

УДК 641.512.06

А.К. Пильненко

Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ УГЛА ЗАТОЧКИ ЛЕЗВИЯ ДИСКОВОГО НОЖА

У статті визначена залежність кінематичної трансформації кута заточки леза дискового ножа від кута повороту відносно продукту.

Ключові слова: *дисковий ніж, коефіцієнт ковзання, кут заточки.*

Постановка проблеми. Приведенные в литературе результаты исследований процессов измельчения различных материалов [1, 2] свидетельствует о значительном влиянии на энергетические затраты процесса резания геометрия режущего инструмента, т. е. формы режущей кромки ножа, угла заточки, степени остроты лезвия, вида заточки, толщины и др.

Одним из важнейших геометрических параметров режущего инструмента является угол заточки. Все исследователи приходят к единому выводу, что с уменьшением угла заточки усилие резания уменьшается.

Высокое качество разреза поверхности можно обеспечить выбором соответствующей формы лезвия ножа.

Анализ исследований и публикаций. Для резания пластичных пищевых материалов наибольшее распространение получили дисковые ножи. Для резания пластичных продуктов применяют дисковые ножи со сплошным гладким лезвием; для резания хрупких продуктов режущая кромка ножа снабжается зубьями, поочередно заточенными с правой и левой сторон; а для резания пластичных волокнистых материалов ножи имеют неразведенные зубья, заточенные с двух сторон.

Скорость движения режущих инструментов находится в широких границах – от 1 до 100 м/с, а скорость подачи продукта составляет 0,1...0,001 скорости движения режущего инструмента.

В исследованиях по резанию ученые обращают внимание на большое влияние тангенциальной составляющей V_t скорости режущего инструмента. В качестве показателя, характеризующего влияние тангенциальной скорости на процесс резания, В.П. Горячкин предложил коэффициент скольжения.

Результаты исследования. Опыт эксплуатации резательного оборудования показывает, что с увеличением коэффициента скольжения K_β улучшается качество нарезанного продукта (нарезанные кусочки меньше деформируются и имеют более чистую поверхность среза). Это можно объяснить несколькими причинами. Во-первых, при скользящем резании микрозубцы, имеющиеся на лезвии ножа, воздействуют на продукт на крайне ограниченных площадях контакта и как бы перепиливают его. Во-вторых, при скользящем резании режущий инструмент внедряется в продукт с углом заострения, равным эффективному углу заточки ножа γ , который всегда меньше действительного угла заточки α . В-третьих, при скользящем резании уменьшается эффективная длина режущей кромки лезвия, что приводит к уменьшению усилий.

В процессе наклонного резания и резания со скольжением угол заточки в направлении резания (рабочего перемещения лезвия) меняет свое значение – уменьшается в зависимости от угла наклона лезвия или угла скольжения β . Эффективный угол заточки γ тесно связан с углом заточки ножа α и углом скольжения β [1, 2]:

$$\tan \gamma = \tan \alpha \cdot \cos \beta, \quad (1)$$

$$\cos \beta = \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2}} = \frac{S_n}{\sqrt{S_n^2 + S_t^2}} = \frac{V_n}{\sqrt{V_n^2 + V_t^2}}. \quad (2)$$

Подставляя значение $\cos(\beta)$ в выражение (1), можно получить три разновидности формул для определения кинематической трансформации угла заточки прямолинейного лезвия [1]:

$$\tan \gamma = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{1 + K_\beta^2}}; \quad \tan \gamma = \tan \alpha \frac{S_n}{\sqrt{S_n^2 + S_t^2}}; \quad \tan \gamma = \tan \alpha \frac{V_n}{\sqrt{V_n^2 + V_t^2}}. \quad (3)$$

В каждом отдельном случае одна из указанных формул может быть наиболее удобной для проведения расчетов или определения физической связи между величинами, влияющими на трансформацию угла заточки. Разные формы режущих инструментов обеспечивают получение различных коэффициентов скольжения K_β .

Анализ параметров режущей пары плоскоповоротного аппарата в плоскости резания указывает на большие значение формы линии лезвия ножа для работы аппарата. Форма линии лезвия должна обеспечивать наименьший расход энергии на резание материала, минимальную неравномерность нагрузок на вал диска и защемление материала режущими кромками пары по всей рабочей длине лезвия.

Широко используются ножи с формой линии лезвия эксцентрической окружности. Дисковые ножи несложны в изготовлении и удобны в эксплуатации.

