

УДК 622.232.71

Е.Н. Бойко (канд. техн. наук, доц.)

Донецкий национальный технический университет

РАЗРУШЕНИЕ ПЛАСТА ОСТРЫМ РЕЖУЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ

В работе определен характер разрушения угольного массива и определено формирование в этом массиве напряжений сжатия. Представлены процесс разрушения пласта при сложном движении режущего инструмента, формирование напряжений на его рабочей боковой грани и факторы, влияющие на истирание грани при работе резца. Определены факторы, влияющие на уменьшение усилий, формирующихся на передней грани резца, определена работа режущего инструмента с рабочей боковой гранью по созданию в угольном массиве напряжений сжатия и напряжений сдвига и рассмотрен вопрос разрушения межщелевого целлика. Вместе с тем доказано, что параметры разрушения пласта не остаются постоянными, и разрушение пласта осуществляется при значительно меньших удельных энергозатратах.

Ключевые слова: разрушение, пласт, режущий инструмент, формирование, мгновенные силы, боковая грань, деформация, разработка.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Режущий инструмент очистных комбайнов является тем их элементом, который непосредственно контактирует с пластом, производя его разрушение. При этом следует отметить, что разрушение пласта происходит в силовом режиме (усилие, формирующееся на резце, достигает несколько сот Ньютонов) при скорости около 3 м/с.

В основу современного представления о разрушении массива пласта режущим инструментом положена концепция формирования в месте контакта резца с массивом мелкодисперсного уплотненного ядра (зона I, рис.1), выполняющего роль клина, и первоначальное смещение небольших по величине частиц угля вдоль плоскости передней грани резца при его перемещении с последующим сколом относительно большей части угля [1].

Вероятно, это соответствует действительному характеру разрушения при линейном перемещении резца в направлении вектора скорости резания и нулевой подачей, т.е. при отсутствии перемещения резца в направлении вектора скорости подачи. Кроме того, для обеспечения смещения небольших частиц угля относительно передней грани резца последняя должна быть расположена так, чтобы угол на-

клона ее к плоскости вектора скорости резания был меньше, или, по крайней мере, не превышал 90^0 . В противном случае или при отрицательном угле передней грани резца намного ухудшаются условия для смещения указанных частиц угля вдоль передней грани.

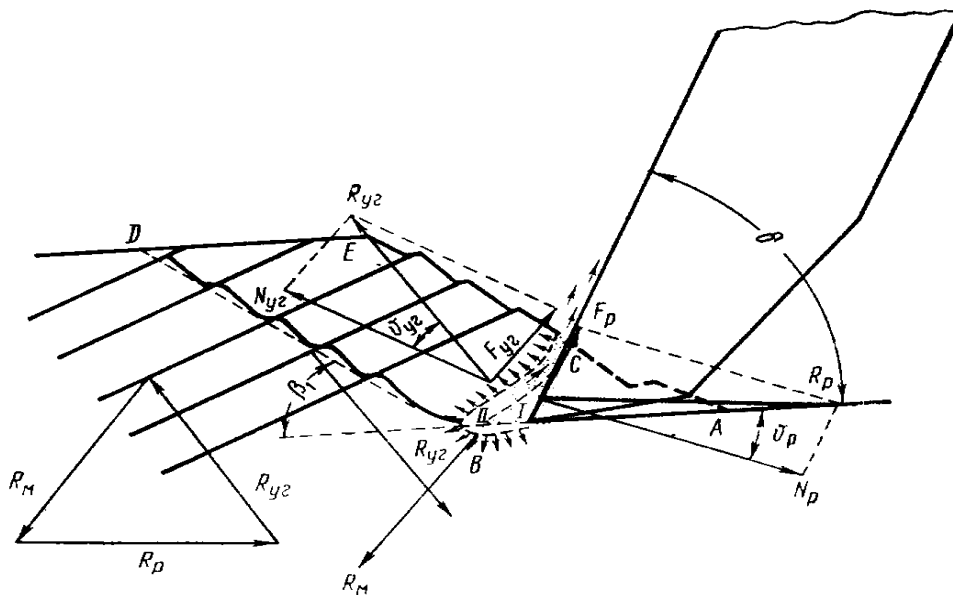


Рис. 1 – Схема разрушения пласта одиночным резцом при поступательном его перемещении

Указанный характер разрушения угля принят многими исследователями и повторяется, когда затрагивается вопрос о разрушении угольных пластов режущим инструментом горных машин, см., например, [2]. Многочисленные наблюдения за работой очистных комбайнов в реальных условиях, в том числе и за разрушением пластов угля и антрацита, результаты специальных тензометрических исследований сил, формирующихся на гранях резца, и сопоставление их с износом режущего инструмента, позволили установить положения, несколько отличающиеся от общепринятых.

