

**ФРОЛОВ Е.А.**, докт. техн. наук, проф., УкрГАЖТ, г. Харьков  
**КОРНЕЕВ С.В.**, мл. научн. сотрудник, УкрНИИПП, г. Харьков  
**ГОЛИНКО В.С.**, аспирант, УкрГАЖТ, г. Харьков

## **ПЕРЕНАЛАЖИВАЕМАЯ ШТАМПОВАЯ ОСНАСТКА ДЛЯ ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ОПЕРАЦИЙ ПРОЦЕССОВ ИМПУЛЬСНОЙ ШТАМПОВКИ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ**

Предложены конструкции обратимых переналаживаемых формоизменяющих штампов для процессов импульсной штамповки деталей с использованием в качестве материала матриц пластических масс. Проведены исследования и установлены границы стойкости матриц из различных пластических масс.

**Ключевые слова:** импульсные методы штамповки, обратимая переналаживаемая штамповая оснастка, пластические массы, матрица, пуансон.

The constructions of a reversible transform stamps for processes of details pulse punching with usage as a material of plastics matrixes are offered. Researches are conducted and borders of matrixes firmness from various plastics are established.

**Key words:** impact method of die forming, flexible reversible stamp equipment, plastic mass, matrix, punch.

Запропоновано конструкції оборотних переналагоджуваних формозмінюючих штампів для процесів імпульсної штамповки деталей з використанням в якості матеріалу матриць пластичних мас. Проведено дослідження та встановлені межі стійкості матриць з різних пластичних мас.

**Ключові слова:** імпульсні методи штампування, оборотна переналаджене штампове оснащення, пластичні маси, матриця, пуансон.

**Введение.** При создании современных изделий сложной техники в условиях рыночной экономики необходимо учитывать, что конкурентоспособность их зависит от трудоемкости и сроков освоения производства, причем особенно это актуально при дискретных нестабильных программах выпуска изделий.

Решение проблемы изготовления листовых деталей сложной формы традиционными инструментальными методами штамповки сопряжено с резким ростом трудоемкости, увеличением количества штамповой оснастки и сроков подготовки производства. В силу этого по экономическим соображениям необходима замена существующих технологий получения сложнорельефных тонколистовых деталей технологиями, использующими в процессе штамповки только матрицу или пуансон (импульсными методами штамповки жидкостью и эластичной средой) в сочетании с гибким модулем технологического оснащения с использованием обратимых переналаживаемых штампов.

**Постановка проблемы.** Разработать основные конструктивные решения в качестве гибкого модуля технологического оснащения конструктивные решения обратной переналаживаемой штамповой оснастки для процессов импульсной штамповки сложнорельефных тонколистовых деталей.

В основу конструкций обратимых переналаживаемых штампов для импульсной штамповки положен принцип длительной обрабатываемости и высокой оборачиваемости основных элементов (корпуса, нижней плиты, выталкивателя и др.), в том числе и вспомогательных узлов [1, 2]. В такой оснастке необходимо изготавливать только формирующую полость матрицы из легко обрабатываемого материала, например из пластических масс, дельта-древисины, гипса и пр. Разработанные принципиальные решения переналаживаемой оснастки для изготовления деталей из плоских и пространственных заготовок приведены в табл. 1 [3].

Типовая конструктивная схема переналаживаемой оснастки для формообразующих операций и примеры сменных матриц, выполненных из АСТ-Т для штамповки заготовок одинарной кривизны из материала Х18Н10Т толщиной 0,15...0,30 мм, показаны на рис. 1 и 2.

