

Перспективы использования сварки взрывом при изготовлении аппаратов пищевых производств

Алексеев Г.В.^{*}, Андреев^{**} Э.А., Дмитриченко^{**} М.И., Михайлов^{**} Н. П.

^{*} Санкт-Петербургский государственный университет
низкотемпературных и пищевых производств

^{**} Санкт-Петербургский государственный университет
сервиса и экономики

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. Приведены результаты оценки напряженного состояния композиции металлов «сталь+медь+сталь» полученной сваркой взрывом при нагреве в диапазоне температур 100–300°С.

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. Немаловажное значение имеет и их невысокая стоимость, а значит доступность для широкого использования в бытовых целях.

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, газо-

выми 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. Зарубежные фирмы выпускают технологическое оборудование, в частности сковороды, кастрюли и ковши, с трех и даже пятислойными стенками [1].

Такие стенки 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.

В настоящей работе 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 [2]. 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 $\frac{\lambda}{\delta} = 26 \sin^2 \frac{\gamma}{2}$, 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.

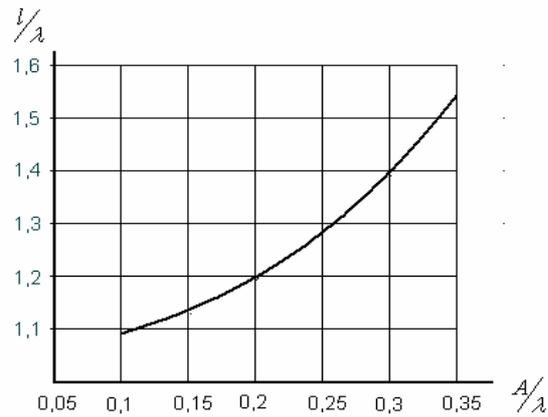


Рис. 1. Зависимость площади контактной поверхности в биметаллах, полученных взрывной сваркой, от формы волн сварного шва.

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 «сталь+медь+сталь».

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 [3,4] установлено, что для биметалла «сталь+медь+сталь» характерно повышение прочности сцепления слоев при увеличении температуры отжига до 660° за счет диффузионных процессов. При этом снимаются остаточные напряжения и возрастает пластичность биметалла. Авторами [4] показано, что высокотемпературный отжиг позволяет значительно улучшить технологические свойства сталемедных композиций.

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 $20\text{--}250^\circ\text{C}$, что ниже порога рекристаллизации меди, который составляет $440\text{--}460^\circ\text{C}$.

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

Таблица 1. Свойства металлов при высоких температурах.

Характеристики	Медь М1				Сталь Х18Н10Т			
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, $\alpha \cdot 10^{-6}$	16,7	17,3	17,9	18,6	12,0	13,2	14,4	15,5

* - отожженная медь.

В расчете использовались физико-механические свойства металлов композиции [5], приведенные в таблице 1.

Схема расчета приведена на рис.2.

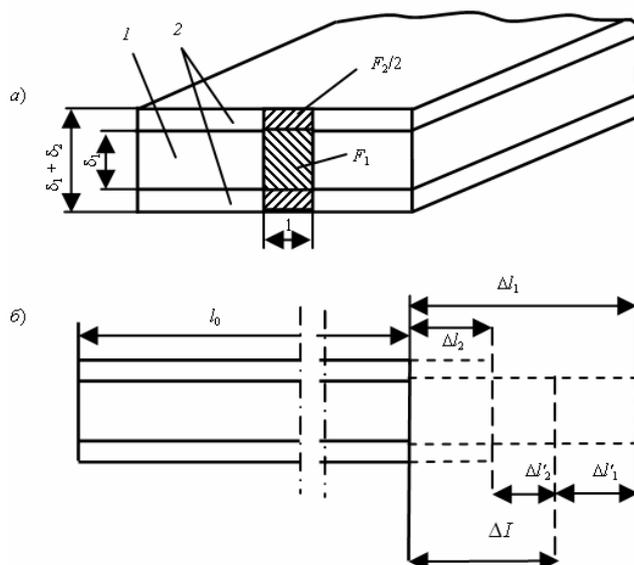


Рис. 2. Схема расчета температурных напряжений в биметалле.

а — конструкция биметалла «сталь+медь+сталь»;

б — деформация слоев металла до и после сварки.

1 — медь, 2 — сталь.

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.