Анализ исследований и публикаций. Вопросу формирования сил на гранях режущего инструмента горных машин посвящено очень мало работ. Среди наиболее известных работ по этому вопросу – это работы школы проф. М.Г. Крапивина [3], работы ИГД им. А.А. Скочинского [4, 5] (Россия) и некоторые другие. Во всех указанных работах, посвященных вопросу как износа режущего инструмента, так и формированию сил на его рабочих гранях, процесс описывается детерминированными зависимостями с применением ряда поправочных коэффициентов, которые получены экспериментально путем обобщения данных по работе режущего инструмента на углях различной крепости. Практически все работы посвящены режущему

инструмента типа «резец» обычный радиальный (тангенциальный), который, перемещаясь относительно неразрушенной части пласта, формирует на гранях, в основном на задней грани, силы трения, которые и являются основной причиной интенсивного износа инструмента.

Поэтому для разрушения как обычных, так и крепких горных пород необходимо иметь такой режущий инструмент, который бы при работе заменял один вид деформации угольного массива на другой. При этом силы, формирующиеся на гранях нового инструмента, значительно (примерно на порядок) меньше сил, формирующихся на гранях серийного инструмента. И надо полагать, что и износ такого инструмента будет значительно меньше, а ресурс его, соответственно, больше.

Постановка задачи. Задача повышения износостойкости (ресурса) инструмента, обеспечивающего возможность одновременной работы очистного комбайна (без замены инструмента) как по углю, так и по крепкой горной породе, должна решаться, в первую очередь, с определения сил, формирующихся на гранях такого инструмента при разрушении крепкой породы.

Изложение материала и результаты. Тензометрические исследования процесса разрушения массива угля, точнее, углецементного блока с регистрацией мгновенных значений сил, формирующихся на гранях практически острого одиночного резца радиального типа (резец типа ЗР4-80) подтвердили «скольный» характер его разрушения, рис. 2.

Из приведенного фрагмента осциллограммы можно установить характер разрушения массива. Нарастание силы, формирующейся на передней грани резца, с резким последующим ее спадом практически до нуля при достижении определенной величины свидетельствует о разрушении этого массива путем отделения от него «отдельностей», которые названы «сколами».

Распределение вероятностей длины скола по данным статистической обработки осциллограмм необходимой длительности не противоречит закону Вейбулла (коэффициент согласия Пирсона – не менее 0,65), рис. 3, аналитическое выражение которого имеет вид

$$\varpi(l_i) = b/a[(l_i - c)/a]^{b-1} \exp\left\{-[(l_i - c)/a]^b\right\}, \quad (1)$$

где a , b , c – параметры распределения, учитывающие масштаб, форму и сдвиг кривой распределения, l_i – длина скола массива.

