

УДК 621.73.06.52

Сатонин А. В.
Пашков В. Г.
Емченко Е. А.
Голубенко Н. Ю.
Пеньчуков А. А.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНО-ЭМПИРИЧЕСКИХ ОЦЕНОК УДЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ СИЛ И МОМЕНТОВ РЕЗАНИЯ ФРАГМЕНТОВ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ШИН НА ДИСКОВЫХ НОЖНИЦАХ

Существующая технология утилизации резинотехнических отходов путем сжигания связана существенным загрязнением атмосферы и окружающей среды появляется необходимость разработки иных методов утилизации. Можно отметить, что процессы обработки давлением являются применительными к первичному разделению и измельчению различного рода резинотехнических отходов, в том числе крупногабаритных автомобильных шин.

По аналогии с процессами резания металлических материалов [1–2], методы расчёта энергосиловых параметров при реализации соответствующих технологий должны быть основаны на результатах широкого круга экспериментальных исследований, необходимость проведения которых обусловлена и спецификой физико-механических свойств, а также многообразием резинотехнических отходов, подвергаемых обработке.

Целью работы является уточнение применяемых методик расчета энергосиловых параметров процесса резания на дисковых ножницах, определение удельных значений энергосиловых параметров процесса резания резинотехнических отходов на дисковых ножницах, исключая влияние геометрии очага деформации и характеризующих преимущественно влияние физико-механических свойств разрезаемых материалов, количества резов, а также влияние боковых зазоров и степени притупления дисковых ножей.

При измельчении резинотехнических отходов целесообразным является использование процесса продольного резания, реализуемого на дисковых ножницах различной конструкции [1]. Непосредственно резанию дисковыми ножами подвергали резиновые и кордовые фрагменты КГШ 18.0025, полученные путем первичного разделения шин данного типоразмера ленточными пилами. В качестве же варьируемых параметров в этом случае рассматривали толщину разрезаемых заготовок h_{ϕ} , а также величину перекрытия дисковых ножей δ_H (рис. 1), регулируемую путем вращения нажимных винтов.

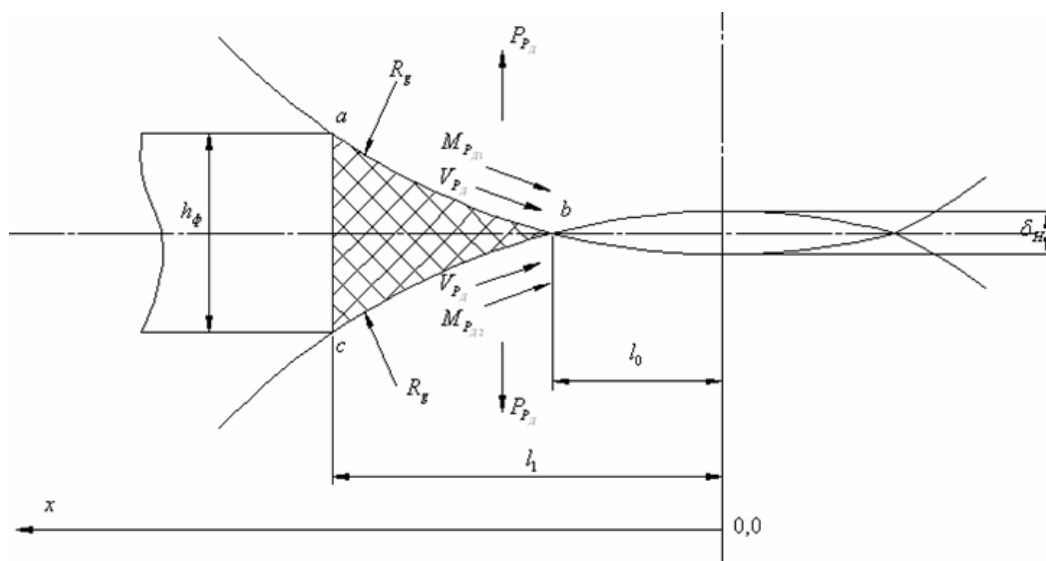


Рис. 1. Расчётная схема очага деформации процесса резания дисковыми ножами резинотехнических отходов

