

Новые технологии производства пластинчатых теплообменников

Введение

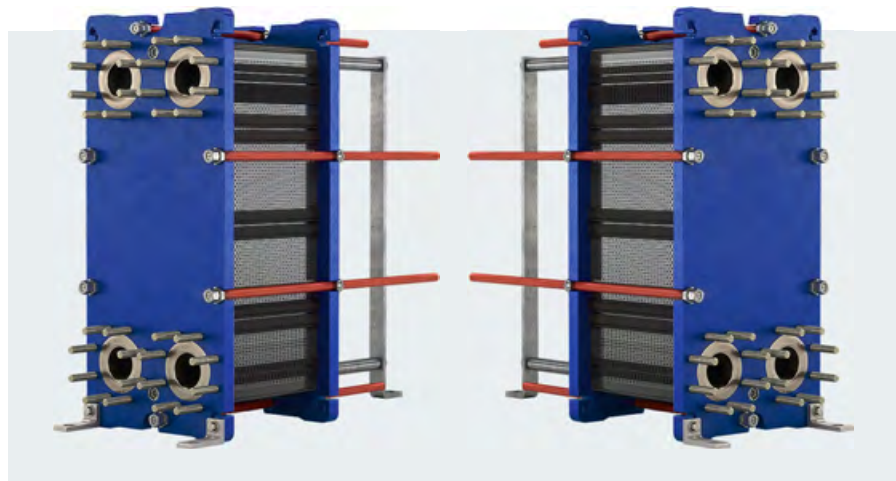
В настоящее время наиболее передовой технологией в области организации передачи тепла является использование пластинчатых теплообменников, которые в последние годы получают всё большее распространение в теплоэнергетике. Сочетание высокой скорости теплообмена при малых габаритах делает этот вид теплообменников одним из наиболее перспективных. Область применения данных устройств довольно велика благодаря высокой эффективности передачи тепловой энергии между жидкими и газообразными средами, возможности работы при температурах от -70 до $+200^{\circ}\text{C}$ и давлении до 10 МПа, что позволяет использовать такие теплообменные аппараты в промышленном и бытовом секторах.

Широкое применение пластинчатых теплообменников практически во всех областях промышленности, где требуется провести теплообменный процесс, обусловлено их уникальными качествами: высочайшая эффективность теплообмена; надёжность и устойчивость к внешним и внутренним воздействиям; простота монтажа и эксплуатации; лёгкость очистки благодаря разборной конструкции; небольшие массогабаритные показатели; высокая гибкость, то есть возможность изменения характеристик уже эксплуатируемого теплообменника.

На сегодняшний день основными потребителями пластинчатых теплообменников являются предприятия, работающие в таких сферах, как:

- отопление и кондиционирование (нагрев и охлаждение воздуха);
- энергетика (охладители спринклерных установок, съём остаточных тепловыделений, теплообменники станционных промышленных контуров, маслоохладители, подогреватели низкого давления);
- чёрная и цветная металлургия (охлаждение печей, охлаждение гидравлической смазки, охлаждение и нагрев масла, утилизация промышленного тепла);
- химическая промышленность (конденсация/охлаждение газов, охлаждение щелочных растворов, охлаждение солевых растворов, циркуляционной воды, нагрев среды паром, утилизация тепла);
- нефтедобыча/нефтепереработка (утилизация тепла воды при обезвоживании нефти, подогрев нефти/нефтепродуктов);
- машиностроение (охлаждение эмульсий, гидравлических и трансмиссионных масел, жидкостей для шлифования, воды для обжиговой печи и автоклавов);
- солнечная энергетика — панели солнечных коллекторов.

Широкое применение пластинчатых теплообменников во всех областях промышленности, где требуются теплообменные процессы, обусловлено их уникальными качествами, прежде всего высочайшей эффективностью теплообмена, надёжностью и устойчивостью к воздействиям и пр.



© 2010 Alfa Laval Group, www.alfalaval.com

УДК 621.73.01, 621.001.57

Новые технологии производства пластинчатых теплообменников

И. Е. Семёнов, д.т.н., профессор, ФГАОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (МГТУ)

Рассмотрены современные конструкции пластинчатых теплообменников и новые российские технологии производства пластин таких теплообменников. Представлены схемы нового оборудования и показана их высокая эффективность.

Ключевые слова: пластинчатые теплообменники, рельефная формовка, локальная формовка, сверхпластическая формовка (СПФ), станы локальной формовки.

UDC 621.73.01, 621.001.57

New production technology of plate heat exchangers

I. E. Semenov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Bauman Moscow State Technical University (BMSTU)

Considered modern constructions of plate heat exchangers and new Russian technology for the manufacture of the plates these heat exchangers. New hardware schemas and shows their high efficiency.

Keywords: heat exchangers, embossed moulding, molding, forming, local superplastic forming (SPF), the local mills.

Предмет и методы исследования

Пластиначатые теплообменники представляют собой аппараты, поверхность теплообмена которых образована из тонких гофрированных пластин. Рабочие среды в теплообменнике находятся в щелевых каналах сложной формы между соседними пластинами. Гофрированная поверхность пластины усиливает турбулентность потоков рабочих сред и повышает коэффициент теплопередачи. Размеры, формы и профили рабочей поверхности пластин разнообразны.

В России активный переход к изготовлению и установке теплообменных систем с таким принципом теплопередачи начался в середине 1990-х годов. За прошедший период был наработан существенный опыт производства пластиначатых теплообменников в российских экономических условиях. С точки зрения организации производственного процесса, отечественные технологии изготовления пластиначатых теплообменников различаются полнотой производственного цикла и выполняемых операций. Проведённые исследования показали, что собирают изделия почти целиком из комплектующих, изготовленных за рубежом, или выпускают пластиначатые теплообменники по зарубежным технологиям, но с учётом российского опыта производства. При этом в процессе изготовления деталей и агрегатов частично используют импортные материалы, а иногда и готовые комплектующие — такая практика находит применение на традиционных российских заводах-изготовителях, которые закупает за рубежом необходимое сырьё и соответствующие средства производства.

