

## Реологические свойства и качество шоколадных масс\*

Т. МЮЛЕ, Х.-Д. ЧЕЙШНЕР,

Дрезденский технический университет, секция технологии обработки, процессов и аппаратов

### 1. Введение

Шоколадная масса — дисперсная система, в которой кристаллы сахара и твердые вещества какао составляют прерывистую фазу, а масло какао непрерывную фазу. В качестве сырья применяются тертое какао, сахар, масло какао, лецитин, вкусовые вещества, например ванилин, и специально обозначенные прочие добавки присадки (сухое молоко, орехи и так далее).

Для получения из названных компонентов шоколада с желаемыми качественными свойствами нужны процессы приготовления сырья, его измельчения, смешивания и образования аромата. Конечный продукт должен отвечать требованиям, предъявляемым к текучести и вкусу. Важным с технологической точки зрения, особенно для завода-изготовителя, является требование текучести шоколадной массы, благоприятной для дальнейшей переработки.

### 2. Возможности описания реологических свойств шоколадных масс

Как другие суспензии с относительно большей долей твердых веществ, и шоколадные массы входят в неньютоновские вещества и показывают структурновязкое поведение. Течение шоколадных масс начинается только после перехода через минимальное сдвигающее напряжение (через предельное напряжение сдвига). Сначала предполагалось, что шоколадные массы действуют как идеально-пластические вещества (тела Бингхэма).

$$\tau - \tau_0 = \eta_{pl} \cdot D \quad (1)$$

Поэтому в литературе периода 1958–1962 гг. применялись величины  $\tau_0$  и  $\eta_{pl}$ , обозначающие реологические свойства.

Как доказывают финке и Хейнд (5, 6, 7), Хейс и Бартуш (9, 10), а также Штейнер (25), вытопленные шоколадные массы обнаруживают квази-пластическое поведение (рис. 1). Штейнер указал на следующую формулу течения, применяемую Кассоном для типографских красок:

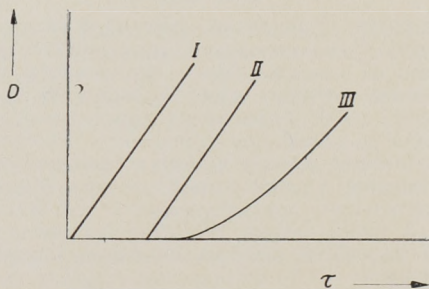
$$\sqrt{\tau} = \sqrt{\tau_{CA}} + \sqrt{\eta_{CA}} \cdot \sqrt{D} \quad (2)$$

\* A III. Nemzetközi Élelmiszeranalitikai Módszertani Szinposiumon elhangzott előadás. (Szentendre 1975. X. 8–11)

Здесь  $\eta_{CA}$  — вязкость Кассона  
 $\tau_{CA}$  — предельное напряжение сдвига по Кассону  
 $\tau$  — напряжение сдвига  
 $D$  — градиент скорости

Согласно исследованиям Штейнера (26) и финке (4) такая формула течения хорошо отражает поведение натуральных шоколадных масс. Штейнер привел модифицированную формулу для соотношения радиусов соосных цилиндров ротационного вискозиметра, которое заметно отклоняется от единицы.

$$\sqrt{D_N} = \frac{1}{\sqrt{\eta_{CA}}} \left( \sqrt{\tau} - \frac{2\sqrt{\tau_{CA}}}{(1+a)} \right) \quad (3)$$



*I кривая текучести тела ньютона  
 II кривая текучести тела бингама  
 III кривая текучести тела кассона*

Рис. 1.

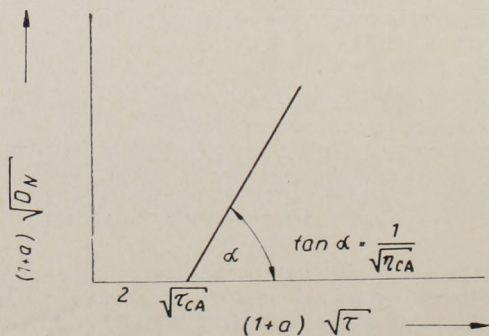


Рис. 2.

Здесь  $r_1$  — радиус внутреннего цилиндра  $a = \frac{r_1}{r_2} \cong 0,5$

$r_2$  — радиус внешнего цилиндра

$D_N$  — кажущийся градиент скорости  $D_N = \frac{2\omega_1 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}$

Из этого следует возможность однозначного описания текучести постоянными  $\eta_{CA}$  и  $\tau_{CA}$ . В графиках  $(1+a)D_n$  и  $(1+a)\sqrt{\tau}$  точка пересечения с осью  $(1+a)\sqrt{\tau}$  отвечает величине  $2 \cdot \sqrt{\tau_{CA}}$ . Подъем прямой отвечает  $\frac{1}{\sqrt{\eta_{CA}}}$

(рис. 2). При применении уравнения Кассона желательнее, чтобы точки измерения находились внутри перепада скорости  $D_n$  от 5 до 60 сек<sup>-1</sup>. Уравнение Кассона не всегда позволяет описание кривых текучести тертого какао молочного шоколада и свободных от лецитина маложирных масс. Зато финке (4), используя формулу Хейнца, приводит модифицированное уравнение Кассона, обеспечивающее лучшую линейность.

Для ротационного вискозиметра получается в частности:

$$\sqrt[3]{\tau^2} = 3 \cdot \frac{1 - \sqrt{a^2}}{1 - a^2} \cdot \sqrt[3]{\tau_{HE}^2} + \sqrt[3]{\eta_{HE}^2} \cdot \sqrt[3]{D_N^2} \quad (4)$$

Согласно Финке можно привести в общую форму упомянутые до сих пор уравнения течения:

$$D = \frac{(\tau^{1/m} - K_0)^m}{K_1} \quad (5)$$

Для шоколадных масс показатель лежит между 1 и 2.

$m = 1$  тело Бингхэма

$m = 1,5$  многие молочные шоколады

$m = 2$  натуральные шоколады

При корреляции экспериментальных данных Якл и Крылова (12) нашли следующее соотношение трех параметров:

$$\sqrt{\tau_1} - K_2 = K_3 \cdot D^{n/N} \quad (6)$$

Здесь величины  $K_3$  и  $\eta$  можно обработать в координатах log-log, если до этого величина  $K_2$  была определена по обычному трехточечному методу. Применяя уравнение Кассона, Якл и Крылова указывают на ошибки, которые могут возникать у предельного напряжения сдвига, путем экстраполяции в нулевое значение градиента скорости. Как показали опыты с шехованным цилиндром (27), полученное по такой измерительной системе предельное напряжение сдвига весьма сильно отклоняется от предельного напряжения сдвига по Кассону. Дальнейшее предлагаемое в лит. (18) уравнение для характеристики реологического поведения шоколадных масс содержит кроме уравнения Бингхэма другой терм, так что в уравнение входят три постоянных материала.

$$\tau - \tau_0 = \eta_{pl} D + B \sinh^{-1} D \quad (7)$$

- $\tau_0$  — предельное напряжение сдвига  
 $\eta_{pl}$  — пластическая вязкость  
 $B$  — постоянная

Иногда применяется и эмпирическое уравнение Вильямса (18). Это уравнение связано с предположением, что в дисперсных системах часть сдвигающей силы нужна для уничтожения структуры, а оставшаяся часть способствует течению при более высоких скоростях сдвига.

