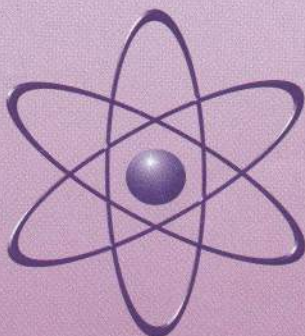


**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ УКРАИНЫ**

ВЕСТНИК

25

**ХЕРСОНСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**



2006 г.

СОВМЕЩЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ ИНТЕНСИВНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУР

В настоящее время создание конкурентоспособной продукции невозможно без использования в производстве новых прогрессивных технологий, экономящих материальные, энергетические и трудовые ресурсы, а также время и капитальные затраты. Таким условиям удовлетворяют, в частности, технологии взрывной (импульсной) обработки материалов давлением. Это формообразующие и соединительные операции, упрочнение и снятие остаточных напряжений, получение новых материалов (при фазовых переходах), разделительные операции и т.д. Такие технологии при видимой простоте их технической реализации являются наукоемкими, так как предполагают детальное знание динамических свойств деформационно-прочностных характеристик конструкционных материалов, напряженно-деформированного состояния заготовки в процессе получения детали, выбор импульсной нагрузки, реализующей технологический процесс.

В последние десятилетия сложились научно-производственные центры, ориентированные на исследования и внедрения одной-двух таких технологий. Однако, в этих технологиях наметилась тенденция выполнения нескольких технологических операций практически одновременно с использованием одного (реже двух) источников энергии. Примером такой технологии может служить технология создания теплообменных аппаратов (ТА) пучкового типа с закреплением пучка труб в трубных досках сваркой-пайкой (рис.1). Технология присоединения труб в настоящее время состоит в установке труб в отверстиях толстостенных досок, их раскатке роликом или запрессовке импульсным давлением и обварке по наружному периметру. В результате возникает щелевая коррозия и не исключается разгерметизация соединений при критических режимах кипения и испарения жидкости на поверхности трубок. При размещении слоя высокопрочного припоя (например, атмосферный припой ВПр42: $T_{пл}=1150^{\circ}\text{C}$, $\sigma_b=480...520$ МПа, HRC=47) между поверхностями трубок и патрубками трубной доски производится только обварка (2...3 мм шва), а тепло сварки, распространяясь от зоны сварки ($T_{св}\approx 1600^{\circ}\text{C}$) за счет теплопроводности, расплавляет припой вдоль шва при падении температуры до $T_{пл}=1150^{\circ}\text{C}$ (5...6 мм). Получается шов длиной около 1 см. При этом исключается операция раскатки (опрессовки) конечных зон трубок за счет пассивации внутренней границы шва (рис.1а) в 8-10 раз снижается щелевая коррозия. Прочность системы ТА с ТТД возрастает в 2,5-3 раза. Существенно снижается трудоемкость ремонтных работ, так как для замены поврежденных трубок достаточно рассверлить только зону сварки и синхронно разогреть до температуры плавления паяные зоны соединения (например, термитными шашками с пониженной температурой до $T_{терм}\approx 1200^{\circ}\text{C}$ или ТВЧ-разогревом с использованием портативных ТВЧ-генераторов).

Толстостенные трубные доски ($h=2-5$ см) являются жесткими системами и при многократном нагреве происходит удлинение жестко соединенных с ними трубок, что приводит к потере устойчивости последних. Для снижения жесткости трубной доски при сохранении ее прочности и снижения материалоемкости применяется гидровзрывная листовая штамповка-отбортовка [4] для получения листа толщиной 2...3 мм плоской панели с системой цилиндрических патрубков (ТТД) (рис.1б). В этом случае производится сварка-пайка системы патрубков ТТД с трубками пучка (т.н. телескопические соединения). Лента высокопрочного припоя располагается между стенкой патрубка и конусной частью трубы и производится сварка-пайка по общему внешнему контуру.

Возможен также вариант изготовления пучковых ТА без трубных досок (рис.1в), когда роль трубной доски играет сотовая конструкция, полученная скоростным расширением взрывом концевых зон пучка труб навстречу друг другу (до соударения) и последующей их

сварки взрывом (скорость соударения должна быть около 250 м/с). Это тоже совмещенные технологии импульсного формообразования и сварка за счет одного заряда ВВ.