С точки зрения организации производственного процесса, отечественные технологии изготовления пластиначатых теплообменников различаются полнотой производственного цикла и выполняемых операций. Собирают изделия почти целиком из импортных комплектующих или выпускают их по зарубежным технологиям

Поэтому сегодня, когда особенно остро стоит вопрос импортозамещения, большую важность приобретают наши отечественные технологии.

Устройство пластиначатых теплообменников

Разборные пластиначатые теплообменники (рис. 1) состоят из набора пластин. Теплообменные пластины навешиваются на верхнюю балку и опираются на нижние несущие балки.

Несущие балки служат для центровки теплообменных пластин. Эти пластины одна за другой размещаются между опорной и прижимной плитами, образуя пакет, который после этого стягивается в монолитный узел с помощью стяжных болтов. Опорная, а иногда и прижимная плиты имеют отверстия, через которые осуществляется подвод и отвод теплоносителей. К пластинам приклеивают прокладки специальной формы для герметизации конструкции и организации потоков теплоносителей — теплоноситель направляют либо вдоль пластины, либо через отверстие в следующую камеру.

Движение теплоносителей в пластиначатых теплообменниках может осуществляться прямотоком, противотоком и по смешанной схеме, благодаря чему мощность теплообменника может гибко настраиваться. Конструкция и конфигурация уплотняющих прокладок исключают возможность смешивания жидкостей.

Разборные пластиначатые теплообменники отличаются интенсивным теплообменом, простотой изготовления, малыми гидравлическими сопротивлениями, удобством монтажа и очистки от загрязнений. Неразборные пластиначатые теплообменники (рис. 2) также состоят из набора пластин, которые соединяются методом пайки. В качестве припоя наиболее часто используют медь. Припой герметизирует и прочно скрепляет пластины во всех точках контакта, поэтому нет необходимости применять уплотняющие прокладки для герметизации каналов и организации потоков теплоносителей внутри теплообменника.



Рис. 2. Паяные пластиначатые теплообменники производства компании Kelvion

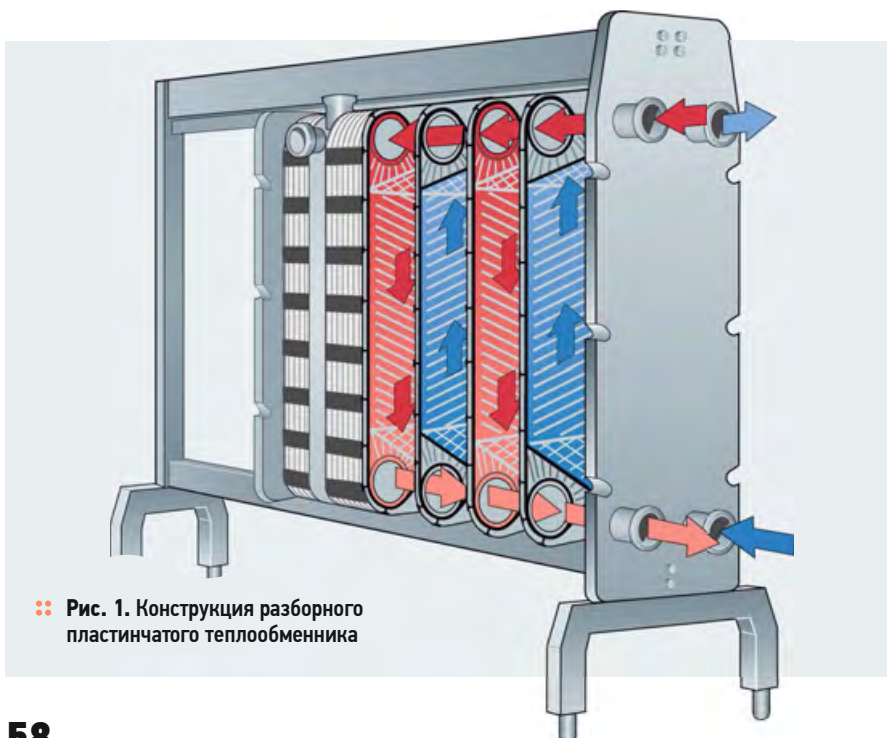


Рис. 1. Конструкция разборного пластиначатого теплообменника

Паяные пластиначатые теплообменники по сравнению с разборными компактнее и имеют меньшую массу и стоимость. Паяные пластиначатые теплообменники особенно пригодны там, где рабочее давление достигает 50 бар, а температура рабочей среды варьируется от -196 до $+550^{\circ}\text{C}$. Сочетание высокой турбулентности течения жидкости с подходящим соотношением объема среды и размера теплообменника позволяет получить высокий коэффициент теплопередачи.

К пластиначатым теплообменникам относятся также некоторые виды радиаторов центрального отопления жилых и производственных помещений. В таких отопительных радиаторах движение теплоносителя происходит по каналам, образованным двумя сваренными друг с другом пластинами. Через эти же пластины осуществляется передача тепла окружающей среде. Следует отметить, что такие радиаторы имеют высокую эффективность и эстетичный внешний вид.



❖ Рис. 3. Пластины разборного теплообменника

Пластины теплообменников (рис. 3) изготавливают из тонколистовой стали (толщиной 0,3–0,7 мм). Для увеличения поверхности теплообмена и турбулизации потока теплоносителя проточную часть пластин выполняют гофрированной или ребристой, причём гофры могут иметь разную форму и расположение (шаг гофр 11,5; 22,5 и 30,0 мм, высота — 4–7 мм).

К пластинам теплообменников предъявляют жёсткие требования по точности размеров и формы, так как набор пластин собирается в один пакет, и даже незначительное несоответствие посадочных поверхностей или неплотный контакт вследствие отклонения формы может привести к нарушению герметичности конструкции под действием давления рабочих сред.

Способы получения пластин Рельефная формовка

Рельефная формовка представляет собой изменение формы заготовки, заключающееся в образовании местных углублений и выпуклостей за счёт растяжения (утонения) материала. Следовательно, рельефная формовка является частным случаем неглубокой местной вытяжки — операции листовой штамповки, при которой материал подвергается главным образом растяжению.