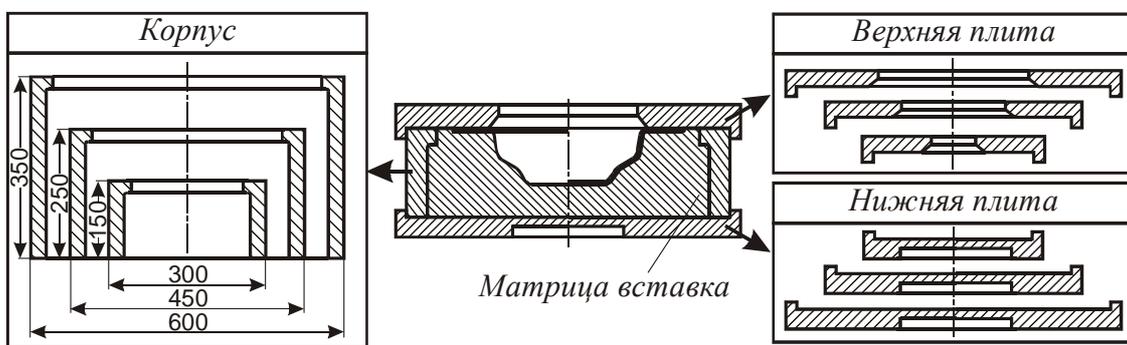


Рис. 1. Конструктивная схема переналаживаемой оснастки

Сменные матрицы позволяют повысить гибкость производства в случае изготовления небольших партий или при частой смене объекта производства, при чем использование легкоотвердевающих и легкообрабатываемых материалов, например, эпоксидных композиций для изготовления матриц экономически эффективнее, чем изготовление их из инструментальных сталей.

**Изложение основного материала.** Нами проведена работа по исследованию стойкости эпоксидных композиций при импульсном нагружении. На основе анализа разрушений пластмассовых матриц при импульсной штамповке установлено, что одной из основных причин является тепловая нагрузка, возникающая при соударении заготовки о полость матрицы, и, как следствие, быстрое усталостное старение материала матрицы.

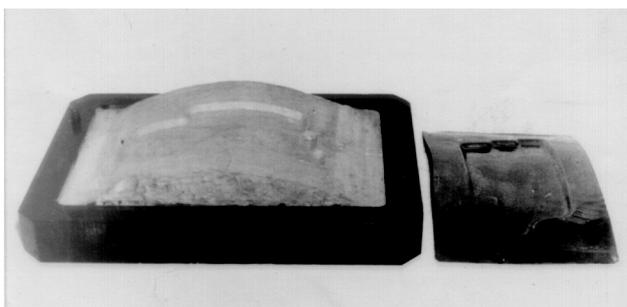
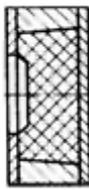
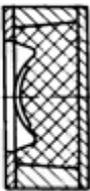
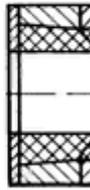
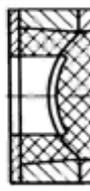
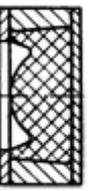
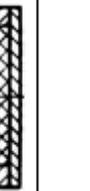


Рис. 2. Примеры сменных матриц с формообразующим элементом из пластмассы АСТ-Т

Таблица 1

## Основные схемные решения переналаживаемой оснастки

Детали	Заготов-ка	Оснастка		Прижим	Эскиз детали	Характеристика деталей
		матрица	формблок			
Плоские	Плоская			Плоский стальной		Панели одинарной и двойной кривизны
						
Одинар-ной кривиз-ны	Плоская			Одинарной кривизны, пластмассовый		Обтекатели, панели одинарной кривизны с глубокими рифтами, коробочки, полусферы
						
Двойной кривиз-ны	Плоская			Плоский стальной		Обтекатели двойной кривизны, коробочки, полусферы
						
	Двойной кривиз-ны	Одинар-ной кривизны			Одинарной кривизны, пластмассовый	
						
	Двойной кривизны			Двойной кривизны, пластмассовый		Детали сложной формы двойной кривизны с глубокой формовкой и вытяжкой

Это обстоятельство потребовало проведения самостоятельных исследований по повышению стойкости полимерных матриц для пневмоударной листовой штамповки. Во избежание термических напряжений, которые являются источником микроразрушений в полимерном материале, в пластмассу предложено вводить теплопроводные наполнители или вещества, способные принимать на себя тепловую нагрузку. В качестве основы материала матриц были выбраны эпоксидные олигомеры в связи с их довольно удовлетворительными прочностными и хорошими технологическими свойствами.

Объектом исследования взята композиция холодного отверждения на основе эпоксидного олигомера ЭД-20, в качестве отвердителя использовали дициан-этилдиэтилентриамин в количестве 32,8 масс.ч. на 100 масс.ч. эпоксидного олигомера. Комплекс трехфтористого бора с анилином вводили в качестве ускорителя реакции отверждения. Помимо того, композиция содержала полимерный теплоаккумулятор в количестве 4-12 масс.ч. Используемый в составе теплоаккумулятор представляет собой смесь на основе низкомолекулярных полиэтиленов [4].