Изучая соотношение между вискозиметрическими параметрами шоколадной массы и соответствующими характеристиками шоколадных изделий, Ластить, Майор и Шальго (15) применяют рядом с величинами Кассона  $\eta_{CA}$  и  $\tau_{CA}$  величины  $\tau_0$  и  $\eta_{кр1}$  (уравновешенную пластическую вязкость). Рис. 3 показывает графическое определение этих величин. Расчет  $\eta_{кр1}$  следующий:

$$\eta_{кр1} = \frac{A\tau - \frac{B\tau + \tau_0}{2}}{d} \quad (8)$$

Уравновешенная пластическая вязкость учитывает в частности нижний раздел кривых текучести.

В работе (24) Зоммер устанавливает, что у шоколадной массы нет физических предпосылок для модели Кассона, а закон Кассона таким образом есть только математически определенная функция приспособления с двумя

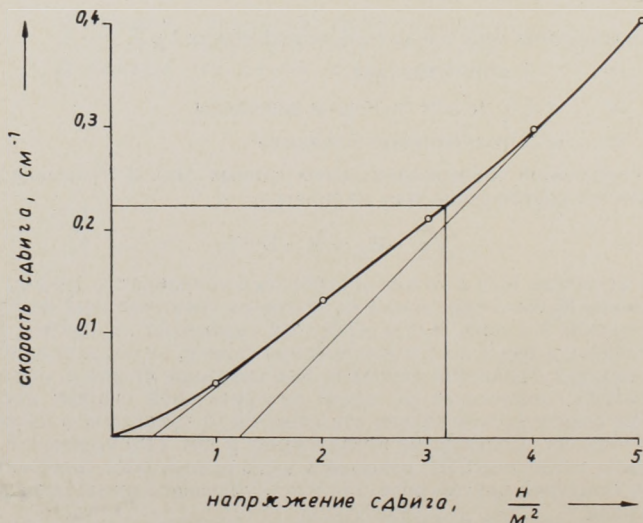


Рис. 3.

параметрами. Зоммер использует в своих работах для математического представления кривых текучести следующую трехпараметровую функцию приспособления:

$$D = A + B\tau + C \cdot \tau^2. \quad (9)$$

По гауссовому принципу наименьших квадратов из найденных кривых измерения получают уравниваемые параболы. Предельное напряжение сдвига Зоммер определяет путем опыта (24), отключая вискозиметр при минимальном градиенте сдвига. После некоторого времени, при существовании предельного напряжения сдвига, появляется постоянный конечный вращающий момент. Отвечающее этому моменту напряжение сдвига, которое воспринимается массой покоя, толкуют как предельное напряжение сдвига. Трудности, возникающие при измерениях вязкости, вытекают из аномалий текучести, из тиксотропии и реопексии. Наблюдались такие явления особенно у маложирных и свободных от лецитина масс, а также у молочного шоколада (8).

Так как вязкость зависит не только от скорости сдвига, но и от времени, для достижения воспроизводимых величин надо соблюдать точное время измерения. Как показали наши измерения у молочных шоколадов, увеличение вязкости, вызванное аномалиями текучести, можно устранить интенсивным сдвигом. Таким образом разложились созданные структуры, а повторяемые после хранения на складе измерения дали величины, которые отвечали данным, полученным сразу после изготовления.

Закон Кассона по сей день является наиболее часто применяемой функцией текучести для шоколадных масс и рекомендуется для обработки также организацией OISS. Правда, уравнение Кассона не соответствует физическим предпосылкам (24) и нельзя ее применять ко всем без исключения шоколадным массам. Надо мириться с таким недостатком при упрощенном изобра-

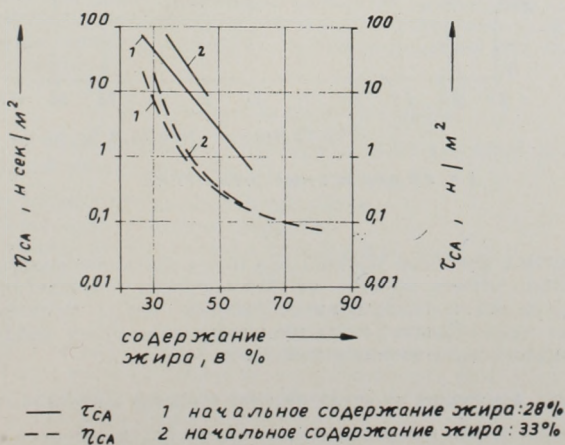


Рис. 4.

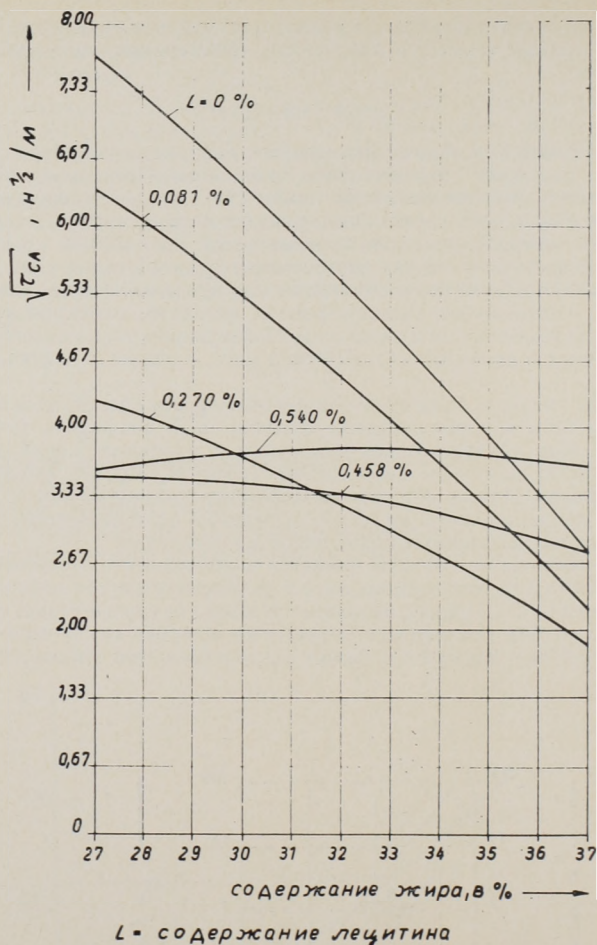


Рис. 5.

жении текучести с помощью величин  $\mu_{CA}$  и  $\tau_{CA}$ . Большую роль, в частности на предприятии, играет простое по возможности обозначение. Между величинами Кассона и свойствами обработки массы следует ожидать определенные связи. Однако, из-за множества влияющих факторов пока не устанавливалась однозначная корреляция.

### 3. Факторы, влияющие на реологические свойства шоколадных масс

Между структурой неньютоновских жидкостей и их реологическими, свойствами существуют нераскрытые отношения (18). Что касается качества-то реологические свойства дисперсных систем зависят от свойств непрерыв-

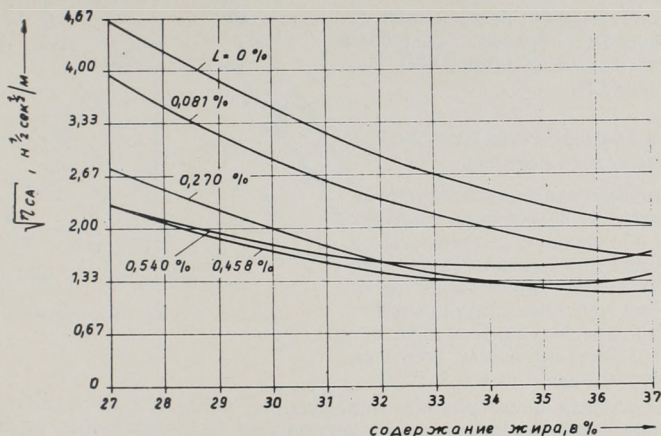


Рис. 6.

