

УДК 621.7.043

Технология изготовления пластин теплообменников с увеличенной глубиной каналов методом локальной формовки эластичным инструментом

Резнюк Кирилл Дмитриевич

kirill.reznyuck@yandex.ru

SPIN-код: 8072-8290

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Приведены результаты математического моделирования процесса локальной формовки эластичным инструментом на базе полиуретана в закрытом объеме пластины теплообменника с увеличенной глубиной каналов из коррозионно-стойкой стали 08X18H10 толщиной 0,5 мм. Изложены результаты экспериментов по локальной формовке эластичным инструментом в закрытом объеме пластины теплообменника с увеличенной глубиной каналов из коррозионностойкой стали 08X18H10 толщиной 0,5 мм.

Ключевые слова: локальная формовка, закрытый объем, гиперупругий материал, эластичный инструмент, полиуретан, коррозионностойкая сталь, математическое моделирование гиперупругих сред

Manufacturing technology of heat exchanger plates with increased channel depth using local forming

Reznyuk Kirill Dmitrievich

kirill.reznyuck@yandex.ru

SPIN-code: 8072-8290

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. The paper presents the results of mathematical modeling of the local forming process using a polyurethane-based elastic tool in a confined volume of a heat exchanger plate with increased channel depth, made of corrosion-resistant steel 08X18H10 (0.5 mm thick). Experimental results on local forming with an elastic tool in a confined volume of a heat exchanger plate with increased channel depth, made of 08X18H10 corrosion-resistant steel (0.5 mm thick), are also discussed.

Keywords: local forming, confined volume, hyperelastic material, elastic tool, polyurethane, corrosion-resistant steel, mathematical modeling of hyperelastic material

Введение. Пластинчатые теплообменники являются одними из наиболее перспективных аппаратов в современной технике. Они имеют высокие энергетические параметры (коэффициент теплопередачи, низкая потеря тепла и давления), малые габариты по сравнению с кожухотрубными теплообменниками, высокую надежность и безопасность. Существует возможность повышения мощности теплообменника за счет добавления дополнительных пластин.

Пластины теплообменников получают методом листовой штамповки металлическим инструментом. Процесс является металлозатратным, не универсальным — при штамповке новых пластин требуется новый металлический инструмент с другим рельефом. Развитие нового изделия ограничивается мощностью прессы и стоимостью оснастки.

В данном случае максимальная глубина каналов ограничена особенностями самого процесса. При достижении определенных значений металл начинает разрываться, что приводит браку. Ограничения связаны с условиями трения на поверхности контакта пуансона и заготовки. Чем прочнее материал, тем меньше глубина получаемых каналов. Для стали, в зависимости от толщины листа, максимальная глубина каналов H , мм, оценивается по формуле

$$H = \frac{B \cdot S}{S + 2,5}, \quad (1)$$

где B — ширина ребра, мм; S — толщина штампуемого материала, мм.

Особенностью процессов штамповки эластичными средами [1] является то, что давление от инструмента прилагается ко всей поверхности заготовки, а не локально в зонах формообразования, как это происходит при штамповке в жестких штампах. Применение эластичных материалов позволяет унифицировать оснастку, а также позволяет упростить процесс наладки оборудования. Формирование канала при штамповке происходит за счет утонения материала. При использовании эластичной среды, за счет распределения сил трения, заготовка деформируется равномерно, что повышает пластический ресурс, и, как следствие, появляется возможность достичь большей глубины каналов.

Материалы и методы. При формовке эластичной средой металлический пуансон 1 воздействует на листовую заготовку 2 через эластичную подушку 3 (рис. 1). Форма готового изделия характеризуется рельефом жесткой матрицы 4, которая располагается внутри контейнера 5. На поверхности детали получают местные углубления, ребра жесткости, различные рифты прямоугольной, криволинейной, круговой форм, выдавливание сферической формы и т. д.

