

## РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТЬЮ ДЛЯ ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ

Бойко Н.Г., докт. техн. наук, Гуржов С.В., аспирант,  
Донецкий национальный технический университет

*Рассмотрен вопрос формирования сил на гранях режущего инструмента с вращающейся режущей частью применительно к исполнительным органам очистных комбайнов.*

*The problem of forming forces on edges of a cutting tool with a rotary cutting part with reference to cutting heads of cutter-loaders is considered.*

Используемый в настоящее время у очистных и проходческих комбайнов режущий инструмент по характеру взаимодействия его с массивом разделяется на два типа. К первому из них относятся резцы типа ЗР4-80 и РКС, соответственно, радиальные и тангенциальные, которыми оснащаются, как правило, исполнительные органы очистных комбайнов, а также исполнительные органы проходческих комбайнов при проведении выработок по относительно мягким породам и которые производят разрушение пласта путем раздавливания уступа, называемого толщиной среза. Характерной особенностью этих резцов является то, что при перемещении их относительно пласта или массива породы возникают силы трения скольжения, которые и обуславливают значительный износ режущего инструмента. Ко второму типу режущего инструмента относятся шарошки (дисковые, штыревые и др.), которыми оснащаются, как правило, исполнительные органы проходческих комбайнов при проведении выработок по крепким и весьма крепким горным породам – известнякам, песчаникам и др. Характерной особенностью шарошек является то, что относительно массива породы они перемещаются путем перекатывания, а разрушение массива породы производят смятием.

Удельные энергозатраты разрушения массива (породы или пласта) при сопоставимых прочностных показателях, указанным режущим инструментом значительно, примерно в 2-3 раза, отличаются между собою. При этом удельные энергозатраты разрушения массива шарошечным режущим инструментом всегда выше удельных энергозатрат разрушения резцами. Расход же резцов всегда больше расхода шарошечного инструмента.

Дальнейшее повышение энерговооруженности комбайнов обусловливает необходимость создания такого режущего инструмента, который сочетал бы в себе преимущества указанных его типов, т.е. производил бы разрушение пласта при малых удельных энергозатратах и имел бы высокую износостойкость, а следовательно, и малый расход.

Отметим также, что используемый в настоящее время режущий инструмент не использует одно из очень важных с точки зрения механического разрушения свойство горных пород, заключающееся в том, что сопротивление разрушению породы, в том числе и угля путем растяжения (сдвига) на порядок (в 10-15 раз) ниже сопротивления их разрушения путем сжатия. Поэтому создаваемый режущий инструмент должен сочетать в себе преимущества существующего режущего инструмента и создавать в разрушаемом массиве угля или породы хотя бы комбинацию напряжений сжатия и растяжения или сдвига. Такой режущий инструмент был бы весьма износостойким и обеспечивал бы разрушение пласта или породы при малых удельных энергозатратах.

Это весьма важно при добыче угля очистными комбайнами из тонких пластов и пластов по мощности, прилегающих к ним, добыча из которых ведется, как правило, с присечкой вмещающих пород – кровли или почвы. Последнее обусловлено не «вписываемостью» механизированных крепей в тонкие пласты и пласты по мощности, прилегающие к ним.

Выполненные нами специальные тензометрические экспериментальные исследования процессов разрушения углицементного массива (блока) и формирования сил на гранях режущего инструмента с вращающейся режущей частью свидетельствуют о возможности создания такого режущего инструмента для очистных комбайнов, рис. 1.

Рассмотрим процесс разрушения массива указанным режущим инструментом. При установке инструмента таким образом, что ось его режущей части параллельна плоскости забоя, прижатия его к забою и принудительного перемещения со скоростью  $v_p$  инструмент будет обкатываться вокруг своей оси с частотой

$$\omega = 2v_p / d$$

и разрушать массив путем смятия – шарошечный инструмент. Если же инструмент установить таким образом, что ось его вращающейся режущей части перпендикулярна забою, инструмент превращается в

обычный резец и при перемещении его с той же скоростью  $v_p$  частота вращения равна нулю. Разрушение массива производится путем раздавливания уступа высотой равной толщине среза, сила на режущей части инструмента уменьшается, т.е. проявляются все признаки резца. При установке инструмента таким образом, что ось его вращающейся режущей части располагается под углом  $\varphi$  к забою и перемещении инструмента с той скоростью  $v_p$  частота вращения

$$\omega = 2v_p / d \cos \varphi,$$

разрушение массива производится комбинированным способом – частично смятием, частично отрывом.

