

Значение шероховатости контактной поверхности при производстве функциональных продуктов на молочной основе

Канд. техн. наук **Б.В. МАНЕВИЧ**,
д-р техн. наук **Ж.И. КУЗИНА**,
Т.В. КОСЬЯНЕНКО
ВНИИ молочной промышленности

Известен факт, что все составные части перерабатываемого сырья и конечного продукта, контактирующие с поверхностями оборудования, образуют на них различные по составу и виду загрязнения в виде пленок или слоев. Образование этих загрязнений связано с межфазным взаимодействием — адгезией жидкого молочного (молокосодержащего) продукта с твердой поверхностью, обеспечивающей достаточно прочное соединение за счет физических и (или) химических молекулярных сил.

Оценивая адгезию как межфазное взаимодействие между твердой металлической поверхностью оборудования и жидким многокомпонентным продуктом, необходимо учитывать смачивание, растекание и прилипание жидкой фазы [1, 2]. Особенно это важно в тех случаях, когда рассматривается контакт этой поверхности с легко смачивающей жидкостью на молочной основе, содержащей не только белки и жиры, но и в качестве сорбентов взвешенных частиц различные функциональные добавки и наполнители. Взвешенные вещества, как, например, ряд пищевых волокон, обладают выраженным молекулярным притяжением к твердой поверхности — адсорбцией. Давно отмечено, что чем сложнее компонентный состав продукта, тем более выражены его адсорбционные, а зачастую и хемосорбционные, свойства.

Молоко обладает лучшей смачивающей способностью по сравнению с водой. Поверхностное натяжение

цельного молока составляет примерно 44 мН/м, воды — около 72 мН/м [3]. Увеличение содержания белков и свободных жирных кислот в молоке снижает поверхностное натяжение, улучшает смачиваемость твердой поверхности и потенциально повышает степень адгезии.

Наиболее сложные с точки зрения удаления высокоадгезионные загрязнения образуются на поверхностях теплообменного оборудования, что связано с частичной денатурацией и гелеобразованием молочных и сывороточных белков. Особенно это выражено при производстве различных обогащенных или функциональных продуктов на молочной основе с различными пищевыми волокнами, например сухим экстрактом виноградных гребней или молочно-мучных ферментированных продуктов [4, 5]. На ряде предприятий отмечалось появление сложных, трудноудаляемых загрязнений на поверхностях теплообменного оборудования, где осуществлялась пастеризация (при 65–80 °С), а иногда и стерилизация (до 137 °С) молочной смеси с добавлением различных пищевых волокон. Технологические процессы производства подобных продуктов, предусматривающие диспергирование и термическую обработку смеси, требуют повышенного внимания к контролю образования адгезионных загрязнений и сложности соблюдения гигиенических требований, связанных с их удалением с поверхностей оборудования.

Немаловажную роль в физической составляющей процесса адгезии играет шероховатость контактной поверхности. Неслучайно в ГОСТ Р 50803–2008 «Машины и оборудование для пищевой промышленности. Ре-

зервуары для охлаждения и хранения молока на молочно-товарных фермах и приемных пунктах. Технические требования и параметры безопасности», устанавливающим технические требования и параметры безопасности к основным видам оборудования молочных предприятий, рекомендована шероховатость поверхностей (например, молочной ванны) из нержавеющей стали не более 1,0 мкм. Речь идет о значении шероховатости Ra как среднеарифметическом абсолютном значении отклонений профиля в пределах базовой длины в соответствии с ГОСТ 2789–73 «Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики». При этом необходимо отметить, что на практике этот параметр (Ra — отклонение профиля микронеровностей) не всегда учитывает визуально видимые, осязаемые царапины и деформации на поверхностях, несмотря на то, что он является основным критерием определения качества полировки поверхности.

Показатель шероховатости поверхности пищевого оборудования связан с потенциальными микробиологическими проблемами. Поскольку минимальный размер большинства бактерий и спор около 0,7 мкм, есть вероятность, что на поверхности с шероховатостью, большей или равной размерам бактерий, может закрепиться и достаточно быстро размножиться нежелательная микрофлора.

