

жет быть лишь один такой размер по каждому координатному направлению.

Предложенная методика выбора технологических баз может быть использована при разработке САПР технологических процессов, так как позволяет использовать простые, легко реализуемые ПЭВМ процедуры выбора объектов по формальным признакам.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

УДК 621.91.002

Благодарный В., Божков В.

ОПТИМИЗАЦИЯ УГЛОВ РЕЗАНИЯ РЕЗЦОВ РОТОРНОЙ ДРОБИЛКИ

ВВЕДЕНИЕ

В роторных дробилках ударного резания с вертикальным расположением ротора основными режущими элементами являются резцы, расположенные и закрепленные на роторе по винтовой линии [1]. Резцы, вращаясь вокруг центральной оси ротора, с силой ударяют по продукту, находящемуся между наружной поверхностью ротора и внутренней поверхностью корпуса дробилки. Продукт задерживается вертикальными неподвижными ножами, закрепленными на внутренней поверхности корпуса дробилки. При ударе резца о неподвижный относительно данного резца кусок продукта происходит так называемое ударное резание [2,3], и кусок продукта разрезается на мелкие куски. И так как удары резцов происходят непрерывно один за другим в разных местах по высоте ротора, кусок продукта измельчается на мелкие части, причем измельчение происходит до тех пор, пока частица продукта не получит такие размеры, которые позволят ей выскочить из рабочей зоны через отверстия в решетке на выходном патрубке в разгрузочный бункер.

В связи с тем, что главным элементом дробилки, непосредственно измельчающим продукт в рабочей зоне, является резец, то естественно предположить значительное влияние на процесс резания характеристик резца, главными из которых являются углы резания.

1. СИЛОВЫЕ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЗЦА

Резцы, используемые в роторной дробилке, являются двусторонними (рисунок 1), то есть резец имеет режущие кромки с одной и другой стороны. С одной стороны (левой на рисунке 1) резец выполнен в форме клина, угол клина составляет $180^\circ - \gamma$ со второй стороны резец имеет режущую грань посередине с двумя передними углами γ (верхним и нижним), которые могут быть равными, но могут и отличаться. Угол клина с этой стороны резца составляет $180^\circ - \gamma_1 - \gamma_2$.

При резании имеют место деформации в месте среза, а также ниже и выше линии среза. Деформации создают силы, действующие на поверхность резца: нормальную силу P_N , силы трения P_t . Сила трения равна $P_t = P_N \cdot \mu$, где μ - коэффициент трения, зависящий от свойств измельчаемого продукта и материала, из которого изготовлены резцы, а также шероховатости передних и задних поверхностей резцов, по которым происходит скольжение измельченного продукта. Большие значения коэффициента трения соответствуют работе с большими передними углами.

1. Проектирование технологии: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов/ И.М. Баранчукова, А.А. Гусев, Ю.Б. Крамаренко и др.; Под общ. ред. Ю.М. Соломенцева.- М.: Машиностроение, 1990.- С. 416.
2. Махаринский Е.И., Горохов В.А. Основы технологии машиностроения: Учебник. Мн.: Высш. шк. 1997.- С.423.

Воздействие измельчаемого продукта на задние поверхности вызывает появление соответствующих сил: нормальной силы P_{N1} и силы трения P_{t1} . Рассмотренные сосредоточенные силы являются суммой сил, распределенных на площадь контакта передних поверхностей с полученными частицами продукта и задних поверхностей с измельчаемым куском продукта. Точки приложения сил находятся на небольшом расстоянии от режущей кромки, зависящем от вязкости измельчаемого продукта, геометрических параметров режущей кромки резца (ширины и длины).

При выполнении технологических расчетов используют сумму проекций сил на координатные оси x, y, z . Суммы проекций сил называют силами резания: P_z - вертикальная сила, P_y - радиальная и P_x - окружная или тангенциальная сила. Для упрощения расчетов допустим, что точки приложения сил резания лежат на вершинах режущих кромок резца А и В. Тогда для точки А силы резания будут равны (рисунок 1):

$$\begin{aligned} P_{xA} &= P_N \cos \varphi \cos \gamma + P_t \sin \varphi \sin \gamma + P_{t1}, \\ P_{yA} &= -P_N \sin \varphi \sin \gamma + P_t \cos \varphi \cos \gamma + P_{t1}, \\ P_{zA} &= -P_N \sin \gamma \sin \varphi + P_t \cos \gamma. \end{aligned} \quad (1)$$