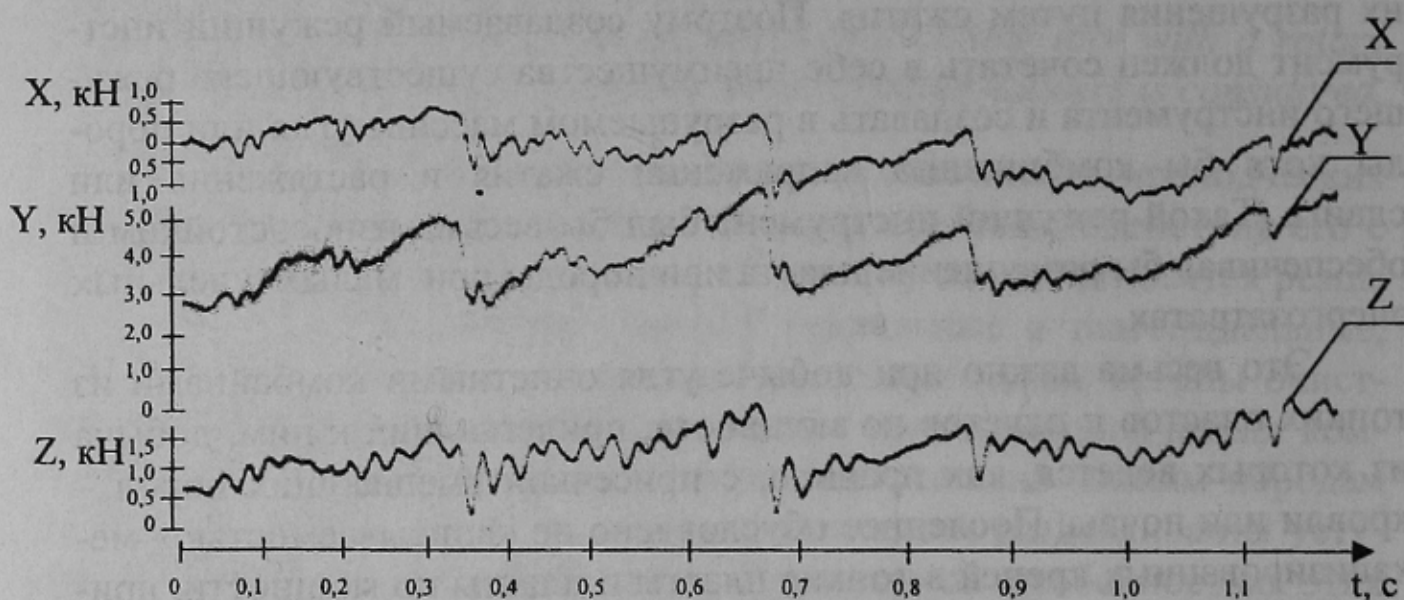


Рис.1 – Фрагмент осциллограмм сил на гранях режущего инструмента с вращающейся режущей частью при разрушении массива

Для рассматриваемой установки режущего инструмента разрушение массива производится путем откалывания от него отдельных частей, которые будем называть сколами.

Тогда действительная величина сил, формирующихся на гранях рассматриваемого режущего инструмента, может быть представлена в виде [ 1 ]

$$Z_i = \begin{cases} z_{ni} + k_z A_{pi} h_i t_i l_i, & 0 \leq l_i \leq l_{oi}, \\ z_{ni} + k_z A_{pi} h_i t_i l_{oi} [1 - (l_i - l_{oi}) / (l_{li} - l_{oi})], & l_{oi} < l_i \leq l_{li}, \\ z_{ki}, & l_{li} < l_i \leq l_{2i}; \end{cases}$$