Все основное и вспомогательное технологическое оборудование, аппаратура, инвентарь, тара должны быть изготовлены из материалов, разрешенных органами Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека для контакта с пищевыми продуктами. Кроме этого технологи-

ческое оборудование должно иметь гигиеничное исполнение, быть гладким, легко очищаемым, стойким к коррозии, без застойных участков, щелей, зазоров, выступающих заклепок или болтов и различных элементов, затрудняющих проведение санитарной обработки. Неслучайно все чаще в молочной промышленности используется такой термин, как «гигиеничный дизайн» оборудования.

Ряд исследований указывает на то, что некачественная санитарная обработка (мойка и дезинфекция) может провоцировать неконтролируемый рост микроорганизмов и способствовать развитию биопленок. Биопленки, кроме потенциальной контаминации продукции, могут препятствовать регламентированным режимам теплопередачи на теплообменных видах оборудования, в том числе обеспечивающих процессы ультрапастеризации и стерилизации. Есть данные о том, что микробиопленка толщиной всего 50 мкм может сократить теплопередачу до 30 % [6, 7].

Кроме этого на шероховатых объектах или в «застойных», непромываемых зонах биопленки могут вызывать развитие коррозионных процессов на поверхностях оборудования. Металл поверхности подвергается коррозии из-за существования биопленки и метаболической активности присутствующих микроорганизмов внутри биопленки, вызывая дорогостоящие структурные повреждения оборудования [8, 9].

В проведенных нами исследованиях в качестве тест-объектов использовали пластины из аустенитной нержавеющей хромоникелевой стали (марки 08X18H10T) с разным качеством обработки, полировки и, соответственно, шероховатости. Данная марка стали является достаточно распространенной среди нержавеющей стальных сплавов, используемых в различных видах технологического оборудования на пищевых предприятиях, в частности молокоперерабатывающих, что обусловлено ее эксплуатационными характеристиками. Изделия из этого материала могут контактировать без негативных последствий с большинством рабочих растворов разрешенных щелочных и кислотных средств санитарной обработки.

Для измерений использовали портативный измеритель шероховатости TR 100 (TIME TR100 Surface Roughness

Tester). Измерения проводили на четырех образцах с двух сторон по площади образца по ГОСТ 2789–73 щуповым контактным методом, при котором измерения осуществляются при помощи профилометра. Профилометр представляет собой чувствительный датчик, оборудованный тонкой, остро заточенной алмазной иглой, с так называемой ощупывающей головкой. Алмазная игла прижимается и перемещается параллельно исследуемой поверхности. В местах возникновения микронеровностей (выступов и впадин) возникают механические колебания измерительной головки иглы. Эти колебания передаются в датчик, преобразующий механическую энергию колебания в электрический сигнал, который усиливается преобразователем и измеряется. Записанные параметры этого сигнала в точности повторяют неровности на шероховатой поверхности детали.

Тест-пластины № 1 и 2 с визуально гладкой, почти зеркальной, полированной поверхностью имели показатели профиля Ra=0,02 мкм, Rz=0,24 мкм, класс шероховатости 12 (13) и Ra=0,18 мкм, Rz=1,91 мкм, класс шероховатости 9 (8) соответственно (табл. 1). Тест-пластины № 3 и 4 с гладкой, матовой поверхностью, визуально видимыми царапинами

и неровностями имели показатели профиля Ra=1,28 мкм, Rz=10,14 мкм, класс шероховатости 6 и Ra=1,33 мкм, Rz=11,35 мкм, класс шероховатости 6 (5) соответственно.

