

Продажи шоколада растут во всем мире, и для удовлетворения потребностей покупателей были разработаны разнообразные вкусы и текстуры. Процесс темперирования, который представляет собой контролируемое плавление и охлаждение шоколада для получения правильной кристаллической формы (форма V), имеет важное значение при разработке шоколадных изделий, поскольку определяет качество шоколада. Хорошо темперированный шоколад имеет блеск, хорошую текстуру и приятный вкус. Плохо темперированный шоколад расслаивается, становится зернистым и жестким. Кроме того, он часто имеет непривлекательный внешний вид из-за "жирового налета". Скорость охлаждения играет решающую роль в процессе темперирования. Обычно ее изучают с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), измеряя эффективную теплоемкость шоколада, охлажденного с разной скоростью. Однако такой подход не позволяет охарактеризовать быстрые изменения скорости охлаждения.

MultiScan MS 20 - это компактное и универсальное измерительное устройство для анализа оптической стабильности и старения. Он позволяет легко и удобно изучать процессы темперирования шоколада. В данном приложении мы изучаем влияние различных скоростей охлаждения на процесс темперирования и его влияние на качество шоколада с помощью MS 20.



Рисунок 1: Качество шоколада зависит от процессов темперирования.

Метод

MultiScan MS 20 (рис. 2) от DataPhysics Instruments - это измерительный прибор для автоматического анализа оптической стабильности, старения жидких дисперсий и различных характеристик механизмов дестабилизации, зависящих от времени и температуры. Он состоит из базового блока, к которому можно подключить до шести башен ScanTowers с термостатируемыми камерами для образцов.

Скан-башни MS 20 могут управляться индивидуально и работать при различных температурах от 4 °C до 80 °C. Благодаря программному обеспечению MSC, MS 20 является идеальным прибором для анализа стабильности, поскольку даже малейшие изменения в дисперсии им могут быть обнаружены и оценены без погрешностей. Таким образом, MS 20 может четко и объективно проанализировать процесс темперирования шоколада.



Рисунок 2: Система анализа устойчивости MultiScan MS 20 с шестью независимыми башнями сканирования

Эксперимент

В качестве примера в данном исследовании был использован коммерческий молочный шоколад, который можно рассматривать как хорошо перемешанный шоколад. Весь процесс темперирования изучался на приборе MS 20. Примерный процесс темперирования включает четыре этапа (сравните рис. 7 с зеленой кривой темперирования): (I) полное плавление шоколада для удаления большей части кристаллов; (II) охлаждение до точки кристаллизации; (III) поддержание температуры в этой точке в течение нескольких минут; (IV) повторное нагревание для плавления остаточных кристаллов. Различные виды шоколада имеют разную температуру плавления и время темперирования. В данной заметке температура плавления, точка кристаллизации и температура повторного нагрева равны соответственно 50, 22 и 32 °C.

Образцы шоколада нарезали как можно мельче и разлили в прозрачные стеклянные флаконы (рис. 3 слева). Процесс плавления измерялся каждые 13 с в течение 19 мин. Измерения начинались при температуре $T=50$ °C. После полного расплавления шоколада (рис. 3 посередине) образцы охлаждались до 22 °C с различными скоростями 0,1 °C/мин, 0,2 °C/мин, 1 °C/мин, 2 °C/мин, 4 °C/мин и 6 °C/мин соответственно.

Все образцы выдерживали при температуре 22 °C в течение 10 мин, затем повторно нагревали до 32 °C со скоростью 4 °C/мин и выдерживали при 32 °C в течение 5 мин. Затем образцы охлаждали при комнатной температуре для застывания, не заливая в холодные формы, чтобы упростить процесс. Измеряемая зона находилась в диапазоне от 0 мм (дно флакона) до 57 мм (верх флакона).



Рисунок 3: Образец шоколада до (слева) и после (в середине) плавления при 50 °C; флаконы с образцом (справа) после застывания при комнатной температуре

Примечательно, что шесть измерений проводились одновременно, благодаря возможности измерения до шести образцов с индивидуальными настройками с помощью одного MS 20. На рис. 3 справа показаны пробирки с образцами, охлажденные с разной скоростью в конце эксперимента после застывания.

Результаты

На рис. 4 показаны значения интенсивности обратного рассеяния (BS) в зависимости от положения для процесса плавления при 50 °C. Цветовое кодирование кривых указывает на время, в которое они были записаны, от красного (начало измерений, $t=0$ с) до фиолетового (конец измерений). Диаграмма обратного рассеяния на рис. 4 показывает, что интенсивность обратного рассеяния сначала увеличивается, а затем остается постоянной.

Кинетический анализ процесса плавления (рис. 5) показывает, что изменения в интенсивности обратного рассеяния более выражены в первые две минуты после начала измерений. В первые две минуты большие куски шоколада с более широкими промежутками приводят к более низкой интенсивности обратного рассеяния, которая неравномерно возрастает по мере того, как шоколад начинает плавиться. Скорость изменения в первые 2 минуты составляет 1,83 % в минуту. Через 15 минут интенсивность обратного рассеяния остается постоянной со скоростью изменения 0,009 % в минуту, что указывает на то, что процесс плавления завершен и большая часть кристаллов расплавлена. Это подтверждается визуальным контролем шоколада в пробирках с образцами.