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

где Δl_1 и Δl_2 — удлинение листов меди и стали до сварки (в свободном состоянии); $\Delta l_1'$ и $\Delta l_2'$ — линейное деформирование слоев биметалла.

Из уравнения следует, что при совместной деформации слоев металла на величину Δl слой стали растягиваются на величину $\Delta l_2'$, 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. 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.

Поскольку композиция, в силу симметрии, исключает изгиб, суммарное усилие растяжения в слоях стали должно уравновешиваться 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. 2а), из решения уравнения (2) находим напряжение в слоях меди (σ_M) и стали (σ_{CT})

$$\begin{aligned} \sigma_M &= P / \delta_1 = \Delta T (\alpha_M - \alpha_{CT}) \left(\frac{1}{E_M} + \frac{m}{E_{CT}} \right); \\ \sigma_{CT} &= P / \delta_2 = \Delta T (\alpha_M - \alpha_{CT}) \left(\frac{1}{E_M} m + \frac{1}{E_{CT}} \right). \end{aligned} \quad (3)$$

Из (3) следует, что для любой заданной симметричной композиции биметалла внутренние напряжения не зависят от толщины биметалла и однозначно определяются величиной m . Это позволяет использовать формулы (3) для выбора оптимальных по прочностным свойствам соотношений слоев металла в композиции.

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

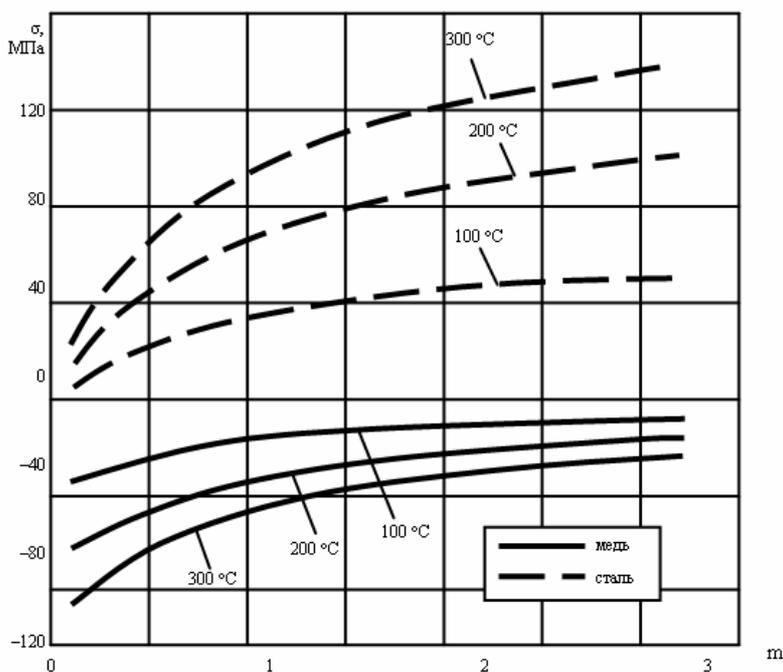


Рис. 3. Зависимость температурных напряжений в биметалле при различных отношениях толщины слоев меди и стали.

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.

Практическое применение композиции «сталь+медь+сталь» в технологическом оборудовании для тепловой обработки пищи может быть осуществлено после испытания опытных образцов биметаллических изделий в производственных условиях.

Список литературы

1. Каталог фирмы Eringen, www.predmeti.ru/luna-p-30.html, 2010
2. Бобылев А.В. Механические и технологические свойства металлов. Москва. «Металлургия». 1987 г.
3. Григорьев И.С. Физические величины. Москва. «Энергоиздание». 1991г.

4. Захаренко И.Д. Сварка металлов взрывом. Минск: «Наука и техника». 1990
5. Лебедев В.М. Слоистые металлические композиции. Москва. «Металлургия». 1986 г.

Prospect of using explosion welding to manufacture food industry equipment

Alexeyev G.V., Andreyev E.A., Dmitritchenko M.I., Mikhailov N.P.

Saint-Petersburg State University of Refrigeration
and Food Engineering

Saint-Petersburg State University of Service and Economics

The paper considers possibilities of raising performance features of technological equipment, in particular of apparatus for heat treatment of foods, owing to improving heat transfer by using multilayer metal compositions. Results of stress evaluation of the metal composition (steel+copper+steel) are adduced, it being welded by explosion when heated in the range of 100–300°C.

Keywords: apparatus for treatment of foods, metal composition, stress, heat transfer.