ной фазы, дисперсной фазы и от взаимодействия между ними. В непрерывной фазе имеют значение, между прочим, вязкость и химические свойства. На дисперсную фазу влияют в основном концентрация объема, размер и распределение частиц, форма и химические свойства. На взаимоотношения особенно влияют поверхностноактивные вещества.

К факторам, влияющим на реологические свойства шоколадных масс, относятся в основном концентрация твердых веществ, гранулометрический состав дисперсной фазы, содержание воды и ее связывание, структура, на которую действует механическая отделка (конширование), температура и темперирование, время и количество прибавки лецитина при обработке, проведение технологии.

### Концентрация твердых веществ

Рецептура шоколадных масс предусматривает для отдельных компонентов натуральной шоколадной массы:

55 до 29 весовых процентов тертого какао

65 до 40 весовых процентов сахара.

Содержание жира составляет в тертом какао около 55% и в шоколадной массе 28 до 44%.

Массы молочного шоколада должны содержать по крайней мере 3,2% молочного жира и 9,3% свободного от жира сухого молока. Увеличивание диспергатора, т. е. содержания жира во взвеси шоколадной массы, улучшает текучесть. Тогда уменьшаются и величины  $\tau_{СА}$  и  $\eta_{СА}$  (рис. 4). Однозначность тенденции доказывают исследования финке (8, 4), Хейса и Бартуша (9), а также Галлы, которого упоминает Линке (16). Судя по опытам Нидика (21), добавки жира при тертом какао и при смесях из масла какао и сахара приводят к одинаковым результатам. Как вытекает из наших опытов, различие между сахаром и твердыми веществами какао не приводит к различному

влиянию на текучесть. Рисунки 5 и 6 показывают графики, построенные соответствующим образом. Подобные результаты получили Зоммер (24), Якл и Крылова (12).

*Гранулометрическое состояние (степень измельчения)*

Гранулометрическое состояние характеризуют те физические свойства, которые обозначают дисперсность, с учетом долей количества. Часто рассматривают только предельную величину частиц или приводят лишь неточные результаты. Также почти не встречается различие между долей сахара и твердых веществ какао.

Как показали более ранние исследования Хейса и Бартуша (10), грубое, среднее и тонкое вальцевание массы приводит к различным пластическим вязкостям (рис. 7). Чем меньше жира в массе, тем сильнее растет вязкость с тонкостью вальцевания.

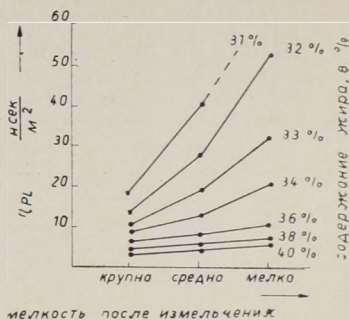
Согласно исследованиям Нидика (19,21) и Клейнерта (13), твердые вещества как кристаллы сахара и крупки бобов какао, в зависимости от их гранулометрии, оказывают определенное влияние на текучесть шоколадной массы. Ухудшение текучести взвесей масла какао и сахара вызывается долей тончайшего вещества в пределах  $< 5 - 10$  микрометров (21). Крупность зерен сахара в следующем диапазоне до 35 микрометров только мало влияет на реологические свойства. В отличие от этого тертое какао лучше течет с возрастающей поверхностью частиц твердого вещества какао. Пока неясно, являются ли причиной освобождение вещества, понижающих вязкость, или другие явления. В отличие от Нидика говорит Клейнерт (13) о критической точке при размельчении масс какао. Начиная с этой точки, размер частиц только уменьшается, без освобождения масла какао, что связано с ростом вязкости.

Нидик (20) делит спектр зернистости на три диапазона:

крупнозернистость	$\geq 30$ микрометров, около	0,5 - 7 %
средняя зернистость	6 - 30 " "	40 - 60%
тончайшая	$< 6$ " "	40 - 55%

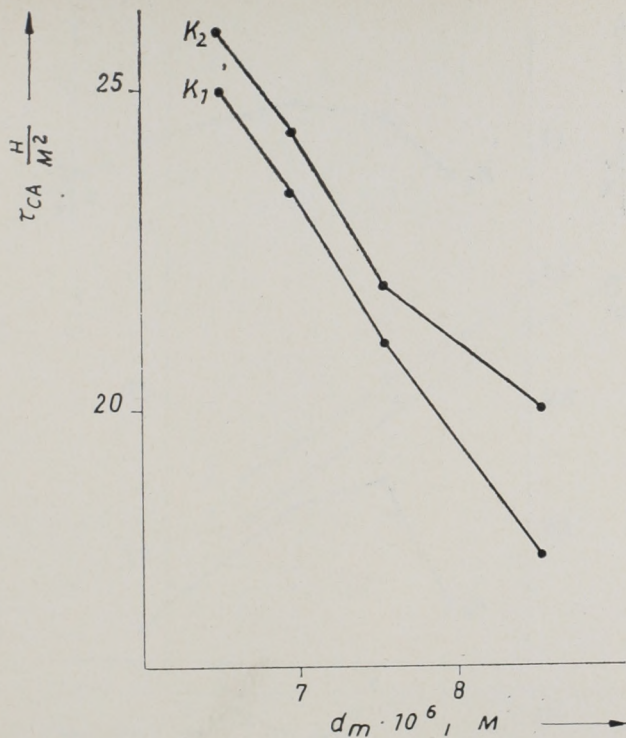
В работе (14) Ковачич также изучает влияние гранулометрического состояния на реологические свойства, выражая последние величинами Кассона  $\eta_{св}$  и  $\tau_{св}$ . Опыты проводил на модельных системах сахар (масло какао и какао-порошок) масло какао. Из обработки измельченных на вальцовом станке проб получились следующие зависимости от среднего диаметра зерна  $\alpha_m$  (рис. 8, 9, 10, 11). Для расчета зависимостей размеры зерен были разделены на три группы:

- $< 5$  микрометров
- 5 - 10 "
- $\geq 10$  "



7. Рис.

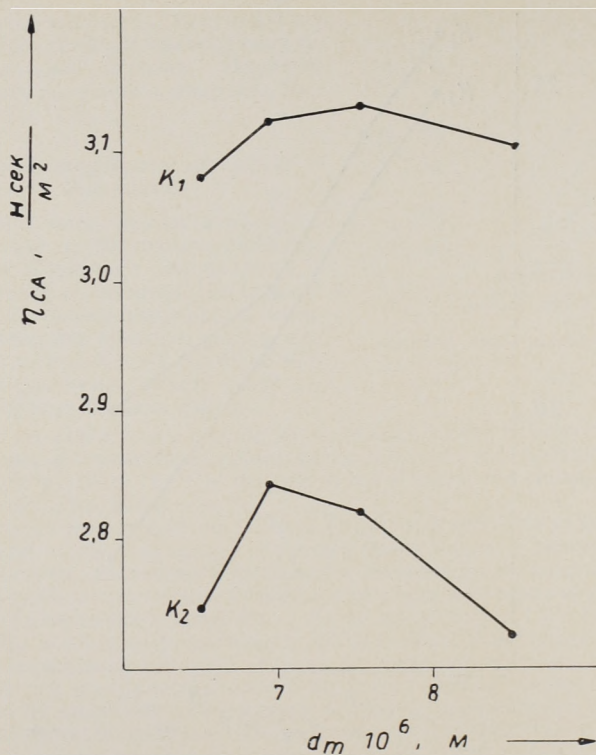




*К- модельная система:  
порошок какао / масло-какао*

Рис. 8.

