

Возможности изготовления энерго-ресурсосберегающих емкостей для приготовления пищи

Алексеев Геннадий Валентинович

доктор технических наук, профессор

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики

Адрес: 197101, город Санкт-Петербург, пр-т Кронверкский, 49

E-mail: gva2003@mail.ru

Романчиков Сергей Александрович

кандидат технических наук

Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева

Адрес: 199034, город Санкт-Петербург, наб. Макарова д.8

E-mail: romanchkovspb@mail.ru

Савельев Алексей Петрович

слушатель

Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева

Адрес: 199034, город Санкт-Петербург, наб. Макарова д.8

E-mail: savelevaleksey1983@gmail.com

В статье рассматриваются возможности повышения эксплуатационных свойств технологического оборудования, в частности аппаратов для тепловой обработки продуктов питания, за счет улучшения теплопередачи на основе использования многослойных металлических композиций. Специалистам известно, какие проблемы представляет собой неравномерный прогрев по площади разнообразных емкостей для приготовления пищи: кастрюль, сковород, противней и других нагреваемых поверхностей. Перегрев одних участков и недостаточная температура других заставляет время от времени перемещать их вдоль греющей поверхности плиты, особенно, если источником тепла является сжигаемое газообразное или жидкое топливо. С одной стороны такая ситуация приводит часто к браку - пригоранию приготавливаемых продуктов питания, а с другой к перерасходу используемой в процессе варки или жарения тепловой энергии. Предупреждение такой ситуации возможно при использовании нового поколения материалов для изготовления емкостей для тепловой обработки пищи – многослойных композиционных материалов. Одной из серьезных проблем с которой приходится сталкиваться при производстве емкостей из таких материалов является соединение разных по физико-механическим свойствам материалов между собой. Приведены результаты оценки напряженного состояния композиции металлов «сталь+медь+сталь» полученной сваркой взрывом при нагреве в диапазоне температур 100 – 300°C.

Ключевые слова: аппараты пищевых производств, композиция металлов, напряжение, теплопередача

Создание новых конкурентоспособных образцов техники, в том числе для пищевой промышленности, вызывает необходимость создания материалов, обладающих комплексом ценных свойств, таких как высокая прочность, коррозионная стойкость, теплопроводность, износостойкость и др. Однослойные конструкционные элементы таких образцов из металлов или сплавов часто не могут обеспечить требуемую гамму свойств. Поэтому важная роль в создании, например, нового технологического оборудования со специальными свойствами, принадлежит слоистым металлическим композициям.

Известны многочисленные попытки устранения недостатков традиционных конструкций посуды. Существенность отличий между различными марками и сериями заключается в технологических характеристиках посуды - толщине стенок и толщине теплораспределительного слоя. Образцы посуды из нержавеющей стали изготавливаются методом глубокой вытяжки из холоднокатанного листа с отделкой поверхности и могут иметь самые различные формы (FreeImages, 2018; Pixabay, 2018). Теплораспределительный слой прикрепляется к ёмкости методом высокотемпературной пайки или диффузионной сварки. Он представляет собой алюминиевый или медный диск, заключённый

в капсулу из нержавеющей стали. Это делает возможным использование такой посуды при самых различных источниках нагрева. Ручки посуды крепятся к посуде либо методом контактной точечной сварки, либо с помощью клепки. Для отделки поверхности используются два основных вида полировки - зеркальная и матовая, а также их комбинация (Интернет-магазин немецких товаров Solingen-Shop.RU, 2018; ТМ «Биол», 2018).

Немаловажное значение имеет и их невысокая стоимость, а значит доступность для широкого использования в бытовых целях и массовом приготовлении пищи. Таким требованиям отвечают многие образцы ведущих европейских производителей. Отечественных аналогов такого качества производится недостаточное количество из-за сложности применяемой технологии формования криволинейных поверхностей.