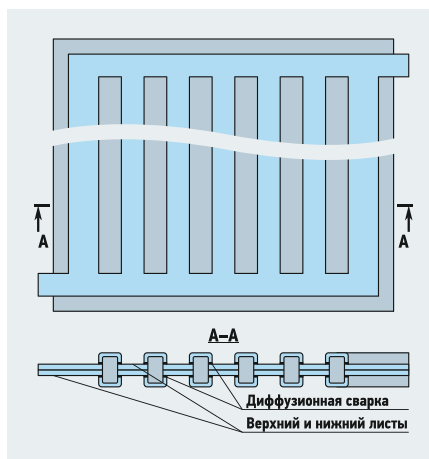
Путём рельефной формовки штампуют ребра жёсткости, каналы и т.п.

Наибольшая глубина канала, которую можно получить в результате рельефной формовки деталей из алюминия, мягкой стали и латуни, может быть ориентировочно определена по формуле:

$$H_p = \frac{B_p s}{s + 2,5},$$

где B_p — ширина ребра, мм; s — толщина штампуемого материала, мм.

Штампы для рельефной формовки обычно содержат матрицу и пуансон, повторяющие конфигурацию штампуемого рельефа с учётом определённых зазоров в местах закруглений.



❖ Рис. 4. Схема конструкции теплообменника

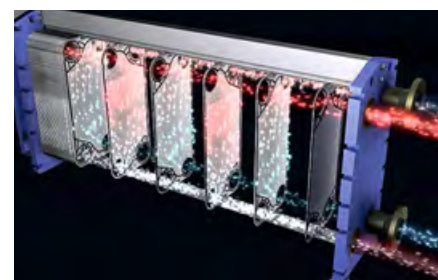
Сверхпластическая формовка и диффузионная сварка

Из-за низкого удельного веса перспективные интерметаллиды по удельной прочности существенно превосходят многие высокотемпературные конструкционные материалы, применяемые в настоящее время. Использование их для создания сложных крупногабаритных конструкций весьма перспективно, так как при этом возможно применение интегральной технологии сверхпластической формовки и диффузионной сварки (ДС).

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что эта технология наиболее эффективна при обработке малопластичных и труднодеформируемых сплавов на основе никеля, титана, железа, алюминия, магния и др., когда особое значение имеют экономия металла и снижение трудоёмкости.

Сверхпластической формовкой (СПФ) называется способ производства тонкостенных деталей из заготовок, находящихся в сверхпластическом состоянии, под действием небольшого давления газа. Процесс СПФ/ДС в настоящее время рассматривается как один из наиболее перспективных, поскольку СПФ/ДС — однооперационный процесс, который позволяет сократить количество сборочных элементов и промежуточных операций

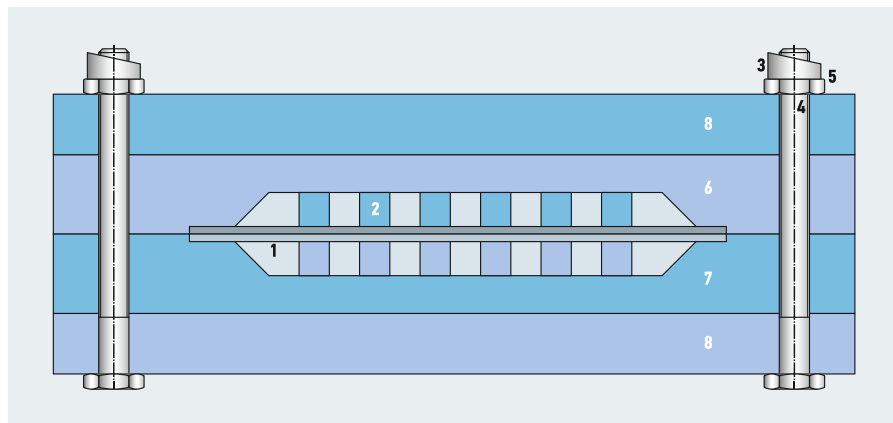
при традиционных видах штамповки и, соответственно, обеспечить снижение затрат на изготовление изделий. Снижение затрат обеспечивает также простая форма и незначительный износ штампового инструмента. Технология СПФ/ДС относится к новым ресурсосберегающим технологиям обработки материалов. Её интегральное совмещение с технологией изготовления слоистых конструкций сложной формы позволяет: увеличить коэффициент использования металла до 0,7–0,85; снизить температуру процесса на 150–200°C; уменьшить вес на 30–40% по сравнению с традиционными технологиями; снизить энергозатраты в полтора–два раза; повысить качество конструкций улучшением механических свойств.



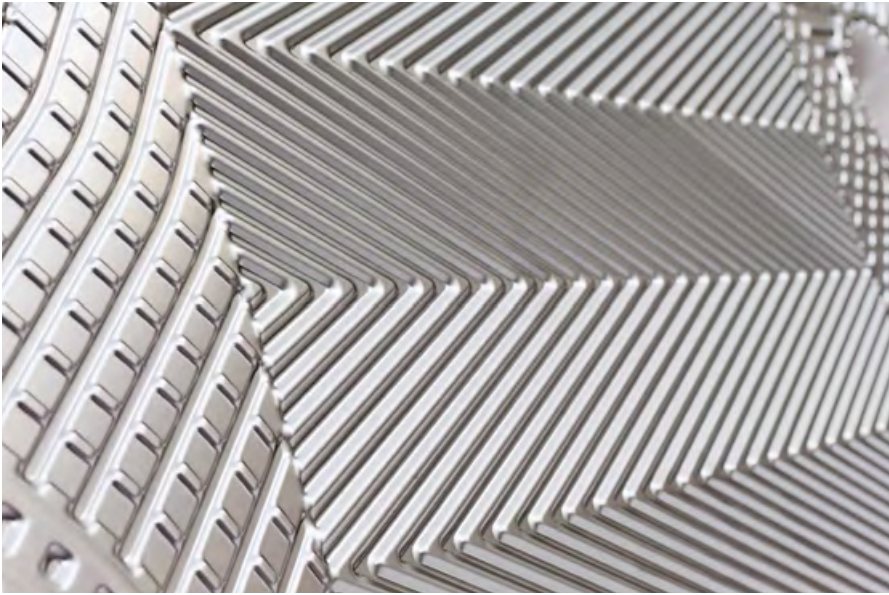
В работе [1] исследована возможность использования технологии СПФ/ДС для изготовления ячеистых теплообменников, представляющих собой двухлистовые ячеистые конструкции, применяемые в контурах охлаждения атомных реакторов, на автомобильном транспорте, в холодильных агрегатах и радиаторах отопительных систем.