В наших исследованиях (22) влияния гранулометрического состава пробы измельчались на различных агрегатах. Недостатком мокрого грохочения было употребление только сеток до 20 микрон, охватывающих лишь маленькую долю (10–33%) гранулометрии. Однако важным является учет именно доли размером ниже 20 микрон с ее решающим влиянием на текучесть. Маленькая часть частотной кривой не позволяет обычной гранулометрической обработки. И обычные параметры, как напр. средняя крупность зерен и наиболее встречаемая крупность зерен, не позволяют применения в качестве размерного числа. Причем эмпирически нашли зависимость предельного напряжения сдвига по Кассону от размера частиц, и твердого вещества какао и сахара. Это отношение наглядно представлено на рис. 12 и 13. Для вязкости Кассона такая зависимость не была обнаружена. Но интересна связь внутри данной загрузки предприятия А. При совместном измельчении (на вальцах)  $\tau_{CA}$  растет со степенью тонкости, а  $\eta_{CA}$  умень-

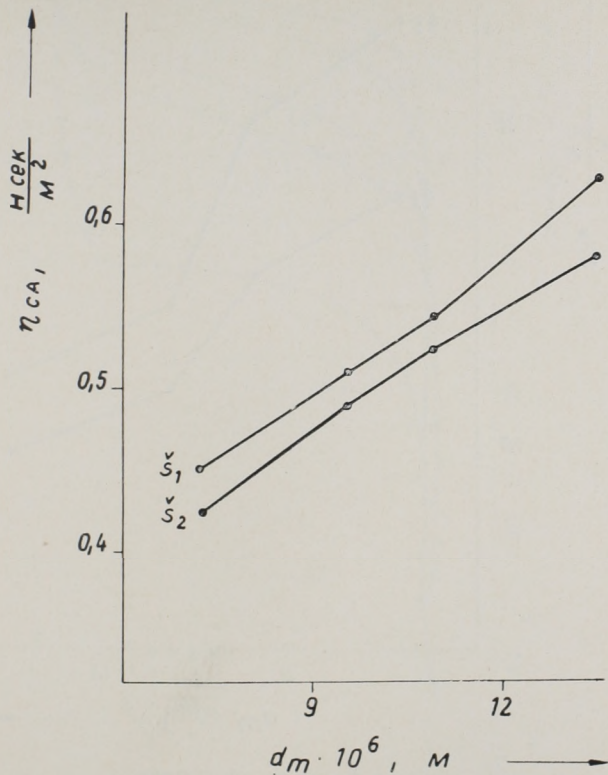


К модельная система  
порошок какао / масло какао

Рис. 9.

шается (рис. 4). Такая тенденция всегда действовала при совместном измельчении. Наоборот влияет на  $\eta_{св}$  раздельное измельчение. Рис. 15. Вместе со степенью тонкости сахара сильно растет величина  $\eta_{св}$  (сравни пробы X, XII). Если пробы, изготовленные только раздельным измельчением, потом подвергаются общему измельчению, то величины  $\eta_{св}$  снова убывают (смотри пунктирную линию).

Убывание величины  $\eta_{св}$  при совместном измельчении немного уменьшается с возрастающей тонкостью. Точного теоретического объяснения нет, потому что здесь совмещаются многие процессы, влияющие на вязкость, потому что неизвестна гранулометрия отдельных веществ, а общий гранулометрический состав известен только в диапазоне выше 20 микрометров.

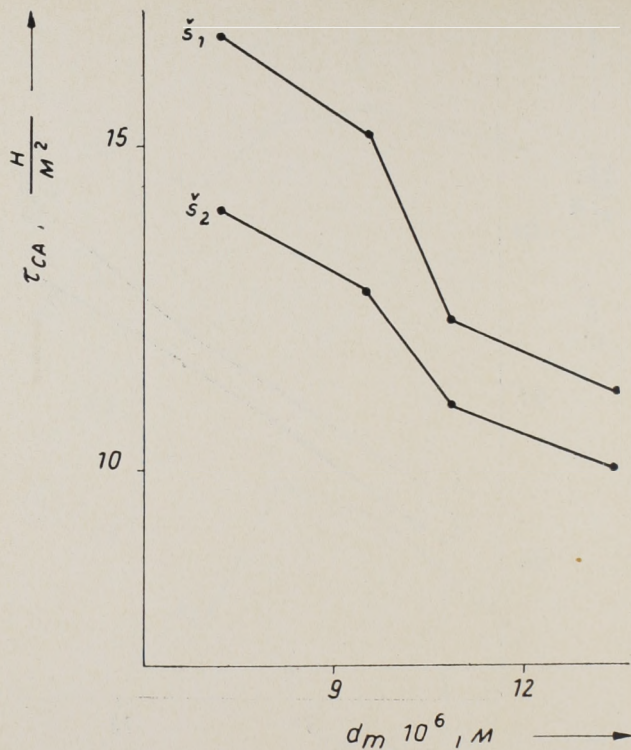


$\checkmark$  - модельная система:  
сахар / масло-какао

Рис. 10.

#### Содержание воды

Несмотря на маленькую долю воды в шоколадной массе она оказывает решающее влияние на текучесть. Одновременно с осушкой, во время конширования протекают превращения структуры, которые также изменяют текучесть. Поэтому невозможно отдельное изучение действия этой величины. Вот почему финке шел следующим путем (4): В результате напыливания маленьких количеств воды сильно перемешиваемая шоколадная масса показала различные содержания воды. Так как кроме количества воды играет известную роль и связь воды, этот метод приводит к другим результатам. На рис. 16 изображен ход  $\tau_{СА}$  и  $\eta_{СА}$ , причем влияние на  $\tau_{СА}$  сильнее. Рис. 17 показывает опыты Хейса и Бартуша. Узнаем минимум пластичной вязкости.



$\check{s}$  - модельная система:  
сахар / масло-какао

Рис. 11.

Проведенные Бартушем и Мором (1) опыты на различных коншах (шоколадноделочных машинах) показывают, что самая низкая вязкость получилась на конше с наибольшим обезвоживающим действием. Однако, судя по общей обработке результатов, нет однозначной корреляции между вязкостью и содержанием воды.

Рассматривая содержание воды, нельзя уравнивать исходное и окончательное количество воды. Связь между ними образуют тип применяемого конша и используемый способ. Начальное содержание воды зависит от предварительной обработки. Надо заметить, что большая конечная влажность ухудшает текучесть. С другой стороны кажется, что уменьшение влажности шоколадов ниже 0,8% не оплачивается, поскольку таким образом достигается только весьма маленькое изменение вязкости (8).

Из наших опытов по этой проблематике получались очень рассеянные величины, не обнаруживающие однозначного соотношения.

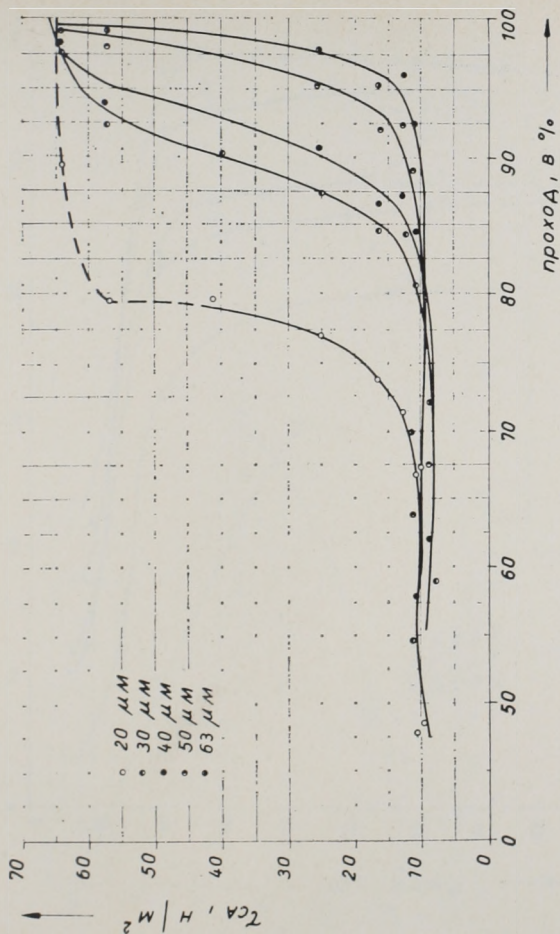


Рис. 12.