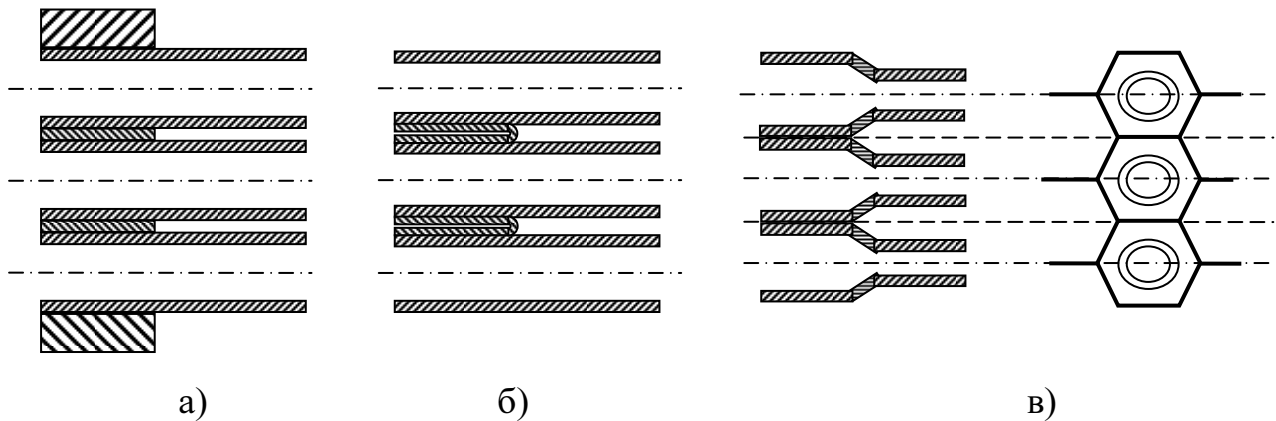


Рис. 1. Изготовление пучковых теплообменных аппаратов: а) с толстостенными трубными досками — сварка-пайка высокопрочным припоем; б) с тонкостенными трубными досками (ТТД) — гидровзрывная штамповка ТТД и сварка-пайка; в) ТА без трубных досок (взрывная формовка раструбов и их сварка-пайка)

Еще одним примером совмещенных технологий может служить создание ректификационных колонн соединением двух эквидистантно расположенных цилиндрических оболочек (рис.2) — толстостенной внутренней и тонкостенной внешней — путем скоростного локального формообразования внешней оболочки и соединения полученного элемента с внутренней оболочкой за счет скоростного соударения (рис.2а) [7] или за счет локальной контактной электросварки (рис.2б,в) [4]. В силу условия $R_{0об} \gg r_{св}$ (здесь $R_{0об}$ — средний радиус цилиндрических оболочек, $r_{св}$ — радиус зоны формирования и сварки) будем рассматривать свободную локальную штамповку — вытяжку плоской круглой тонкой пластинки под действием импульсного давления

$$P = P_0 e^{-t/\theta},$$

где P_0, θ — интенсивность давления на фронт волны нагрузки и затухание его за фронтом волны нагрузки.

Удельную работу пластического формирования деталей [1,7] будем определять соотношением [5]:

$$a_y = \frac{B}{1 + m_M} \varepsilon^{1+m_M} \left[1 + \left(\frac{\dot{\varepsilon}_{cp}}{D} \right)^{1/n} \right], \quad (1)$$

Полная работа деформации будет:

$$A = a_y \cdot v_3, \quad (2)$$

где v_3 — объем деформируемой части заготовки.

При свободном (без матрицы) деформировании плоской тонкой круглой пластинки зарядами разной конфигурации можно получать штамповки различной формы: сферический элемент, конический, осесимметричную пуклевку.

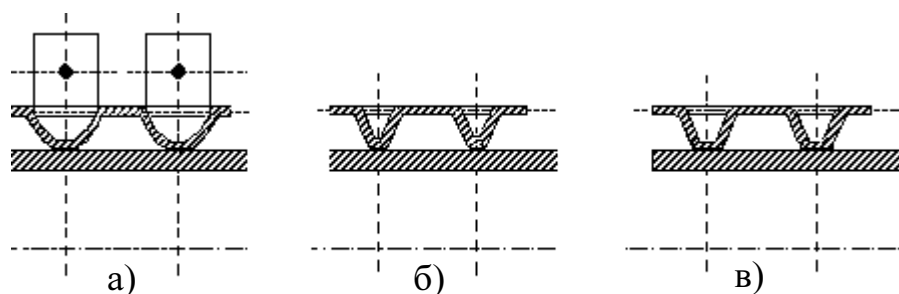


Рис. 2. Технология изготовления ректификационных колонн: а) ГВШ — образование локальных сферических оболочек и сварка-пайка с толстостенным цилиндром; б) ГВШ — образование конических оболочек; в) ГВШ — образование пуклевки с плоским дном и их сварка-пайка

Средняя интенсивность деформации для этих формообразований будет:

для сферы:
$$\varepsilon_c = \frac{\cos^{-1}\left(1 - \frac{y}{r}\right)}{\sqrt{2\frac{y}{r} - \left(\frac{y}{r}\right)^2}} \quad (3a)$$

для конического углубления:
$$\varepsilon_c = \sqrt{1 + \left(\frac{y}{r}\right)^2} - 1 \quad (3б)$$

для плоской осесимметричной пуклевки:
$$\varepsilon_c = \left(\frac{\pi}{2} - 1\right) \frac{h}{r_0} \quad (3в)$$

Значение констант, входящих в формулу (1), приведены в таблице [5].