Прочностные свойства оценивали по ударной вязкости, пределу прочности при изгибе, линейной усадке и уровню внутренних напряжений. Все испытания и измерения внутренних напряжений проводили в соответствии с методикой, описанной в [5]. Введение теплоаккумулятора на основе смесей полимеров обеспечивало некоторую совместимость с основным полимером матрицы, поэтому использование традиционных теплоаккумуляторов на основе кристаллогидратов, нафталина нецелесообразно. Кроме того, в подобных теплоаккумулирующих системах возможно целенаправленное регулирование их свойств путем физической или химической модификации.

Для разработанных теплоаккумуляторов оценивали комплекс теплофизических свойств и воспроизводимость характеристик после многократных циклов плавления-кристаллизация (табл. 2).

Таблица 2

Изменение теплофизических свойств теплоаккумуляторов  
в зависимости от количества циклов плавления \*

Показатели	Количество циклов плавления					
	10	30	50	70	100	150
Температура плавления, °С	97	97	97	96	95	95
Теплота плавления, кДж/кг	210	210	210	205	203	202
Теплопроводность, Вт/м°С	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,26

\* – данные представлены для состава: низкомолекулярный полиэтилен с молекулярной массой 4000 – 80%, низкомолекулярный полиэтилен с молекулярной массой 1300 – 20%.

Важным показателем для подобных составов является их стойкость к тепловым нагрузкам, которая оценивается методом дифференциального

термического анализа по кривым потери массы. Результаты термогравиметрии показали, что температура начала деструкции практически не изменяется в зависимости от состава теплоаккумулятора и равняется 180...187 °С.

Температура полной потери массы составляет 340 °С. Неизменность температуры начала деструкции от соотношения компонентов теплоаккумулятора обуславливается, по-видимому, одинаковой химической природой его компонентов. Неизменность этой температуры свидетельствует о том, что разработанные теплоаккумуляторы обладают достаточно хорошей термостабильностью, в то же время, изменяя соотношение компонентов в смеси низкомолекулярных полиэтиленов, можно получать составы с различными необходимыми теплофизическими свойствами.

При введении теплоаккумулирующих добавок в эпоксидный состав снижается и усредняется по объему тепловая нагрузка на макромолекулы полимера, вследствие чего повышается прочность при ударных нагрузках.

Результаты определения физико-механических испытаний эпоксидного компаунда в зависимости от количества введенного теплоаккумулятора представлены в табл. 3.

Таблица 3

Изменение физико-механических характеристик композиции в зависимости от количества теплоаккумулятора

Показатели	Количество теплоаккумулятора, масс.ч						
	4	5	6	7	8	10	12
Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	11,3	15,0	18,8	35,0	40,5	38,7	36,9
Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	75,6	93,5	126,8	145,8	147	138	132
Внутреннее напряжение, МПа	1,9	1,5	1,2	1,08	0,92	0,80	0,70
Линейная усадка, %	0,5	0,47	0,43	0,40	0,37	0,32	0,30

Как видно из таблицы, зависимость прочностных характеристик носит экстремальный характер, что определяется процессами термодинамического взаимодействия компонентов композиции. Оптимальное количество вводимого теплоаккумулятора составляет 7...10 масс.ч.

Задача повышения прочности эпоксидных матриц для импульсной штамповки может решаться путем уменьшения тепловой нагрузки на полимер с помощью веществ, которые могли бы воспринимать эту нагрузку.

Полученные результаты исследований апробированы на модельной оснастке при пневмоударной штамповке жидкостью деталей типа полусферы и коробочки из материала Х18Н10Т толщиной 1,0 мм. Стойкость матриц из ЭД-20 с введенным теплоаккумулятором увеличилась в 1,5 раза (35-45 деталей, полученных в одной матрице).

В целях повышения стойкости матриц (более 100 деталей) для импульсной штамповки большой практический интерес представляет оценка возможностей полиэфирных пресс-материалов – премиксов.

В качестве связующего исследован ненасыщенный полиэфир марки ПН-609-21М ОСТ 6-05-431-78. Армирующим наполнителем служило стекловолокно марки РБР-1042х60-3 (длина волокон – 5 мм). В состав композиций вводили тонкодисперсные наполнители – синтетический алюмосиликат (цеолит) общей формулы  $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O$  (размер частиц – 4...40 мкм) и каолин КР-3 ГОСТ 21286-82, а также смеси указанных наполнителей. В качестве инициатора отверждения использовали трет-бутилпербензоат (ТБПБ), двойную иницирующую систему (ТБПБ) ТУ 6-01-461-79 и перекись дикумида (ПДК) МРТУ 6-09-2193-65. Кроме указанных веществ, в состав композиций включены стеарат цинка (СЦ) и гидрофобная жидкость ПЭС-5. Композиции готовили путем механического смешивания компонентов. Образцы для испытаний и матрицы импульсной штамповки получены прессованием при удельном давлении 8 МПа и температуре формы 150 °С. Время выдержки составляло 30 с/мм толщины.

