

Технологические процессы и оборудование

УДК 53.091 + 544.2

ВЯЗКОПЛАСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕТЕРОГЕННЫХ КОМПОЗИЦИЙ В ПРОЦЕССЕ ИХ СМЕШИВАНИЯ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ ИЗМЕНЕНИЯ. ИННОВАЦИИ В ОБЛАСТИ СМЕСИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Г.Д. Апалькова

Статья посвящена вопросам вязкопластических свойств гетерогенных композиций в процессе их смешивания и закономерностям их изменения. Рассмотрены инновации в области смесильного оборудования.

Ключевые слова: смешивание, вязкопластические свойства, гетерогенные композиции, структурно-механическая прочность, смесильное оборудование.

При большом разнообразии технологических циклов в схемах производства как пищевой, так и непищевой продукции, процесс механического смешивания как типичный для большинства технологий, является одним из определяющих основные характеристики продукции.

Смешивание как объединение различных исходных материалов предполагает расход энергии, для классических смесителей это расход электроэнергии, в определенной степени лимитирующей экономику процесса.

В рамках данной работы рассматриваются гетерогенные композиции, т. е. содержащие более одной фазы, как правило, твердую (наполнитель) и жидкую (связующее), т. е. физически неоднородные материалы.

Смешивание жидкостей и твердых веществ, особенно в промышленных масштабах, имеет свои проблемы, к числу которых можно отнести образование агломератов (непромесов), попадание воздуха в смесь, чрезмерное пылеобразование, выделение паров и др., что не исключает отклонений качества в отдельных партиях произведенной продукции или потери сырья. Поиск решений, позволяющих избежать типичных проблем смешивания, сохраняя при этом низкие затраты на персонал, чистку, утилизацию и энергетические ресурсы, составляет одну из задач системы менеджмента качества.

Для процессов смешивания в целом важной характеристикой являются реологические свойства получаемых композиций, которые существенным образом определяют их технологические характеристики.

Реология как раздел физики, изучающий деформации и текучесть, охватывает все материалы. В связи с тем, что данная работа ограничена рамками исследования гетерогенных композиций, для которых вопросы текучести неактуальны, исследовали их вязкопластические свойства.

При всем разнообразии используемых материалов тенденции и закономерности процесса смешивания являются общими.

Одной из основных теоретических и практических проблем, требующей своего решения для получения бездефектной продукции, является получение гетерогенной композиции (на практике именуемые «массами») с оптимальными вязкопластическими свойствами, позволяющими обеспечить получение однородной массы при смешивании и качественную продукцию на последующих переделах.

При этом массы подразделяются на 2 основные группы:

– с последующим прессованием (экструзией), что диктует определенные требования по механической прочности;

– с последующим формованием, что также диктует свои требования к массам как по вязкости, так и по прочности в зависимости от способа формования.

Важное место в ряду этих проблем занимают вопросы оптимального содержания связующего.

Отклонение содержания связующего от оптимального в ту или иную сторону («сухая» или «жирная» масса) в равной степени неблагоприятно для получения качественных заго-

Технологические процессы и оборудование

товок и приводят к увеличению вероятности образования макро- и микродефектов. Так, в случае масс с избытком связующего вследствие повышенного удаления летучих может возникнуть местная повышенная пористость. Заготовки из таких масс склонны к деформации. «Сухие» массы, т. е. массы с недостаточным содержанием связующего, чреваты возможностью образования «непромесов». Кроме того, для пропрессовки «сухой» массы необходимо увеличение силовой мощности прессового оборудования. В итоге не исключены случаи появления «рыхлостей» (осыпающиеся или выкрашивающиеся части поверхности) и «пустот» (отверстия, полученные от выпадания зерен наполнителя или от скопления воздуха в отдельных местах).

Известно, что зависимость основных физико-механических свойств изделий от содержания связующего носит явно выраженный экстремальный характер. На рис. 1 схематично представлена зависимость плотности и механической прочности изделий от содержания связующего [1]. При этом попадание содержания связующего в область оптимальных значений обеспечивает улучшение свойств до 30 %. И здесь – один из резервов повышения качества высокопрочной продукции.

Несмотря на актуальность вопросов оптимизации содержания связующего, они в недостаточной мере изучены, что связано с отсутствием в широкой исследовательской практике надежных и информативных методов их исследования.

Сегодня недостаток или избыток связующего в массе в промышленном масштабе определяется визуально – «сухая» или «жирная» масса и оцениваются только квалификацией технологического персонала. Инструментальных методов нет и не просматриваются. Контролируемые параметры – температура и вре-

мя смешивания в полной мере не отражают качество массы.

Вязкость связующего как компонента массы оказывает влияние на её вязкопластические свойства, но сложный характер адсорбционного и хемосорбционного взаимодействия связующего с активной поверхностью наполнителя по степени влияния в данном аспекте превалирует.