Следует отметить, что известные методики расчета энергосиловых параметров процесса резания на дисковых ножницах [2] предполагают аппроксимацию контактных поверхностей дисковых ножей хордами, что несколько искажает реальную геометрию очага деформации и, как следствие, приводит к снижению степени достоверности результатов расчета, поскольку, например, сила резания $P_{PД}$ в этом случае определяется как:

$$P_{PД} = k_1 k_2 k_3 \sigma_\epsilon F_s, \quad (1)$$

где $k_1 k_2 k_3$ – коэффициенты, учитывающие соотношение напряжений среза и предела прочности σ_ϵ разрезаемого материала, а также влияние бокового зазора и притупления режущих кромок дисковых ножей [2]; F_s – площадь среза, определяемая именно геометрией очага деформации процесса резания дисковыми ножами, аппроксимация режущих кромок которых хордами и обуславливает наличие соответствующей погрешности.

Более строгое решение может быть получено на основе степенного аналитического описания текущего по длине очага деформации значения толщины разрезаемой заготовки h_x (см. рис. 1):

$$h_x = -\delta_H + (h_\phi + \delta_H)(x/l_1)^{a_h}, \quad (2)$$

где x – геометрическая координата, имеющая свое начало в плоскости осей вращения дисковых ножей; l_1 – общая протяженность очага деформации, соответствующая расстоянию от плоскости входа разрезаемой заготовки в дисковые ножи до плоскости осей их вращения (см. рис. 1); a_h – степенной показатель, определяемый аппроксимацией контактных поверхностей дисковых ножей.

С учетом зависимости (2), окончательное разделение резинотехнических отходов происходит в точке ν , т. е. в точке пересечения образующих поверхностей дисковых ножей (см. рис. 1).

Искомая величина площади одного среза F_s может быть определена как:

$$F_s = \int_{l_0}^{l_1} h_x dx = \int_{l_0}^{l_1} [-\delta_H + (h_\phi + \delta_H)(x/l_1)^{a_h}] dx = \frac{(h_\phi + \delta_H)[l_1^{(a_h+1)} - l_0^{(a_h+1)}]}{(a_h+1)l_1^{a_h}} - \delta_H(l_1 - l_0), \quad (3)$$

где l_0 – геометрическая координата точки ν , соответствующая расстоянию от точки окончательного разделения разрезаемых резинотехнических отходов до плоскости осей вращения дисковых ножей (см. рис. 1).

Согласно (2) количественно геометрическая характеристика l_0 может быть определена исходя из очевидного соотношения вида:

$$h_x = -\delta_H + (h_\phi + \delta_H)(l_0/l_1)^{a_h} = 0, \quad (4)$$

Откуда:

$$l_0 = l_1 \left(\frac{\delta_H}{h_\phi + \delta_H} \right)^{(1/a_h)}. \quad (5)$$

Аналогично, т. е. исходя из чисто геометрических соотношений, может быть определена и общая протяженность очага деформации l_1 :

$$l_1^2 = R_\delta^2 - (R_\delta - h_\phi/2 - \delta_H/2)^2. \quad (6)$$

Откуда в окончательном виде:

$$l_1 = \sqrt{R_\delta(h_\phi + \delta_H) - (h_\phi + \delta_H)^2/4}, \quad (7)$$

где R_δ – радиус образующих поверхностей дисковых ножей (см. рис. 1).

Обобщив выражения (1) и (3) по отношению к суммарной силе резания резинотехнических отходов дисковыми ножами получим:

$$P_{P_D} = k_1 k_2 k_3 \sigma_{\epsilon} n_P \left\{ \frac{(h_{\phi} + \delta_H) [l_1^{(a_h+1)} - l_0^{(a_h+1)}]}{(a_h + 1) l_1^{a_h}} - \delta_H (l_1 - l_0) \right\}, \quad (8)$$

где n_P – общее количество резов, а геометрические характеристики l_0 и l_1 определяются зависимостями (5) и (7), соответственно.

