TEMPERATURE EFFECT OF THE LAST PRODUCT SUGAR MASSECUITE CRYSTALLIZATION PROCESS ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF THE SYRIP

M. Samilyk

Sumy National Agrarian University

Key words:

*Cooling crystallization
Massecuite
Intercrystalline solution
Dilution with water
The intermediate heating*

Article history:

Received 04.09.2018
Received in revised form
21.09.2018
Accepted 12.10.2018

Corresponding author:

M. Samilyk
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The rheological properties of a sugar massecuite have a significant effect on the course of the crystallization process. Viscosity is one of the main factors affecting the decay of molasses. During the cooling of the sugar massecuite of the last crystallization, the dry matter content and, accordingly, viscosity increase. In this case, it is important to coordinate the rate of cooling with the rate of crystallization and to take measures to prevent the formation of small crystals.

Among other thermophysical parameters, which depend on the rate of crystallization of sucrose under isohydric crystallization, is a surface tension that influences the rate of incorporation of sucrose molecules into crystalline lattice of sugar.

We have proposed an improved method of cooling crystallization, which involves the intermediate heating of the sugar massecuite with its subsequent cooling. The effectiveness of the intermediate heating of the sugar massecuite of the last product was confirmed in laboratory and industrial conditions.

The use of intermediate heating of the sugar massecuite of the last degree of crystallization at 7—10°C after its cooling to 50—55°C increases the effect of crystallization by reducing the coefficient of dynamic viscosity of the calf, reducing the coefficient of surface tension, and agreeing the rate of cooling with the rate of crystallization of sucrose. In addition, granulometric composition of sugar is improved and secondary crystallization is prevented.

The paper presents the results of laboratory, industrial and computing experiments modes stations crystallization of last product sugar massecuite. Recommendations for the industry on the rational management of industrial crystallization process were given.

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ЦУКРОВОГО УТФЕЛЮ ОСТАННЬОГО СТУПЕНЯ КРИСТАЛІЗАЦІЇ НА РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МІЖКРИСТАЛЬНОГО РОЗЧИНУ

М.М. Самілик

Сумський національний аграрний університет

Реологічні властивості цукрового утфелю мають суттєвий вплив на хід процесу кристалізації. В'язкість є одним із головних факторів, що впливають на знецукрення меляси. В процесі охолодження цукрового утфелю останньої кристалізації збільшується вміст сухих речовин і, відповідно, в'язкість. При цьому важливо узгоджувати темп охолодження зі швидкістю кристалізації та проводити заходи щодо запобігання утворенню дрібних кристалів.

Серед інших теплофізичних параметрів, від яких залежить швидкість кристалізації сахарози за умов ізогідричної кристалізації, є поверхневий натяг, що впливає на швидкість вбудови молекул сахарози у кристалічні решітки цукру.

У статті запропоновано удосконалений спосіб проведення кристалізації охолодженням, який передбачає проведення проміжного нагрівання утфелю з подальшим його доохолодженням. Ефективність проміжного підігріву утфелю останнього продукту підтверджено у лабораторних і промислових умовах.

Використання проміжного нагріву утфелю останнього ступеня кристалізації на 7—10°C після його охолодження до 50—55°C підвищує ефект кристалізації за рахунок зменшення коефіцієнта динамічної в'язкості утфелю, коефіцієнта поверхневого натягу та узгодження темпу охолодження зі швидкістю кристалізації сахарози. Крім того, покращується гранулометричний склад цукру та унеможливується вторинне кристалоутворення.

Наведено результати лабораторних, промислових і обчислювальних експериментів режимів роботи станцій кристалізації цукрового утфелю останнього продукту. Дано рекомендації промисловості щодо раціонального ведення процесу кристалізації.