В настоящее время аппараты для тепловой обработки пищи чаще всего выполняются из высоколегированных нержавеющей сталей с антипригарным покрытием. Их недостатком является сравнительно низкая теплопроводность, приводящая к подгоранию пищи в области локального нагрева, например, газовыми горелками. Для устранения этого недостатка целесообразно применение материалов с высокой тепло- и температуропроводностью, например, медных сплавов, которые обеспечат быстрый и равномерный нагрев рабочей поверхности посуды вне зависимости от способа и интенсивности подвода тепла. Исследованная и описанная технология формования многослойных рабочих поверхностей вполне конкурентоспособна с приемами применяемыми зарубежными фирмами для выпуска технологического оборудования, в частности сковород, кастрюль и ковшей, с трех и даже пятислойными стенками (Каталог фирмы Erringen, 2010; Бобылев, 1987).

Материалы и методы

Исследованиям подвергали стенки, которые содержат наряду с конструкционными стальными слоями как минимум один теплораспределяющий слой из меди или алюминия, который частично перераспределяет тепловые потоки, делая прогрев греющей поверхности посуды более равномерным. Вместе с тем, поскольку расстояние по нормали к источнику тепла в центре днища меньше чем на периферии, а условия теплопередачи везде одинаковые, то перегрев и пригорание пищи в центре полностью не исключаются, при этом достаточный ее прогрев на периферии требует дополнительного расхода тепла. Диффузионная

сварка или прокатка, с помощью которых изготавливают это технологическое оборудование достаточно энергоемки и сложны в реализации.

Кроме этого исследована возможность замены дорогих специальных сплавов сравнительно дешевой композицией металлов «сталь+медь+сталь». При этом рассматривались: возможность интенсификации передачи тепла медной основе через слой стали, обладающий низкой теплопроводностью, и определение соотношения толщины слоев композиции, обеспечивающего постоянство технологических свойств композиции металлов при воздействии высоких температур.

Одним из факторов, определяющих интенсивность теплопередачи через поверхность контакта металлов, является ее площадь. Среди известных технологий производства биметалла, позволяющих управлять поверхностью контакта, является сварка взрывом (Бобылев, 1987). При оптимальных режимах сварки профиль сварного шва имеет волнистую форму близкую к синусоиде с амплитудой волны A и длиной волны λ . Длина волны подчиняется зависимости $\frac{\lambda}{\sigma} = 26 \sin^2 \frac{\gamma}{2}$, где γ - угол соударения свариваемых поверхностей ($\gamma = 8 \div 16^\circ$). Для оценки изменения поверхностей сварного шва от технологических параметров сварки выполнен расчет длины волны синусоиды l при возможных соотношениях $\frac{A}{\lambda}$. Величина l определялась по известным формулам расчета длины дуги плоской кривой.

Результаты исследования

На Рисунке 1 приведен график изменения относительной площади сварного шва $\frac{l}{\lambda}$ в зависимости от безразмерной величины

$\frac{A}{\lambda} = 0,15 \div 0,35$. Как видно из графика (Рис.1),

применение сварки взрывом позволяет увеличить поверхность сварочного шва в 1,2...1,5 раза, что обеспечивает высокую теплопередачу в биметалле. Специфическим отличием сварки взрывом является упрочнение сварочных швов композиции в результате сверхскоростного удара. Поэтому для подготовки металла к технологическим операциям штамповки, прокатки и др. необходим промежуточный отжиг. В работах (Захаренко, 1990; Кондратов, Верболоз, Алексеев, 2007) установлено, что для биметалла «сталь-медь-сталь» характерно повышение прочности сцепления слоев при увеличении температуры отжига до 660°C за счет

диффузионных процессов. При этом снимаются остаточные напряжения и возрастает пластичность биметалла. Известно, что высокотемпературный отжиг позволяет значительно улучшить технологические свойства сталемедных композиций (Лебедев, 1986).

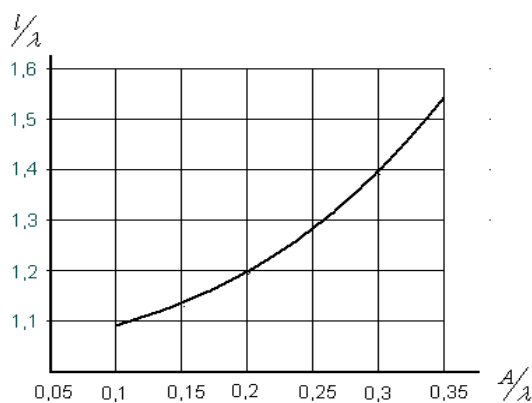


Рисунок 1. Зависимость площади контактной поверхности в биметаллах, полученных взрывной сваркой, от формы волн сварного шва.