Зоммер пишет (24), что не смог установить связи между влажностью и текучестью тертого какао. Зато показали исследования Рота (24), что текучесть смесей из масла какао и сахара значительно зависят от количества воды, адсорбированной на сахаре. Поэтому Зоммер предполагает, что зависимость кривых текучести от влажности в шоколаде также связана с адсорбированным на сахаре количеством воды.

#### Содержание лецитина

Известный в шоколадной промышленности факт, что лецитин понижает вязкость, вытекает из его поверхностноактивного действия. Так 0,2 до 0,5%

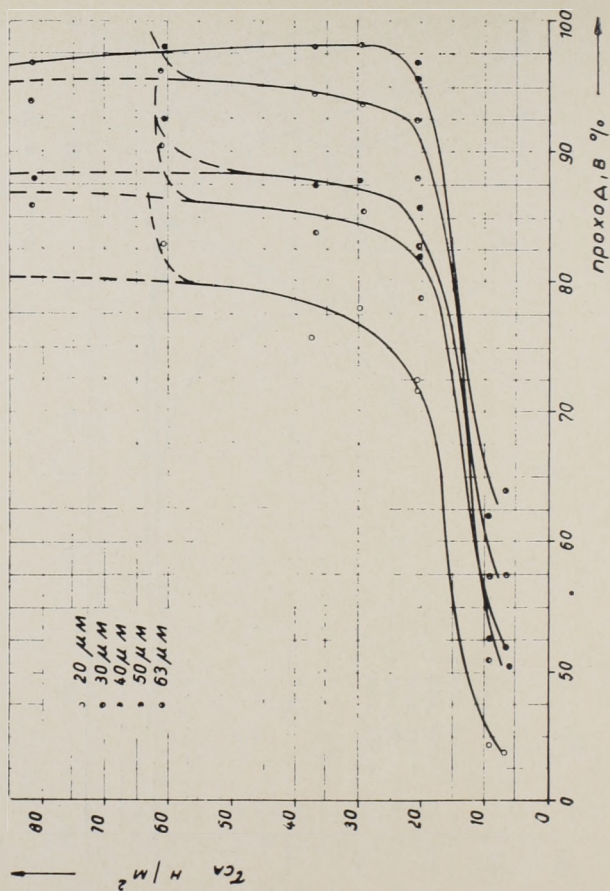


Рис. 13.

соевого сырого лецитина вызывают такое же понижение вязкости как добавка 3–8% масла какао (4). В предельном напряжении сдвига по Кассону существует минимум, а с возрастающим содержанием лецитина вязкость Кассона убывает слабее. (Рис. 18.) Оптимумы  $\eta_{св}$  и  $\tau_{св}$  не совпадают. Для механизма действия лецитина финке (4) разработал модельное представление.

Как указание для практики принимается 0,3% сырого лецитина. С убывающим содержанием жира, возрастающей влажностью и увеличивающейся степенью тонкости твердых веществ сахара и частиц бобов какао повышаются количество лецитина, приводящие к достижению минимума  $\tau_{св}$  (8).

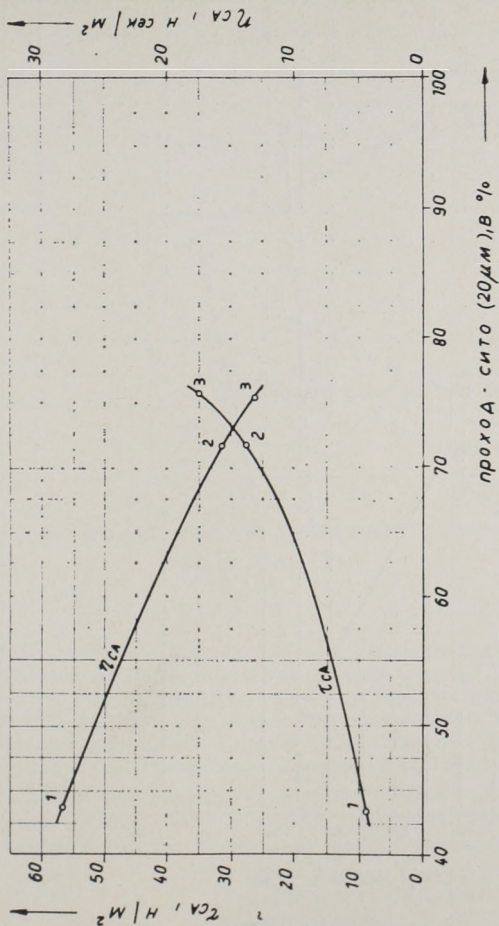


Рис. 14.

Хейс и Бартуш (9) установили экспериментальным путем, что добавка лецитина в конце процесса делает массу более жидкой.

Также Якл и Крыслова (12) изучили различные лецитины и эмульгаторы, устанавливая аналогичные зависимости. Из наших опытов (17) следует необходимость информации о связях между содержанием жира или концентрацией твердых веществ и количеством лецитина, с тем чтобы достичь оптимальной текучести при минимальном употреблении сырья. Оптимальное количество лецитина в области измерения наших исследований колебалось между 0,15 и 0,45 процентами.

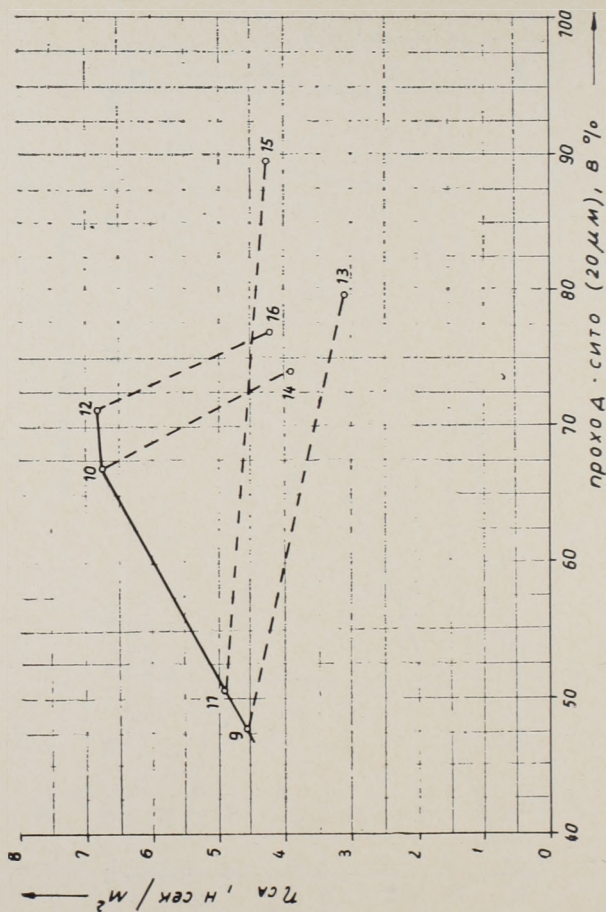


Рис. 15.