Ключові слова: *кристалізація охолодженням, утфель, міжкристальний розчин, розкачка водою, проміжний підігрів.*

Постановка проблеми. Відповідно до дифузійно-кінетичної теорії кристалізації її швидкість залежить від інтенсивності дифузійного переносу молекул сахарози до поверхні вже існуючих кристалів і швидкості кристалохімічної реакції на межі поділу фаз «цукровий розчин-кристал» [1]. З огляду на це реологічні властивості утфелю мають суттєвий вплив на хід процесу кристалізації.

Між молекулами сахарози в цукрових розчинах містяться нецукри, які збільшують відстань між молекулами, зменшують їх взаємне притягування, створюють додатковий опір, для подолання якого необхідно зменшити від-

стань між молекулами сахарози. За таких умов збільшується концентрація сухих речовин і підвищується в'язкість. Це ускладнює визначення оптимальних умов кристалізації сахарози з утфеля останньої кристалізації [1].

На початковій стадії кристалізації при високій температурі та чистоті міжкристального розчину в'язкість має мінімальний вплив на процес. Зі збільшенням в'язкості слід регулювати швидкість охолодження утфелю, узгоджуючи його зі швидкістю кристалізації, з метою уникнення утворення «муки», яка негативно впливає на центрифугування.

За умов структурованості утфелю та набуття ним реологічних властивостей в'язкість є похідною від в'язкості міжкристального розчину та вмісту і розміру кристалів у ньому. Найбільш важлива особливість у залежності між температурою і в'язкістю полягає в тому, що для насиченої меляси певної чистоти є температура, при якій в'язкість мінімальна. Середня величина цього мінімуму знаходиться в межах температури близько 55°C [2].

Використання розкачок утфелю водою після його охолодження до 50—55°C для зменшення коефіцієнта динамічної в'язкості міжкристального розчину не вирішує проблеми повного знецукрення меляси: порушуються ізогідричні умови кристалізації, збільшується вихід меляси за рахунок високого мелясоутворюючого коефіцієнта води (2,3—2,7), підвищується вміст сахарози в мелясі (54—57%) [2].

Серед інших теплофізичних параметрів, що впливають на швидкість кристалізації сахарози за існуючих умов, є поверхневий натяг. Коефіцієнт поверхневого натягу на межі розподілу фази «розчин-кристал» сахарози залежить від температури і впливає на швидкість вбудови молекул сахарози у кристалічні решітки цукру. Зменшення коефіцієнта поверхневого натягу міжкристального розчину прискорює інтенсивність кристалізації [1], зменшує прилипання міжкристального розчину до кристала, покращує умови центрифугування.

Прийнятий типовий технологічний режим охолодження утфелю в станціях кристалізації зі швидкістю 1,0—1,1°C/год протягом 32 год в горизонтальних мішалках-кристалізаторах та 1,2—1,4°C/год у вертикальних кристалізаторах [3], як правило, вимагає додаткової розкачки утфелю водою. Такий спосіб охолодження не збільшує динаміку процесу, тому запропоновано альтернативний спосіб зменшення в'язкості в процесі кристалізації — проміжне нагрівання.

Метою статті є обґрунтування доцільності використання проміжного нагрівання утфелю останнього ступеня кристалізації в перемішувачах-кристалізаторах.

Матеріали і методи. З метою визначення доцільності використання проміжного нагрівання утфелю та узгодження зміни температури утфеля зі швидкістю кристалізації в процесі його охолодження виконані дослідження, методикою яких передбачалось порівняння результатів отриманих за умов розкачки утфелю водою, мелясою та використання замість їх проміжного нагрівання [4].

Визначено температуру утфелю, при якій швидкість кристалізації значно знижується і виникає необхідність його обробки проміжним нагріванням для

зменшення коефіцієнта динамічної в'язкості міжкристального розчину та коефіцієнту пересичення.

За умов рекомендованого нами режиму політермічної кристалізації утфелю охолодження слід здійснювати до температури 50—53°C, потім проводити проміжний нагрів на 7—10°C і продовжувати його охолодження [4].