Наилучшие показатели ударной вязкости (36...38 кДж/м<sup>2</sup>) получены у композиций 1, 5, 7 (у эпоксидных композиций этот показатель составляет 5...30 кДж/м<sup>2</sup>) (табл. 4). Композиция 1 имеет меньшую по сравнению с композициями 5 и 7 плотность, что может быть объяснено повышенным содержанием связующего и ингибирующим действием большого количества воды, содержащейся в конституционной форме в синтетическом алюмосиликате. Наличие конституционной воды в наполнителе приводит к увеличению водопоглощения у композиции 1 (1,97% по сравнению с 1,19% у композиций 5 и 7).

При изготовлении матриц для пневмоударной штамповки выбраны композиции 5 и 7, обладающие по сравнению с остальными повышенными прочностными и эксплуатационными свойствами.

Как показали экспериментальные исследования, апробация на модельных и натуральных матрицах при импульсной штамповке изделий из стальных заготовок толщиной до 1 мм на пневмоударном оборудовании и электрогидроимпульсной установке, применение предложенных полиэфирных пресс-материалов для изготовления ряда деталей дает возможность по сравнению с эпоксидными и акриловыми композициями увеличить стойкость матриц до 60-80 штамповок на одном комплекте оснастки.

Эти результаты позволили рекомендовать к применению при пневмоударной штамповке акриловую полимермономерную пластмассу АСТ-Т и эпоксиднодиановый олигомер ЭД-20 холодного отверждения. Одновременно при значительных размерах матрицы для упрочнения композиционных материалов их необходимо армировать полиамидным волокном и стеклопластиковыми пластинами, а в случае сложнорельефных деталей выполнять последующую облицовку формирующей полости пластмассовой матрицы тонколистовым металлом (рис. 3).

Таблица 4

## Состав и свойства полиэфирных пресс-материалов

Номер композиции	Состав композиции, масс. частей								Свойства композиций			
	Полиэфир	Цеолит	Каолин	ТБПБ	ПДК	Стекло-волокно	ПЭС-5	СЦ	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_u$ , МПа	$a$ , кДж/м <sup>2</sup>	$W_e$ , % (за 24 ч.)
1	48	27,2	-	1	-	22	0,3	1,5	1565	76,9	36	1,97
2*	48	27,2	-	1	-	22	0,3	1,5	1613	68,5	19	0,50
3	45	-	30,3	0,9	-	22	0,3	1,5	1708	83,3	31	0,49
4	45	15,15	15,15	0,9	-	22	0,3	1,5	1616	50,9	33	2,06
5	44,1	15,15	15,15	0,9	0,9	22	0,3	1,5	1660	74,5	38	1,19
6	44,1	212	9,1	0,9	0,9	22	0,3	1,5	1564	96,7	28	1,38
7**	44,1	15,15	15,15	0,9	0,9	22	0,3	1,5	1616	84,0	38	1,19
8***	48	27,2	-	1,0	-	22	0,3	1,5	1596	46,8	17	3,39

Примечания: \* – цеолит, дегидратированный при 150 °С в течение 2 ч; \*\* – поверхность цеолита модифицирована 1%-ным раствором триэтилaminотитаната в бутаноле; \*\*\* – поверхность цеолита модифицирована 5%-ным раствором триэтилaminотитаната в бутаноле

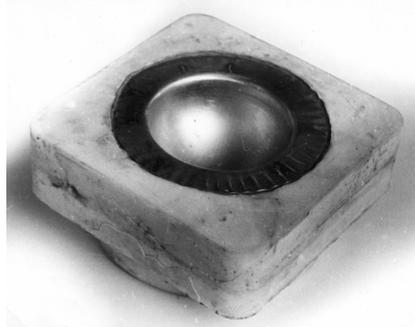


Рис. 3. Матрица из пластмассы АСТ-Т с металлической формующей полостью

По результатам исследований установлены приемлемые границы использования матриц из различных низкопрочных материалов (рис. 4).



