

6-14 МЕХАНИЗМ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ И ПЕРЕДАЧИ МАССЫ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ КОЛБАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ

ПОКОРНЫ, Франтишек, инженер - МАРЕЧЕК, Станислав, инженер
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЯСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, Брно, ЧССР

При помощи теплопередачи и передачи массы осуществляется термическая обработка преобладающего большинства колбасных изделий, полуфабрикатов и консервных изделий. В настоящее время, когда научно-техническое развитие обусловлено использованием результатов науки в производственном процессе, все неотложнее становится необходимостью более глубоко изучать взаимосвязи между явлениями, протекающими в течение технологических операций, и на основании их детального знания оптимизировать эти операции, т.е. определить и обеспечить такие условия производства, при которых лучше всего соблюдаются установленные требования.

1. Теплопередача и передача массы при термической обработке копченых колбасных изделий

Целью термической обработки копченых колбасных изделий является достижение требуемой температуры внутри батона требуемых сенсорных свойств изделий требуемой сохраняемости отдельных видов изделий.

В настоящее время, в условиях высокой производительности оборудования и машин, ставится требование достигать этой цели повторно, т.е. требование обеспечения стандартного качества изделий

- при малых потерях массы
- при пониженных требованиях относительно расхода тепла и электричества и других ви-

дов энергий

- при пониженных требованиях к обслуживанию

- при данной или даже повышенной производительности оборудования.

Оптимизация процесса термической обработки колбасных изделий, включая копчение классическим способом, представляет собой очень сложную проблему, требующую детального знания всех явлений, имеющих место в течение этого процесса, и их взаимосвязей, т.е. механизма теплопередачи и передачи массы, а также знания общественной значимости отдельных требований, включая в то определение их степени важности.

Попытаемся воспользоваться при решении этой проблематики известными отношениями теплопередачи и передачи массы. При соприкосновении воздуха с мокрой поверхностью происходит, кроме теплопередачи, также испарение влаги с поверхности или конденсация влаги из воздуха на поверхности. Границей между обоими процессами является температура точки росы. Если температура поверхности выше температурной точки росы, начинается испарение, если температура поверхности ниже температурной точки росы, на поверхности начинается конденсация водяного пара из воздуха. В случае конденсации тепломносная поверхность не обязательно должна быть мокрой.

Для передачи массы при испарении и конденсации действительно аналогичное отношение, как для теплопередачи конвекцией, а именно:

$$m = \beta / x_m - x / c$$

где m - переходящая масса влаги кг/м.с

β - коэффициент передачи массы

x_m - удельная влажность циркулирующего воздуха, насыщенного при температуре поверхности

x - удельная влажность циркулирующего воздуха или копильной среды.

При малых концентрациях пара и при турбулентном течении /это обычно выполнено/ для коэффициента передачи массы действительно отношение Левиса

$$\beta = \frac{\alpha_k}{c}$$

где α_k - коэффициент теплопередачи конвекцией

c - удельная теплота влажного воздуха.

Из приведенных выше отношений вытекает, что передача массы будет тем интенсивнее, чем больше будет коэффициент теплопередачи конвекцией, который пропорционален скорости воздушного течения, и чем больше будет разность $x_m - x$. В случае положительной разности имеет место испарение, в случае отрицательной - наступает конденсация влаги на поверхности. Однако это отношение справедливо только для испарения с мокрой поверхности. После того, как поверхность подсохнет, дальнейшее испарение огра-

ничено диффузией влажности из толщи батона на поверхность.

При одновременной теплопередаче и передаче массы в результате конденсации влажности передаваемая мощность повышается, при испарении она понижается согласно отношению:

$$q = \alpha_k / t - t_m / + \beta / x - x_m / \cdot r_m$$

где α_k - коэффициент теплопередачи конвекцией
 t_k - температура циркулирующего воздуха
 t_m - температура поверхности изделия
 x - удельная влажность циркулирующего воздуха
 x_m - удельная влажность насыщенного воздуха, соответствующая температуре поверхности t_m
 r_m - теплота испарения воды при температуре t_m

Удельная влажность воздуха x прямо пропорциональна его температуре. По мере повышения температуры воздуха повышается также его способность поглотить большее количество влажности.