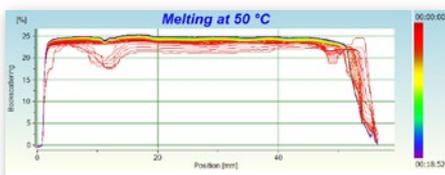


Рисунок 4: Диаграмма обратного рассеяния процесса плавления при 50 °C

Чтобы получить представление о влиянии скорости охлаждения на процесс темперирования и, следовательно, на качество шоколада, процесс измерялся при различных скоростях охлаждения. Образцы показали схожее изменение интенсивности обратного рассеяния с течением времени. Как показано на рис. 6 слева, интенсивность обратного рассеяния глобально уменьшается, что свидетельствует о том, что частицы растут по мере охлаждения и начинают инициировать зарождение затравочных кристаллов.

Данные на рис. 6 справа показывают, что частицы растут быстрее при более высокой скорости охлаждения. Однако слишком быстрая скорость охлаждения приводит к неправильной кристаллической форме и жировому цветению (рис. 3 справа). Это согласуется с результатами предыдущих исследований, которые пришли

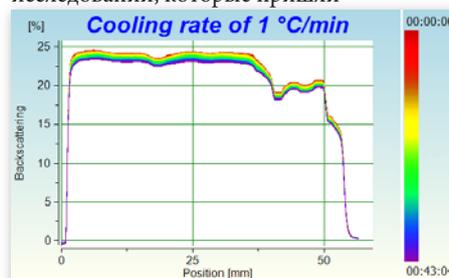


Рисунок 6: Диаграмма обратного рассеяния в процессе отпуска при скорости охлаждения 1 °C/мин (слева) и изменение интенсивности BS в зависимости от скорости охлаждения (справа)

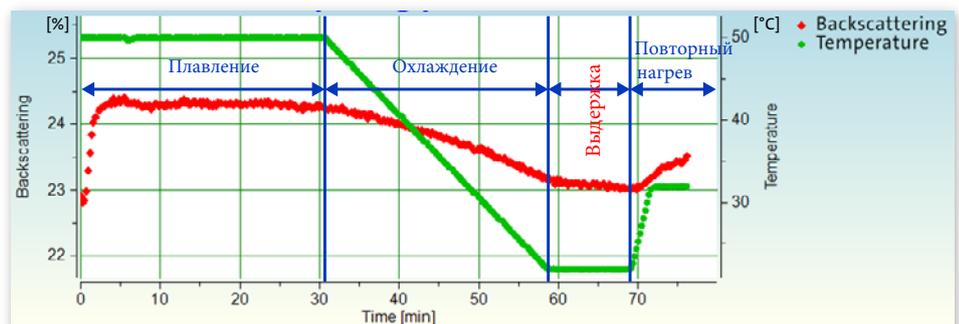
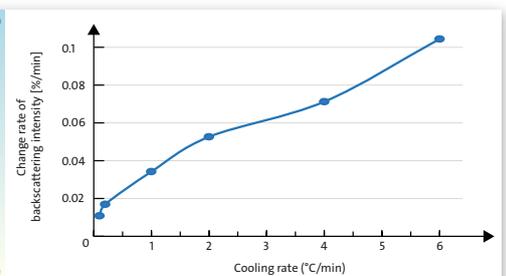


Рисунок 7: Кинетика процесса закалки при скорости охлаждения 1 °C/мин

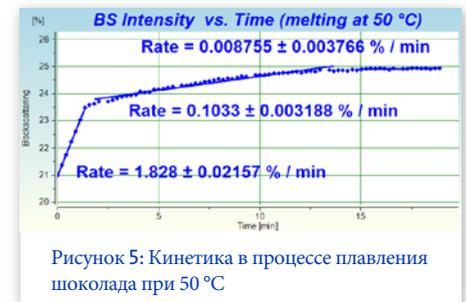


Рисунок 5: Кинетика в процессе плавления шоколада при 50 °C

выводу, что быстрые скорости охлаждения вызывают более низкую степень кристаллизации, чем медленные скорости охлаждения. Кроме того, можно заметить, что скорость охлаждения 1 °C/мин является оптимальной для эффективного производства высококачественного шоколада.

Чтобы получить полную картину процесса темперирования, результаты измерений и температурный профиль можно отобразить на одном графике (рис. 7). Изменения интенсивности обратного рассеяния с течением времени/температуры согласуются с моделью процесса отпуска. Примечательно, что даже очень незначительные изменения в быстрых сдвигах могут быть обнаружены с небольшой погрешностью, что подчеркивает очень высокую точность MS 20.

Итог

Прибор MS 20 и его программное обеспечение MSC обеспечивают быстрый и качественный способ исследования процесса темперирования шоколада. Изменения могут быть обнаружены чувствительно и точно. Это позволяет специалистам оценить возможные проблемы продукта и изменить технологию.