

ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА МАСОВОГО ЗАРОДЖЕННЯ КРИСТАЛІВ ЦУКРОЗИ

Наведено механізм зародження кристалів цукрози та розглянуті промислові методи його забезпечення. Таб.1. Рис.1. Дж.10.

За умов масової кристалізації цукрози на процес утворення кристалічної фази впливає велика кількість факторів: в'язкість, чистота розчину, інтенсивність перемішування, коливання температури, природа та якість затравного матеріалу тощо [1, 2].

Процес промислового кристалоутворення цукрози відбувається за умов кипіння і зміни фізичних параметрів пересиченого цукрового розчину. У цьому випадку водні розчини цукрози в інтервалі пересичень $K_{пер}=1,0+1,2$ містять незначну кількість вільної води [3], що зумовлює малу вірогідність об'єднання молекул цукрози і утворення центрів кристалізації. Одночасно за цих умов може відбуватись утворення дозародкових асоціатів молекул цукрози, які не досягаючи критичного розміру розпадаються. При збільшенні пересичення $K_{пер} \geq 1,3$ відбувається процес спонтанного, самочинного кристалоутворення. Що в промислових умовах недоцільно, оскільки утворені кристали зростають, нові утворюються і на стадії кристалоутворення неможливо отримати бажану однорідність кристалів. Як наслідок цього умови подальшого росту кристалів менше сприятливі ніж за генерованих кристалів високої ступені однорідності.

В промисловості для забезпечення бажаної ефективності процесу кристалоутворення в пересичений цукровий розчин при $K_{пер}=1,2+1,3$ вносять певну кількість дрібнодисперсних кристалів цукру розміром $1+12$ мк у вигляді затравного матеріалу [4]. Це дає можливість отримати кристали високої ступені однорідності скоротивши, при цьому, час кристалоутворення.

За цих умов, $K_{пер}=1,2+1,3$ система нестійка і введені в цукровий розчин кристали затравки зв'язують вільну воду. У розчині з'являються молекули із невисоким ступенем гідратації, які об'єднуються в асоціати. За умов випарювання розчинника (води) ці асоціати зростають, досягають критичної величини і перетворюються у зародки кристалів спроможних для подальшого росту, тобто у центри кристалізації [2].

Критичну величину зародка кристала цукрози, здатної до подальшого росту, можливо визначити із уявлень нерівноважної статичної термодинаміки із врахуванням впливу на величину термодинамічного потенціалу системи градієнтів густини, що виникли за умов дифузійного масообміну між зародком і оточуючим його середовищем [5].

Розмір критичного зародка кристала цукрози за умов максимуму зміни величини термодинамічного потенціалу визначається за виразом [5]:

$$r_{кр} = \frac{2K_{Fr} \sigma G_M}{3K_{Gr} \Delta\mu} - K \frac{(\rho_1 - \rho_0)^2}{2\sigma}, \quad (1)$$

де K_{Fr} , K_{Gr} – коефіцієнти форми кристала при розрахунку його поверхні і маси за лінійними розмірами,

σ – питома поверхнева енергія на межі поділу фаз,

G_M – маса молекули розчиненої речовини,

$\Delta\mu$ – різниця хімічних потенціалів у розчиненому і кристалічному стані,

K – коефіцієнт пропорційності,

ρ_1 , ρ_0 – густина розчину на межі розділу фаз і об'ємі.

Визначальним для подальшого ведення процесу є не тільки критичний розмір центрів кристалізації, а також їх критична концентрація у двохфазній системі "розчин-кристал", яку у виробництві цукру називають "утфель". Критична концентрація кристалів цукру в утфелі обумовлює перехід системи до структурованого стану, тобто, за І.Г. Бе

жалом [6], до утворення структурованої дисперсної системи, в якій кількість міжкристального розчину, що оточує кожний кристал, пропорційна масі та поверхні кристала. Наші дослідження [7] засвідчили, що на початку процесу варіння утфелю, після досягнення критичної концентрації твердої фази він змінює структурно-реологічні властивості і набуває структурованого стану.

Для забезпечення найбільш сприятливих умов кристалоутворення в цукровій промисловості надають перевагу використанню в якості затравного матеріалу кристалізації спеціальним затравним суспензіям та пастам [4, 8, 9]. Аналіз застосування цих матеріалів свідчить, що вони позитивно впливають на робочі процеси кристалізації цукрози. В якості спеціальних затравних матеріалів використовують: пасту "Магмас" у твердопластичному та м'якопластичному вигляді [4, 10], суспензію ЦСС-Р [9], багатокомпозиційну рідкотекучу затравну суспензію "Кристал" [10], затравні матеріали приготвлені цукровими заводами.

Спеціальні затравні матеріали, поряд із безперечно позитивними властивостями, мають певні недоліки. Затравні матеріали виготовлені на цукрових заводах мають недостатню якість де, як і в суспензії ЦСС-Р [9], наповнювачем використовують спирт, що потребує, внаслідок швидкого осадження дрібнодисперсних кристалів цукру, ретельного перемішування безпосередньо перед використанням. Це створює незручності у режимі автоматичного введення її у вакуум-апарат. З іншого боку, консистенція пасти "Магмас", особливо у твердо-пластичному стані, не забезпечує її миттєвого розподілу по всьому об'єму сиропу у вакуум-апараті, що подовжує час кристалоутворення як наслідок утворюються менш рівномірні за розміром кристали.

З огляду на вищезазначене, спеціалістами ТОВ "Продтехін" створена і випробувана за участю НУХТ нова багатокомпозиційна рідкотекуча затравна суспензія "Кристал", при розробленні та виробництві якої були враховані всі позитивні якості існуючих затравних матеріалів, а також усунуті зазначені вище їх недоліки.