Таблица

Материал	В, МПа	m	D, 1/с	N
Сталь ЭИ 878 (X15H8Al18)	0,990	0,17	790	3,34
Сталь X18H10T	0,992	0,124	396	7,14
Сплав ОТИ-1 титановый	0,991	0,21	4,45 10 ³	4,84
Сталь ЭП 410 (X15H5D2T)	0,980	0,25	3,15 10 ³	2,77
AMr2M	0,996	0,15	5,62 10 ³	3,15

В этом случае потребный заряд ВВ определяется из условия сохранения целостности заготовки в процессе формообразования и соединения (по диаметрическому деформационному критерию [6]) и скорость соударения V_c должна давать

$$V_k = \frac{V_c}{\cos \beta} \cong 2000 \text{ м/с.}$$

Такая скорость всегда найдется, так как второй параметр достаточности осуществления сварки взрывом β — угол соударения меняется от 0° (до 7° — нижний предел свариваемости, до 34° верхний предел свариваемости). Найдется всегда и интервал $V_k = 2000 \dots 1700$ м/с, так как V_k меняется от $V_k = \infty$ (при $\cos \beta = 0$ — в точке касания оболочек).

Примеров совмещенных технологий можно привести много. Например, обычная контактная точечная сварка формирует ядро расплава сферической или чечевицной формы на границе стыка свариваемых металлов с $T_{пл} > 1600^\circ\text{C}$. Если между металлами проложить тонкий слой высокопрочного припоя (например, ВПр 42, $T_{пл} = 1150^\circ\text{C}$, $\sigma_v = 480 \dots 520$ МПа), то в результате теплопроводности произойдет пайка кроме сварочной точки некоторого кольца припоя, так

называемая контактная сварка-пайка, что позволяет реже делать точки контактного воздействия, сохраняя герметичность шва.

Таким образом, можно сформировать пакет совмещенных технологий, которые являются существенно наукоемкими и имеют ряд принципиальных особенностей.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Пихтовников Р.Р., Хохлов Г.А. Безбассейновая листовая штамповка взрывом. — Харьков: Прапор, 1972. — 168 с.
2. Дерибас А.А. Физика упрочнения и сварки взрывом. — Новосибирск: Наука, 1980. — 222 с.
3. Сабодаш П.Ф., Чебанов В.Г. О решении уравнения теплопроводности с конечной скоростью распространения тепла для областей с переменной границей. //ИФЖ, 1972.
4. Колодяжный А.В., Чернобрышко М.В. Термокинетический анализ соударения плоских и цилиндрических слоев. //Проблемы машиностроения. — 1999. Т.2. — С.78-80
5. Колодяжный А.В., Севрюков В.И. Ударные и импульсные воздействия на конструкции и материалы. — К.: Наук. думка, 1986. — 168 с.
6. Воробьев Ю.С., Колодяжный А.В., Севрюков В.И., Янютин Е.Г. Скоростное деформирование элементов конструкций. — К.: Наук. думка, 1989. — 189 с.
7. Бизюк В.В., Колодяжный А.В., Яреценко В.Г. Локальное ударно-импульсное нагружение тонкостенных элементов конструкций //Весник ХНТУ "2 (22), 2005. — С.53-57

БИЗЮК Валерий Васильевич — к.т.н., доцент кафедры высшей математики Харьковской национальной академии городского хозяйства

Научные интересы:

— математическое моделирование нестационарных динамических процессов, скоростное пластическое деформирование элементов конструкций

КОЛОДЯЖНЫЙ Анатолий Викторович — к.т.н., вед.науч. сотрудник, ст.науч. сотрудник отдела нестационарных механических процессов Института проблем машиностроения им. А.Н.Подгорного НАН Украины

Научные интересы:

— скоростное пластическое деформирование и его технологическое применение

ЯРЕЦЕНКО Владимир Григорьевич — к.т.н., ст.науч. сотрудник отдела нестационарных механических процессов Института проблем машиностроения им. А.Н.Подгорного НАН Украины

Научные интересы:

— скоростное пластическое деформирование и его технологическое применение