Схема конструкции теплообменника и приспособления для его изготовления приведены на рис. 4 и 5, соответственно.

К сожалению, данная технология требует для изготовления одной панели от трёх до десяти часов и более, что ограничивает её применение единичным либо мелкосерийным производством.



❖ Рис. 5. Схема приспособления (1 — пакет из двух листов; 2 — формообразующие прокладки; 3 — клинья; 4 — шпильки; 5 — кольца; 6 и 7 — две полуматрицы: верхняя и нижняя; 8 — силовые плиты)



Профилирование листового металла на многовалковых машинах

При профилировании толщина исходной заготовки и её площадь остаются практически неизменными. Форма поперечного сечения в процессе профилирования претерпевает постепенные изменения: высота сечения, как правило, увеличивается, длина исходной заготовки практически не изменяется. Деформация металла начинается перед формирующими валками значительно раньше, чем данный участок полосы придёт с ними в соприкосновение. При профилировании линейные скорости валков неодинаковы, а площадь контакта между вращающимися валками и непрерывной заготовкой ограничена небольшими участками соприкосновения заготовки с валками. Количество расходуемой энергии, величина возникающих сил и их направление при листовой штамповке переменны во времени, тогда как при установившемся процессе профилирования они постоянны. Кроме того, деформирование в штампах гибочного прессы не сопровождается возникновением в полосе продольных деформаций, которые появляются при профилировании. Ширину заготовки рассчитывают с учётом смещения оси деформации в местах изгиба в сторону внутреннего радиуса. Толщины заготовок для профилей находятся в пределах от 0,3–10 мм по сортаменту соответствующих стандартов на лист, ленту и полосу. Профилирование даёт возможность деформирования заготовок из обыкновенных сталей марок Ст1кп...Ст5сп; качественных сталей марок 05кп...Ст35; а также низколегированных сталей марок 09Г2...30Г толщиной до 1 мм с относительно высокими механическими характеристиками.

Производительность профилегибочных агрегатов очень высока и составляет от 10 до 200 тыс. тонн в год. Они имеют разный состав механизмов, обусловленный производительностью, характером работы и назначением агрегата. В общем случае состав оборудования следующий: разматыватель с загрузочным устройством; листопрямильная машина; ножницы гильотинные; сварочная машина; профилегибочный стан с несколькими рабочими клетями; устройство для разрезки профилей; укладчик. Длина различных автоматических линий составляет 30–200 м.

Для получения профилей различной конфигурации в профилегибочных станах может быть от 14 до 29 клеток. Такое оборудование чрезвычайно металлоёмко (масса от 40 до 1000 тонн), что обусловлено его габаритными размерами (даже

длина компактной автоматизированной линии составляет 39 м; длина стана около 20 м). Поэтому для его размещения необходимы отдельные цеха с большими площадями, кроме того, требуются вспомогательные участки для перешлифовки валков и склады для хранения сменных кассет. Данное оборудование имеет высокую энергоёмкость, так как требуются приводы большой мощности (в общем случае от 100 кВт до 2,8 МВт), высокую стоимость (от \$ 350 тыс.) и требует больших затрат на эксплуатацию и обслуживание. Поэтому профилегибочные станы рассчитаны на условия работы в крупносерийном и массовом производстве и непригодны для быстрой переналадки на небольшие партии в условиях мелкосерийного и единичного производства.

Формовка тонколистовых деталей эластичной средой

Штамповка эластичным инструментом находит широкое применение в различных отраслях промышленности. При штамповке одну из рабочих частей штампа — пуансон или матрицу — изготавливают из эластичного материала. В таком процессе не требуется подгонка одной рабочей части к другой, благодаря чему упрощается процесс переналадки оборудования, а также снижается стоимость штамповой оснастки за счёт снижения массы штамповой стали и сокращения количества технологических операций при её изготовлении.

Особенностью процессов штамповки эластичными и жидкостными средами является то, что давление от инструмента прилагается ко всей поверхности заготовки, а не локально в зонах формообразования, как это происходит при штам-

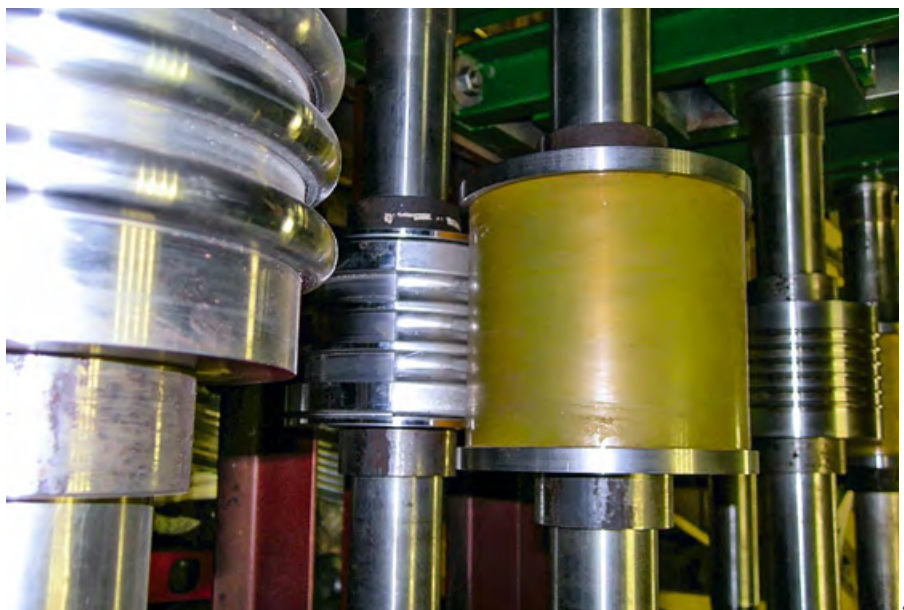


Фото автора.