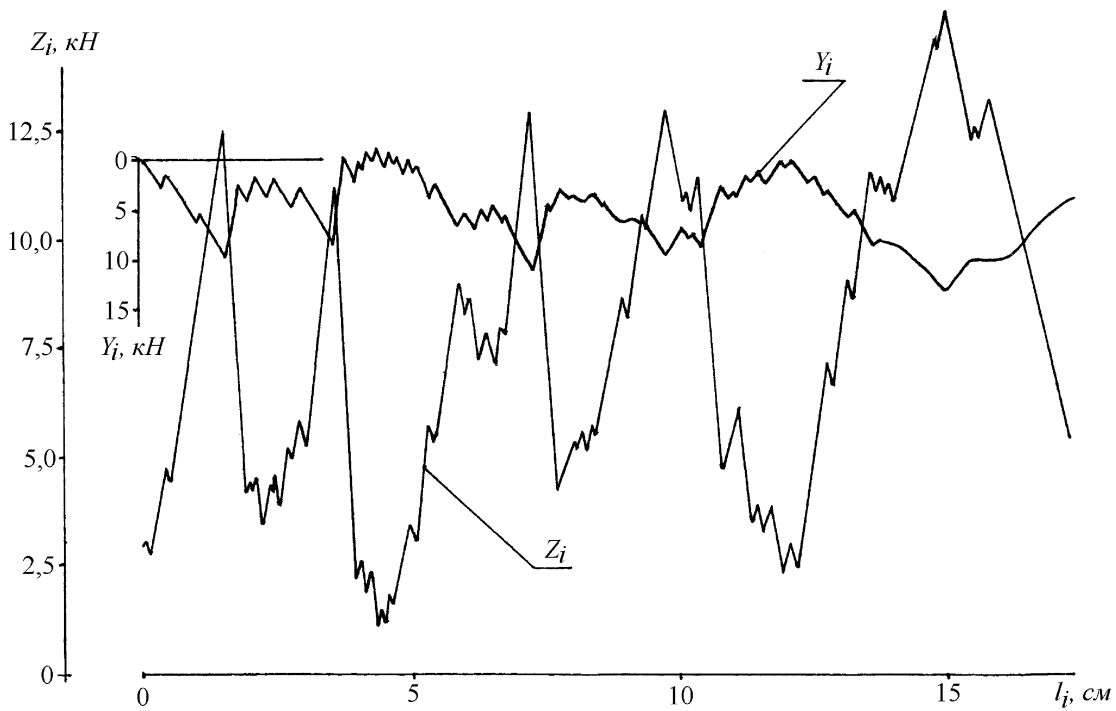


Рис. 2 – Фрагмент осциллограммы сил, формирующихся на остром одиночном резце радиального типа при разрушении углечементного блока: Z_i – сила на передней грани, Y_i – сила на задней грани, l_i – путь, пройденный резцом

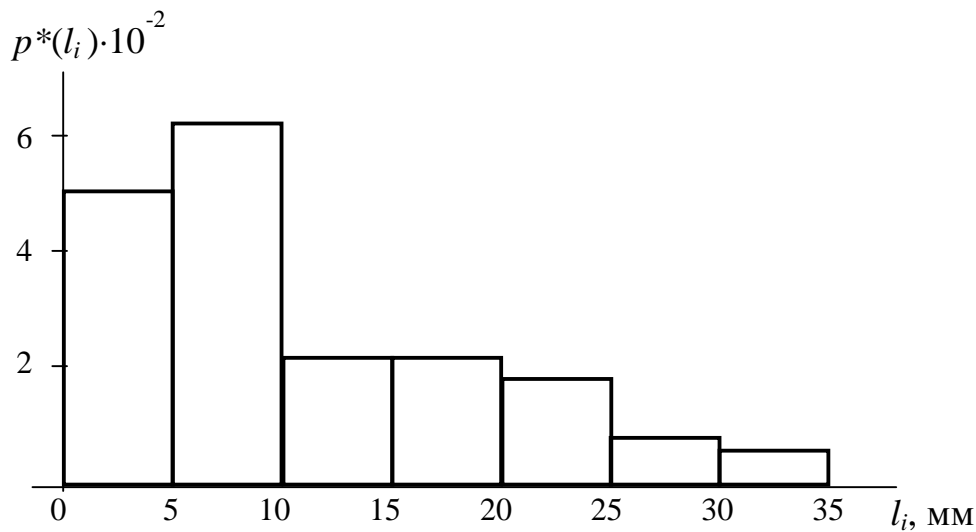


Рис. 3 – Гистограмма распределения длины скола массива

Из приведенного на рис. 4 фрагмента осциллограммы сил, формирующихся на гранях острого резца с рабочей боковой гранью, видно, что разрушение массива и этим резцом производится аналогично, как и резцом серийно изготавливаемым, т.е. без рабочей боковой грани – сколами.