Исследования реологических свойств масс немногочисленны и вопросы оптимизации вязкопластических свойств масс продолжают относиться к числу наиболее сложных и важных в различных производствах.

Более того, задача оптимизации содержания связующего в массе перерастает в научную проблему, так как на основании одних эмпирических данных можно решить лишь частные вопросы. Необходимы глубокие теоретические и экспериментальные проработки.

В процессе смешивания, прессования, термообработки протекают взаимосвязанные физико-механические превращения, которые в значительной степени определяются реологией смешивания. Вязкопластические свойства в процессе смешивания зависят от многих факторов: от размера и формы частиц наполнителя и его гранулометрического состава, числа смешиваемых компонентов и их поверхностной активности (адсорбционной и хемосорбционной), плотности, коэффициента трения между частицами, способности частиц наполнителя смачиваться связующим, условиями взаимодействия связующего и наполнителя, наличие различных добавок, что в совокупности характеризует систему активно взаимодействующих компонентов «связующее – наполнитель».

В рамках данной работы приводятся результаты исследований с использованием для количественной оценки вязкопластических свойств масс пластографа типа PI фирмы

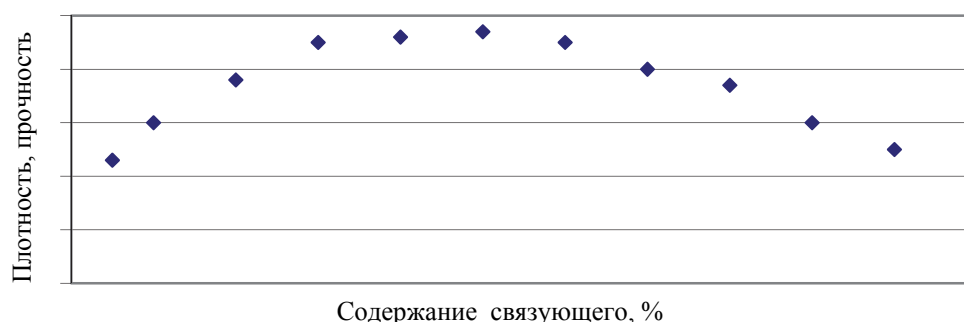


Рис. 1. Зависимость механической прочности продукции от содержания связующего (схематично)

Brabender (Германия). Данный прибор регистрирует изменение крутящего момента и его колебания на валу смесильной камеры как функцию вязкопластических свойств масс (или сопротивление смешиванию), т. е. фиксируются силовые параметры процесса.

Преимуществом данной методики является масштабное моделирование процесса в аналогах промышленных смесителей с фиксированием силовых параметров процесса, которые лимитируют потребление электроэнергии в процессе смешивания.

В качестве модельных использованы углеродные материалы как типичные представители широкого класса органических и неорганических материалов.

Исследования различных углеродных материалов как природного происхождения, так и искусственных, показали, что характер зависимостей вязкопластических характеристик имеют идентичный характер, отличия лишь в численных значениях показателей [1, 2], что позволяет говорить об общих закономерностях процессов смешивания гетерогенных композиций.

Влияние содержания связующего на вязкость масс на основе монофракции с удельной поверхностью $20 \text{ м}^2/\text{г}$ приведено на рис. 2.

Как видно из приведенных данных, вязкость масс от содержания связующего также имеет экстремальный характер. При увеличении содержания пека вязкость масс возрастает до определенной величины, затем снижается. Это объясняется тем, что при недостатке свя-

зующего масса не является связной, и поэтому она не оказывает достаточного сопротивления перемешиванию. При избытке связующего масса обладает связностью, но ее разрушение (разрыв) при перемешивании протекает по прослойкам связующего значительной толщины, и его избыток как пластичного компонента снижает величину сопротивления смешиванию. При содержании связующего, отвечающего максимуму момента вращения (вязкости), в объеме композиции возникает непрерывная пространственная сетка связующего определенной (минимальной) толщины, обладающая максимальной прочностью.

Перемешивание таких масс сопряжено со значительным сопротивлением, приводящим к увеличению потребляемой мощности.

Увеличение энергии смешивания способствует более равномерному распределению наполнителя в связующем за счет увеличения сдвигающих усилий в смешиваемом объеме.

Результаты оценки прочности спекания таких композиций по показателю «предел прочности на разрыв» приведены на рис. 3.

Таким образом, оптимальному содержанию связующего соответствует увеличение энергии смешивания. Прочная структурно-механическая связь, заложенная на стадии смешивания масс, сохраняется и на готовых изделиях.

Этот момент достаточно важен для теории и практики процесса смешивания.