Перед контаминированием тест-пластины № 1–3 обрабатывали вручную методом погружения и протирания с помощью профессиональной уборочной щетки в 1,5 %-ном рабочем растворе щелочного пенного моющего средства «Катрил-В п». Ополаскивали проточной водопроводной водой и погружали в 0,2 %-ный раствор кислородактивного дезинфицирующего средства «Катрил-Дез» с концентрацией 0,029 % ДВ-НУК на 10 мин при комнатной температуре. После дезинфекционной экспозиции ополаскивали проточной водопроводной водой, контролируя удаление остаточных количеств дезинфектанта с помощью индикаторных полосок «Peracetic Acid Test» и «Peroxid-Test» фирмы Merck KGaA. Индикаторные полоски позволяют определять основные действующие вещества — надуксусную кислоту (НУК) в пределах 5–50 мг/л (0,0005–0,005 %) и перекись водорода (ПВ) в пределах концентраций от 0,5 до 25 мг/л, т.е. от 0,00005 до 0,0025 %.

Молочную смесь для контаминирования тест-пластин готовили следующим образом. В ультрапасте-

Таблица 1

Определение показателей и класса шероховатости тест-пластин

Показатель профиля	Значение, мкм									
Тест-пластина № 1, l = 0,25 мм, класс шероховатости 12 (13)										
Ra	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Rz	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,24
Тест-пластина № 2, l = 0,8 мм, класс шероховатости 9 (8)										
Ra	0,15	0,24	0,16	0,20	0,15	0,16	0,20	0,18	0,18	0,18
Rz	1,4	2,5	2,0	1,8	1,5	2,0	1,8	2,3	2,3	1,91
Тест-пластина № 3, l = 2,5 мм, класс шероховатости 6										
Ra	1,40	1,29	1,47	1,12	1,33	1,40	1,28	0,93	0,93	1,28
Rz	12,1	8,7	10,3	9,4	10,8	12,0	10,1	7,7	7,7	10,14
Тест-пластина № 4, l = 2,5 мм, класс шероховатости 6 (5)										
Ra	0,94	1,37	1,03	1,81	1,47	1,24	1,48	1,33	1,33	1,33
Rz	7,6	12,3	10,4	11,0	11,1	11,0	14,1	13,3	13,3	11,35

Примечание: l – длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности, мм; Ra – среднеарифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины, мкм; Rz – наибольшая высота профиля, т.е. сумма высоты наибольшего выступа профиля и глубины наибольшей впадины профиля в пределах базовой длины, мкм.

ризованное молоко (массовая доля жира — 3,5 %, белка — 3,0 %, углеводов — 4,7 %) в условиях диспергирования при 3000 об/мин и 55–60 °С вносили подготовленные пшеничные пищевые волокна — 2 и 1 % инулина до получения однородной гомогенной смеси, охлаждали до 50 °С. Затем тест-пластины погружали в приготовленную смесь. Пластины удаляли, давали стечь смеси, подсушивали в течение 30 мин при комнатной температуре, погружали в емкость с 1 %-ным моющим раствором «Катрил-В н/п» и включали мешалку, создающую интенсивное перемешивание раствора, имитирующее процессы рециркуляции моющего средства. Температура рабочего раствора составляла 25–30 °С, экспозиция — 10–12 мин. Затем извлекали пластины и ополаскивали их проточной водопроводной водой до нейтральной реакции. После брали смывы со всей поверхности пластин тестом «UltraSnap» для оценки степени удаления смоделированного загрязнения. Кроме этого после дезинфекции перед контаминированием с помощью тестов «UltraSnap» брали смывы для оценки обеззараживания. Эксперименты проводили в трехкратной повторности.

Степень удаления органического загрязнения с поверхностей тест-пластин оценивали с помощью биолюминесцентного экспресс-метода АТФ-люминометрии. Органическая молекула аденозинтрифосфата (АТФ) играет важнейшую роль в процессах передачи энергии различных клеток животных, растений и микроорганизмов. Присутствие на поверхности АТФ говорит о степени ее чистоты, наличии органики и потенциальной возможности роста микроорганизмов. АТФ-загрязнения фиксировали с помощью люцинометра «System Sure Plus» (V.2) фирмы Hygiene LLC (Великобритания) и пробирок-тестеров

«UltraSnap» в относительных световых единицах (RLU). Люцинометр отображает результаты в относительных световых единицах, фиксируя люминесценцию, возникшую в результате реакции люциферин/люциферазы с АТФ. Интенсивность свечения (люминесценции) прямо пропорциональна количеству АТФ и, соответственно, чем выше результат, тем больше биологического материала перенесено пробой и выше контаминация тестируемой поверхности.

