

Исследование тепломассообменных процессов, происходящих при термической обработке колбас

ОРБАТОВ В.М., СПИРИН Е.Т., ВАГИН В.В., БОГУШЕВ З.А.

Московский научно-исследовательский институт мясной промышленности.

Москва, СССР

В настоящее время широкое распространение получает производство колбасных изделий в форме, которое нашло свое практическое воплощение в создании как отдельных единиц оборудования, так и в серии транспортно-связанных агрегатов.

Важное направление, по сравнению с традиционным формованием продукта в оболочке, оправдывает себя рядом значительных преимуществ, из которых можно выделить такие как: отсутствие дефицитной оболочки, сокращение потерь сырья, вызываемого термической обработкой, возможность автоматизации процесса в целом, применение мелкопорционного оборудования и т.д.

Из существенных моментов в организации такого процесса является выбор способа термической обработки продукта, что особенно важно для выявления и реализации наиболее экономичного режима. Применение в качестве теплоносителя воды оправдано ее высокими теплофизическими характеристиками, возможностью создания рециркуляционных замкнутых циклов, что резко сокращает тепловые потери, исключение необходимости герметизации самой системы, использование недорогих систем водоподготовки.

Вопросы оценки процесса, уточнения экономичного режима, получения качественного изделия, необходимо рассмотреть суть тепломассообменных процессов, происходящих в продукте, находящемся в форме. Исследования проводили в металлической форме имеющей внутреннее покрытие, выполненное из полимерного материала фторопласта - 4. Применение этого материала обусловлено наличием у последнего минимальной адгезии к готовому продукту, что исключает деформацию и порчу изделия при выгрузке и при механическом воздействии на него в различных операциях.

Толщина металлической стенки составила 2 мм, а полимерной 1,5 мм, поэтому термическое воздействие такой формы было незначительным.

Температура греющей среды составляла 369-371 К, охлаждающей 274-276 К, внутренний диаметр формы составил 0,1 м, давление подпрессовки составляло $0,4 \cdot 10^5$ Па. Контроль температуры осуществляли термопарами с записью на ленте автоматического электронного потенциометра. Термопары располагались у поверхности, в центре и на середине радиуса. Отбор образцов фарша производили через каждые 600 с с изменением его объема.

Вид фарша в форме кондуктивным методом, при котором передача осуществляется теплопроводностью, представляет нестационарный тепловой процесс, при котором температура в различных точках тела является функцией координат и времени. Нагрев поверхностных слоев фарша в течение 600 с с момента начала процесса характеризуется высокой скоростью - порядка 0,097 К в с. Высоким градиентом скорости нагрева отличается и слой расположенный между внутренней и поверхностью формы. Анализ показывает идентичный характер изменения температур в различных градиентах скорости нагрева. Изменение температур центра батона, к которому, в конечном итоге, определяется степень готовности продукта, также характеризуется проявлением нескольких изменяющихся во времени этапов.

В течение периода нагрева не повышается до тех пор, пока приток тепла не достигнет центра. Этот тип характеризуется режимом неупорядоченного процесса и неупорядоченности его для диаметра формы 0,1 м составляет около 900-1000 с, в зависимости от вида фарша и его начальной температуры. На втором этапе, при котором влияние начального теплового состояния ослабевает, наступает регулярный тепловой режим, составляющий 4200-4500 с. Скорость нагрева при таком режиме - 0,013 К в секунду. Третий этап - стабилизация температуры продукта, при котором осуществляется выдержка изделия при температуре готовности, равняется 900-1200 с.

В процессе обработки осуществляется выделение бульона, интенсивность и объем которого зависят от температуры греющей среды, вида фарша, объема заполнения, величины давления подпрессовки на фарш. Выделение бульона для фарша, который является коллоидным капиллярно-пористым телом, определяется неизоэнтальпическим переносом влаги. То есть режим процесса влажного материала обуславливает появление в нем не только градиента влажности, но и градиента температуры, влага внутри материала перемещается как за счет градиента влажности (явление влажностепроводности или концентриционной диффузии), так и благодаря градиенту температуры (явление термовлажностепроводности или термическая диффузия). Термический процесс воздействия на продукт носит характер осциллирующего режима.

В начальный момент времени в поверхностных слоях фарша, для которых характерен жесткий режим теплового воздействия, связанного с денатурацией и коагуляцией белков, происходит интенсивное отделение влаги, перемещение которой зависит, главным образом, от процесса термодиффузии. По мере распространения теплового потока к центру преобладающим видом переноса влаги становится встречный поток диффузии, который определяет нарастающий темп роста выделения бульона. Бульон поднимается к верхней поверхности образца, с которой происходит частичное испарение влаги. Примерно, с 2000-2500 с происходит стабилизация режима выделения бульона, что, по-видимому, связано с равновесным взаимодействием диффузионного и термодиффузионного потоков.