К сожалению, в литературных источниках отсутствуют данные о величине трансформации угла заточки дискового ножа.

В соответствии с выражением (1) кинематическая трансформация угла заточки α лезвия находится в тесной зависимости от коэффициента скольжения K_β . Аппарат дискового типа практически может обеспечить любой коэффициент скольжения K_β . Дисковый нож не требует противорежущий подпор, так как нормальное давление здесь незначительно и осуществляется самим материалом – его подачей.

Абсолютное движение лезвия диска 1 складывается из вращательного вокруг оси O со скоростью ω и движения продукта 2 V_{np} (рис. 1). Для точки C лезвия тангенциальная скорость V_t перемещения лезвия будет равна окружной скорости этой точки, т.е.:

$$V_t = V_{окр} = \omega \cdot r_{\max},$$

где r_{\max} – радиус кромки лезвия, т.е. вершины угла заточки.

В рабочее движение складывается из радиального движения продукта на нож и вращательного движения лезвия дискового ножа (рис. 1). Точка 1 продукта поворачиваясь на угол $\Delta\theta$ и перемещаясь на диск на путь ΔS_n пройдет последовательно положения всех последующих точек от 1 до 8. При этом в каждой последующей точке окружная скорость $V_{окр}$ будет изменять направление и величину. Скорость $V_{окр}$ при повороте на угол $\Delta\theta$ будет меняться в связи с уменьшением радиуса r на некоторую величину ΔS_n :

$$V_{окр2} = \omega \cdot (r_{\max} - \Delta S_n), \quad (4)$$

а для последней восьмой $V_{окр8} = \omega \cdot r_{\min}$.

Величина ΔS_n в зависимости от $\Delta\theta$, где время Δt поворота диска на угол $\Delta\theta$ составит:

$$\Delta t = \frac{\Delta\theta}{\omega}.$$

За указанное время радиус r_{\max} уменьшится за счет перемещения материала на величину ΔS_n :

$$\Delta S_n = V_n \Delta t = V_n \frac{\Delta\theta}{\omega},$$

и тогда, согласно выражению (4), окружная скорость $V_{окр}$ равна:

$$V_{окр} = \omega \cdot (r_{\max} - V_n \frac{\Delta\theta}{\omega}) = \omega \cdot r_{\max} - V_n \cdot \Delta\theta. \quad (5)$$

Тангенциальная скорость равна:

$$V_t = V_n \cdot \cos \Delta\theta = (\omega \cdot r_{\max} - V_n \cdot \Delta\theta).$$

Следовательно, коэффициент скольжения для режущего диска равен:

$$K_\beta = \frac{V_t}{V_n} = \frac{(\omega \cdot r_{\max} - V_n \cdot \Delta\theta) \cos \Delta\theta}{V_n}. \quad (6)$$

В соответствии с выражением (1) трансформация угла заточки будет иметь вид:

$$\gamma = \arctan \frac{\tan \alpha}{\sqrt{1 + \left[\frac{(\omega \cdot r_{\max} - V_n \cdot \Delta\theta) \cos \Delta\theta}{V_n} \right]^2}}. \quad (7)$$