С возрастающим содержанием жира надо сократить содержание лецитина. Сравни рис. 5 и 6. Уравнения, полученные путем нелинейного регрессивного подхода, гласуют например:

$$\sqrt{\tau_{CA}} = 157,91 - 160,22 L - 7,07 F + 74,55 L^2 + 3,57 L \cdot F + 0,08 F^2 \quad (10)$$

$$\sqrt{\eta_{CA}} = 90,93 - 54,15 L - 4,65 F + 28,86 L^2 + 1,06 L \cdot F + 0,06 F^2 \quad (11)$$

L — содержание лецитина  
F — содержание жира



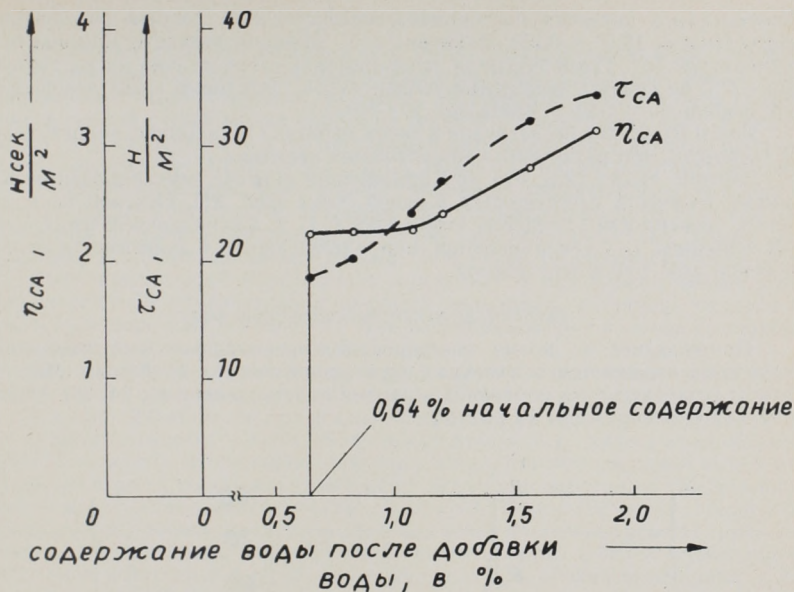


Рис. 16.

Существующее в уравнении пересекающееся произведение действует на перемещение отдельных кривых, указывая на зависимость. Далее присадка содержания лецитина сильно зависит от тонкости твердых веществ, поскольку здесь, как при изменении содержания твердых веществ, изменяется поверхность последних. Рисунок 19 и 20 показывают влияние добавки лецитина на  $\eta_{СА}$  и  $\tau_{СА}$  проб одинаковой рецептуры, но различной тонкости. С возрастом тонкостью оптимум лецитина для  $\sqrt{\tau_{СА}}$  перемещается в сторону больших количеств лецитина. Величины  $\sqrt{\eta_{СА}}$  с возрастающим содержанием лецитина остаются постоянными и убывают очень слабо. Небольшое уменьшение величин  $\sqrt{\eta_{СА}}$  при больших добавках лецитина может быть вызвано эффектами тиксотропии.

#### Температура

С возрастающей температурой ухудшается текучесть шоколадных масс. Вязкость Кассона зависит следующим образом от абсолютной температуры  $T$  (4, 5):

$$\ln \eta_{СА} = \ln a + \frac{b}{T}. \quad (12)$$

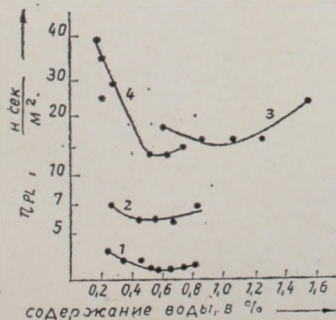


Рис. 17.

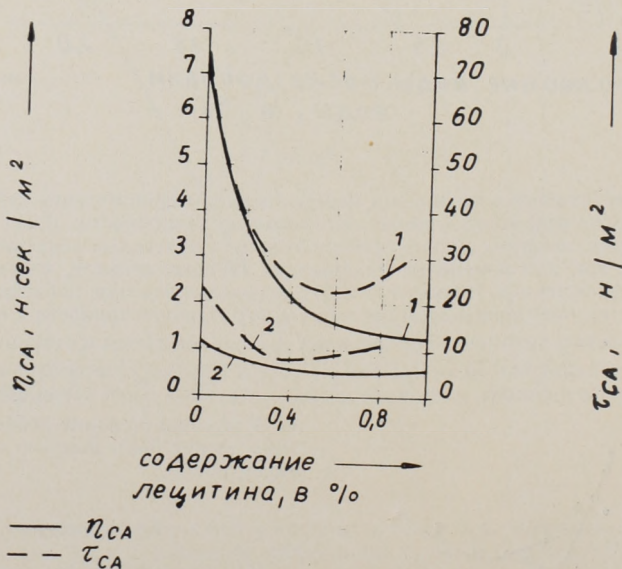
Величина  $\ln a$  является постоянной, независимой от состава шоколадной массы ( $\ln a = 12,5 + 0,25$ ). Величина  $v$  — функция вязкости Кассона при температуре  $38^\circ$ . Температурная зависимость  $\tau_{СА}$  значительно ниже, составляя 0,5% по градусу изменения температуры. Названные выше отношения действительны только в диапазоне  $30 - 70^\circ$ .

Якл и Крыслова исследовали в своих работах (12) влияние температуры на текучесть, при различных концентрациях лецитина.

Зарембе пишет (23), что при применении способа темперирования все кривые текучести пересекаются в одной точке (рис. 21). Неясной пока осталась зависимость координат этой точки (11). С возрастающей температурой величины  $\tau_{СА}$  увеличиваются или уменьшаются, в зависимости от положения этой точки пересечения.

#### Состояние механической обработки

Протекающее во время конширования шоколадных масс изменение структуры отражается в изменяющихся реологических свойствах. Многие авторы установили это изменение во время конширования (1, 24, 15). Наши результаты изображены на рис. 22.



1 содержание жира: 33,5 %  
 содержание воды: 1,1 %

2 содержание жира: 39,5 %  
 содержание воды: 0,8 %

Рис. 18.

Изменение процесса обжарки или предварительная обработка тертого какао, связанная с более сильным обезвоживанием, сокращают время конширования и могут улучшить текучесть. Полученный измельчением гранулометрический состав также влияет на текучесть шоколадных масс. В связи с этим следует упомянуть в частности систематические исследования измельчения, проведенные Нидиком (19, 20, 21). Более благоприятное с энергетической стороны отдельное измельчение позволяет раздельную установку гранулометрии компонентов. В работе (21) указывают на пути лучшего измельчения на вальцовом станке. С другой стороны совместное, общее измельчение позволяет установку весьма узкого спектра крупности зерен (21).

Выбранный способ измельчения определяет и вид конширования (28). При совместном измельчении в шаровых мельницах, например, отделка в сухом состоянии уже невозможна. Как известно, отделка в сухом состоянии приводит к другим результатам (29, 8).

Порошкообразная консистенция маложирных масс ускоряет и способствует осушке и удалению уксусной кислоты и других летучих веществ.

Цюрхер (29) объясняет на основе литературы, что дополнительная осушка, охватывающая 0,1% воды, достигаемая отделкой в сухом состоянии, позволяет экономии около одного процента жира, при той же самой вязкости. Кроме того такой вид отделки сокращает время конширования. Обеспечивая любую продолжительность фазы сухой отделки, Нидик (20) может сократить время конширования до периода, меньшего чем половина времени традиционного конширования. Причину тому видит. Нидик в более интенсивном месильном действии и в более благоприятных для обмена веществами условиях маложирной массы.

Разработанный нами способ с высокой степенью сдвига (30) обуславливает предварительную обработку тертого какао, предусматривая сначала интенсивную механическую обработку шоколадной массы в предельно сухом состоянии, а потом разжижение массы. Сухая обработка здесь должна вызвать интенсивное механическое трение сухой шоколадной массы. Это способствует смешиванию дисперсных компонентов и приводит к эффектам граничных поверхностей, которые облегчают или уже отчасти вызывают перестройку дисперсной системы. Такое явление установили и Цилинский, Нидик и Зоммер (31). Рис. 22 и 23 еще раз показывает влияние обработки в сухом состоянии на текучесть.