Визначена зміна коефіцієнта динамічної в'язкості міжкристального розчину за умов проведених досліджень. Отримані результати наведені на рис. 1.

Рис. 1. Зміни коефіцієнта динамічної в'язкості міжкристального розчину залежно від чистоти і температури:

● — чистота Ч = 54,6%; □ — чистота Ч = 67,45%

Завдяки проміжному нагріванню коефіцієнт пересичення міжкристального розчину знижувався, відбувалось розчинення дрібних кристалів цукру і при подальшому охолодженні продовжувалося нарощування кристалів. При цьому відбувалась зміна коефіцієнта динамічної в'язкості міжкристального розчину.

Зменшення коефіцієнта динамічної в'язкості міжкристального розчину за рахунок проміжного нагрівання утфелю прискорює процес перенесення молекул сахарози з об'єму міжкристального розчину до поверхні кристалів, а також підвищує швидкість кристалохімічної реакції на границі поділу фаз «розчин-кристал» під час переходу молекул сахарози із розчиненого стану в кристалічний.

Для розрахунку коефіцієнта поверхневого натягу використано емпіричне рівняння поверхневого натягу залежно від вмісту сухих речовин, температури і чистоти, запропоноване А.В. Величковським [2]:

$$\sigma = (1,962CP - 0,981t + 3,679Ч + 299,2)10^{-4}, \quad (1)$$

де CP — вміст сухих речовин в міжкристальному розчині, %; t — температура міжкристального розчину, °C; Ч — чистота міжкристального розчину, %.

Результати розрахунку коефіцієнта поверхневого натягу (Н/м) представлені в таблиці.

Таблиця. Коефіцієнт поверхневого натягу на межі поділу фаз «кристал-цукровий розчин»

Умови ведення процесу	До початку кристалізації	Перед обробкою утфелю	Через 20 год кристалізації	Через 31 год кристалізації	Через 33 год кристалізації	Через 35 год кристалізації	Через 42 год кристалізації
Розкачка водою	0,06551	0,06598	0,06605	0,06612	0,06634	0,06658	0,06674
Розкачка цукровим розчином високої чистоти	0,06551	0,06598	0,06605	0,06599	0,06613	0,06625	0,06637
Розкачка цукровим розчином низької чистоти	0,06551	0,06598	0,06605	0,06599	0,06611	—	—
Проміжне нагрівання	0,06551	0,06598	0,06419	0,06492	—	—	—

Дані таблиці свідчать про те, що в результаті застосування проміжного нагрівання коефіцієнт поверхневого натягу міжкристального розчину зменшується, отже, негативний вплив коефіцієнта динамічної в'язкості на швидкість кристалізації сахарози зменшується.

При зниженні температури утфельної маси виникають також проблеми з її перемішуванням, адже опір міжкристального розчину досить високий, перемішування утфелю в кристалізаторі погіршується. Часто це призводить до поломок механічних перемішувачів пристроїв [1].

Рух розчину відносно кристалів уповільнюється, відповідно зменшується швидкість кристалізації сахарози. Оскільки утфель, що кристалізується у перемішувачах-кристалізаторах, — це грубодисперсна суспензія високої якості, одним із завдань нашого дослідження є визначення оптимальних гідродинамічних умов в апараті.

Результати та обговорення. Ефективним заходом зниження коефіцієнта динамічної в'язкості при політермічній кристалізації є проміжне нагрівання. Зменшення в'язкості міжкристального розчину утфелю після проміжного нагрівання суттєво підвищує інтенсивність кристалізації. Лише зменшення коефіцієнта динамічної в'язкості міжкристального розчину утфелю останнього ступеня кристалізації з 1,4 до 0,98 Па·с збільшує швидкість кристалізації на 33% [4].