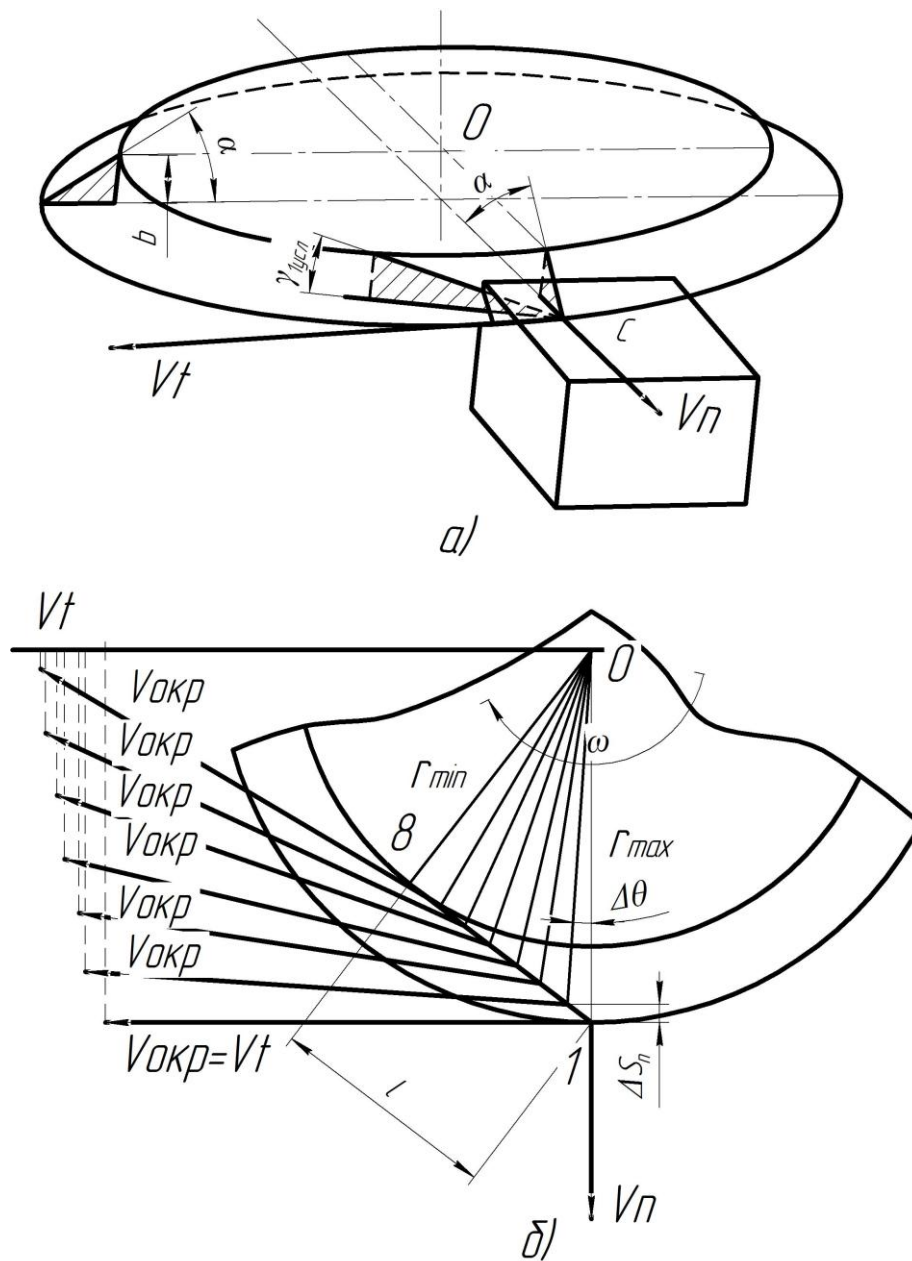


Рис. 1. Кинематическая трансформация угла заточки дискового ножа: а – общий вид взаимодействия дискового ножа с продуктом; б – схема изменения тангенциальной скорости резания.

Угол наклона хорды указанной кривой к плоскости вращения диска с незначительной погрешностью принимаем как условный угол наклона фаски лезвия или условная величина трансформированного угла $\gamma_{\text{усл}}$ заточки ножа.

Зная величину θ (рис. 1), при которой $\gamma = 0$, можно из треугольника 1;8;0 определить сторону 1;8, которая является катетом l треугольника лезвия:

$$l = \sqrt{r_{\text{max}}^2 + r_{\text{min}}^2 - 2 \cdot r_{\text{max}} \cdot r_{\text{min}} \cdot \cos \theta}.$$

Таким образом,

$$\gamma_{\text{усл}} = \arctan\left(\frac{b}{l}\right) = \frac{b}{\sqrt{r_{\text{max}}^2 + r_{\text{min}}^2 - 2 \cdot r_{\text{max}} \cdot r_{\text{min}} \cdot \cos \theta}}. \quad (8)$$

Приняв некоторые частные параметры угол заточки $\alpha = 15^\circ$, радиус диска $r = 200$ мм, частота вращения 200 об/мин, скорость подачи продукта на диск $V_n = 1,5$ м/с. Проанализируем значение γ при каждом повороте диска на угол $\Delta\theta = 5^\circ$. Графическая зависимость $\gamma = f(\Delta\theta)$, $\gamma_{\text{усл}} = f(\Delta\theta)$ представлена на рис. 2.

Анализ выражения (7) показывает, что увеличением текущего угла $\Delta\theta$ угол заточки вначале уменьшается интенсивно, а затем все медленнее приближается к нулевому значению. Это означает, что вследствие кинематической трансформации проекция фаски лезвия режущего диска приобретает очертание выпуклой кривой.