повке в жёстких штампах. Это приводит к более равномерному распределению напряжений в заготовке и снижению максимальных напряжений в зоне концентраторов, где происходит формообразование. Вместе с тем распределение давления по всей поверхности заготовки приводит к увеличению силы штамповки по сравнению со штамповкой в жёстких штампах. Увеличение силы штамповки ограничивает возможности подобных процессов формовки панелей площадью не более нескольких квадратных метров.

Формовка эластичными средами является довольно перспективным и хорошо изученным процессом. Однако наличие больших сил и, соответственно, высокая энергоёмкость процесса существенно сказывается на себестоимости получаемых изделий.

Технологические процессы с применением валковых машин

На рис. 6 показана схема формовки плоской детали валком с эластичным покрытием в матрицу с заданным профилем. Формовка тонкостенных деталей эластичной средой осуществляется в открытом объёме, что позволяет локализовать очаг пластической деформации и при относительно небольших силах обеспечить формообразование деталей больших размеров [3].

Деформирование тонколистовых заготовок на станах локальной формовки

Процессы локальной формовки в валках с эластичным покрытием подробно исследованы в работах [2–10]. Были разработаны и введены в эксплуатацию в ЦАГИ (город Жуковский Московской области) специальные устройства для нанесения рельефа на поверхность тонколистового металла методом локальной формовки, где рельеф формируется при прохождении заготовки между вращающимся валом с эластичной оболочкой из полиуретана и сменной матрицей с за-

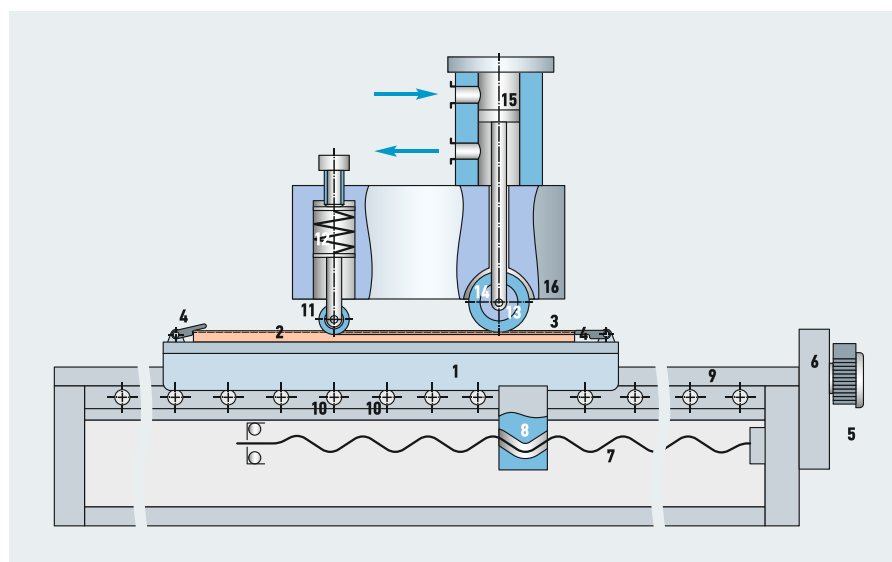


Рис. 7. Схема стана локальной формовки [4]

данным технологическим профилем. Такие устройства для производства деталей плоских теплообменников называются станами локальной формовки (рис. 7).

Стан работает следующим образом: в исходном положении стол 1 с закреплённой на нём матрицей 2 находится в крайнем левом положении. На матрицу 2 устанавливают заготовку 3 под поперечные прижимы 4 и включают двигатель 5, который через редуктор 6 приводит в движение вал-винт 7, и стол 1 через гайку 8, жёстко связанную со станиной 9, начинает горизонтальное перемещение по роликам 10. При этом в контакт с заготовкой входит сначала пара роликов 11,

которые при помощи нажимного устройства 12 загибают продольные боковые кромки заготовки на высоту $h = 5–40$ мм.

Затем происходит загибка торцевых кромок заготовки под воздействием деформирующего вала 13 с эластичной оболочкой 14, имеющего привод вертикального перемещения 15, который установлен на неподвижной траверсе 16. При дальнейшем движении стола происходит локальная формовка заготовки эластичной оболочкой 14 вала 13 по матрице 2. Процесс заканчивается остановкой стола в крайнем правом положении после прохождения вала 13 второго поперечного прижима 4.

При деформировании коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т с высоким сопротивлением пластической деформации для получения элементов теплообменников, используемых в холодильной и геотехнике, максимальная глубина канала, получаемая локальной формовкой эластичным рабочим инструментом, оказалась недостаточной, так как максимальные нормальные напряжения на границе контакта эластичной оболочки с заготовкой не превышали 10 МПа. Поэтому вместо роликов 11 был установлен жёсткий профилированный вал для окончательного деформирования каналов на требуемую глубину. В результате чего нагрузка на вал 13 с эластичной оболочкой 14 была уменьшена на 25–30 %.

Следует отметить, что попытки деформирования заготовки только жёстким валом приводили к образованию продольных складок, переходящих в зажимы уже при глубине формируемой полости 1,5–2,0 мм. Поэтому каналы такого рода раньше можно было получать только на многороликовых профилигибочных станах,

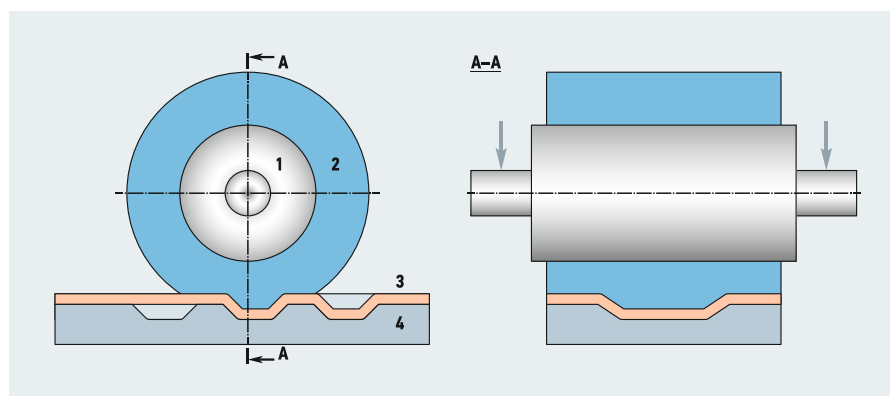


Рис. 6. Схема формовки плоской детали (1 — жёсткий валок; 2 — эластичное покрытие; 3 — деталь; 4 — матрица)