Особенностью работы биметалла в нагревательных приборах является возникновение внутренних напряжений вследствие различия коэффициентов линейного расширения металлов. Для исследования деформаций и напряжений при нагреве биметалла выбрана композиция «сталь X18H10T + медь M1+ сталь X18H10T», в которой для исключения изгиба слои имеют одинаковую толщину (Рис. 2). На первом этапе рассматривался равномерный нагрев по площади и сечению биметалла. Диапазон температур нагрева посуды составляет 20 – 300°C, что ниже порога рекристаллизации меди, который составляет 440 – 460°C.

Для оценки возможности использования биметалла в нагревательных приборах выполнен расчет напряжений при нагреве в диапазоне 20 – 300°C.

В расчете использовались физико-механические свойства металлов композиции (Лебедев, 1986), Таблица 1

Свойства металлов при высоких температурах

Характеристики	Медь M1				Сталь X18H10T			
	293	393	493	593	293	393	493	593
Температура, °К	293	393	493	593	293	393	493	593
Предел прочности	230	200	175	125	650	-	-	450
Предел текучести	-	-	55*	-	300	-	-	200
Коэффициент линейного расширения, α10 ⁻⁶	16,7	17,3	17,9	18,6	12,0	13,2	14,4	15,5

* - отожженная медь.

приведенные в Таблице 1. Схема расчета приведена на Рисунке 2.

Исходя из приведенных схем свободной и совместной деформации слоев металла композиции при фиксированной температуре получено уравнение, связывающее температурные и силовые деформации слоев меди и стали..

$$\Delta l_1 - \Delta l_2 = \Delta l_1' + \Delta l_2'$$

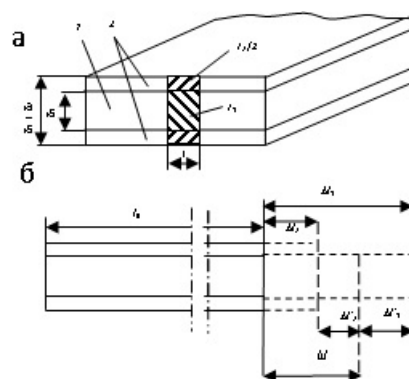


Рисунок 2. Схема расчета температурных напряжений в биметалле.

а – конструкция биметалла «сталь-медь-сталь»; б – деформация слоев металла до и после сварки; 1 – медь; 2 – сталь

где Δl_1 è Δl_2 – удлинение листов меди и стали до сварки (в свободном состоянии),

$\Delta l_1'$ è $\Delta l_2'$ – линейное деформирование слоев биметалла.

Из уравнения следует, что при совместной деформации слоев металла на величину Δl слои стали растягиваются на величину Δl_2 , а медь сжимается на $\Delta l_1'$ (см. Рис. 2б).

Таким образом, разность температурных деформаций до и после сварки компенсируется напряжениями, возникающими в слоях металла (Захаренко, 1990; Кондратов, Верболоз, Алексеев, 2007; Лебедев, 1986). Выражая температурные деформации через коэффициент линейного расширения, а деформации от внутренних напряжений через силы продольного сжатия в

меди и растяжения стали получаем:

$$l_0 \cdot \alpha_M \Delta T - l_0 \alpha_{CT} \Delta T = l_0 \left(\frac{P_M}{E_M F_M} + \frac{P_{CT}}{E_{CT} F_{CT}} \right), \quad (1)$$

где α_M и α_{CT} – коэффициенты линейного расширения меди и стали; E_M и E_{CT} – модули упругости металлов; l_0 – начальная длина образца биметалла; ΔT – температура нагрева; P_M и P_{CT} – усилия, действующие в слоях биметалла; F_M и F_{CT} – площади сечений слоев металлов.

Обсуждение

Поскольку композиция, в силу симметрии, исключает изгиб, суммарное усилие растяжения в слоях стали должно уравниваться усилием сжатия в меди $P_{CT} = P_M = P$.