По аналогии с силой может быть определен и момент резания резинотехнических отходов, действующий на каждый ножевой вал:

$$\begin{aligned} M_{P_{D1(2)}} &= k_1 k_2 k_3 \sigma_{\epsilon} n_{P1(2)} \int_{l_0}^{l_1} h_x \cdot x \cdot dx = k_1 k_2 k_3 \sigma_{\epsilon} n_{P1(2)} \int_{l_0}^{l_1} \left[-\delta_H + (h_{\phi} + \delta_H) (x/l_1)^{a_h} \right] x dx = \\ &= k_1 k_2 k_3 \sigma_{\epsilon} n_{P1(2)} \left\{ \frac{(h_{\phi} + \delta_H)}{l_1^{a_h}} \times \frac{[l_1^{(a_h+2)} - l_0^{(a_h+2)}]}{(a_h + 2)} - \delta_H \frac{(l_1^2 - l_0^2)}{2} \right\}. \end{aligned} \quad (9)$$

Некоторое снижение удельной силы резания \bar{P}_{P_D} имеет место при увеличении перекрытия дисковых ножей δ_H , а изменение удельных значений моментов резания $\bar{M}_{P_{D1(2)}}$ крайне незначительно.

В качестве примеров результатов численной реализации представленной методики расчета, включающей в себя зависимости (5), (7), (8) и (9), на рис. 2–3 представлены расчетные распределения удельных значений силы $\bar{P}_{P_D} = P_{P_D} / (k_1 k_2 k_3 \sigma_{\epsilon} n_P)$ и моментов

$\bar{M}_{P_{D1(2)}} = M_{P_{D1(2)}} / (k_1 k_2 k_3 \sigma_{\epsilon} n_{P1(2)})$ резания дисковыми ножами, полученные при различных значениях исходной толщины разрезаемых фрагментов h_{ϕ} , величины перекрытия дисковых ножей δ_H , а также при различных значениях степенного показателя a_h , характеризующего согласно (4) текущие значения геометрических параметров очага деформации, вытекающие из используемой аппроксимации контактных поверхностей дисковых ножей.

Из результатов анализа представленных расчетных распределений (см. рис. 2–3) является очевидным, что с увеличением толщины разрезаемых фрагментов h_{ϕ} удельные значения и силы \bar{P}_{P_D} и моментов $\bar{M}_{P_{D1(2)}}$ процесса резания на дисковых ножницах интенсивно возрастают. Некоторое снижение удельной силы резания \bar{P}_{P_D} имеет место при увеличении перекрытия дисковых ножей δ_H , в то время как изменение удельных значений моментов резания $\bar{M}_{P_{D1(2)}}$ является в этом случае крайне незначительным.

Отмеченное качественно полностью соответствует рассмотренным выше результатам выполненных экспериментальных исследований процесса резания резинотехнических отходов на дисковых ножницах.

Продолжая анализ полученных расчетных распределений следует отметить, что весьма существенным является и влияние степенного показателя a_h уравнения (2), аппроксимирующего форму контактных поверхностей и, как следствие, текущие значения геометрических параметров очага деформации h_x (см. рис. 1).

В частности, при количественной оценке $a_h = 1,0$, используемой авторами работ [1, 2], удельные значения и силы \bar{P}_{P_D} и моментов $\bar{M}_{P_{D1(2)}}$ процесса резания дисковыми ножами существенно превышают аналогичные значения, полученные при $a_h = 2,0$, то есть при более строгой аппроксимации цилиндрических образующих поверхностей дисковых ножей, при

этом степень указанного несоответствия может достигать 30 ... 40 (%) [1, 2] и более, что подтверждает необходимость более корректного учета реальной геометрии очага деформации процесса резания резинотехнических отходов на дисковых ножницах, обеспечиваемого, в частности, полученными в рамках данной работы зависимостями (5) и (7)–(9).