на задней грани резца

$$Y_i = \begin{cases} y_{ni} + (k_y h_i l_i + k_\alpha \alpha_{yi}) A_{pi}, & 0 \leq l_i \leq l_{oi}, \\ y_{ni} + \left[ k_y h_i l_{oi} \left( 1 - \frac{l_i - l_{oi}}{l_{1i} - l_{oi}} \right) + k_\alpha \alpha_{yi} \right] A_{pi}, & l_{oi} < l_i \leq l_{1i}, \\ y_{ki}, & l_{1i} < l_i \leq l_{2i}. \end{cases}$$

на рабочей боковой грани резца

$$X_i = \begin{cases} x_{ni} + k_x A_{pi} h_i t_i l_i, & 0 \leq l_i \leq l_{oi}, \\ x_{ni} + k_x A_{pi} h_i t_i l_{oi} \left[ 1 - (l_{ci} - l_{oi}) / (l_{1i} - l_{oi}) \right], & l_{oi} < l_i \leq l_{1i}, \\ x_{ki}, & l_{1i} < l_i \leq l_{2i}; \end{cases}$$

где индексы «н» и «к» обозначают начальное и конечное значения соответствующей величины, индекс «i» - соответствующая величина для i-го резца,  $A_p$  - сопротивляемость угля резанию,  $h, t$  - соответственно, толщина и ширина среза,  $l, l_0, l_1, l_2$  - соответственно, текущее значение и значения длины скола массива, при которых меняется характер сил,  $\alpha_y, k_\alpha$  - соответственно, задний угол резца и коэффициент, учитывающий влияние изменения заднего угла резца на силу.

Для дальнейшего анализа представим силы на гранях резца в виде

на передней грани резца

$$Z_i = \begin{cases} z_{ni} + z_{1i}, & 0 \leq l_i \leq l_{oi}, \\ z_{ni} + z_{2i} + z_{3i}, & l_{oi} < l_i \leq l_{1i}, \\ z_{ki}, & l_{1i} < l_i \leq l_{2i}; \end{cases}$$

на задней грани резца

$$Y_i = \begin{cases} y_{ni} + y_{1i} + y_{2i}, & 0 \leq l_i \leq l_{oi}, \\ y_{ni} + y_{3i} + y_{4i} + y_{5i}, & l_{oi} < l_i \leq l_{1i}, \\ y_{ki}, & l_{1i} < l_i \leq l_{2i}. \end{cases}$$

на рабочей боковой грани резца

$$X_i = \begin{cases} x_{ni} + x_{1i}, & 0 \leq l_{ci} \leq l_{oci}, \\ x_{ni} + x_{2i} + x_{3i}, & l_{oci} < l_{ci} \leq l_{1ci}, \\ x_{ki}, & l_{1ci} < l_{ci} \leq l_{2ci}; \end{cases}$$

Здесь  $z_{ni} = f_{y_{ni}} = z_{ki}$ ,  $y_{ni} = k_s S_i A_{pi} = y_{ki}$ ,  $x_{ni} = k_x S_{bi} A_{pi} = x_{ki}$ ,  
 $z_{1i} = k_z A_{pi} h_i t_i l_i$ ,  $z_{2i} = k_z A_{pi} h_i t_i l_{oi}$ ,  $z_{3i} = k_z A_{pi} h_i t_i l_{oi} (l_i - l_{oi}) / (l_{1i} - l_{oi})$ ,  $y_{1i} =$   
 $= k_y A_{pi} h_i t_i$ ,  $y_{2i} = k_a \alpha_{yi} A_{pi}$ ,  $y_{3i} = k_y h_i l_{oi} A_{pi}$ ,  $y_{4i} = k_y h_i l_{oi} (l_i - l_{oi}) / (l_{1i} - l_{oi}) A_{pi}$ ,  $y_{5i} =$   
 $= y_{2i}$ ,  $x_{1i} = k_x A_{pi} h_i t_i l_{ci}$ ,  $x_{2i} = k_x A_{pi} h_i t_i l_{oci}$ ,  $x_{3i} = k_x A_{pi} h_i t_i l_{oci} (l_{ci} - l_{oci}) / (l_{1ci} - l_{oci})$ .