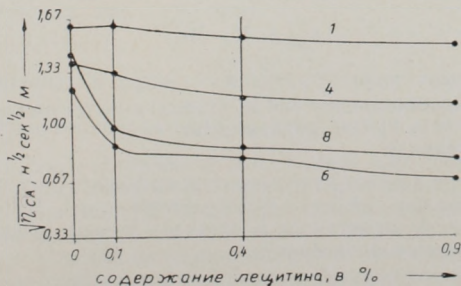


Рис. 19.

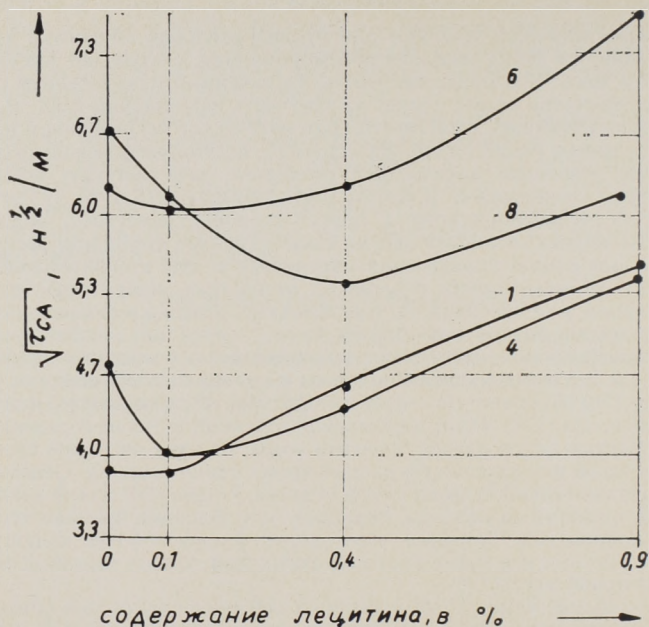


Рис. 20.

### Предварительная кристаллизация

Затвердевание масла какао в устойчивой кристаллической модификации предполагает предварительную кристаллизацию шоколадных масс. Этот процесс очень сильно влияет на текучесть массы. Изменения видны в вытопленном масле какао, т. е. в его жидкой фазе (16).

Изучая влияния процессов кристаллизации на вязкость массы, Дук установил (3):

$$\eta_{SM} = K_2 \cdot \bar{M}_{KГ} \quad (13)$$

Здесь  $\bar{M}_{KГ}$  — процент доли упрочненного жира в темперированном расплавленном шоколаде

$\eta_{SM}$  — вязкость предварительно кристаллизованной массы

$K_2$  — постоянная

Это значит, что вязкость предварительно кристаллизованной массы растет пропорционально проценту упрочненного жира. Бюб установил работе (2), что с ростом кристаллов возрастает момент вращения. Из этого можно выводить повышение вязкости.

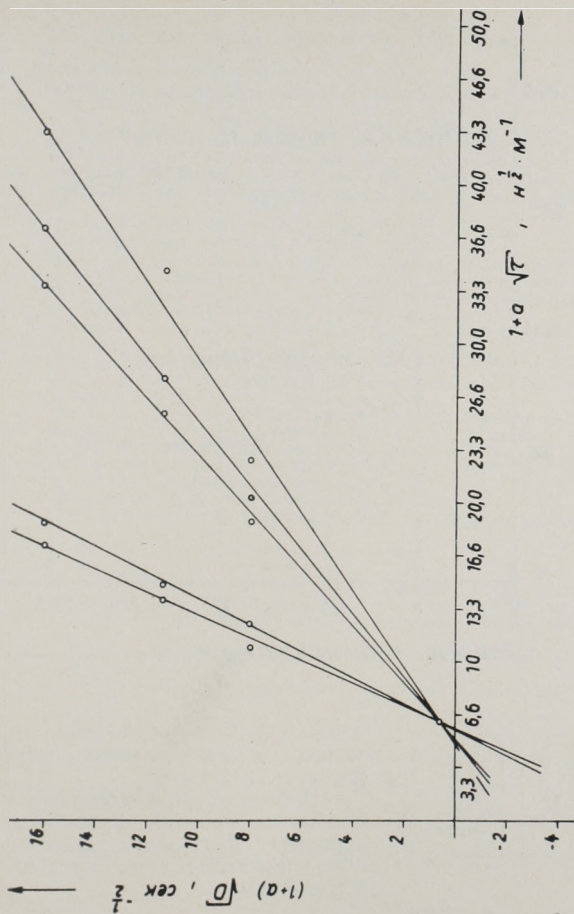


Рис. 21.

#### 4. Влияние реологических свойств на качество шоколада и возможности оптимизации

При изготовлении и обработке шоколадных масс текучесть является существенной технологической характеристикой, которая влияет на количество, применяемое для глазури. При густой шоколадной массе глазировочная доля слишком велика, и наоборот. И толщина стенок пустотелого шоколада на центробежных установках сильно зависит от текучести массы. От качественного шоколада требуется между прочим безупречное внешнее и внутреннее состояние. Это значит между прочим, что плиточный шоколад должен быть свободным от включений, от воздушных пузырьков. Постоянная теку-

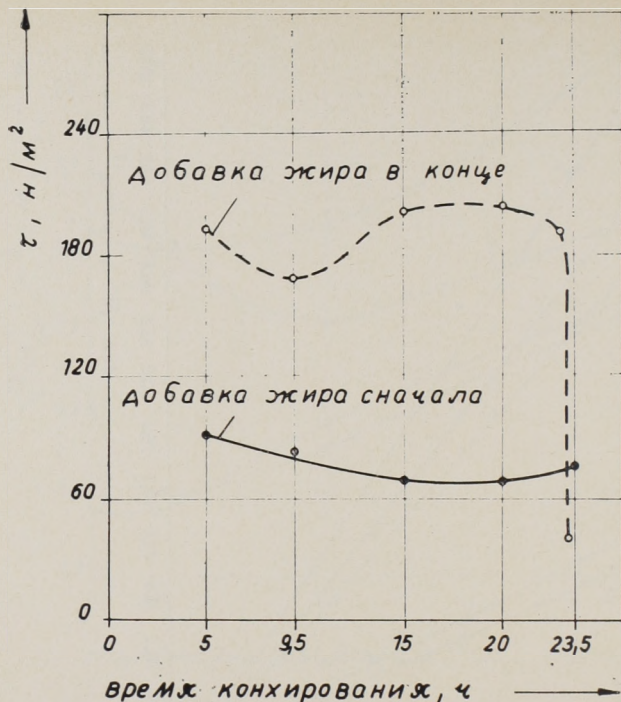


Рис. 22.

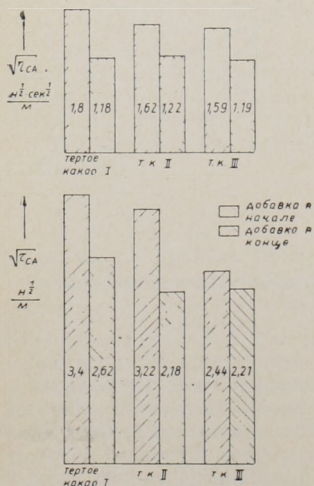


Рис. 22.

чество имеет большое значение и для определения размеров насосов, трубопроводов, форсунок, дозаторов.

Предпосылкой соблюдения постоянной текучести является математический учет влияющих факторов, а также ее измерение и регулирование в процессе изготовления и обработки.