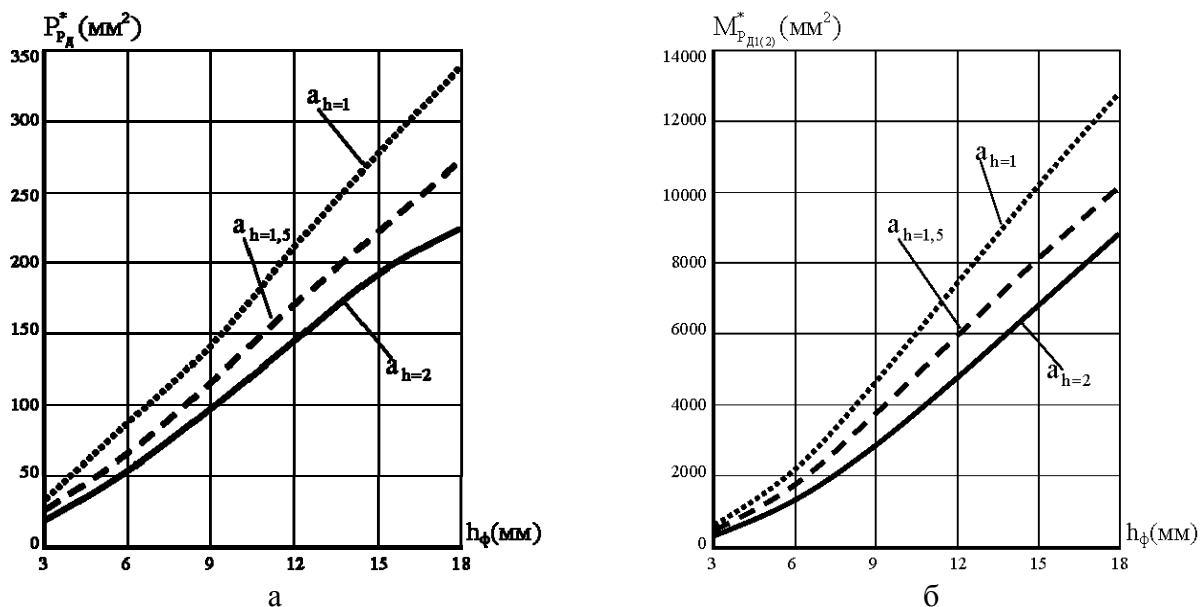


Рис. 2. Расчетные распределения приведенных значений силы $P_{P_d}^*$ (а) и моментов

$\overline{M}_{P_{д1(2)}}$ (б) процесса резания резинотехнических отходов на ножницах в зависимости от толщины фрагментов h_{ϕ} и количественной оценки степенного показателя a_h , аппроксимирующего контактные поверхности дисковых ножей ($R_D = 150$ мм; $\delta_H = 0,0$ мм)

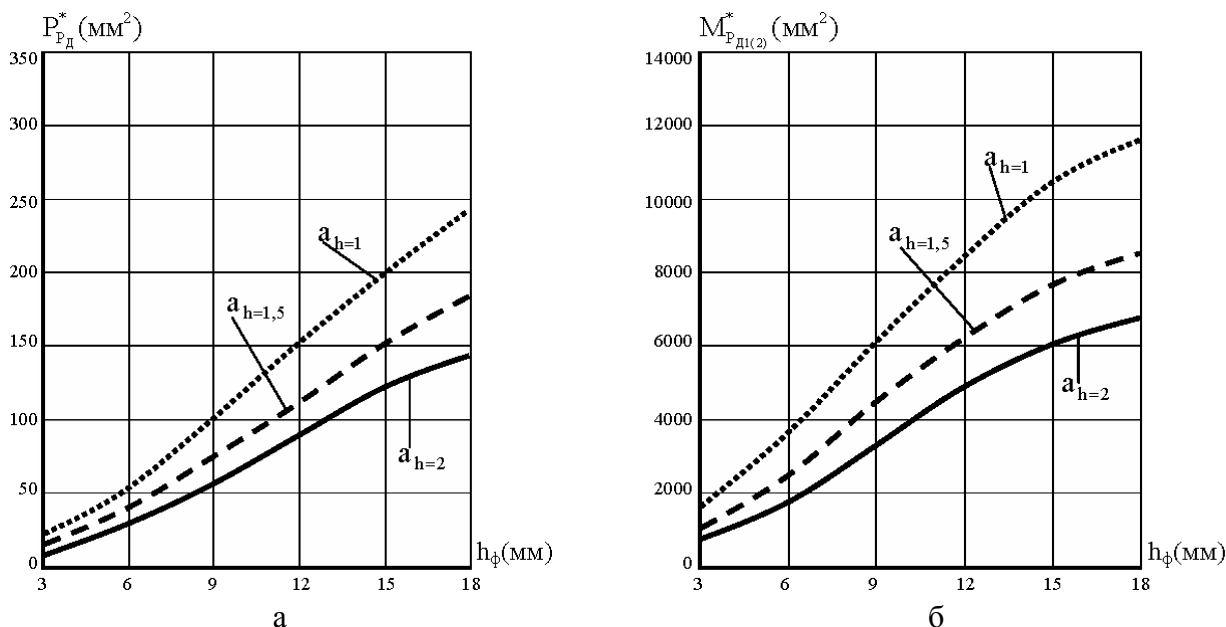


Рис. 3. Расчетные распределения приведенных значений силы $P_{P_d}^*$ (а) и моментов