Рис. 4. Максимальная (верхняя граница) и минимальная (нижняя граница) стойкость матриц из различных низкопрочных материалов при пневмоударной штамповке

### Выводы:

1. Для обеспечения гибкости производства предложены основные конструктивные решения обратимой переналаживаемой оснастки, обеспечивающие существенное снижение материалоемкости, трудоемкости и цикла изготовления оснастки.

2. Установлена возможность варианта изготовления формообразующих матриц для импульсной штамповки деталей сложной формы на основе армированных пластических масс.

3. Определен и исследован механизм процессов, протекающих в материале матрицы из пластических масс. Установлено, что существенное влияние при ударных нагрузках оказывает разогрев полимера при соударении заготовки о матрицу и устойчивость ее к растрескиванию.

4. Установлено, что для эпоксидных композиций (ЭД-20) стойкость матриц может быть повышена за счет введения в ее основной состав теплоаккумулирующих полимерных добавок, а для полиэфирных пресс-

материалов (премиксов [ПН-609-21М]) – за счет применения в композиции тонкодисперсных армирующих наполнителей (цеолита и каолина).

5. Установлено, что при пневмоударной штамповке долговечность полиэфирных пресс-материалов выше долговечности эпоксидных и акриловых композиций (более 70 отштампованных деталей на одной оснастке).

**Список литературы:** 1. Жолткевич Н.Д., Денисов В.И., Мовшович И.Я. Универсально-сборные штампы и экономическая эффективность их применения // Кузнечно-штамповое производство. – 1980. - №12. – С. 47-49. 2. Мовшович И.Я. Научные основы для создания системы обратимых штампов для листоштамповочного производства: Дис. ... д-ра техн. наук. – Минск, 1985. – 385 с. 3. Чачин В.Н., Жолткевич Н.Д., Журавский А.Ю., Мовшович И.Я., Наумович Т.М., Петраковский В.С., Фролов Е.А. Ударная листовая штамповка. – М.: НТЦ «Информтехника», 1991. – 224 с. 4. Пивень А.Н., Гречаная Н.А. Теплофизические свойства полимерных материалов. – К.: Вища школа, 1976. – 180 с. 5. Галушко А.И. Внутренние напряжения в герметизирующих компаундах РЭА. – М.: Сов. радио, 1974. - 90 с.

**УДК 621.979.134**

*ХОЛЯВИК О.В.*, асист., НТУУ “КПІ”, м. Київ

## **МОДЕЛЮВАННЯ ВИТЯГУВАННЯ ПРЯМОКУТНИХ КОРОБЧАТИХ ВИРОБІВ ГІДРОДИНАМІЧНИМ МЕТОДОМ “ОБЕРНЕНОГО” ПРОЦЕСУ<sup>1</sup>**

Розглянуто витягування порожнистих виробів, які не мають осевої симетрії. Для моделювання процесу витягування використано пристрій для “зворотного” витягування. Пристрій дозволяє перевірити ефективність використання методу потенціалів при розрахунках оптимальної форми заготовки і проміжних переходів.

Ключові слова: витягування, коробчаті вироби, моделювання, “зворотне” витягування, “обернений” процес, метод потенціалів, оптимальна форма заготовки, розрахунок заготовки, проміжні переходи, метод гідродинамічних аналогій.

Рассмотрена вытяжка пустотелых изделий, которые не имеют осевой симметрии. Для моделирования процесса вытяжки использовано устройство для “обратной” вытяжки. Устройство позволяет проверить эффективность использования метода потенциалов при расчетах оптимальной формы заготовки и промежуточных переходов.

Ключевые слова: вытяжка, коробчатые изделия, моделирование, “обратная” вытяжка, “обратный” процесс, метод потенциалов, оптимальная форма заготовки, расчет заготовки, промежуточные переходы, метод гидродинамических аналогий.

The extract of hollow products, which have no axial symmetry, is considered. For modeling process of an extract the most effective method of hydrodynamical analogies is chosen. The device allows to check up efficiency of use of a method of potentials at calculations of the optimum form of preparation and intermediate transitions.

Keywords: extraction, box-type wares, design, “reverse” extraction, “reverse” process, method of potentials, optimum form of preparation, calculation of preparation, intermediate transitions, method of hydrodynamical analogies.

<sup>1</sup> – робота виконана під керівництвом д.т.н. проф. Стеблюка В.І.