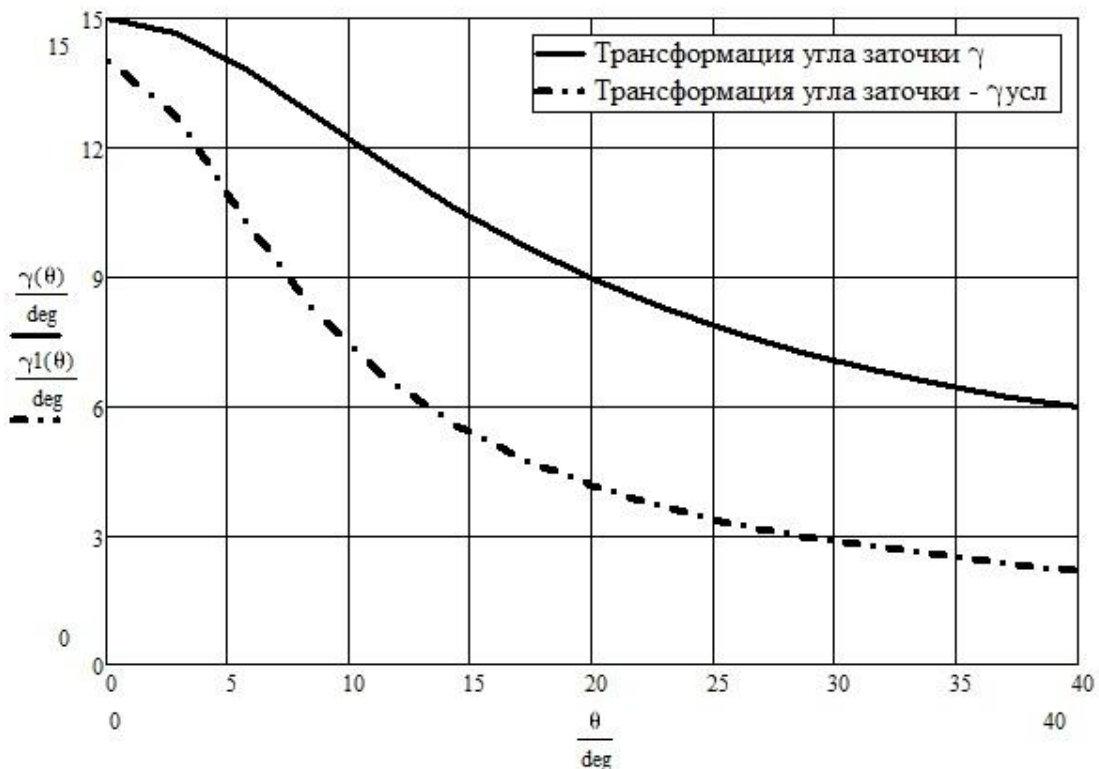


Рис. 2. Зависимость кинематической трансформации угла заточки α лезвия режущего диска от угла поворота относительно продукта.

Коэффициент трансформации это отношение разности между исходным углом заточки α и трансформированным углом γ к исходному α :

$$K_{\text{трансф}} = \frac{\alpha - \gamma}{\alpha} = \frac{\alpha - \arctan(\tan \alpha \cdot \cos \beta)}{\alpha}. \quad (9)$$

Коэффициент трансформации показывает, на какую долю исходного угла уменьшился угол заточки от его трансформации, и позволяет находить величину трансформированного или величину рабочего угла лезвия.

Эффект кинематической трансформации угла заточки состоит в том, что при косом резании фактический или эффективный угол γ расклинивания продукта и отгибания частицы его от массива оказывается меньшим, чем конструктивный угол заточки ножа α .

Выводы

Получена зависимость кинематической трансформации угла заточки лезвия дискового ножа. Трансформация угла заточки обратно пропорциональна угловой скорости вращения дискового ножа, радиусу дискового ножа, нормальной скорости резания. Уменьшение конструктивного угла заточки всегда ограничено условиями механической прочности материала ножа.

1. Резник Н.Е. Теория резания лезвия и основы расчета режущих аппаратов / Н.Е. Резник. – М.: Машиностроение, 1975. – 311 с.
2. Заплетников И.Н. Кинематическое исследование механизма подачи продукта / Заплетников И.Н., Пильненко А.К. // Сб. науч. трудов ОНАПТ. –2012. – Вип. 41. – С. 115-120.