При идентичных условиях контаминации и последующего удаления загрязнений на более шероховатых поверхностях обнаруживается большее количество АТФ-загрязнений (табл. 2). По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что на более шероховатой поверхности или с низким классом шероховатости образуются более стойкие адгезионные загрязнения.

На практике часто сталкиваемся с тем, что, используя одно и то же моющее средство для санитарной обработки разных поверхностей, получаем различные результаты. Полированная и гладкая поверхность из нержавеющей стали лучше моется и дезинфицируется, так как сила сцепления загрязнений с ней меньше по сравнению с шероховатой поверхностью. Таким образом, эффективность санитарной обработки оборудования зависит от степени их загрязнения, свойств моющих и дезинфицирующих средств, концентрации и температуры применяемых растворов, режима ополаскивания, жесткости используемой воды, а также материала, из которого изготовлено оборудование.

Очевидно, что свойства поверхностей оборудования и компонентный состав функциональных продуктов на молочной основе существенно образом влияют на адгезию возникающего загрязнения и в дальнейшем требуют научно обоснованных

решений по санитарной обработке для обеспечения необходимых показателей качества и микробиологической безопасности выпускаемой продукции.

Необходимо отметить, что исследование свойств поверхностей имеет не только академический интерес. При комплексном анализе приобретает важное прикладное значение, заключающееся в мониторинге состояния оборудования, использовании коррозионно-безопасных индифферентных к определенным материалам средств санитарной обработки и профессионального уборочного инвентаря, а также разработке полноценных клининговых программ в каждом конкретном случае.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Фролов, Ю.Г.** Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. — М.: Химия, 1989. — 464 с.
2. **Зимон А.Д.** Адгезия жидкости и смачивание. — М.: Химия, 1974. — 75 с.
3. **Chandan, R.** Dairy Based Ingredients: Practical Guides for the Food Industry/ R.Chandan. — Eagen Press Handbook Series, Minnessota, USA, 1997.
4. **Зобкова, З.С.** Выбор источников биологически активных веществ для функциональных кисломолочных продуктов/ З.С.Зобкова [и др.]// Молочная промышленность. 2018. № 3. С. 59–62.
5. **Федотова, О.Б.** Молочно-мучные безглютеновые ферментированные продукты. Научно-технологические аспекты создания/ О.Б.Федотова [и др.]// Молочная промышленность. 2018. № 3. С. 66–68.
6. **Scott, S.A.** The formation of thermophilic spores during the manufacture of whole milk powder/ S.A.Scott [et al.]// Int. J. Dairy Technol. 2007. V. 60. P. 109–117.
7. **Russell, P.** The formation of biofilms/ P.Russell// Milk Industry. 1993. V. 95. P. 10–11.
8. **Hilbert, L.R.** Influence of surface roughness of stainless steel on microbial adhesion and corrosion resistance/ L.R.Hilbert [et al.]// Int. Biodeter. Biodegr. 2003. V. 52. P. 175–185.
9. **Gupta, S.** Induction of pitting corrosion on stainless steel (grades 304 and 316) used in dairy industry by biofilms of common sporeformers/ S.Gupta, S.Anand// Int. J. Dairy Technol. 2017. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12444>.

Таблица 2
Выявление АТФ-загрязнений на тест-пластинах

Тест-поверхность	Класс шероховатости	Наличие АТФ-загрязнений*, RLU	
		До контаминации	После контаминации и мойки
Пластина № 1	12	4/1/2 – 2,3	15/9/24 – 17
Пластина № 2	9	4/6/3 – 4,3	82/43/96 – 74
Пластина № 3	6	8/5/11 – 8,0	274/148/382 – 268

*Показатели АТФ в трех повторностях и среднее значение (1/2/3 – ср.) в RLU.