Из приведенных выражений следует, что формирующиеся на гранях резца усилия при разрушении пласта представляют собой суммы произведений случайных величин. Поэтому и для усилий рассматриваемых резцов имеют место полученные и приведенные в [ 1 ] соотношения как по основным статистикам, так и другим параметрам. Так, например, совместная плотность распределения сопротивляемости углю резанию и длины скола боковой гранью имеет вид

$$\Delta_b(A_{pi}, S_{bi}) = 1 / (S_b \sigma_{A_{pi}} \sqrt{2\pi}) \exp \left[ -0,5 (A_{pi} - A_p)^2 / \sigma_{A_{pi}}^2 \right]$$

а совместная плотность распределения начальных и конечных значений усилий на гранях резца

$$\varphi(z_{ni}) = 1 / (k_s S_p \sigma_{A_{pi}} \sqrt{2\pi}) \int_{\xi}^{\infty} \xi^{-1} e^{-\frac{(\xi - A_p)^2}{2\sigma_{A_{pi}}^2}} d\xi,$$

$$\gamma(y_{ni}) = 1 / (k_s S_p \sigma_{A_{pi}} \sqrt{2\pi}) \int_{\zeta}^{\infty} \zeta^{-1} e^{-\frac{(\zeta - A_p)^2}{2\sigma_{A_{pi}}^2}} d\zeta,$$

$$\vartheta(x_{ni}) = 1 / (k_x S_b \sigma_{A_{pi}} \sqrt{2\pi}) \int_{\xi}^{\infty} \xi^{-1} e^{-\frac{(\xi - A_p)^2}{2\sigma_{A_{pi}}^2}} d\xi.$$

В связи с тем, что аналитические выражения для плотностей распределения вероятностей других слагаемых усилий для рассматриваемых резцов более громоздки, чем в случае для резцов существующей конструкции, приведем зависимости только для их основных статистик – математического ожидания  $M$  и дисперсии  $D$ .

$$Mz_{ni} = 0,5 f k_s S_p A_{pi}, \quad Dz_{ni} = 1/3 (f k_s S_p A_{pi})^2 (v_{Api}^2 + 1/4),$$

$$My_{ni} = 0,5 k_s S_p A_{pi}, \quad Dy_{ni} = 1/3 (k_s S_p A_{pi})^2 (v_{Api}^2 + 1/4),$$

$$Mz_{1i} = k_1 [c + a/b \Gamma(1/b)] A_{pi},$$

$$Dz_{1i} = k_1^2 \{ \sigma_{Api}^2 [c^2 + 2a/b \langle c \Gamma(1/b) + a \Gamma(2/b) \rangle] + A_{pi}^2 [a^2/b \langle 2\Gamma(2/b) - 1/b \Gamma^2(1/b) \rangle] \},$$

$$Mz_{2i} = k_2 A_{pi}, \quad Dz_{2i} = k_2^2 \sigma_{Api}^2,$$

$$Mz_{3i} = k_3 A_{pi} [c_1 + a/b \Gamma(1/b)],$$

$$Dz_{3i} = k_3^2 \{ \sigma_{Api}^2 [c_1^2 + 2a/b \langle c_1 \Gamma(1/b) + a \Gamma(2/b) \rangle] + A_{pi}^2 [a^2/b \langle 2\Gamma(2/b) - 1/b \Gamma^2(1/b) \rangle] \},$$

$$Mz_{ki} = 0,5 f k_s S_p A_{pi}, \quad Dz_{ki} = 1/3 (f k_s S_p A_{pi})^2 (v_{Api}^2 + 1/4).$$

$$Mx_{ni} = 0,5 f k_s S_b A_{pi}, \quad Dx_{ni} = 1/3 (f k_s S_b A_{pi})^2 (v_{Api}^2 + 1/4),$$

$$Mx_{1i} = k_1 [c_c + a_c/b_c \Gamma(1/b_c)] A_{pi}, \quad Dx_{1i} = k_1^2 \{ \sigma_{Api}^2 [c_c^2 + 2a_c/b_c \langle c_c \Gamma(1/b_c) + a_c \Gamma(2/b_c) \rangle] + A_{pi}^2 [a_c^2/b_c \langle 2\Gamma(2/b_c) - 1/b_c \Gamma^2(1/b_c) \rangle] \},$$