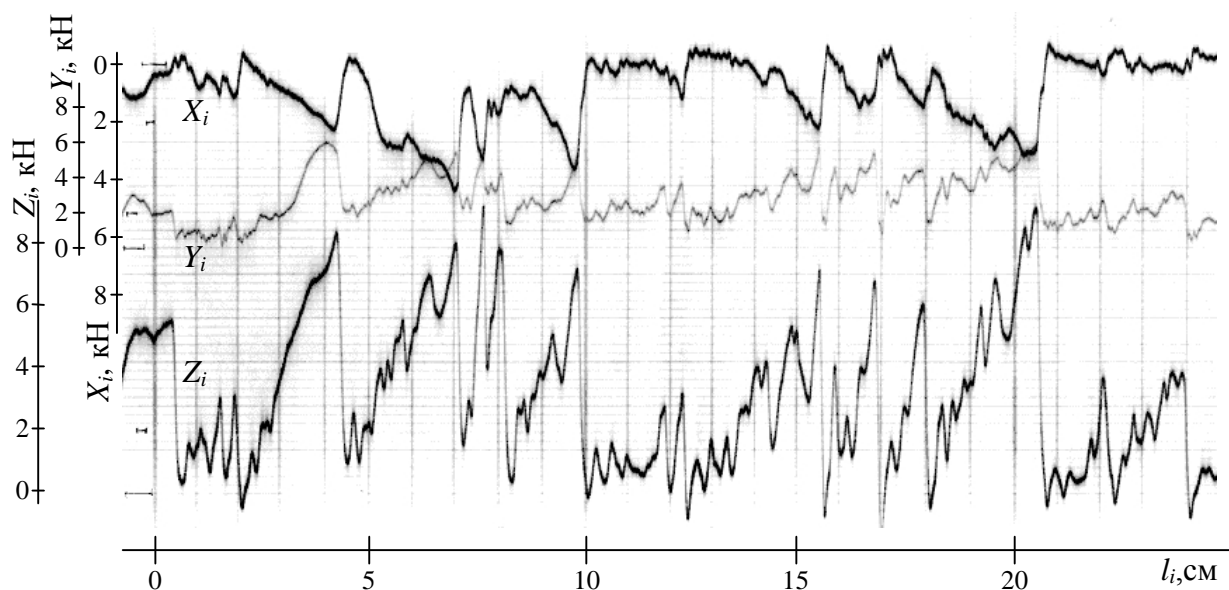


Рис. 4 – Фрагмент осциллограммы сил, формирующихся на остром одиночном резце с рабочей боковой гранью: Z_i , Y_i , X_i – силы, соответственно, на передней, задней и рабочей боковой гранях, l_i – путь, пройденный резцом

Распределение вероятностей длины скола по данным статистической обработки осциллограмм необходимой длительности и в этом случае не противоречит закону Вейбулла (коэффициент согласия Пирсона – не менее 0,57), аналитическое выражение которого имеет вид

$$\varpi(l_{ci}) = b_c / a_c [(l_{ci} - c_c) / a_c]^{b_c - 1} \exp\{ -[(l_{ci} - c_c) / a_c]^{b_c} \}, \quad (2)$$

где a_c , b_c , c_c , l_{ci} – величины, имеющие тот же, что и в выражении (1), физический смысл.

Характерной же особенностью разрушения пласта современными очистными комбайнами является тот факт, что режущий инструмент находится в сложном пространственном движении: вращательное со скоростью резания, поступательное со скоростью перемещения комбайна и колебательное (поворотное), частота которого обуславливается частотой формирующегося внешнего возмущения и параметрами подвески [6], рис. 5.

Колебательное движение рабочего органа у современных очистных комбайнов обусловлено его подвеской на подвижной рукояти – корпусе редуктора привода – и удержания или подъема (опускания) органа путем поворота корпуса с помощью гидравлического домкрата. 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 перемен-

ними даже в одном акте взаимодействия режущего инструмента с разрушаемым пластом, т.е. в одном резе.

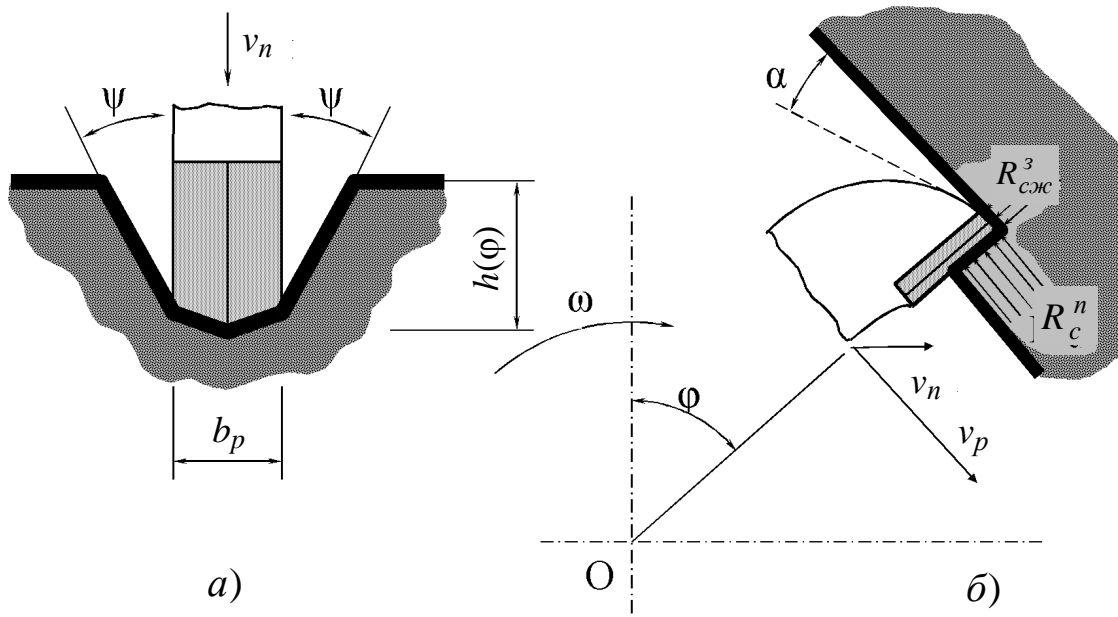


Рис. 5 – Схема разрушения пласта одиночным резцом при вращательном и поступательном его движениях

Эти параметры будут переменными от реза к резу и в общем случае, как установлено в [7], являются случайными величинами.

