок, что и для резцов существующей конструкции: межщелевой целик должен само разрушаться под действием его внутреннего напряженного состояния. Геометрическую высоту межщелевого целика определим из выражения

$$t_c = b_p + 2h_{z.u} \operatorname{tg} \psi, \quad (4)$$

где b_p - ширина режущей части резца, $h_{z.u}$ - геометрическая высота межщелевого целика, ψ - угол развала борозды резания.

Откуда

$$h_{z.u} = 0,5(t_c - b_p) / \operatorname{tg} \psi. \quad (5)$$

Угол развала борозды резания, согласно [2],

$$\psi = \psi_0 + C / (h + h_0) - dA_p, \quad (6)$$

где ψ_0, C, h_0, d - постоянные величины для угля данных хрупко-пластических свойств, A_p - сопротивляемость угля резанию.

Сохраняя ту же геометрическую высоту межщелевого целика и для резцов новой конструкции и учитывая, что в работе будет участвовать и боковая грань, «ширина» режущей части резца

$$b_{p,n} = b_p + l_\beta \sin \beta, \quad (7)$$

где l_β, β - соответственно, длина и угол наклона боковой грани резца, получим

$$t_n = b_p + l_\beta \sin \beta + 2h_{c,u} \operatorname{tg} \psi. \quad (8)$$

Откуда следует, что отношение между ширинами среза для резцов существующей и новой конструкции и принятых параметров $l_\beta = 4$ см и $\beta = 45^\circ$, составляет 1,6.

Обозначив отношение t_n/t_c через k_t , получим

$$t_n = k_t t_c. \quad (9)$$

Представляя удельные энергозатраты разрушения в виде [2],

$$W_p = Z_n/(h_{cp} t), \quad (10)$$

где Z_n - полная сила резания на передней грани резца, и представляя силу на боковой грани резца новой конструкции в виде

$$X_\beta = k_{o\beta} R_{c\delta} S_{c\delta}, \quad (11)$$

где $k_{o\beta}, R_{c\delta}, S_\beta$ - соответственно, коэффициент, учитывающий объемное напряженное состояние массива пласта, напряжение сдвига (растяжения) и площадь сдвига разрушаемого целика, и учитывая, что для горных пород, в том числе и для угля $R_{c\delta}/R_{сж} = 0,1$ и принимая для упрощения выкладок $S_{c\delta} = k_t t_c h_{cp} = 10S_3$, где S_3 - площадь затупления резца по задней грани, получим, что сила на боковой грани резца X_β численно равна силе на его задней грани Y , т.е. $X_\beta = Y$.

Тогда

$$W_{p,n}/W_{p,c} = [1 + f(1 + \cos \beta)Y/Z_0]/[k_t(1 + fY/Z_0)], \quad (12)$$

где Z_0 - сила резания на передней грани острого резца.

Для принятых параметров резцов и различных соотношений между силами на передней и задней гранях резца, что имеет место для углей с различными физико-механическими свойствами, и разных соотношений между ширинами среза, значения соотношения между удельными энергозатратами приведены ниже:

Y/Z_0	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
			$k_t = 1,6$		
$W_{p.n}/W_{p.c}$	0,67	0,68	0,70	0,71	0,72
			$k_t = 2$		
$W_{p.n}/W_{p.c}$	0,53	0,54	0,56	0,57	0,58

Снижение удельных энергозатрат разрушения пласта при оснащении рабочего органа резцами с рабочей боковой гранью обуславливает, как это следует из соотношения между производительностью комбайна Q_k , его энерговооруженностью P и удельными энергозатратами добычи W_∂ ,

$$Q_k = P/W_\partial, \quad (13)$$

увеличение производительности комбайна. Не нарушая общности вопроса, примем, что весь разрушенный рабочим (исполнительным) органом уголь им же и погружается, а это дает возможность представить

$$W_\partial = W_p + W_n, \quad (14)$$

соотношение между производительностями после несложных преобразований примет вид

$$Q_{k.n}/Q_{k.c} = (1 + W_n/W_{p.c})/(k_w + W_n/W_{p.c}), \quad (15)$$

где $k_w = W_{p.n}/W_{p.c}$ - соотношение между удельными энергозатратами при оснащении рабочего органа резцами существующей и новой конструкций.

Численные значения соотношений между производительностью комбайна для приведенных выше соотношений между удельными энергозатратами при различных k_w и прочих равных условий приведены ниже:

$W_n/W_{p.c}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
			$k_w = 0,70$	$(0,67 - 0,72)$	
$Q_{k.n}/Q_{k.c}$	1,37	1,33	1,0	1,27	1,25
			$k_w = 0,55$	$(0,53 - 0,58)$	
$Q_{k.n}/Q_{k.c}$	1,69	1,60	1,53	1,47	1,43

Откуда следует, что при оснащении исполнительного органа резцами с рабочей боковой гранью увеличивается производительность комбайна.

Список литературы. 1. Исполнительные органы очистных комбайнов для тонких пологих пластов / Н.Г. Бойко, А.В. Болтян, В.Г. Шевцов, Н.А. Марков – Донецк, «Донеччина», 1996. – 223 с. 2. Позин Е.З. Сопротивляемость углей разрушению режущими инструментами. М., Наука, 1972. – 240 с.