

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗКИ, ПРИМЕНЯЕМОГО В ОБОРУДОВАНИИ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

¹ Шанин В.А., ¹ Кончина Л.В.

¹ Филиал ФГБОУ ВО НИУ "МЭИ", Смоленск

Резание - вид механического измельчения материала, основанное на разделении материала при помощи сжатия и сдвига части материала под режущей кромкой инструмента и его разламывание при превышении предела прочности.

Если говорить о пищевой и сельскохозяйственной промышленности, резание применяется для формования полуфабриката или готового изделия.

Большое конструктивное разнообразие резательных установок обусловлено широким диапазоном видов материалов и технологических задач, решаемых при помощи данного оборудования. В связи с этим, машины одного типа, применяющиеся в разных промышленных отраслях, будут значительно отличаться.

В пищевой промышленности операция резания, как правило, применяется на этапе формования продукта. Пищевые материалы, подвергаемые резке, обладают определенным набором характеристик, влияющих на выбор конфигурации и технических параметров машины.

Например, нож должен обладать достаточной прочностью для предотвращения механических повреждений при высоких нагрузках, высокой твердостью, повышающей эксплуатационные характеристики инструмента (долгое сохранение остроты заточки, равномерность износа режущей кромки), а также стойкостью к химически агрессивным средам.

Подобные свойства могут быть достигнуты путем использования в качестве материала ножа легированных пищевых сталей (08X18H10, 12X18H10T). Также, в ряде случаев может потребоваться термическая обработка стали: закалка, отпуск, отжиг, нормализация.

Перспективным направлением является использование поверхностных покрытий, тонким слоем наносимых на рабочую часть резательного инструмента, повышая его эксплуатационные характеристики. Это особенно эффективно при резании высокоадгезионных, вязких и плотных материалов, таких как: мармелад, тесто, ирис и другие кондитерские массы. Например, покрытие из фторопластов (тефлон), позволяет снизить трение боковых поверхностей ножа при прохождении его сквозь толщу материала. Алмазное покрытие повышает срок службы режущей кромки за счет повышения ее твердости.

Помимо вида материала и его термической или поверхностной обработки, использующихся для изготовления резательного инструмента, важное влияние имеет и его геометрическая конфигурация. Правильно спроектированный исполнительный орган резательной машины позволяет максимально эффективно использовать потенциал материала и производительности машины, обеспечивая высокое качество реза, надежность и стабильность работы установки.

От геометрической конфигурации поперечного сечения (профиля) ножа напрямую зависит распределение силовых нагрузок, возникающих при резании. Так как со стороны разрезаемого материала на инструмент действуют различные силы сопротивления (сила упругости сдавленного слоя материала под режущей кромкой, давление на боковую часть ножа, трение о поверхность инструмента), степень их

влияния при процессе резки можно скорректировать путем применения инструмента с наиболее оптимальным поперечным сечением [1, 2].

На рисунке 1 изображены три конфигурации поперечного разреза ножа. Инструмент подобного типа используется в гильотинных машинах для резки различных пищевых масс. При работе в составе такой установки нож совершает вертикальное движение, разрезая материал при перемещении вниз. На схеме (рис.1) изображены силовые факторы, возникающие со стороны материала при давлении лезвий разной формы.

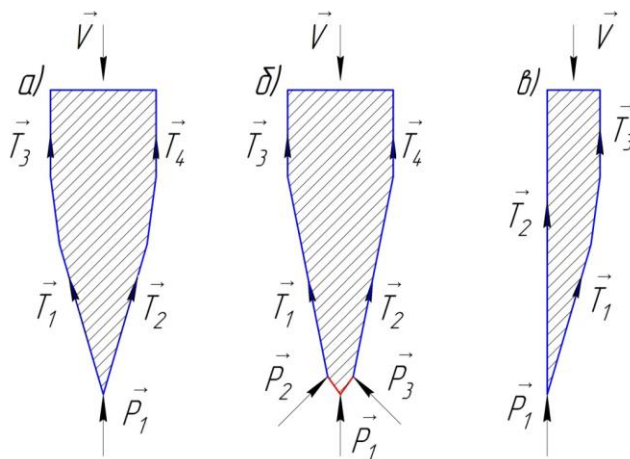


Рис.1. Распределение силовых факторов при разных конфигурациях поперечного сечения клинка

Так, в случае использования ножа с двусторонней клиновидной заточкой на режущую кромку будет воздействовать сила сопротивления материала – P_1 , а на боковые грани клинка – силы трения (T_1, T_2, T_3, T_4). В целом, такая конфигурация довольно сбалансирована и подходит для резки довольно твердых и крепких продуктов. Инструмент, при этом, обладает достаточной надежностью и высокой прочностью, что положительно сказывается на эксплуатационных характеристиках резательной машины. [3]

При применении клинка с двусторонней клиновидной заточкой с подводами необходимо учесть, что усилие от сопротивления материала (P_1, P_2, P_3), возрастает, по сравнению с предыдущей схемой заточки. Подводы, образуя режущую кромку, распределяют нагрузку от сил сопротивления материала по площади. За счет этого, материал не просто разрезается ножом, а дополнительно раздвигается в стороны, облегчая прохождение клинка сквозь толщу продукта. Это свойство особенно важно при обработке вязких и высоко адгезионных продуктов.