Тем не менее, несмотря на сложность процесса взаимодействия резца с разрушаемым пластом и случайный его характер, в нем можно выделить основное, характерное для принятого разрушения пластов положение – создание в массиве пласта напряжения сжатия. Другими словами, **разрушение пласта режущим инструментом современных очистных комбайнов производится путем раздавливания угля в части пласта с параметрами, равными толщине среза.** Следует также отметить, что напряжения сжатия из-за сложного движения резца создаются и в 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 задаче, не нарушая общности, колебательное движение режущего инструмента может быть опущено. Задача формирования толщины и других параметров среза при сложном движении инструмента, в том числе и колебательного, решена в работе [8].

В этом случае взаимное изменение векторов скоростей резания и перемещения от коллинеарных при входе (выходе) резца в контакт

(из контакта) с массивом пласта до компланарных в так называемой диаметральной плоскости, обуславливает серпообразный вид сечения среза, а толщина стружки (среза) в радиальном направлении или толщина стружки, как функция угла поворота органа, в общем случае описывается выражением [8]

$$h(\varphi_i) = h_{max} \sin\varphi_i + D/2 [1 - (1 - \delta^2 \cos^2\varphi_i)^{1/2}], \quad (3)$$

где h_{max} – максимальная толщина среза (стружки) или толщина среза (стружки) в диаметральной плоскости, φ_i – угол места положения i -го резца на дуге резания, D – диаметр рабочего органа по вершинам резцов, δ – отношение толщины среза (стружки) к диаметру 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 пласта, толщина среза (стружки) в радиальном направлении примет может быть представлена в виде

$$h(\varphi_i) = h_{max} \sin\varphi_i. \quad (4)$$

Из (4) 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). Поэтому процесс разрушения пласта при сложном движении режущего инструмента, таком характере среза (стружки) и принятых параметрах резца представляется следующим образом. При входе (выходе) резца в контакт (из контакта) с пластом рабочей гранью будет, вероятнее всего, задняя его грань, которой резец трется по неразрушенной части пласта, и на ней формируется усилие, обусловленное прочностными свойствами угля, в частности, его напряжением сжатия. При этом толщина среза (стружки) равна нулю или близка к нулю. Поэтому в этой части пласта будут образовываться лишь мелкодисперсные фракции угля, размер которых близок к нулю. Кроме того, в этой части пласта происходит разрушение, точнее, истирание задней гранью резца его витрено-фюзеновых ингредиентов – пылеобразующих составляющих угля. По мере поворота резца толщина среза (стружки) увеличивается, образуя уступ толщиной, равной расстоянию между предыдущей и последующей траекторией резца, рис. 5, рис. 6.

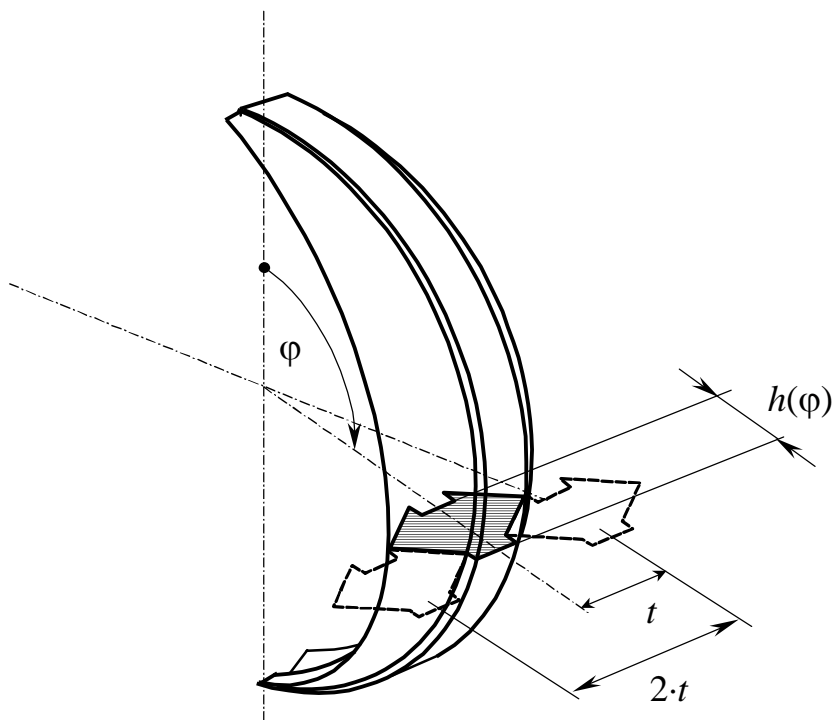


Рис. 6 – Характер разрушения пласта острым резцом

И на этот уступ резец воздействует (давит) своей передней гранью, создавая в этой части пласта напряжение сжатия. Разрушение уступа произойдет в момент достижения в нем напряжением сжатия величины равной или больше допустимой, т.е. предельной величины. При этом сформировавшееся усилие на передней грани резца уменьшится и, возможно, до нуля, затем процесс повторится. Описанный процесс разрушения пласта по анализу мгновенных значений сил, полученных экспериментально путем их тензометрирования [8, 9], не противоречит действительной его картине.