- (1) *Bartusch, W., W. Mohr*: Die Ernährungsindustrie 68, 3, 11, 1966.
- (2) *Bueb, M.*: Chemie-ingenieur-Technik, 43, 7, 452, 1971.
- (3) *Duck, W.*: Fette, Seifen, Anstrichmittel, 62, 705, 1960.
- (4) *Fincke, A.*: Beiträge zur Lösung rheologischer Probleme in der Schokoladentechnologie. Dissertation, TH Karlsruhe (1961).
- (5) *Fincke, A., W. Heinz*: Fette, Seifen, Anstrichmittel 58, 902, 1956.
- (6) *Fincke, A., W. Heinz*: Kolloid-Zeitschrift 152, 148, 1957.
- (7) *Fincke, A., W. Heinz*: Untersuchung zur Rheometrie und Rheologie geschmolzener Schokolade. Die Ernährungsindustrie, 59, 8, 34, 1957., 60, 8, 21, 1958.
- (8) *Fincke, H.*: Handbuch der Kakaoverzeugnisse. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1965.
- (9) *Heiss, R., Bartusch, W.*: Rev. Int. Choc., 12, 350, 1957.
- (10) *Heiss, R., Bartusch, W.*: Rev. Int. Choc., 12, 302, 1957.
- (11) *Igel, M., Schmidt, K.*: Untersuchungen zur Abhängigkeit der Fließeigenschaften von Schokoladenmassen in Abhängigkeit vom Wassergehalt und dem Akomandingehalt im Austausch mit Kakaobutter unter Voraussetzung eines durchschnittlichen gleichen Kornspektrums. Ingenieurpraktikumsarbeit, TU Dresden, 1972.
- (12) *Jakl, L., Krýsllová, E.*: Reologie cokoládových polev. Vliv teploty na tokové. Listy čukovarnické, Praha, 89, 12, 283, 1973. 90 1, 15 1974.
- (13) *Kleinert, J.*: Rev. Int. Choc., 24, 74, 1969.
- (14) *Kovačić, J.*: Utjecaj granulometrijskog sastava na reoloska svojstva cokoladnih masa. Magisterarbeit, Zagreb, 1973.
- (15) *Lászlóty, R., Major, J., Salgó, A.*: Die Rolle der Viskositätsmessung in den kontinuierlichen technologischen Prozessen der Süßwarenindustrie. Tagung „Kontinuierliche Prozeßgestaltung in der Lebensmittelproduktion“, Dresden, 1975.
- (16) *Linke, L.*: Untersuchungen zum Prozeß des Überziehens von Erzeugnissen der Süßwarenindustrie mit Schokoladenmasse. Dissertation, TU Dresden, 1970
- (17) *Mühle, T., Tschuschner, H. D.*: Die Lebensmittel-Industrie, 22, 2, 67, 1975
- (18) *Müller, H. G.*: An introduction to food rheology. Crane, Russak&Company, Inc., New York, 1973
- (19) *Niediek, E. A.*: Gordian, 3/1970, S. 244; 6/1970, S. 300
- (20) *Niediek, E. A.*: Rev. Int. Choc., 27, 3, 50, 1972.
- (21) *Niediek, E. A.*: Untersuchungen zur Ermittlung optimaler Verfahren für die Herstellung von Schokoladenmassen. Dissertation, Univ. Karlsruhe, 1968.
- (22) *Prautzsch, O.*: Fließverhalten flüssiger Schokoladenmassen. Diplomarbeit, TU Dresden, 1971.
- (23) *Sarembe, H.*: Untersuchungen zur Beschichtung mit Überzugsmasse. Diplomarbeit, TU Dresden, 1967.
- (24) *Sommer, K.*: Physikalische Vorgänge beim Conchieren. Dissertation, Univ. Karlsruhe, 1974.
- (25) *Steiner, E. H.*: Rev. Int. Choc, 12, 423, 1957.
- (26) *Steiner, E. H.*: Rev. Int. Choc., 13, 302, 1958.
- (27) *Thomas, F. G., Schäfer, J.*: Fördern pastöser Güter. Forschungsbericht, Kombinat Nagema, 1974.
- (28) *Tückmantel, H. I.*: Gordian, 69, H. 1624, S. 89; H. 1624, S. 135.
- (29) *Zürcher, K.*: Gordian, 1969, Nr. 6, S. 277; Nr. 7, S. 327.
- (30) Patent-Nr. 167032 WP, DDR. Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen von Schokoladenmassen.
- (31) *Zielinski, M., Niediek, E. A., Sommer, K.*: Gordian, 74, S. 135 u. 287, 1974.

## A CSOKOLÁDÉMASSZÁK REOLÓGIAI SAJÁTSÁGAI ÉS MINŐSÉGE

*Mühle, T. – Tschuschner, H. D.*

Szerzők saját vizsgálataik és az irodalmi adatok kritikai értékelése alapján áttekintést adnak a csokoládémassza reológiai tulajdonságait befolyásoló tényezőkről (kakaóvajtartalom, víztartalom, lecitin mennyisége, hőmérséklet stb.). Nagy figyelmet szentelnek a csokoládémassza reológiai sajátosságainak leírására alkalmas modelleknek és egyenleteknek. Különös részletességgel tárgyalják a granulometriás állapot jelentőségét és szerepét. Végül röviden taglalják a reológiai tulajdonságok és a minőség közötti összefüggéseket az optimalizálás kérdéseit.

## RHEOLOGICAL PROPERTIES OF CHOCOLATE MASSES AND THEIR QUALITY

*T. Mühle and Tscheuschner, H. D.*

On the basis of own investigations and of a critical evaluation of the data of literature a survey is given of the factors affecting the rheological properties (content of cocoa butter, water content, amount of lecithin present, temperature etc.) of the chocolate mass. Great attention is paid to models and equations suitable for the description of the rheological properties of the chocolate mass. The significance and role of the granulometric state is discussed in detail. Relationship between rheological properties and quality from the aspect of optimization is surveyed briefly.

## RHEOLOGISCHE EIGENSCHAFTEN VON SCHOKOLADEMASSEN UND IHRE QUALITÄT

*T. Mühle und H. D. Tscheuschner*

Auf Grund von eigenen Untersuchungen und von Literaturangaben wird eine Übersicht über die die rheologischen Eigenschaften der Schokoladenmasse beeinflussenden Faktoren (wie der Gehalt an Kakaobutter und Wasser, die Menge des Lecithins, die Temperatur usw.) gegeben. Eine besondere Aufmerksamkeit wird den zur Beschreibung der rheologischen Eigenschaften der Schokoladenmasse geeigneten Modellen und Gleichungen gewidmet. Die Bedeutung und Rolle des granulometrischen Zustandes werden äusserst ausführlich besprochen. Schliesslich werden die zwischen den rheologischen Eigenschaften und der Qualität bestehenden Zusammenhänge vom Standpunkt der Optimierung kurz behandelt.

## LES CARACTÉRISTIQUES RHÉOLOGIQUES ET LA QUALITÉ DES MASSES DE CHOCOLAT

*T. Mühle et H. D. Tscheuschner*

A partir de leurs propres études et de l'évaluation critique des données de littérature, les auteurs rendent compte des facteurs qui influencent les caractéristiques de la masse de chocolat (les teneurs respectives en beurre de cacao, en eau, la quantité de lécithine, la température, etc.) Ils accordent beaucoup d'attention aux modèles et équations qui se prêtent à décrire les propriétés rhéologiques de la masse de chocolat. C'est avec une grande abondance de détails qu'ils traitent de l'importance et du rôle de l'état granulométrique. Enfin ils traitent brièvement les corrélations entre les propriétés rhéologiques et la qualité, ainsi que les problèmes de l'optimalisation.