Из уравнения (1) получаем

$$P = \Delta T (\alpha_M - \alpha_{CT}) / \left(\frac{1}{E_M F_M} + \frac{1}{E_{CT} F_{CT}} \right) \quad (2)$$

Вводя безразмерное отношение $m = \frac{\delta_1}{\delta_2}$; (см. Рис.2.а) из решения уравнение (2), находим напряжение в слоях меди (σ_M) и стали (σ_{co})

$$\sigma_M = \frac{P}{\delta_1} = \Delta T (\alpha_M - \alpha_{CT}) \left(\frac{1}{E_M} + \frac{m}{E_{CT}} \right) \quad (3)$$

$$\sigma_{CT} = \frac{P}{\delta_2} = \Delta T (\alpha_M - \alpha_{CT}) \left(\frac{1}{E_M} m + \frac{1}{E_{CT}} \right)$$

Из (3) следует, что для любой заданной симметричной композиции биметалла внутренние напряжения не зависят от толщины биметалла и однозначно определяются величиной. Это позволяет использовать формулы (3) для выбора оптимальных по прочностным свойствам соотношений слоев металла в композиции (Алексеев, Верболоз, 2003; Alexeev, Verboloz, Voronenko, Romanchikov, Loza, 2017).

На Рисунке 3 представлены графики изменения температурных напряжений в слоях меди и стали различной толщины.

Заключение

Из приведенных графиков (Рис. 3) и таблицы 1 следует, что при $m \geq 4$ напряжения в стали и меди составляют менее 0,6 предела текучести, что обеспечивает надежность работы биметалла в интервале температур 100 – 300°C.

Имеющиеся сведения о технологии изготовления и практический опыт эксплуатации аналогичных

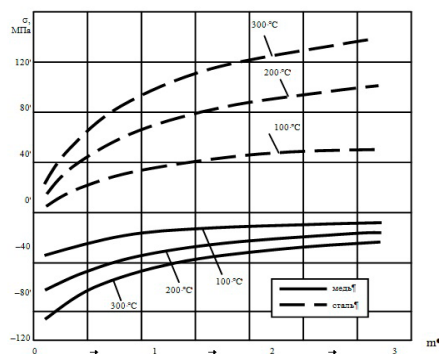


Рисунок 3. Зависимость температурных напряжений в биметалле при различных отношениях толщины слоев меди и стали.

разработок для теплового технологического оборудования свидетельствуют о существенно более высоких затратах на его производство и необходимости обеспечения специальных санитарно-гигиенических мер по его обслуживанию (FreeImages, 2018; Pixabay, 2018; Интернет-магазин немецких товаров Solingen-Shop.RU, 2008-2018; ТМ «Биол», 2018)

Таким образом, практическое применение композиции «сталь-медь-сталь» в технологическом оборудовании для тепловой обработки пищи и производства хлебобулочных изделий может быть признано перспективным и целесообразным для осуществления после испытания опытных образцов биметаллических изделий в производственных условиях.

Литература

- [1] Каталог фирмы Erringen. [Электронный ресурс]. 2010. URL.: www.predmeti.ru/luna-p-30.html
- [2] Бобылев А.В. Механические и технологические свойства металлов. М.: «Металлургия», 1987.
- [3] Захаренко И. Д. Сварка металлов взрывом. Минск: «Наука и техника», 1990.
- [4] Кондратов А. В., Верболоз Е. И., Алексеев Г. В. О модели развития кавитационной полости при измельчении пищевого сырья // Хранение и переработка сельхозсырья. 2007. № 11. С. 27-29.
- [5] Лебедев В. М. Слоистые металлические композиции. М.: «Металлургия», 1986.