Учитывая, что структура пласта не является монолитной, испещрена трещинами и является слоистой, состоящей из указанных выше четырех ингредиентов, разрушение пласта передней гранью резца представляет собой раздавливание этих слоев при анизотропных их свойствах.

Косвенным подтверждением сказанного служит многократное наблюдение автором работы разрушения пласта рабочим органом комбайна в реальных условиях. Разрушение пласта происходит при звуковом сопровождении – «выстрелами» с последующим разлетом разрушенного угля различной кусковатости и так, что возле комбайна напротив рабочего органа без специальной защиты находиться невозможно. Поэтому машинисты комбайнов всегда следуют за ними,

немного отставая от комбайнов, точнее, никогда не находятся против рабочего органа, либо находятся несколько впереди комбайна.

Образующийся при этом развал борозды резания, угол которого обусловлен, согласно [10], физико-механическими, прочностными параметрами угля и толщиной среза (стружки), практически «выводят» из контакта с массивом боковые грани резца. Поэтому рабочими гранями резцов существующей конструкции (резцов типа ЗР4-80) практически являются передняя и задняя грани.

Образующееся при этом большое количество мелкодисперсного угля (пыли) объясняется его витрено-фюзеновыми ингредиентами, которые и являются источниками пыли – мелкодисперсными составляющими разрушенного угля.

Кроме того, износ режущего инструмента радиального типа, как показано в [3], происходит по задней грани, а не по передней. Это свидетельствует о том, что по передней грани относительного движения мелких фракций угля из уплотненного ядра зоны I, рис. 1, не происходит. Не может быть, чтобы абразивная среда, какой является и угольная пыль, двигаясь вдоль передней грани, не истирала бы ее. Здесь – либо эта мелкодисперсная зона угля перед передней гранью резца не образуется, либо нет его (угля) перемещения.

Таким образом, механическое разрушение пласта, являясь основным видом при добыче угля современными очистными комбайнами, исполнительные органы которых оснащены радиальными резцами существующей конструкции (резцы типа ЗР4-80), характеризуется сложным пространственным движением резца. При этом как параметры режущего инструмента, так и параметры разрушения пласта не остаются постоянными в процессе разрушения. Рабочими гранями режущего инструмента являются практически только две грани – передняя (основная разрушающая грань) и задняя (создающая в неразрушенной части массива пласта напряжение сжатия и являющаяся дополнительным источником только мелкодисперсной составляющей добытого угля). Боковые грани резца практически не участвуют в процессе разрушения пласта. Разрушение пласта производится путем создания в уступе, толщина которого равна толщине среза (стружки), напряжения сжатия и доведения его до предельной (или допускаемой) величины, т.е. разрушение части массива пласта, равной толщине среза, производится путем раздавливания его передней гранью резца. При этом из-за сложного, в том числе и поступательного, движения резца в пласте задней его гранью также создается напряжение

сжатия в неразрушенной части пласта. Разрушение угля в этой части представляет собой истирание, в т.ч. и его витрено-фюзеновых ингредиентов – пылеобразующих составляющих угля. Следовательно, разрушение пласта радиальными резцами существующей конструкции производится более (по сравнению, например, со сдвигом) энергозатратным способом.

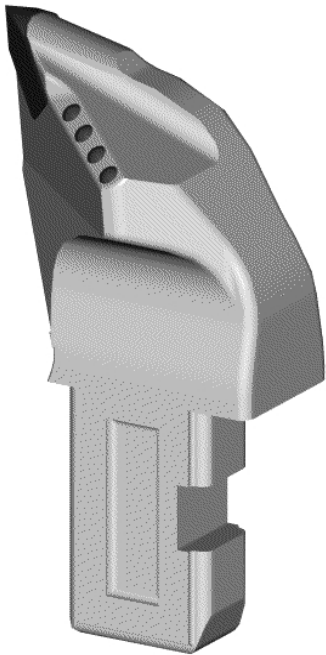


Рис. 7 - Вид резца с рабочей боковой гранью

Отличительной особенностью резцов с рабочей боковой гранью является тот факт, что одна из боковых граней (левая или правая) является рабочей, рис. 7.