Фото Alfa Laval Group, www.alfalaval.com

проводя последовательно в нескольких клетях деформирование от центра к периферии заготовки. Модернизированная схема стана также имела недостатки. В начальной и конечной стадии процесса на заготовке и на матрице оставались продольные полосы, в результате чего получались бракованные изделия и требовалась частая перешлифовка матрицы. Кроме того, быстро разрушались поперечные прижимы.

Поэтому была разработана улучшенная схема стана локальной формовки, представленная на рис. 8. Схема стана отличается от схемы стана локальной формовки (рис. 7) тем, что на станине 9 смонтирован траверс 16, который имеет возможность поворота вокруг оси 17. На траверсе в центре установлен вал 13 с эластичной оболочкой 14, слева установлен жесткий профилированный вал 11.

При движении стола 1 по роликам 10 из крайнего правого положения налево нажимные ролики 18, установленные на оси 19 в траверсе справа, накатываются на продольные направляющие планки 20. При этом траверс 16 поворачивается вокруг оси 17. Одновременно с началом предварительного деформирования продольные прижимные планки 21, установленные сверху заготовки, вдавливаются демпфирующими прижимными роликами 22 жесткого вала 11 в материал заготовки, прижимая её края к матрице 2.

Жесткий профилированный вал 11 опускается в предварительно отформованные валом 13 с эластичной оболочкой 14 углубления рельефа и осуществляет окончательное деформирование, обеспечивая необходимую глубину каналов, регулируемую нажимным механизмом 12. В конце рабочего хода нажимные ролики

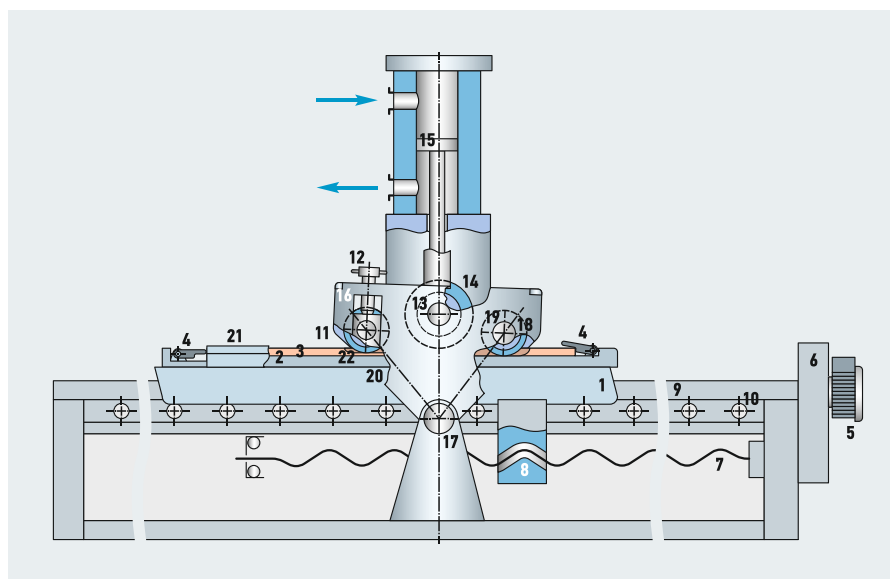
18 скатываются с выступов направляющих планок 20, траверс 16 поворачивается вокруг оси 17, и деформирующий вал 11 поднимается над заготовкой 3. Процесс завершается снятием заготовки после остановки стола в крайнем левом положении. Далее стол необходимо вернуть в крайнее правое положение.

Мощность электродвигателя данного стана не превышает 10 кВт, масса не превышает двух тонн, стан имеет небольшие габаритные размеры, что говорит о чрезвычайно низкой энерго- и металлоёмкости данного вида оборудования по сравнению со штамповым и профилегибочным оборудованием для получения подобных видов профиля. Формовка всех каналов на данном стане происходит за один проход при перемещении стола с профилированной матрицей и заготовкой под валком с эластичным покрытием

ем, при предварительном прижиге вала к заготовке. Стоимость стана локальной гибкиформовки сравнима со стоимостью профилегибочного стана, однако на нём нельзя осуществить непрерывный процесс формовки. Такое оборудование эффективно в условиях мелкосерийного производства, где характерна большая номенклатура деталей, небольшие партии изделий с частой их сменяемостью, а также возникает необходимость быстрой переналадки оборудования на выпуск новых изделий. Всего за прошедшее с 1991 года время в Российской Федерации было изготовлено более десяти станков разных модификаций и назначения, однако сегодня из них функционируют только два, в своё время вывезенных из страны в Чехию и Финляндию.

Непрерывную формовку можно осуществить, если вместо подвижного стола применить вращающийся профилированный валок, как в клети профилегибочного стана. При этом формовка всех каналов по ширине заготовки будет осуществляться одновременно и только за счёт утонения заготовки, а ширина получаемой детали будет равна ширине заготовки. В зависимости от глубины формовки может потребоваться несколько клеток для постепенного увеличения глубины каналов.

Реализация процесса формовки продольных каналов на профилегибочном стане позволит значительно сократить необходимое количество клеток и уменьшить длину линии по сравнению с традиционным процессом профилирования на таком стане, а также увеличит производительность по сравнению со станом локальной формовки в несколько раз и позволит получать детали любой длины.



●● Рис. 8. Схема стана локальной формовки для производства элементов панелей плоских теплообменников [5]

Подобные профилигибочные линии широко распространены и имеют сравнительно простую конструкцию и невысокую стоимость. Таким образом, реализация процесса формовки продольных каналов на профилигибочном стане является перспективной.