- [6] Алексеев Г. В., Верболоз Е. И. Современные подходы к рациональному использованию ресурсов при первичной обработке пищевого сырья // Вестник Международной академии холода. 2003. № 4. С. 35-39.
- [7] Alexeev G. V., Verboloz E. I., Voronenko B. E., Romanchikov S. A., Loza A. A. Ball under action of periodic point load // The International Conference «Actual Issues of Mechanical Engineering» (AIME 2017). Tomsk: Tomsk Polytechnic University, 2017. P. 36-41.
- [8] FreeImages. [Электронный ресурс]. 2018. URL.: www.freeimages.com
- [9] Pixabay. [Электронный ресурс]. 2018. URL.: www.pixabay.com
- [10] Интернет-магазин немецких товаров Solingen-Shop.RU. [Электронный ресурс]. 2008-2018. URL.: www.solingen-shop.ru
- [11] ТМ «Биол». [Электронный ресурс]. 2018. URL.: www.biol-posuda.com.ua

Opportunities for Manufacture of Energy-Resources-Saving Cream for Preparing Food

Gennady V. Alexeev

*Saint Petersburg State National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics
49 Kronverksky av., 49, St. Petersburg, 197101, Russian Federation
E-mail: gva2003@mail.ru*

Sergey A. Romanchikov

*Military Academy of Logistics and Transport named General of the Army Alexander Khruleva
8 Makarova emb., St. Petersburg, 199034, Russian Federation
E-mail: romanchkovspb@mail.ru*

Alexey P. Savelev

*Military Academy of Logistics and Transport named General of the Army Alexander Khruleva
8 Makarova emb., St. Petersburg, 199034, Russian Federation
E-mail: savelevaleksey1983@gmail.com*

In the article possibilities of increase of operational properties of the technological equipment, in particular devices for heat processing of food products, due to improvement of a heat transfer on the basis of use of multilayered metal compositions are considered. Experts know what problems are uneven heating on the area of a variety of cooking containers: pots, pans, baking trays and other heated surfaces. Overheating of some areas and insufficient temperature of others causes them to move them from time to time along the heating surface of the plate, especially if the source of heat is a combustible gaseous or liquid fuel. On the one hand, this situation often leads to a marriage - burning of food, and also on the other hand, overheated thermal energy during cooking or roasting. Prevention of such a case is possible with the use of a new generation of materials for making food cooking containers - multi-layer composite materials. One of the serious problems encountered in the production of containers of such materials is the combination of different materials with respect to physical and mechanical properties. The results of the evaluation of the stress state of the metal composition "steel + copper + steel" obtained by explosion welding during heating in the temperature range 100-300 ° C are presented.

Keywords: apparatuses of food production, composition of metals, tension, heat transfer

References

- [1] Catalog of the firm Erringen. [Electronic resource]. 2010. URL.: www.predmeti.ru/luna-p-30.html
- [2] Bobylev A. V. Mekhanicheskie i tekhnologicheskie svoystva metallov [Mechanical and technological properties of metals]. Moscow: «Metallurgiya», 1987.
- [3] Zakharenko I. D. Svarka metallov vzryvom [Welding of metals by explosion]. Minsk: «Nauka i tekhnika», 1990.
- [4] Kondratov A. V., Verboloz E. I., Alekseev G. V. O modeli razvitiya kavitacionnoj polosti pri izmelchenii pishchevogo syrja [On the model of cavitation cavity development when grinding food raw materials]. Hranenie i pererabotka selhozsyrja, 2007, no. 11, 27-29.
- [5] Lebedev V. M. Sloistye metallicheskie kompozicii [Layered metal compositions]. Moscow: «Metallurgiya», 1986.
- [6] Alexeyev G. V., Verboloz E. I. Sovremennye podhody k racionalnomu ispolzovaniyu resursov pri pervichnoj obrabotke pishchevogo syrja [Modern approaches to the rational use of resources in the primary processing of food raw materials]. Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda, 2003, no. 4, 35-39.
- [7] Alexeev G. V., Verboloz E. I., Voronenko B. E., Romanchikov S. A., Loza A. A. Ball under action of periodic point load // The International Conference «Actual Issues of Mechanical Engineering» (AIME 2017). Tomsk: Tomsk Polytechnic University, 2017. P. 36-41.
- [8] FreeImages. [Electronic resource]. 2018. URL.: www.freeimages.com
- [9] Pixabay. [Electronic resource]. 2018. URL.: www.pixabay.com
- [10] Internet-magazin nemeckih tovarov Solingen-Shop.RU. [Electronic resource]. 2008-2018. URL.: www.solingen-shop.ru
- [11] TM «Biol». [Electronic resource]. 2018. URL.: www.biol-posuda.com.ua