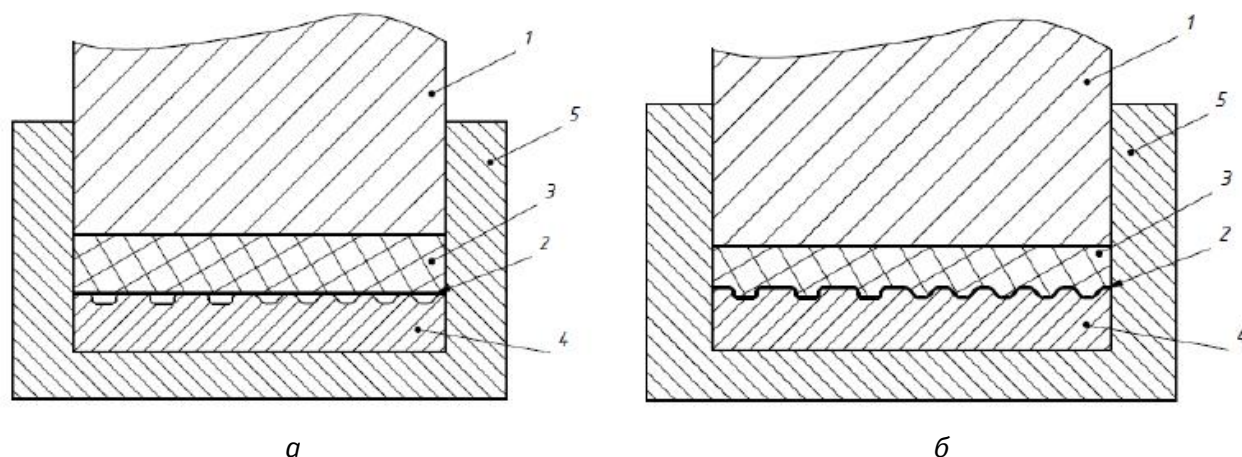


Рис. 1. Схема штамповки эластичной средой в закрытом объеме (а), в открытом объеме (б):

1 — пуансон; 2 — листовая заготовка; 3 — эластичная подушка; 4 — матрица; 5 — контейнер

В соответствие с рис. 1, построена математическая модель процесса формовки пластины теплообменника, а также проведен эксперимент. Для проведения эксперимента были подготовлены образцы полиуретана марки ПФЛ-100 (рис. 2) и матрица (рис. 3). Механические характеристики полиуретана были определены в работе [4] и приведены в таблице.



Рис. 2. Матрица для штамповки элементов плоских теплообменников

Константы Муни -- Ривлина

ПФЛ-100-S	C_{10} , МПа	C_{01} , МПа
	5,12	0,68



Рис. 3. Матрица для штамповки элементов плоских теплообменников

Обсуждение полученных результатов. При моделировании были получены следующие результаты: максимальная глубина W-образных каналов составляет 2,1 мм, локальных углублений — 1 мм. В эксперименте глубина получившихся W-образных каналов составляет $2,2 \pm 0,1$ мм (рис. 6). Глубина локальных углублений составляет от $1,9 \pm 0,1$ мм до $2,0 \pm 0,1$ мм. Максимальная глубина локальных углублений достигается ближе к геометрическому центру элемента пластины и уменьшается при приближении к краям. Толщина металла во впадине W-образного канала составляет 0,3 мм. Толщина листа во впадине после деформации составляет 0,3 мм. Максимальное утонение листа составляет 0,2 мм. Эксперимент с высокой точностью повторяет математическую модель, о чем можно судить по глубине отформованных каналов.

Закключение. Использование эластичного инструмента позволяет получить требуемую глубину каналов для коррозионностойкой стали AISI 304 толщиной 0,5 мм в соответствии с техническими условиями при штамповке в закрытом объеме. Математическая модель процесса эластичным инструментом имеет хорошую точность при формовке W-образных каналов, которые составляют до 90 % рабочей поверхности пластины.

Список источников

- [1] Ершов В.И., Глазков В.И., Каширин М.Ф. *Совершенствование формоизменяющих операций листовой штамповки*. Москва, Машиностроение, 1990, 145 с.
- [2] Семенов И.Е., Евсюков С.А. Формовка тонкостенных элементов плоских теплообменников. *Известия ТулГУ. Технические науки*, 2017, вып. 11, ч. 1, с. 34–40.
- [3] Исаченков Е.И. *Штамповка резиной и жидкостью*. Москва, Машиностроение, 1967, 367 с.
- [4] Семенов И.Е., Резнюк К.Д. Формовка тонколистовых изделий с увеличенной глубиной каналов с помощью композитного инструмента на основе полиуретана. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*, 2025, вып. 2, с. 665–672.