При термической обработке копченых колбасных изделий с технологической точки зрения различаются 4 фазы, а именно: осадка, обжарка, варка и охлаждение. Каждая из этих фаз отличается своими характерными чертами механизма теплопередачи и передачи массы. С точки зрения достижения требуемых сенсорных качеств копченых изделий решающей является фаза обжарки, однако ее эффект зависит от подготовленности поверхности изделия к принятию ароматических веществ из дыма в конце фазы осадки.

В начале фазы осадки изделие обладает определенной начальной температурой и влажностью - мокрой поверхностью; в конце этой фазы поверхность батона должна быть подсушенной и ее температура должна быть выше температуры точки росы циркулирующего теплоносителя. Этого изменения достигают у отдельных применяемых коптильных камер раз- ным способом и с различной эффективностью. В случае камер с медленным течением и низкой температурой среды эта фаза протекает очень медленно. При этом часть подведенно- го тепла расходуется на испарение влажности с поверхности батониров и она неэффективно отводится наружу. Однако под влиянием диффузии влажность из толщи батона постоянно проникает на поверхность, в результате чего батон высушивается. Чем медленнее этот процесс высушивания протекает, тем суше становится изделие и тем больше расход тепла. Для целей достижения желательного подсушивания поверхности повышается воздухообмен, однако в результате ограниченной производительности теплообменников в большинстве случаев воздух достаточно не нагревается, в результате чего требования относительно расхода тепла и электрической энергии растут. Колбасные изделия, у которых высуши- вание в течение термической обработки нежелательно, необходимо подсушивать как можно

быстрее - резким увеличением температуры поверхности над точку росы циркулирующего воздуха. Этого можно добиться более высокой скоростью и температурой циркулирующего воздуха, достаточной производительностью теплообменников и ограничением воздухообме- на. Высокая влажность воздуха в начале осадки позволяет более интенсивную теп- лопередачу между теплообменником и поверхностью термически обрабатываемых колбасных изделий и ограничивает диффузию влажности из толщи батона на поверхность. После до- стижения определенной температуры внутри батона или спустя определенное время, уста- новленного для каждого вида изделий, путем интенсивного воздухообмена можно в течение небольшого интервала времени добиться понижения его влажности и достижения требуюмо- го подсушивания поверхности батониров. При применении данного оборудования этот спосо- б оказался наиболее пригодным. После этого колбасное изделие подготовлено ко второй фазе - обжарке.

При обжарке коптильной средой на поверхность изделия наносятся ароматические ве- щества, частично диффундирующие в толщу батона. Интенсивность нанесения зависит от концентрации и скорости течения коптильной среды и от разности температур поверхно- сти батона и точки росы коптильной среды $t_m - t_r$. При низкой концентрации и малой скорости течения коптильной среды и большой разности температур $t_m - t_r$ чрезмер- но увеличивается время обжарки, растут потери массы и расход энергии и понижается производительность оборудования. Оптимальными условиями для обжарки оказались: высо- кая плотность и скорость коптильной среды и температура точки росы коптильной среды приблизительно на 5 К ниже по сравнению с температурой в толще батона. Это помогло добиться сокращения времени обжарки вплоть до 10 минут. Если, однако, температура поверхности батона ниже температуры точки росы коптильной среды, имеет место конденса- ция влажности в форме капелек. В таком случае коптильная среда задерживается на по- верхности капелек и не проникает к поверхности батона. В результате этого на поверх- ности батона появляются пятна, ухудшающие его вид.

Целью варки является достижение требуемой температуры в толще батона, причем она должна быть как можно равномернее. В настоящее время оптимальным оказывается про- водить эту технологическую операцию в воздухе, насыщенном паром, с температурой точ- ки росы выше температуры поверхности батониров. При таких условиях происходит конденса- ция пара на поверхности батониров, в результате чего при одинаковой темп. среды суще- ственно повышается тепловая энергия, передаваемая на поверхность. Ввиду того, что теплопередача в толщу батона гораздо медленнее, чем передача на поверхность, проис- ходит сначала выравнивание разности температур на поверхности и затем постепенно та- же температур в толще батона. Принудительная циркуляция воздуха, насыщенного паром, содействует равномерной передаче тепловой энергии на поверхность батониров во всех ме- стах коптильной камеры.