В точке В силы резания соответственно равны (рисунок 1):

$$\begin{aligned} P_{xB} &= P_{N1} \cos \varphi_1 \cos \gamma_1 + P_{N2} \cos \varphi_1 \cos \gamma_2 + \\ &+ P_{t1} \sin \gamma_1 + P_{t2} \sin \gamma_2, \\ P_{yB} &= -P_{N1} \sin \varphi_1 \sin \gamma_1 - P_{N2} \sin \varphi_1 \sin \gamma_2 + \\ &+ P_{t1} \cos \varphi_1 + P_{t2} \cos \varphi_2, \\ P_{zB} &= P_{N1} \cos \varphi_1 \sin \gamma_1 - P_{N2} \cos \varphi_1 \sin \gamma_2 - \\ &- P_{t1} \cos \gamma_1 + P_{t2} \cos \gamma_2 \end{aligned} \quad (2)$$

При следующих значениях углов $\gamma_1 = \gamma_2 = 15^\circ$, $\varphi = 15^\circ$ получим следующие выражения для сил P_x, P_y, P_z в точках А и В:

$$\begin{aligned} P_{xA} &= P_N (\cos^2 15^\circ + \mu \sin^2 15^\circ) + P_{t1} = 0.98 P_N + P_{t1}, \\ P_{yA} &= -P_N (\sin^2 15^\circ + \mu \cos^2 15^\circ) + P_{t1} = 0.8 P_N + P_{t1}, \\ P_{zA} &= -P_N (\sin^2 15^\circ + \mu \cos^2 15^\circ) = 0.83 P_N, \end{aligned} \quad (3)$$

Vladimir Blagodarny. Prof. Ing., DrSc, ul. Šturová 31, Fakulta výrobných technológií TU Košice. Slovakia, 08001 Prešov, tel. 051 77 22604, e-mail: blagodarny.vladimir@fv.t.sk.

Божков Владимир. Инженер Могилевского государственного технического университета. Беларусь, МГТУ, 212005, г. Могилев, пр. Мира 43, тел. 222 41 8104.