$$Mx_{2i} = k_2 A_{pi}, \quad Dx_{2i} = k_2^2 \sigma_{Api}^2, \quad Mx_{3i} = k_3 A_{pi} [c_{c1} + a_c/b_c \Gamma(1/b_c)],$$

$$Dx_{3i} = k_3^2 \{ \sigma_{Api}^2 [c_{c1}^2 + 2a_c/b_c \langle c_{c1} \Gamma(1/b_c) + a_c \Gamma(2/b_c) \rangle] + A_{pi}^2 [a_c^2/b_c \langle 2\Gamma(2/b_c) - 1/b_c \Gamma^2(1/b_c) \rangle] \},$$

$$Mx_{ki} = 0,5 f k_x S_b A_{pi}, \quad Dx_{ki} = 1/3 (f k_x S_b A_{pi})^2 (v_{Api}^2 + 1/4).$$

Совместные плотности распределения вероятностей усилий, формирующихся на гранях резца и имеющих взаимное влияние, определяются свертками их плотностей распределения вероятностей:

$$\mu(Z_i, Y_i) = f_z(Z_i) \otimes f_y(Y_i),$$

$$\rho(Z_i, X_i) = f_z(Z_i) \otimes f_x(X_i),$$

$$\phi(Y_i, X_i) = f_y(Y_i) \otimes f_x(X_i)$$

$$\chi(Z_i, Y_i, X_i) = f_z(Z_i) \otimes f_y(Y_i) \otimes f_x(X_i).$$

Здесь знак  $\otimes$  обозначает свертку плотностей распределения вероятностей соответствующих усилий.

Представляя и для рассматриваемых резцов полное усилие в виде [ 2 ], получим

$$Z_{ni} = Z_i + f(Y_i + X_i \cos \beta),$$

где  $\beta$  - угол наклона рабочей боковой грани инструмента.

Основные статистики – математическое ожидание  $M$  и дисперсия  $D$  - полного усилия на резце с рабочей боковой гранью будут

$$MZ_{ni} = MZ_i + f(MY_i + MX_i \cos \beta),$$

$$DZ_{ni} = DZ_i + f^2(DY_i + DX_i \cos^2 \beta) + 2K(Z_i, Y_i, X_i),$$

где  $K(Z_i, Y_i, X_i)$  – корреляционный момент указанных усилий.

Суммарный вектор сил, формирующихся на гранях резца, в общем случае может быть представлен в виде

$$P_i = \sqrt{Z_{ni}^2 + Y_i^2 + X_i^2 \cos^2 \beta}.$$

Частота усилия, формирующегося на рабочей боковой грани резца

$$\omega_{Z_i} = 2\pi V_p l_{2i}^{-1},$$

Откуда следует, что частота силы, формирующейся на рабочей боковой грани резца, – монотонно убывающая функция длины скола массива, плотность распределения вероятностей для которой будет

$$\gamma(\omega_{Z_i}) = \frac{2\pi V_{pi} b_c}{a_c \omega_{Z_i}^2} \left( \frac{2\pi V_{pi} - c_c \omega_{Z_i}}{a_c \omega_{Z_i}} \right)^{b_c - 1} \exp \left[ - \left( \frac{2\pi V_{pi} - c_c \omega_{Z_i}}{a_c \omega_{Z_i}} \right)^{b_c} \right],$$

представляющая собой закон Вейбулла.

Таким образом, на основании выполненных исследований получено, что формирующиеся на гранях резца с рабочей боковой гранью усилия являются многомерными случайными величинами, случайных характер которых обусловлен случайным характером тех же, что и для радиальных резцов параметрами и, кроме того, случайным характером длины скола массива боковой гранью резца (закон Вейбулла). Частота усилия, формирующегося на боковой грани рассматриваемых резцов, является случайной величиной, плотность распределения вероятностей которой не противоречит закону Вейбулла.

Список источников

1. 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, «Донецчина». 1996. – 223 с.
2. Позин Е. З. Сопrotивляемость углей разрушению режущими инструментами. М., Наука, 1972. – 240 с.