В процессе термодиффузии в начальный момент имеет значительную величину (перепад температур между поверхностью продукта и охлаждающей средой составляет 90-92 К) термодиффузия (термовлажностепроводность) более интенсивна, чем диффузия (влажностепроводность). Это приводит к тому, что темп выделения бульона падает и к 1200-1400 с, с

момента охлаждения, выделение бульона полностью прекращается, несмотря на то, что в центре температура продолжает возрастать и достигает 345 К. Процесс термической обработки фарша связан с глубокими физико-химическими превращениями, происходящими в фарше, которые определяют структуру и качество продукта, а при получении его в закрытой форме и на распределение влаги в изделии. Установлено, что в слое, прилегающем к поверхности, оно минимально в средних слоях, расположенных ближе к поверхности, оно максимально, далее наблюдается некоторое снижение содержания влаги и в центре происходит вновь повышение содержания влаги.

Движение влаги под действием температурного градиента является сложным процессом, который можно представить состоящим из следующих явлений: первое — это молекулярная термодиффузия влаги, главным образом в виде молекулярного течения пара, происходящего вследствие разности скорости молекул нагретых и холодных слоев материала; второе — капиллярной проводимости, обусловленной изменением капиллярного потенциала, которое зависит от поверхностного натяжения, уменьшаемое с повышением температуры. Это явление определяется тем, что капиллярное давление над вогнутым мениском отрицательное и уменьшение давления повышает всасывающее усилие; вследствие этого влага в виде жидкости уходит от нагретых слоев тела к более холодным. И третье явление — перемещение влаги под действием заземленного воздуха, которое в тех или иных количествах присутствуют в фарше. При нагревании воздух в капиллярах расширяется и проталкивает жидкость к слоям с более низкой температурой.

Эти явления особенно проявляются в первоначальный момент нагревания, когда движения градиента температуры и влаги направлены от периферии к центру. Однако при дальнейшей тепловой обработке диффузионный процесс (вагопроводность) преобладает над термодиффузией (термовлагопроводность), что связано с тем, что поверхностные слои, как подвергнувшиеся наиболее длительному тепловому воздействию, теряют больше влаги и ее перемещение происходит из срединных и центральных слоев. Поэтому при нагревании центральные слои обладают пониженным содержанием влаги, чем срединные. При охлаждении интенсивность диффузионного процесса падает, а термодиффузионного — растет, что приводит к поглощению ранее выделившегося бульона и к накоплению влаги в срединных слоях, расположенных ближе к поверхности. При этом центральные слои продолжают нагреваться за счет этих расположенных к ним срединных слоев, а термодиффузионный поток переносит влагу из этих слоев в центральные. Это приводит к тому, что срединные слои и расположенные в центре, содержат на 1-2% меньше влаги, чем последние. Время инерционного достижения центром температуры 345 К составляет около 1000-1200 с, что позволяет начинать охлаждение изделия указанного диаметра и заданной температуры греющей среды при достижении в центре батона температуры 337 К. При дальнейшем охлаждении уменьшается перепад температур и термодиффузия замедляется, и при полном выравнивании температуры, всех слоев, диффузионные процессы становятся малозаметными. Максимальная разница в содержании влаги по слоям для докторской колбасы составляет 4,5-5%, для любительской 4-4,5%.

Изучение качественного состояния продукта по предельному напряжению среза показало, что его значения в различных точках изделия различны. Небольшим значением предельного напряжения среза обладают поверхностные. Для докторской колбасы различие в предельном напряжении среза поверхности и центрального слоя составляет примерно — 16%, для любительской колбасы — 14%. Такое отличие связано с неравномерностью теплового воздействия на белки колбасы и неравномерностью распределения в них влаги. Таким образом, тепломассообмен, происходящий в колбасном фарше, является сложным процессом, связанным с непрерывно-меняющимся состоянием объекта, а также с изменением его структуры. Как установлено, кондуктивный метод нагрева продукта в форме при заданных режимах тепловой обработки и охлаждения, отличается незначительными потерями массы продукта при хорошем качестве изделия. Данный способ получения колбас, отличающийся высокими экономическими факторами, опробован в разработанных термических агрегатах, применяемых в поточных линиях.

работки фарша колбасы "Диабетическая" для получения минимальных потерь бульона необходимо создать давление фарша $0,4 \cdot 10^5$ Па. С целью проверки этого вывода была осуществлена варка фарша в жесткой форме при различных давлениях. Минимальные потери были получены при давлении $0,4 \cdot 10^5$ Па.

Для оценки консистенции готового продукта определяли величину коэффициента пенетрации образцов, которые были сформованы при разном давлении. Зависимость коэффициента пенетрации и активности воды от величины давления формования имеет экстремальное значение, соответствующее максимальной глубине погружения индентера. Уменьшение коэффициента пенетрации означает, что структура исследуемого образца становится более жесткой. Величина оптимального давления формования при мягкой консистенции соответствует минимальным потерям бульона (рис. 16, в, г). Это объясняется тем, что с увеличением потерь бульона при термической обработке снижается влагосодержание готового продукта, что в конечном итоге обуславливает его жесткую консистенцию.