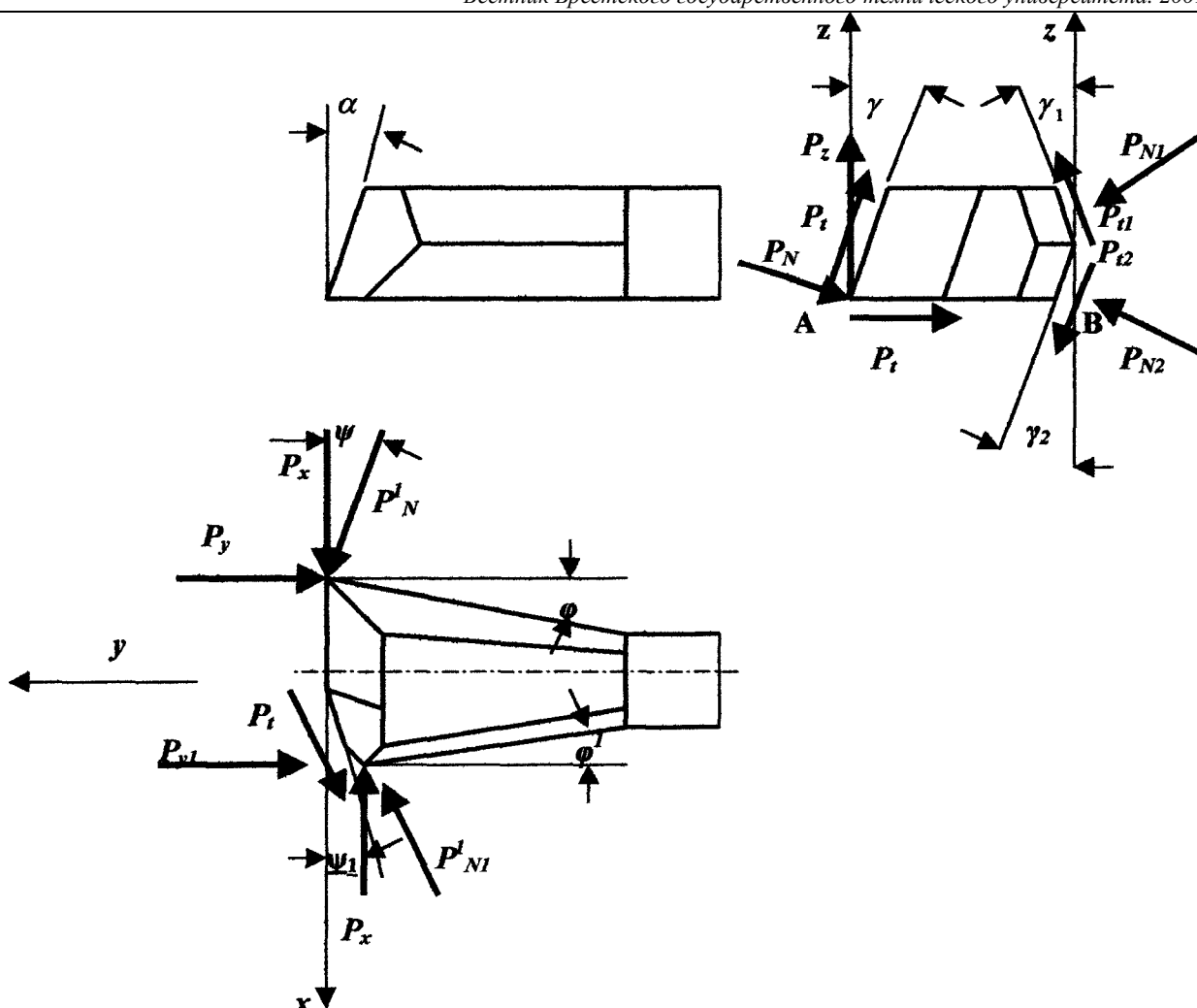


Рисунок 1 – Силы и углы резания в резце роторной головки.

$$P_{xB} = 2P_N (\sin^2 15^\circ + \mu \sin^2 15^\circ) = 2.05P_N,$$

$$P_{zB} = 0.$$

Равнодействующая всех сил резания равна геометрической сумме составляющих

$$R = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2}. \quad (4)$$

Для точки А равнодействующая равна $R_A = 2.84P_N$, для точки В соответственно $R_B = 1.51P_N$. Теоретически при работе резцов с большим углом заострения для измельчения требуются силы в $2.84P_N / 1.51P_N$ раза больше, чем при резании с меньшим углом резания.

Испытания дали следующие результаты. При работе резцов с большим углом заострения требуются силы в $133/83.7=1.59$ раза больше, чем при резании с меньшим углом резания. Некоторая разница в результатах расчета и испытаний получилась из-за того, что при теоретическом анализе из-за трудностей определения сил трения, возникающих при работе резца, пришлось эти силы не учитывать.

Таким образом, расчеты показывают, что изменение геометрии резца, то есть увеличение угла резания, приводит к увеличению сил P_x и P_y , следовательно, на измельчение

расходуется большее количество энергии, что связано, в свою очередь, с уменьшением эффективности дробилки.

Было экспериментально исследовано влияние геометрии резцов на эффективность измельчения [3]. В качестве параметра оптимизации измельчения принят коэффициент K , равный отношению затрат энергии на единицу вновь получаемой поверхности продукта,

$$K = \frac{A}{\Delta F} \quad (5)$$

где A - удельный расход электроэнергии, Вт·ч·кг⁻¹,

ΔF - вновь полученная поверхность, м².

Произведено дробление кусков недовулканизированной резины. Загружалась порция, равная 3 кг, и производилось измельчение до тех пор, пока весь продукт не будет измельчен. Определялись фракционный состав частиц измельченного продукта, средние размеры частиц, затраты электроэнергии и параметр оптимизации. Было проведено два эксперимента: при вращении роторной головки против часовой стрелки (при этом в работу вступали более острые грани резцов) и после того как измельченный продукт был удален, вносилась новая порция продукта, и вращение роторной головки производилось по часовой стрелке (в работе участвовали грани с большим углом заострения). Коэффициенты оптимизации соот-

ответственно получились равными: $K_1 = 83.7$ Вт·ч·кг⁻¹ и $K_2 = 133$ Вт·ч·кг⁻¹.

Таким образом, эксперимент подтвердил теоретические результаты анализа влияния угла резания на производительность дробилки: увеличение угла резания приводит к снижению производительности, и наоборот. Следовательно, чтобы производительность измельчения пластичного материала возросла, следует использовать заостренные резцы с малыми углами резания. Но однако, чрезмерное уменьшение угла резания резца может привести к снижению его прочности и поломкам в процессе работы, тем более, что работа резцов происходит с ударами (которые при анализе не были учтены). Поэтому при выборе угла резания необходимо определить оптимальное сечение резца, которое обеспечило бы достаточную прочность при нагрузках, возникающих в процессе измельчения продукта.