Для этих, как и для радиальных резцов существующей конструкции, характер изменения толщины среза (стружки) – серповидный. По мере поворота резца и увеличения толщины среза (стружки) в радиальном направлении вступает в работу его боковая (правая или левая) грань. При этом передняя и задняя грани резца, вступая в контакт с пластом, 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 передней гранью, а боковая рабочая грань резца произведет разрушение и межщелевого целика, рис. 8.

Из изложенного следует, что при разрушении пласта резцами с рабочей боковой гранью усилия формируются уже на трех его гранях – передней, задней и рабочей боковой грани. Вместе с тем, следует также отметить, что разрушение части пласта (образующегося межщелевого целика) рабочей боковой гранью происходит путем создания в нем напряжения сдвига, предельная величина которого для горных пород, в том числе и угля, на порядок меньше предельной величины напряжения сжатия. Поэтому суммарные затраты энергии на разрушения пласта этими резцами будут значительно меньшими по сравнению с затратами энергии резцами существующей конструкции. Площадь среза, как один из основных показателей, определяющих удельные затраты энергии, значительно увеличивается, а удельные затраты энергии на разрушения пласта – уменьшаются. При этом,

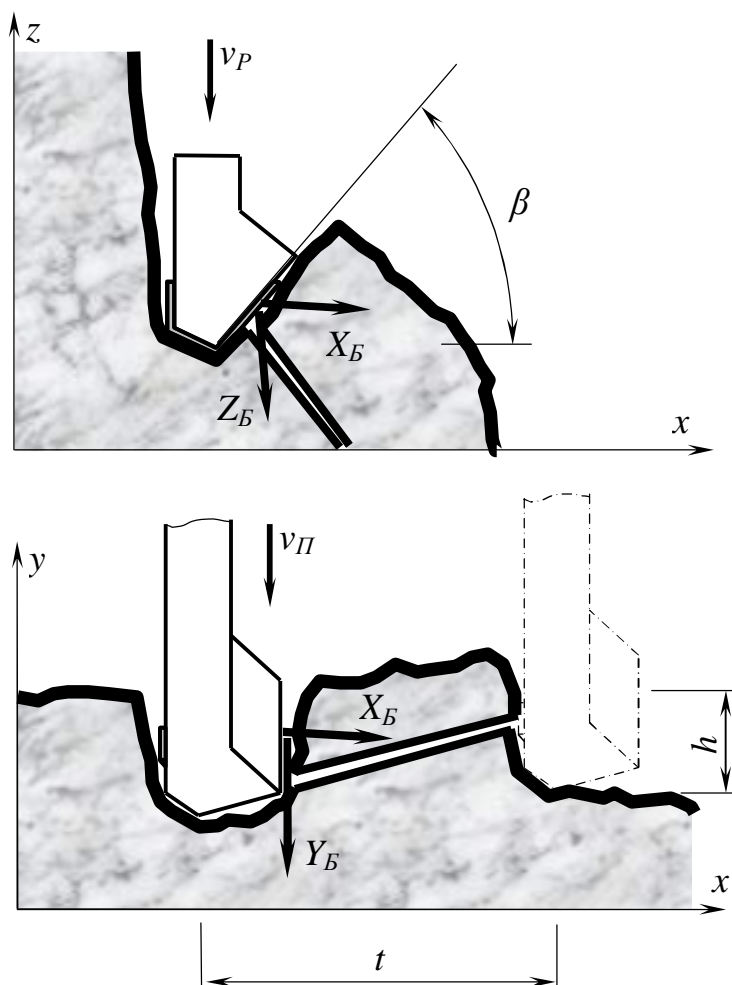


Рис 8 – Схема разрушения угля резцом с рабочей боковой гранью

следует полагать, количество пыли (мелкодисперсной составляющей) на единицу объема разрушенного угля уменьшится, а сортовой (гранулометрический) состав добытого угля улучшится – увеличится объем крупных фракций угля.

Экспериментальные исследования сортового состава угля комбайнами, рабочие органы которых были оснащены резцами с рабочей боковой гранью, подтвердили его улучшение – в среднем около 2-х раз (от 1,5 до 2,8 раза в зависимости от класса).

Таким образом, разрушение пласта, очистными комбайнами, исполнительные органы которых оснащены резцами с рабочей боковой гранью (резцы типа ЗРБ2-80Л(П)), также характеризуется сложным пространственным движением резца. При этом как параметры режущего инструмента, так и параметры разрушения пласта не остаются постоянными в процессе разрушения. Рабочими же гранями режущего инструмента в этом случае являются уже три грани – передняя, задняя и боковая – левая или правая в зависимости от направления навивки лопастей шнека. Разрушение пласта производится путем

создания в уступе, толщина которого равна толщине среза (стружки), напряжения сжатия и доведения его до предельной (или допускаемой) величины, т.е. разрушение части массива пласта, равной толщине среза, производится путем раздавливания его передней гранью резца. При этом из-за сложного, в том числе и поступательного движения резца в пласте задней гранью резца также создается напряжение сжатия в не разрушенной части пласта. Разрушение угля в этой части представляет собой истирание, в т.ч. и его витрено-фюзеновых ингредиентов – пылеобразующих составляющих угля. Боковая грань производит разрушение межщелевого целика путем сдвига. При этом площадь среза увеличивается примерно в 2 раза. Следовательно, разрушение пласта в этом случае производится при значительно меньших (примерно в 2 раза) удельных затратах.