$\overline{M}_{P_{д1(2)}}$ (б) процесса резания резинотехнических отходов на ножницах в зависимости от толщины разрезаемых фрагментов h_{ϕ} и количественной оценки степенного показателя a_h , аппроксимирующего контактные поверхности дисковых ножей ($R_D = 150$ мм; $\delta_H = 6,0$ мм)

Как и в случае процессов резания параллельными и наклонными ножами с точки зрения теоретико-экспериментального анализа представляет интерес определение удельных значений энергосиловых параметров процесса резания резинотехнических отходов на дисковых ножницах, исключая влияние геометрии очага деформации и характеризующих преимущественно влияние физико-механических свойств разрезаемых материалов, количества резов, а также влияние боковых зазоров и степени притупления дисковых ножей. Удельные значения энергосиловых параметров процесса резания резинотехнических отходов в последствии могут быть использованы при проектировании соответствующего оборудования по утилизации резинотехнических отходов.

Согласно структуре зависимости (8) удельное значение силы резания в этом случае может быть определено как:

$$\bar{P}_{P_D} = k_1 k_2 k_3 \delta_e = \frac{P_{P_D}}{n_P \left\{ \frac{(h_\phi + \delta_H)(l_1^3 - l_0^3)}{3l_1^2} - \delta_H(l_1 - l_0) \right\}}. \quad (10)$$

Аналогично, следуя (9) по отношению к удельным значениям моментов резания, действующим на верхний и нижний $\bar{M}_{P_{D1(2)}}$ ножевые валы:

$$\bar{M}_{P_{D1(2)}} = k_1 k_2 k_3 \delta_e = \frac{M_{P_{D1(2)}}}{n_{P12} \left\{ \frac{(h_\phi + \delta_H)(l_1^4 - l_0^4)}{4l_1^2} - \delta_H \frac{(l_1^2 - l_0^2)}{2} \right\}}. \quad (11)$$

ВЫВОДЫ

Учитывая влияние степенного показателя a_h полученные, при более строгой аппроксимации цилиндрических образующих поверхностей дисковых ножей, оценки удельных значений силы \bar{P}_{P_D} и моментов $\bar{M}_{P_{D1}}$ резания фрагментов крупногабаритных шин на дисковых ножницах по своим значениям являющиеся более низкими (на 30...40 %) в сравнении с используемыми методиками [1, 2], что подтверждает целесообразность использования разработанных методик.

Так же приведено определение удельных значений энергосиловых параметров процесса резания резинотехнических отходов на дисковых ножницах, исключая влияние геометрии очага деформации и характеризующих преимущественно влияние физико-механических свойств разрезаемых материалов, количества резов, а также влияние боковых зазоров и степени притупления дисковых ножей.

Удельные значения энергосиловых параметров процесса резания резинотехнических отходов в последствии могут быть использованы при проектировании соответствующего оборудования по утилизации резинотехнических отходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Королёв А. А. Конструкция и расчёт машин и механизмов прокатных станков / А. А. Королёв. – М.: Металлургия, 1985. – 376 с.
2. Целиков А. И. Машины и агрегаты металлургических заводов / А. И. Целиков, П. И. Полухин, В. М. Гребник // Машины и агрегаты для производства и отделки проката. – 1981. – 376 с.

Сатонин А. В. – д-р техн. наук, проф. ДГМА;
 Пашков В. Г. – канд. техн. наук, доц. ДГМА;
 Емченко Е. А. – аспирант ДГМА;
 Голубенко Н. Ю. – студент ДГМА;
 Пеньчуков А. А. – студент ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: amm@dgma.donetsk.ua