Результатом охлаждения должно быть достижение подсушивания поверхности и температуры изделий, требуемой для экспедиции. С точки зрения оптимизации важно, чтобы и этот процесс проходил эффективно при минимальных потерях массы и соответствующих требованиях относительно расхода электрической энергии и воды. При медленном охлаждении температура поверхности батона гораздо выше температуры точки росы воздуха. В результате этого имеет место интенсивное испарение влаги с поверхности изделия и ее подсушивание. Однако в результате интенсивной диффузии влажности из толщи батона на поверхность происходит постепенное испарение воды, содержащейся в батоне, что является причиной нежелательной потери массы. Эти потери относительно тем больше, чем медленнее процесс охлаждения и чем больше разность температур поверхности батона и точки росы воздуха. Они зависят также от отношения поверхности батона к его массе.

Из приведенного выше вытекает, что для оптимизации режима охлаждения необходимо быстро охладить поверхность и в течение всего времени охлаждения толщи батона поддерживать ее температуру близкой к температуре росы воздуха. Интенсивное охлаждение необходимо закончить при температуре внутри батона, которая больше температуры в экспедиции.

2. Теплопередача при стерилизации консервов

Стерилизация консервов представляет собой в принципе очень просто определенный процесс: достижение в целом объеме содержания консервов во всем объеме автоклава требуемого эффекта стерилизации, т.е. воздействия заранее установленной температуры на содержание консервов в течение определенного времени.

Следовательно, с точки зрения теплопередачи мы имеем дело с равномерным нагревом содержания консервов до требуемой температуры, с определенной выдержкой при этой температуре и с последующим охлаждением до температуры, пригодной для транспортировки на склад. Это значит, что имеет место, во-первых, теплопередача из источника тепла - пара - в содержание консервных банок и, во-вторых, последующий отвод тепла в охлаждающую среду. Ввиду того, что консервные банки выполнены из материала, который довольно хорошо проводит тепло, то для эффективной теплопередачи решающим является теплоноситель, опосредствующий теплопередачу из источника тепла в консервные банки.

Наиболее подходящим теплоносителем оказывается вода, обладающая большой плотностью и для достижения требуемой циркуляции можно использовать ее разную плотность при разных температурах. Ее можно использовать как для нагрева, так и для охлаждения. Эта естественная циркуляция среды оказалась ненадежной. Дело в том, что встретились большие разности температур, достигнутых в отдельных слоях консервных банок. Проводились эксперименты по применению вынужденной циркуляции среды. Однако это тоже

не обеспечило надежного достижения равномерной температуры внутри консервных банок, так как в автоклаве, наполненном водой, принудительная циркуляция идет по пути минимального сопротивления, т.е. прежде всего зазорами между стенкой автоклава и корзинами, и в гораздо меньшей степени зазорами между консервами в корзинах. Кроме того, стерилизация консервов в автоклавах, заполненных водой, даже при многократном использовании горячей воды, является в энергетическом отношении мало рентабельной.

В последнее время проводились попытки стерилизовать консервы с теплопередачей увлажнением. В принципе это теплопередача с принудительной циркуляцией воды лишь в таком количестве, которое необходимо, причем сплошные стенки корзины позволяют среде протекать лишь зазорами между консервами. Как при нагреве, так и при охлаждении, вода увлажняет поверхность всех консервов, передавая таким образом тепло.

При расположении консервов слоями, отделенными прокладками, установленная разность достигнутых температур в середине содержания консервных банок достигнет в верхнем слое $0,3^{\circ}\text{C}$ по сравнению с нижним. При нагреве верхний слой нагревается быстрее нижнего, но также быстрее охлаждается, в результате чего эффект стерилизации выравнивается. Консервы, свободно насыпанные в корзины, оказывают протеканию воды большее сопротивление, что обуславливает более интенсивное увлажнение верхних слоев и в начале нагрева также большие разности температур между верхним и нижним слоями консервов. Однако по мере приближения к температуре стерилизации эта разность постепенно понижается, и наконец совсем исчезает.

Для достижения требуемой скорости и равномерности нагрева и охлаждения необходимо, чтобы циркуляционный насос обладал соответствующей производительностью по отношению к массе стерилизованного содержания, составляющей приблизительно 40 л/с на тонну стерилизуемых консервов.

Выполненные испытания показали, что такой способ стерилизации позволит значительно ограничить расход тепла и воды для стерилизации консервов.

Практическое использование доказало, что глубокое изучение механизма теплопередачи и передачи массы представляет собой решающее направление рационализации термической обработки колбасных изделий и прочную основу для разработки нового оборудования.