Выводы и направления дальнейших исследований.

Рассмотренные вопросы процесса взаимодействия режущего инструмента с рабочей боковой гранью с угольным массивом и некоторые результаты по формированию усилий на рабочих гранях резца будут использоваться при усовершенствовании существующего и при разработке режущего инструмента нового поколения для проведения добычных работ угольными комбайнами.

Список литературы

1. Барон Л.И. Проблема оценки сопротивляемости горных пород разрушению механическими способами / Л.И.Барон // Сопротивляемость горных пород разрушению при добыче. – М.: АН СССР, 1962. – С. 3-22.
2. Горные машины для подземной добычи угля: учебное пособие для вузов / П.А. Горбатов, Г.В. Петрушкин, Н.М. Лысенко и др.; под общ. ред. П.А. Горбатова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Донецк: Норд Компьютер, 2006. – 669 с
3. Крапивин М.Г. Горные инструменты / М.Г. Крапивин, И.Я. Раков, Н.И. Сысоев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1990. – 256 с.
4. Барон А.И. Исследование и выбор режущего инструмента для шнековых исполнительных органов / А.И. Барон, Е.З. Позин, В.В. Тон. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1969.
5. Тон В.В. Исследование нагрузок на резцах для узкозахватных угледобывающих комбайнов: автореф. дис. на получ. науч. степени канд. техн. наук / В.В.Тон. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1971. – 20 с.
6. Бойко Н.Г. Привод исполнительных органов очистных комбайнов : [монография] / Н.Г. Бойко. – Донецк: РВА ДонНТУ, 2005. – 170 с.
7. Исполнительные органы очистных комбайнов для тонких пологих пластов / Н.Г.Бойко, А.В. Болтян, В.Г. Шевцов, Н.А. Марков; под ред. Н.Г. Бойко. – Донецк: «Донеччина», 1996. – 223 с.
8. Бойко Н.Г. Теория рабочих процессов комбайнов для добычи угля из тонких пологих пластов: дисс. ... доктора техн. наук / Николай Григорьевич Бойко. – М.: МГИ, 1985. – 287 с.
9. Формирование гранулометрического состава угля при добыче его очистными комбайнами / Н.Г. Бойко, Н.А. Марков, Е.Н. Бойко, О.В. Федоров // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія гірничо-електромеханічна. – 2001. – Вип. 27. – С. 35-64.

10. Позин Е.З. Сопротивляемость углей разрушению режущими инструментами / Е.З. Позин. – М.: Наука, 1972. – 240 с.

Стаття надійшла до редакції 21.09.2009

Є.М. Бойко. Донецький національний технічний університет

Руйнування пласта гострим ріжучим інструментом

У роботі визначений характер руйнування вугільного масиву і визначено формування в цьому масиві напруги стискування. Представлені процес руйнування пласта при складному русі ріжучого інструменту, формування напруги на його робочій бічній грані і чинники, що впливають на стирання грані при роботі різця. Визначені чинники, що впливають на зменшення зусиль, що формуються на передній грані різця, визначена робота різального інструменту з робочою бічною гранню по створенню у вугільному масиві напруги стискування і напруги зрушення і розглянуто питання руйнування міжщільного целіку. В той же час доведено, що параметри руйнування пласта не залишаються постійними, і руйнування пласта здійснюється при значно менших питомих енерговитратах.

Ключові слова: руйнування, пласт, ріжучий інструмент, формування, миттєві сили, бічна грань, деформація, розробка.

E. Boyko. Donetsk National Technical University

Seam Destruction Using a Cutting-Tool

The paper discusses the nature of coal massif destruction and formation of compression tension in this massif. We describe the process of seam destruction under the cutting tool's compound movement, consider the formation of tension on its working lateral side as well as the factors influencing wear and tear of the sides when the cutter is operating. We also provide the factors influencing the reduction of efforts, which are formed on the front side of the cutter and describe the operation process of the cutting tool with a working lateral side aimed at creating compression tension and shift tension in the coal massif. Besides, we prove that the parameters of seam destruction do not remain constant and this destruction is performed with considerably smaller specific energy consumption.

Keywords: destruction, seam, cutting tool, formation, instant forces, lateral side, deformation, development.