Рассмотрим процесс вертикального резания при помощи гильотинной машины, в которой нож жестко закреплен в верхней части и движется в вертикальных направляющих.

Графическое изображение силовых факторов, возникающих в ноже под нагрузкой во время разрезания образца, можно представить в виде эпюр. Гильотинный нож, закрепленный с двух сторон на вертикальных направляющих, представляет собой балку с распределенной нагрузкой на двух опорах (рис.2.)

Так как к ножу приложено только вертикальное усилие, то горизонтальные составляющие реакций опор A и B будут равны нулю. Общий вид эпюр внутренних поперечных сил Q_y и изгибающих моментов M_x даёт возможность определить характер распределения напряжений в материале ножа.

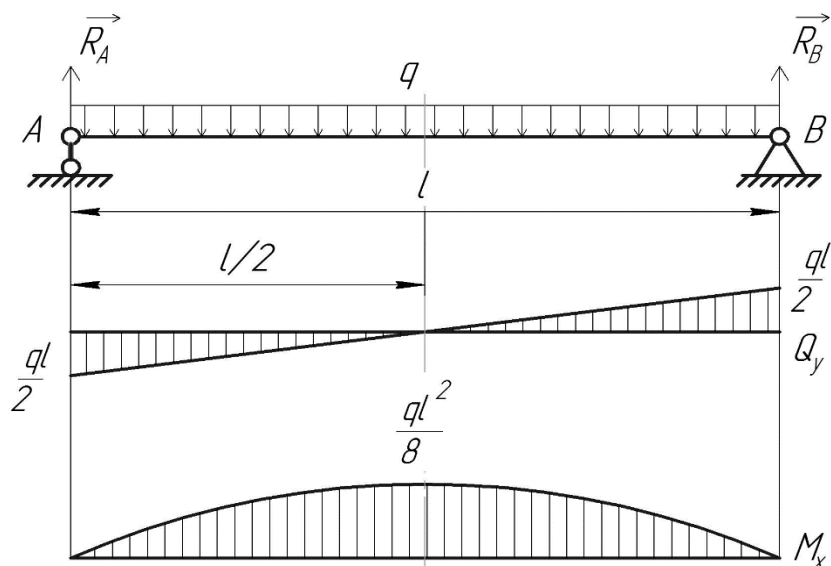


Рис.2. Распределение силовых нагрузок при вертикальном резании

В ходе работы по изучению зависимости эффективности резки пищевых продуктов от конфигурации резательного органа была создана установка, позволяющая проводить эксперименты по определению основных параметров процесса вертикального резания.

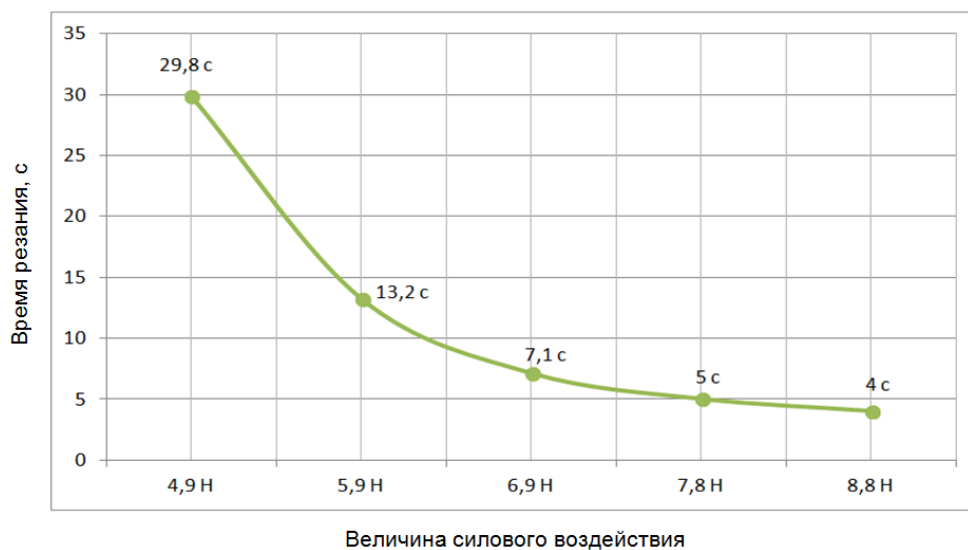


Рис.3. Зависимость времени резания желейного мармелада от величины прикладываемой нагрузки

Установка состоит из станины с вертикальными направляющими, по которым строго вертикально может перемещаться закрепленный нож. Вместе с ножом установлена платформа, на которую может помещаться груз известной массы.