Для получения плоских панелей с продольными каналами нами предлагается процесс формовки в последовательных калибрах, схема которого представлена на рис. 9 [11].

В данной схеме нижние валки четырёх калибров являются приводными, верхние — холостыми. Верхние валки первого и третьего калибра имеют эластичную оболочку, поджатую с торцов металлическими шайбами. Оба валка второго и четвёртого калибров жёсткие. Профили нижних валков первого и второго калибров совпадают, также совпадают профили нижних валков третьего и четвёртого калибров. На поверхности верхних валков второй и четвёртой клетки имеются выступы, которые увеличивают глубину каналов полученных в предыдущей клетке с помощью эластичного инструмента. Нижние валки клеток имеют общий привод с передаточным отношением, равным единице.

Растяжение полосы между клетями достигается за счёт увеличения диаметра приводного валка последующей клетки на 2–3 % относительно валка предыдущей клетки, поэтому линейная скорость в последующей клетке будет выше, и силы трения будут создавать растягивающие напряжения, при этом будет небольшое проскальзывание заготовки относительно приводного валка. На фото 1 представлена фотография стана с экспериментальными валками.

Отметим, что при формовке каналов в первых двух клетях утонение листовой заготовки будет неравномерным. Утонение заготовки максимально у вершины

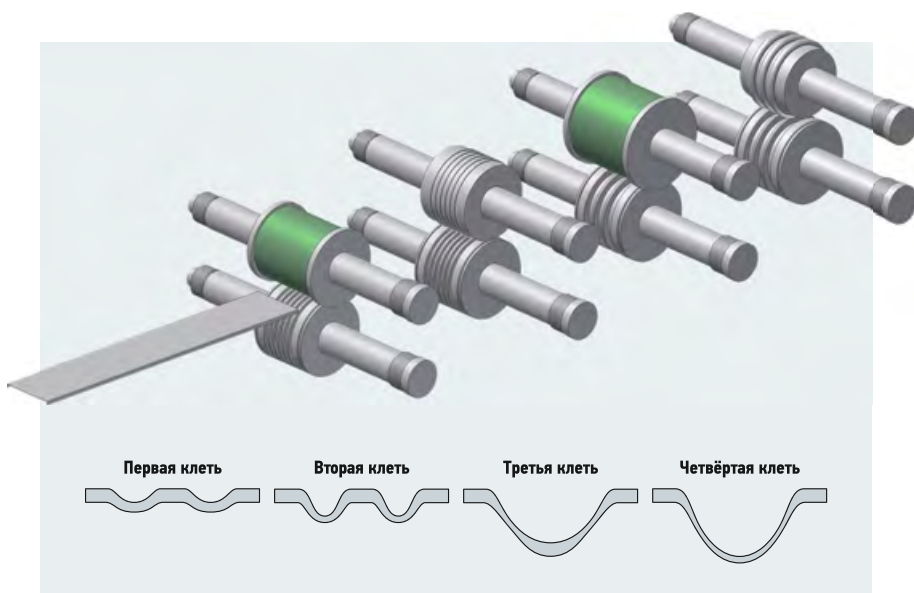


Рис. 9. Схема последовательной формовки каналов в четырёх калибрах

формуемого канала и снижается до минимального значения у его основания. Чтобы максимально использовать металл заготовки в третьем калибре, реализуется процесс знакопеременной формовки. Он заключается в том, что в третьей и четвёртой клетях происходит выворачивание каналов через один.

Из отформованных заготовок были вырезаны образцы для измерений. Измерения проводились путём фотосъёмки образцов, при 100-кратном увеличении и наложении координатной сетки. Результаты измерения показывают, что при формовке в первой клетке эластичным инструментом глубина получаемых каналов составляет величину 0,8 мм, что сопоставимо с толщиной заготовки. Во второй клетке глубина канала увеличивается до 2 мм. В третьей клетке при выворачивании глубина канала увеличивается до 3,5 мм. В последней четвёртой клетке глубина формовки канала составляет 7,5 мм, что соответствует конструкторским требованиям к глубине канала.

Выводы

В настоящее время в Российской Федерации разработаны новые высокоэффективные технологии локальной формовки панелей плоских теплообменников, не имеющие аналогов в мире, и отечественным производителям теплообменников следует обратить на это обстоятельство пристальное внимание. ●

1. Кайбышев О.А. Сверхпластичность промышленных сплавов. — М.: Металлургия, 1984. 264 с.
2. Семёнов И.Е. Локальная формовка эластичной среды // Вестник машиностроения, 1997. №5. С. 19–21.
3. Семёнов И.Е. Направления использования локального формообразования на малых предприятиях // Инженерный журнал, 1997. №2(5). С. 8–11.
4. Пат. 1699345. СССР, МКИ5 B21D22/10. Устройство для изготовления изделий с выпукло-вогнутым рельефом из листового металла / И.Е. Семёнов, Д.Б. Кевеш, Э.А. Костюк. №4827535; заявл. 24.05.1990. Опубл. 15.12.1991. Бюл. №46. С. 34.
5. Пат. 2071853. РФ, МКИ5 B21D22/10. Устройство для изготовления изделий с выпукло-вогнутым рельефом из листового металла / И.Е. Семёнов, М.Н. Шапиро, Ю.Н. Игнатов, Д.Б. Кевеш. №94012731; заявл. 12.04.1994. Зарег. в Государственном реестре изобретений 20.01.1997.
6. Семёнов И.Е. Моделирование процессов последовательной формовки продольных каналов в листе на стане с эластичным и жёстким инструментом // Кузнечно-штамповочное производство, 2010. №6. С. 29–32.
7. Семёнов И.Е. Новые конструкции плоских солнечных коллекторов для мобильных модульных установок горячего водоснабжения // Вестник МГТУ, 2010. №2(79). С. 71–83.
8. Семёнов И.Е. Солнечные мобильные модульные установки горячего водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника, 2010. №2. С. 26–29.
9. Семёнов И.Е., Рыженко С.Н., Поворов С.В. Моделирование процесса формовки на профилигибочном стане с эластичным рабочим инструментом // Вестник МГТУ, 2010. №4(79). С. 86–93.
10. Семёнов И.Е., Горбулинский А.А. Повышение жёсткости полиуретанового инструмента для обработки давлением листового материала // Кузнечно-штамповочное производство, 2014. №4. С. 29–31.
11. Пат. 2368446. RU, B21D13/04, B21D5/06. Стан для обработки металлического листа давлением / И.Е. Семёнов, С.Н. Рыженко, С.В. Поворов. Заявл. 07.10.2007. Опубл. 27.09.2009. Бюл. №27.