Исследования по использованию методов

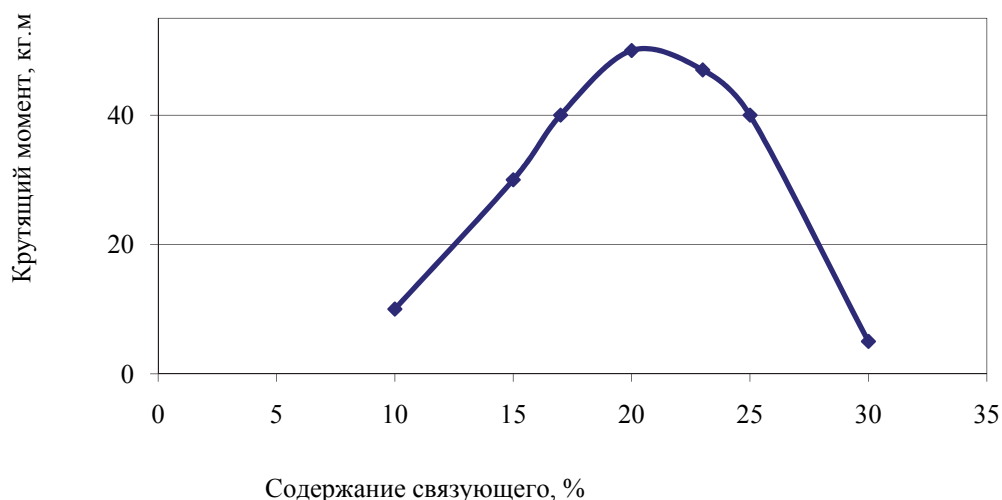


Рис. 2. Зависимость вязкопластических свойств масс на основе монофракции с удельной поверхностью $20 \text{ м}^2/\text{г}$ от содержания связующего

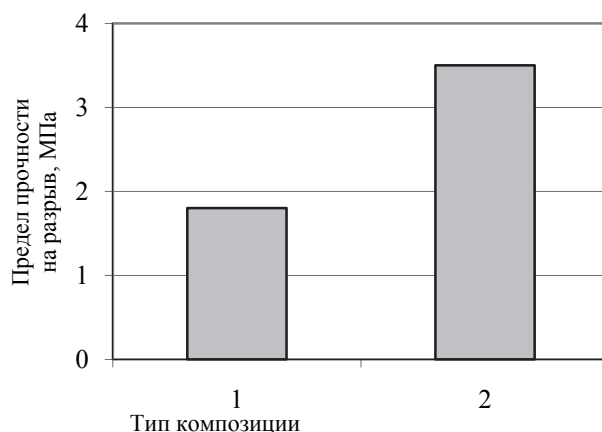


Рис. 3. Спекаемость масс с различным содержанием связующего: 1 – 15 %; 2 – 20 %

сонохимии в пищевой промышленности показывают, что применение электрофизических воздействий, т. е. по существу дополнительное увеличение энергии при получении масс (фаршей) обеспечивает оптимизацию процессов формирования структуры продуктов переработки мяса [3].

Режимы смешивания в промышленности на отечественных смесителях, как правило, характеризуются низким уровнем затрачиваемой механической энергии и не всегда соответствуют оптимальным.

Анализ современных тенденций модернизации процесса смешивания показывает эффективность и перспективность смесителей интенсивного типа ведущих мировых производителей¹, используемых сегодня во многих странах в различных отраслях для обработки сырья и приготовления смесей.

Благодаря возможностям регулирования оснащения машин и энергетической зоны гарантируется высокая степень эффективности.

Для данных смесителей характерны:

- наклонный вращающийся резервуар;
- вращающийся смесительный инструмент;
- регулируемый многофункциональный инструмент.

В результате потребитель имеет преимущества:

- оптимальная гомогенизация смеси;
- уменьшение продолжительности смешивания;

- незначительная подверженность износу;
- конструкция, не требующая интенсивного техобслуживания;
- непрерывный или периодический режим работы.

По сообщениям компании ЗАО «ЭНЕРГОПРОМ МЕНЕДЖМЕНТ» при модернизации смесительного производства ОАО «ЭПМ-НЭЗ» использовалось оборудование ведущих мировых производителей, в том числе установлены 2 смесителя фирмы «Eirich». Эти смесители позволили достичь оптимальной гомогенизации и обработки смешиваемого материала, уменьшения времени смешивания и охлаждения, позволили качественно изменить подготовку массы. Данное оборудование было изготовлено и установлено за 2 года, потребовало инвестирования более 5 млн долл. Компания сообщает об эффективности инвестиций в качество [4].

Литература

1. Апалькова, Г.Д. Исследование вязкопластических свойств пекоуглеродных композиций и закономерности их изменения / Г.Д. Апалькова // Производство углеродной продукции. Формирование свойств углеродной продукции на «зеленом» переделе: Сб. трудов. Вып. II / под ред. А.Н. Селзнева. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. – 2006. – С. 85–96.