Таким образом, можно варьировать величину статического усилия, с которым нож воздействует на материал. Это позволяет определять: минимальное усилие, необходимое для разрезания образца; время полного разрезания образца при определенной весовой нагрузке; глубину вхождения ножа в образец при известной величине усилия.

Результаты экспериментальных исследований процесса резки желейного мармелада, проведенных при помощи данной лабораторной установки, представлены на рисунке 3.

Подобные эксперименты позволяют подобрать оптимальную конфигурацию резательного инструмента для определенных технологических задач и задаться требуемым усилием, с которым нож должен выполнять качественный рез продукта.

Экспериментально определив величину силы резания и зная устройство резательной машины, можно выяснить, какие параметры электродвигателя и механических передач будут наиболее подходящими для резки определенного материала.

В ходе испытаний желеиногo мармелада было определено время t разрезания образца известной высоты $\delta_{\text{обр}}$ при заданной нагрузке F_p . Обозначив скорость центра масс ножа $V_{\text{нож}}$ при прохождении сквозь материал, используя теорему об изменении количества движения механической системы в проекции на ось, совпадающей с направлением движения ножа, можно записать:

$$-MV_{\text{нож}} = (F_{\text{нож}} + F_{\text{рез}} - F_{\text{сопр}})t, \quad (1)$$

где M – масса ножа, $F_{\text{нож}}$ – сила, действующая на нож вертикально вниз, $F_{\text{рез}}$ – сила резания, $F_{\text{сопр}}$ – проекция силы сопротивления материала на вертикальную ось, которая на практике может учитывать и силы трения в проекции на вертикаль.

Из (1) следует:

$$F_{\text{сопр}} = F_{\text{нож}} + F_{\text{рез}} + MV_{\text{нож}}/t. \quad (2)$$

Запишем выражение теоремы об изменении кинетической энергии механической системы, учитывая, что движение ножа является поступательным:

$$-M \frac{V_{\text{нож}}^2}{2} = F_{\text{нож}}\delta_{\text{обр}} + F_{\text{рез}}\delta_{\text{обр}} - F_{\text{сопр}}\delta_{\text{обр}}, \quad (3)$$

где $\delta_{\text{обр}}$ – высота образца, произведение $F_{\text{рез}}\delta_{\text{обр}}$ – определяет работу силы резания, направленной на разрезание образца и преодоление сил сопротивления материала.

Зная вес подвижной части исполнительного органа резательной установки, скорость и время хода ножа, а также силы сопротивления материала, можем определить величину $F_{\text{рез}}$ – силы резания:

$$F_{\text{рез}} = F_{\text{нож}} + M \cdot \frac{V_{\text{нож}}^2}{2\delta_{\text{обр}}} - F_{\text{сопр}}. \quad (4)$$

Силу резания можно выразить через μ – коэффициент, характеризующий сопротивление материала.

$$F_{\text{рез}} = \mu V_{\text{нож}}. \quad (5)$$

Выражения (1), (3) позволяют, зная силы, действующие на лезвие ножа, связать между собой скорость хода ножа, время его движения и высоту образца для резания.

Определив коэффициент μ при различных конфигурациях резательного органа, можно построить зависимость коэффициента сопротивления от изменения определенного параметра ножа (угол заточки, площадь поперечного сечения клинка, шаг зубьев серрейторной заточки и т.д.), что позволяет объективно оценить эффективность тех или иных конструктивных изменений, дает возможность максимально оптимизировать процесс разработки исполнительного органа резательной машины.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абрамов О.В. Процессы и аппараты пищевых производств / А.Н. Остриков, О.В. Абрамов, А.В. Логинов под ред. А.Н. Остриков -СПб.:ГИОРД, 2012.-616 с.*
2. *Антипов С. Т., Машины и аппараты пищевых производств / С. Т. Антипов, И. Т. Кретов, А. Н. Остриков, В. А. Панфилов, О. А. Ураков - М.: «Высш. шк.», - 2001.- 680с.*

3. *Борисенко А.А., Барян А.Г., Борисенко Л.А., Режущие механизмы пищевой промышленности. Ставрополь, СевКав ГТУ, 2004. - 208 с.*