В резце, закрепленном на роторной головке, силы резания вызывают напряжения изгиба, сжатия и кручения, и при значительных их величинах, особенно при наличии ударов, возможна поломка резцов. Сила P_x , воздействуя на резец, вызывает кручение и изгиб резца в горизонтальной плоскости. При этом крутящий момент составляет

$$T_p = P_x \frac{D}{2}, \quad (6)$$

где D - диаметр траектории движения вершины резца, закрепленного в роторной головке, мм.

Крутящий момент должен быть меньше момента, создаваемого роторной головкой, так как в противном случае может произойти заклинивание ротора.

Изгибающий момент равен $M = P_x l$, где l - расстояние от вершины режущей кромки резца до границы начала крепления резца в роторной головке, мм.

Сила P_z - вызывает изгиб и кручение резца в вертикальной плоскости

$$T_z = P_z \frac{d}{2}, \quad \sigma_u = \frac{P_z l}{W_u}, \quad (7)$$

где d - расстояние от вершины режущей кромки резца до оси стержня резца, мм,

l - расстояние от вершины режущей кромки резца до основания резца, мм,

W_u - момент сопротивления сечения резца, мм³.

Сила P_y - вызывает изгиб и сжатие резца в горизонтальной плоскости

$$\sigma_u = \frac{P_y d}{2}, \quad \sigma_c = \frac{P_y}{bh}, \quad (8)$$

где b, h - длина и ширина режущей кромки резца, мм.

Таким образом, резец находится в сложном напряженном состоянии. Зная характеристики измельчаемого продукта, задавшись b, h , можно определить силу P_x из выражения

$$P_x = bh[\tau]_{cp}, \quad (9)$$

где $[\tau]_{cp}$ - допускаемое напряжение среза измельчаемого

продукта, обычно $[\tau]_{cp} = (0.3 \div 0.4)\sigma_b$, где σ_b - напряжение при растяжении - сжатии, МПа. Обычно для различных материалов эти данные имеются в справочниках по материалам, например, в [4].

Если же найти значения $\sigma_b, \sigma_u, [\tau]_{cp}$ не удастся, то следует провести испытания образцов измельчаемого продукта на стандартных испытательных машинах. Далее, выразив силы P_x, P_y, P_z через P_N , используя формулы (1) и (2), составляем систему уравнений, в которых неизвестными являются углы γ, φ или $\gamma_1, \gamma_2, \varphi_1, \varphi_2$ уравнения относительно этих углов, определяем геометрию резца.

Затем по формулам (1) или (2) уточняем величины сил P_x, P_y, P_z по формулам (7),(8) определяем напряжения, возникающие в резце, и согласно энергетической теории прочности [6], определяем эквивалентное напряжение по формуле

$$\sigma_e = \sqrt{(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)^2 + 3(\tau_x + \tau_y + \tau_z)^2} \leq [\sigma], \quad (10)$$

где $[\sigma] = \sigma_b/n$ - допускаемое напряжение для материала резца, МПа,

n - коэффициент запаса прочности ($n = 1.5 \div 3$).

Если неравенство (10) выполняется, то форма геометрии резцов для заданного измельчаемого продукта выбрана правильно, прочность резцов обеспечена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенный анализ влияния геометрических характеристик резца на процесс измельчения продуктов в роторной вертикальной дробилке позволяет в зависимости от прочностных характеристик измельчаемого продукта выбрать оптимальную геометрию резцов и обеспечить их прочность.

Теоретический анализ был подтвержден экспериментально.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Blagodamy V., Ragan E., Božkov V. Výpočet rezných sil v drvičoch pri nárazovom rezaní/ Nové smery vo výrobných technológiách: 5 medzinárodná konferencia, Prešov: FVT TU, 2000.-S.482-485.
2. Благодарный В., Божков В., Раган Э. Силы резания в дробилке ударного резания/ Прогрессивные технологии, машины и механизмы в машиностроении: Сб. докл. междунар. научно-технич. конференция «БАЛТЕХ-МАШ-2000», т.1. Калининград. - 2000.-с.12.
3. Божков В., Blagodarny V., Ragan E. Результаты экспериментов по оптимизации режимов функционирования роторной дробилки/ Nové trendy vprevádzke výrobnéj techniky: III medzinárodná konferencia, 22-23.11.2000, Prešov.-s.31-35.
4. Гжиров П.И. Краткий справочник конструктора: Справ.-Л.: Машиностроение, 1984. - 464 с.
5. Грановский С.А., Леванг Г.В., Орнис Н.М., Тарасевич Ю.С. Основы учения о резании металлов и режущий инструмент. М.: Машиностроение. - 1968.
6. Бюргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин: Справочник. - М.: Машиностроение. - 1978.