2. Апалькова, Г.Д. Исследование вязкопластических свойств пекоуглеродных масс на основе термоантрацита и графита в производстве углеродной футеровки для алюминиевых электролизеров / Г.Д. Апалькова // Углерод: фундаментальные проблемы науки, ма-

¹ Интенсивные смесители фирмы АЙРИХ (EIRICH, GERMANY) (Рекламный проспект – техническое описание).

териаловедение, технология: Материалы 1-й междунар. научной конф. – М., МГУ, 2002.

3. Потороко, И.Ю. Совершенствование реологических характеристик мясных эмульсий на основе пищевой сонохимии / И.Ю. Потороко, Л.А. Цирульниченко // Торгово-экономические проблемы регионального бизнес-пространства: сборник материалов XI Международной конференции, 22–24 апреля 2013 г. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – С. 306–309.

4. Фокин, В.П. Реконструкция смесильно-прессовых переделов на заводах ЗАО «ЭНЕРГОПРОМ МЕНЕДЖМЕНТ» // В.П. Фокин, И.Н. Калайда, С.В. Ульяновченко // Современное состояние и перспективы развития электродной продукции, конструкционных и композиционных углеродных материалов: сборник докладов Международной конференции, 25–26 ноября 2010. – Челябинск, ООО «Энциклопедия», 2010. – С. 103–107.

Апалькова Галия Давлетхановна. Доктор технических наук, профессор кафедры «Товароведение и экспертиза потребительских товаров» института экономики, торговли и технологий, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), apalkova@yandex.ru

Поступила в редакцию 10 февраля 2014 г.

*Bulletin of the South Ural State University
Series "Food and Biotechnology"
2014, vol. 2, no. 2, pp. 35–40*

VISCOPLASTIC PROPERTIES OF HETEROGENEOUS COMPOSITIONS DURING THEIR MIXING AND REGULARITIES OF THEIR CHANGE. INNOVATIONS IN THE FIELD OF MIXING FACILITIES

G.D. Apalkova, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The article deals with viscoplastic properties of heterogeneous compositions during their mixing and regularities of their change. Innovations in the field of mixing facilities are considered.

Keywords: mixing, viscoplastic properties, heterogeneous composition, structural and mechanical strength, mixing equipment.

References

1. Apal'kova G.D. [Study on Viscoplastic Properties of Carbon Compositions and Regularities of their Change]. *Proizvodstvo uglerodnoy produktsii. Formirovanie svoystv uglerodnoy produktsii na «zelenom» pere-dele: Sb. trudov. Vyp. II. Pod redaktsiyey A.N. Selezneva* [Production of Carbon Products. Formation of Properties of Carbon Materials in the "Green" Production Area: Collected Works. Issue II. Edited by A.N. Seleznev]. Moscow, 2006, pp. 85–96. (in Russ.)

2. Apal'kova G.D. [Study on Viscoplastic Properties of Carbon Mass Based on Thermoanthracite and Graphite in the Production of Carbon Lining for Aluminum Electrolyzers]. *Uglerod: fundamental'nye problemy nauki, materialovedenie, tekhnologiya: Materialy 1-y mezhduнар. nauchnoykonf* [Carbon: Fundamental Problems of Science, Materials Science, Technology: Proceedings of the 1st International Scientific Conference]. Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 2002. (in Russ.)

3. Potoroko I.Yu., Tsurul'nichenko L.A. [Improvement of Rheological Properties of Meat Emulsions Based on Food Sonochemistry]. *Torgovo-ekonomicheskie problemy regional'nogo biznes-prostranstva: sbornik materialov XI Mezhdunarodnoy konferentsii*, 22–24 aprelya 2013 g. [Trade and Economic Issues of the Regional Business Space: Compendium of the XI International Conference, April 22–24, 2013]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2013, pp. 306–309. (in Russ.)

4. Fokin V.P., Kalayda I.N., Ul'yanchenko S.V. [Reconstruction of Mixing and Pressing Production Areas at the Factories of “ENERGOPROM MANAGEMENT” CJSC]. *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya elektrodnoy produktsii, konstruktsionnykh i kompozitsionnykh uglerodnykh materialov: sbornik dokladov Mezhdunarodnoy konferentsii*, 25–26 noyabrya 2010 [The Current State and Prospects for the Development of Electrode Products, Structural and Composite Carbon Materials: Collection of the International Conference reports, November 25–26, 2010]. Chelyabinsk, Entsiklopediya Publ., 2010, pp. 103–107. (in Russ.)

Apalkova Galiya Davletkhanovna, Doctor of Engineering Sciences, Professor of Merchandizing and Examination of Consumer Goods Department, the Institute of Economy, Trade and Technology, South Ural State University, apalkova@yandex.ru

Received 10 February 2014