* References — see page 94.

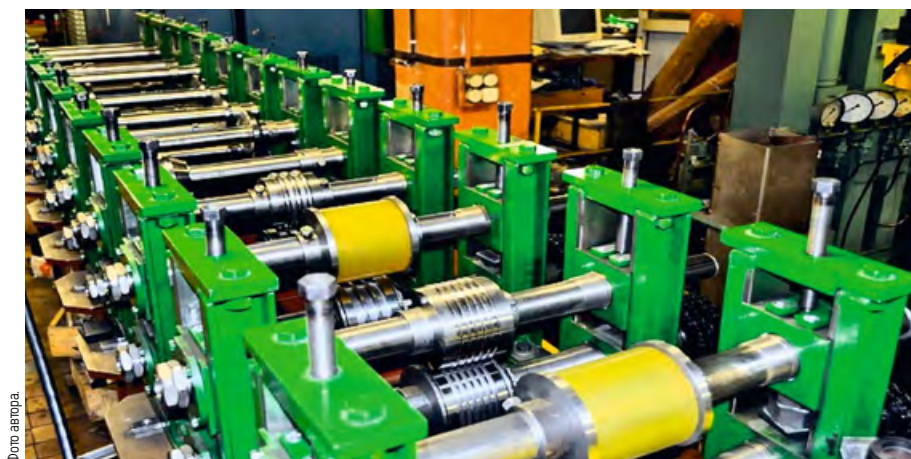


Фото 1. Фотография стана непрерывной формовки

New production technology of plate heat exchangers. Pages 57–63.

I. E. Semenov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Bauman Moscow State Technical University (BMSTU)

1. Kajbyshev O.A. Sverhplastichnost' promyshlennyyh splavov [Superplastic ductility of industrial alloys]. Moscow. Izdatel'stvo Metallurgiya ["Metallurgy" Publishers]. 1984. 264 p.
2. Semenov I.E. Lokal'naya formovka j elastichnoj sredoj [Local forming with a flexible medium]. Vestnik mashinostroenija [Russian Engineering Research], 1997. No. 5. Pp. 19–21.
3. Semenov I.E. Napravleniya ispol'zovaniya lokal'nogo formoobrazovaniya na malyyh predpriyatiyakh [Using of the local forming by small business enterprises]. Inzhenernyy zhurnal [Engineering magazine], 1997. No. 2. Pp. 8–11.
4. Pat. of USSR No. 1699345. Ustrojstvo dlja izgotovleniya izdelij s vypuklo-vognutym rel'efom iz listovogo metalla [An apparatus for manufacturing products with a convex-concave sheet metal relief] / I.E. Semenov, D.B. Kevesh, E.A. Kostyuk. No. 4827535. Decl. of May 24 of 1990. Publ. of December 15 of 1991. Bull. No. 46. Pp. 46–34.
5. Pat. of Russia No. 2071853. Ustrojstvo dlja izgotovleniya izdelij s vypuklo-vognutym rel'efom iz listovogo metalla [An apparatus for manufacturing products with a convex-concave sheet metal relief] / I.E. Semenov, M.N. Shapiro, Y.N. Ignatov, D.B. Kevesh. No. 94012731. Decl. of April 12 of 1994. Zareg. v Gosudarstvennom reestre izobretenij [Registered in the Russia State Register of Inventions] of January 20 of 1997.
6. Semenov I.E. Modelirovanie processov posledovatel'noj formovki prodol'nyh kanalov v liste na stane s j elastichnym i zhestkim instrumentom. Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii [Simulation of processes of sequential forming of the longitudinal channels in the sheet on the mill with elastic and rigid tools. Blanking production in mechanical engineering]. Kuznechno-shtampovoechnoe proizvodstvo [Forging and Stamping Production], 2010. No. 6. Pp. 29–32.
7. Semenov I.E. Novye konstrukcii ploskih solnechnyyh kollektorov dlja mobil'nyh modul'nyh ustanovok gorjachego vodosnabzheniya [New designs of the flat solar collectors for mobile modular plants for hot water supply]. Vestnik MGTU [Papers of BMSTU]. 2010. Vol. 79. No. 2. Pp. 71–83.
8. Semenov I.E. Solnechnye mobil'nye modul'nye ustanovki gorjachego vodosnabzheniya [Solar mobile modular plants for hot water supply]. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tehnika [Water supply and sanitary equipment]. 2010. No. 2. Pp. 26–29.
9. Semenov I.E., Ryzhenko S.N., Povorov S.V. Modelirovanie processa formovki na profilegibochnom stane s j elastichnym rabochim instrumentom [Simulation of the moildng process in the roll forming mill with flexible working tools]. Vestnik Moskovskij gosudarstvennyy tehnikeskij universitet imeni N. Je. Baumana (MGTU) [Papers of Bauman Moscow State Technical University (BMSTU)]. 2010. Vol. 79. No. 4. Pp. 86–93.
10. Semenov I.E., Gorbunskij A.A. Povyshenie zhestkosti poliuretanovogo instrumenta dlja obrabotki davleniem listovogo materiala [Increasing the stiffness of the polyurethane tools for sheet material pressure shaping]. Kuznechno-shtampovoechnoe proizvodstvo [Forging and Stamping Production], 2014. No. 4. Pp. 29–31.
11. Pat. of Russia No. 2368446. Stan dlja obrabotki metallicheskogo lista davleniem [The mill for sheet metal pressure shaping] / I.E. Semenov, S.N. Ryzhenko, S.V. Povorov. Decl. of February 03 of 2004. Publ. of December 27 of 2009. Bull. No. 33.