У процесі ізогідричної кристалізації кристали сахарози рухаються вниз, оскільки їх об'ємна маса вища за густину міжкристального розчину. При цьому виникає сила опору, яка направлена в сторону, протилежну руху кристалу. Величина цієї сили пропорційна швидкості руху частинки і залежить від форми і розміру кристалів, фізичних властивостей міжкристального розчину [1].

На величину сили опору впливають:

- сила динамічного опору;
- сила тертя;
- сила опору, що утворюється за рахунок розрідження за кристалом під час його руху.

Сила динамічного опору виникає в результаті того, що кристал під час руху витісняє перед собою частину міжкристального розчину, даючи йому енергію, при цьому швидкість міжкристального розчину підвищується і дорівнює швидкості руху кристалів.

Зміна кінетичної енергії дорівнює діючій силі. Сила опору залежить від густини міжкристального розчину, швидкості руху кристалів та коефіцієнта опору. Дифузійний опір обмежується відносно тонкою плівкою, що оточує молекули сахарози, в той час як конвекційні потоки вирівнюють концентрацію міжкристального розчину. Тому збільшення інтенсивності перемішування в кристалізаторах призводить до збільшення інтенсивності кристалізації.

Зростання в'язкості і повільне перемішування зменшують швидкість кристалізації, оскільки дифузійний шар стає товщим і процес масоперенесення уповільнюється. За умов політермічної кристалізації, коли густина міжкристального розчину і кристалів цукру відрізняються на незначну величину, швидкість осадження кристалів цукру за таких умов не перевищує 0,005 м/с [4].

За умов експерименту, нагрівання утфелю на 7—10°C зменшує коефіцієнт динамічної в'язкості міжкристального розчину чистотою 54,6% майже вдвічі, чистотою 67,4% — в 1,4 раза, при цьому, коефіцієнт поверхневого натягу для міжкристального розчину чистотою 67,5% зменшується від 0,06598 Н/м до 0,06419 Н/м. Результати виконаних досліджень показали, що ефект кристалізації за умов застосування проміжного нагрівання утфелю зростає і становить 7,4—8,2% [5].

Узгодження темпу охолодження 0,95—1,0°C/год до та 0,8—0,95°C/год після проміжного нагрівання утфелю останнього ступеня кристалізації зі швидкістю кристалізації зводить до мінімуму вторинне кристалоутворення, зменшуючи частку кристалів фракції, яка менша за 0,2 мм, до 0,77%.

Висновки

Використання проміжного нагрівання як альтернативи типовому способу сприяє зменшенню коефіцієнта динамічної в'язкості та коефіцієнта поверхневого натягу, що призводить до підвищення ефекту кристалізації.

Запропонований режим перемішування та охолодження в кристалізаторах дає змогу забезпечити такий гідродинамічний стан, який запобігає осадження кристалів і створює умови для інтенсивної кристалізації.

Література

1. Кулиниченко В.Р., Мирончук В.Г. Промышленная кристаллизация сахаристых веществ: Монография. Київ: НУПТ, 2012. 426 с.
2. Современные технологии и оборудование свеклосахарного производства. Ч. 2: Монография / В.О. Штангеев, В.Т. Кобер, Л.Г. Белостоцкий и др.; под. ред. д-ра техн. наук, проф. В.О. Штангеева. Киев: «ЦУКОР УКРАЇНИ», 2004. 320 с.
3. Технологічний процес виробництва цукру з цукрових буряків. ПУП 15.83-37-106:2007. Київ: Цукор України. 2007. 420 с.
4. Мирончук В.Г., Ещенко О.А., Картава М.М. Интенсификация процесса кристаллизации охлаждением сахарного утфеля последнего продукта. *Міжвузівський збірник «Наукові нотатки»*. Луцьк, 2012. Випуск 39. С. 111—117.
5. Мирончук В.Г., Ещенко О.А., Самілик М.М. Застосування теплової обробки утфелю останнього продукту в перемішувачах-кристалізаторах. *Вісник Тернопільського національного технічного університету*. Тернопіль, 2012. № 4(68). С. 227—233.