Влияние действия давления на водосвязывающую способность фарша, находящегося в колбасной оболочке, можно представить следующим образом.

При сжатии фарша под действием приложенного давления происходит отпрессовывание части энергии связи которой с продуктом меньше действующего напряжения сжатия. С увеличением давления количество удаляемой влаги возрастает. Одновременно с этим происходит нарушение равновесного состояния влаги в капиллярах. Влага с поверхности устремляется в капилляры под действием образовавшегося перепада давления до достижения равновесного состояния. При этом водосвязывающая способность фарша возрастает и как следствие, уменьшаются потери влаги при термической обработке. При величинах давлений, численно больших оптимальной величины, преобладает действие первого фактора и наблюдается выделение влаги.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при уплотнении фарша до определенного предела возрастает его водосвязывающая способность, они совпадают с данными Липсона (7) и Липсона (8).

Например, установлено, что в настоящее время при ручной формовке и перевязке колбасных изделий величина давления в них колеблется в пределах от 0 до $0,1 \cdot 10^5$ Па; контроль величины давления фарша в процессе формования стабилизирует и улучшает показатели готовой продукции, увеличивает фаршеемкость, т.е. сокращает расход колбасной оболочки, снижает потери; при термической обработке оптимальная величина давления формования, соответствующая наименьшим потерям бульона, прямопропорциональна величине сухого вещества в продукте; величина оптимального давления для оболочек разного типа при заполнении их одним и тем же фаршем изодинамична и зависит от величины давления, обусловленного термической усадкой материала оболочки.

Проверка результатов работы - величины оптимального давления формования, были проведены на производственных испытаниях в условиях колбасного завода Семипалатинского мясоконсервного комбината. Брали фарш свиных сарделек, шприцевали его в белковую оболочку. В контрольных образцах избыточное давление фарша в оболочке отсутствовало. В опытных - с помощью цилиндра создавали избыточное давление $0,5 \cdot 10^5$ Па. Контрольные и опытные образцы подвергали термической обработке по соответствующей технологии. В результате проведенных испытаний были получены основные положения проделанной работы. В опытных образцах влажность выше, чем в контрольных на 1,1% при качестве, удовлетворяющем требованиям нормативно-технической документации.

Важнейшей конструктивной особенностью современных дозировочно-формовочных устройств позволил избежать ряд существенных недостатков. В настоящее время при ручной формовке и перевязке колбасных изделий величина давления в них колеблется в пределах от 0 до $0,1 \cdot 10^5$ Па. Давление в оболочке можно регулировать изменением соотношения скорости истечения фарша из шприца и движения оболочки. Давление шприцевания можно выразить через давление фарша в фарше-шприце, которое можно контролировать датчиком давления.

Основное отличие от существующих - возможность автоматического регулирования давления фарша в оболочке в зависимости от структурно-механических свойств фарша.

Важнейшей конструктивной особенностью системы регулирования давления фарша в фарше-шприце, включающая в себя датчик давления, установленный на фаршепрогоде при входе в цевку, является преобразователь и привод, содержащий электромагнитные муфты, электрические соединения с системой регулирования.

Работает следующим образом. Перед началом работы пределы регулирования блока управления работой шприца устанавливаются на определенную величину давления в зависимости от диаметра колбас. Кнопкой магнитного пускателя замыкается цепь питания электродвигателя привода. Нажатием кнопки педали замыкается цепь управления электромагнитных муфт и шприц полностью переходит в работу. При достижении заранее установленного давления фарша в оболочке управление передается от датчика давления поступающего в усилитель-преобразователь, преобразуется и передается электромагнитную муфту привода рабочих органов шприца. В схеме усилителя-преобразователя предусмотрена возможность автоматического отключения подачи фарша в случае разрыва оболочки.

Недостатком этого метода является его относительная простота конструктивного выполнения. Устранению недостатков следует отнести неэффективность его применения для шнековых нагнетателей, у которых регулирование частоты вращения шнека возможно в узком диапазоне. В устройстве с системой регулирования скорости движения оболочки при постоянной скорости истечения фарша недостатком отсутствует. В этом случае система регулирования представляет собой несложную конструкцию с электромагнитами, расположенными по периметру цевки, и датчик, регулирующий скорость истечения фарша.

Важнейшей особенностью устройства является его простота конструктивного выполнения. При снятой плите на цевку надевается оболочка, которая фиксируется в рабочее положение. При снятии плиты устройство устанавливается в рабочее положение. В начале работы пределы регулирования блока управления работой устройства для крепления оболочки к цевке усилителя-преобразователя устанавливаются на определенную величину