Багатокомпозиційна рідкотекуча затравна суспензія "Кристал" виготовляється у вигляді рідкого матеріалу із високою ступінню текучості. Дрібнодисперсні кристалики цукру мають розмір 2-4 мікрона. В якості рідкої основи використані поверхнево-активні речовини, густина яких відповідає густині кристалів цукру. В наслідок цього, дрібнодисперсні кристалики цукру знаходяться у завислому стані і протягом тривалого часу практично не відбувається їх осадження. Це забезпечує довготривале зберігання нової затравної суспензії із збереженням всіх вихідних фізико-хімічних характеристик. Що надає новій рідкотекучій затравній суспензії "Кристал" значні переваги проти існуючих затравних матеріалів.

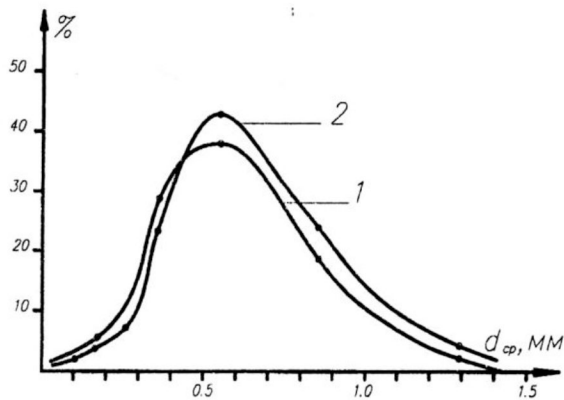
Випробування багатокомпозиційної рідкотекучої затравної суспензії "Кристал" на цукровому заводі "ім.Цюрупи", Крижопільському цукровому заводі, Слущкому цукровому заводі засвідчили високу ефективність протікання процесу кристалізації (табл. 1, рис.1) і, як наслідок, роботи продуктового відділення в цілому.

Аналіз наведених даних свідчить про те, що якісні характеристики кристалів цукру отриманих при застосуванні багатокомпозиційної рідкотекучої затравної суспензії "Кристал" мають кращі показники у порівнянні із традиційним затравним матеріалом.

Таблиця 1

Гранулометричний склад цукру на Крижопільському цукровому заводі

Розмір фракцій, мм.	Кількість фракцій у %		
	традиційна затравка	багатокомпозиційна рідкотекуча затравна суспензія "Кристал"	
1	2	3	4*
>2,5	0,42	0,37	0,54
1,6-2,5	3,21	7,38	11,65
1,1-1,6	35,07	37,80	40,55
0,5-1,1	38,68	35,65	31,86
0,2-0,5	21,31	17,97	14,33
<0,2	1,21	0,93	1,02



1- за існуючої технології $\bar{d}_{\text{кр}} = 0,4717$.

2- за використанням затравної суспензії "Кристал" $\bar{d}_{\text{кр}} = 0,5187$.

Рис. 1 - Гранулометричний склад кристалів цукру на Слущькому цукровому заводі

Використання багатокомпозиційної рідкотекучої затравної суспензії "Кристал" дозволяє забезпечити: зручність введення затравки у режимі автоматизованого вару, зменшення до мінімуму часу кристалоутворення та часу уварювання утфелю, отримання цукру із більш рівномірними і крупними кристалами, покращення центрифугуючих властивостей утфелю, зменшення витрат води на промивання цукру, як наслідок, збільшення виходу товарного цукру після центрифугування утфелю, зменшення кількості відтоків, що рециркулюють на верстаті продуктового відділення, отже, зменшення енергетичних витрат та втрат цукрози від її термічного розпаду, значне спрощення схеми отримання маточного утфелю при збереженні всіх раніше зазначених позитивних ефектів, універсальність в застосуванні для кристалоутворення всіх ступенів кристалізації.

Отже, механізм зародження кристалів цукрози в умовах промислової кристалізації пов'язаний із порушенням рівноважного стану нестійкого пересиченого розчину цукрози внаслідок зв'язування в ньому вільної води кристалами затравки. Кількість кристалів затравки повинна бути достатньою, щоб якнайшвидше зменшити ступінь гідратації такої кількості молекул цукрози, яка б забезпечила утворення центрів кристалізації критичного розміру і критичної концентрації за мінімум часу. Найбільш сприятливих умов кристалоутворення при кристалізації цукрози з розчинів і високої ефективності цього процесу можливо досягнути використовуючи спеціальні затравні матеріали і насамперед – багатокомпозиційну рідкотекучу затравну суспензію "Кристал".

Література

1. Гулый И.С., Мирончук В.Г. Кристаллизация // Физико-химические процессы сахарного производства. – М.: Агропромиздат, 1987. – С. 184-216.
2. Мирончук В.Г. Кристалізація // Процеси та апарати харчових виробництв / За ред. І.Ф. Малехи –К.: НУХТ, 2003. – С. 336-358.
3. Сапронов А.Р. Технология сахарного производства. – М.: Агропромиздат, 1986. – 431 с.
4. Затравочная паста «Магмас» – повышение эффективности работы продуктового отделения / Штангеев В.О., Сушенко А.К., Гуцол А.Ф., Власенко А.В., Мирончук В.Г. // Сахар, №4. – 2002. – С. 52-53.
5. Новая оценка размера критического кристаллического зародыша / Б.В. Кузьменко, В.О. Штангеев, В.Г. Мирончук, И.С. Гулый // Вісник аграрної науки, №8. – 1992. – С. 43.
6. Бажал И.С., Курыленко О.Д. Переконденсация в дисперсных системах. – К.: Наукова думка, 1971. – 215 с.