

**С.А. Бычков, В.К. Борисевич, В.С. Кривцов, А.П. Брагин**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского  
"Харьковский авиационный институт", Украина*

## **О КОНЦЕПЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ ДЛЯ ВЫБОРА ИМПУЛЬСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ**

Рассматриваются реализованные процессы высокоэнергетических импульсных процессов листовой штамповки и предлагается алгоритм выбора конкретной технологии для конкретного производства.

**высокоэнергетический импульсный процесс, металлообработка, взрывчатые вещества, рациональное применение, алгоритм выбора**

В 50-х годах прошлого столетия началось промышленное использование высокоэнергетических импульсных технологических процессов обработки материалов давлением. Машиностроение обратило на них внимание вследствие возникшего дефицита в высокоэффективных технологиях металлообработки новых конструкционных материалов – высокопрочных и труднодеформируемых. Востребованность производства привела к появлению новейших методов взрывной штамповки бризантными взрывчатыми веществами (ВШ), электрогидравлической (ЭГШ), детонационно-газовой (ДГШ), гидродинамической (ГДШ), магнитоимпульсной (МИОМ).

Краткая обобщенная техническая информация (на основе отечественных и зарубежных источников) импульсных способов листовой штамповки представлена в табл. 1. В ней показаны технологические возможности методов импульсной обработки материалов для листовой штамповки.

К началу 70-х в мировой практике сложились основные направления и определились способы импульсной обработки материалов и их характерные параметры. На некоторых предприятиях отрасли при участии НИАТа, НИИТМа, ХАИ, МАТИ, МВТУ им. Баумана, СО АН СССР создавались участки взрывной штамповки (Казанский авиационный завод

Таблица 1

## Краткая обобщенная техническая информация импульсных способов листовой штамповки

Наименование		Штамповка взрывом	Штамповка порохом	Детонационно-газовая штамповка	Штамповка испарением сжиженного газа	Штамповка электрическим разрядом		МИУ	Гидродинамическая штамповка				
		Источник энергии	Бризантные ВВ	Металлические ВВ	Смесь газов	Жидкий азот	Взрыв проволоки		Электро-разряд в жидкости	Магнитное поле	Порох	Газ высокого давления	Смесь горючих газов
Характеристики источника энергии	Способ высвобождения энергии	Детонация	Горение	Горение, детонационное горение	Испарение и расширение газа	Испарение проволоки	Ионизация среды	Изменение магнитного поля	Горение	Расширение	Горение	Перемещение бойка атм. давл.	Расширение
	Длительность импульса, с	$\sim 10^{-6}$	$\sim 10^{-3}$	$\sim 10^{-3}$ $10^{-6}$	$\sim 10^{-1}$ $10^{-2}$	$\sim 10^{-6}$	$\sim 10^{-6}$	$\sim 10^{-6}$	$\sim 10^{-3}$	$\sim 10^{-2}$	$\sim 10^{-3}$	$\sim 10^{-2}$	$\sim 10^{-3}$
	Скорость волны давления или инструмента	1200... 750	300... 2500	300... 2500		6000	6000	3000... 6000	50... 250	15... 50	50... 100	15... 30	20... 50
	Передающая среда	вода, воздух, песок	воздух, вода	газ, эластичные мембраны	испарившийся газ, вода	вода	вода	воздух, магн. поле	разделительный поршень + жидкость, гель, эластомер				

Продолжение таблицы 1

Наименование		Штамповка взрывом	Штамповка порохом	Детонационно-газовая штамповка	Штамповка испарением сжиженного газа	Штамповка электрическим разрядом		МИУ	Гидродинамическая штамповка				
	Источник энергии	Бризантные ВВ	Металельные ВВ	Смесь газов	Жидкий азот	Взрыв проволоки	Электроразряд в жидкости	Магнитное поле	Порох	Газ высокого давления	Смесь горючих газов	Вакуум	Перегретый пар
Технологические характеристики	Тип оборудования	Бассейн, броняма, бронякамера, взрывные прессы	Бронякамера, взрывные прессы	Прессы закрытой схемы, прессы открытого типа	Специальные установки	Специальные установки	Прессы электрогидравлические	Магнитно-импульсные установки	Пресспушки	Прессы гидроударного действия	Прессы гидроударного действия	Вакуумные установки	Модернизированные пресспушки
	Расположение оборудования	На удалении от производственных помещений	Отдаленное	Отдаленное	Без особых требований	Отдаленное	Отдаленное	Отдаленное	Изолированное от механического производства	Без особых требований	Отдаленное	Без особых требований	Без особых требований
	Мах габарит штампуемой детали, м	5 м более	1,5	1,5	0,6	достигн. 1,5 перспект. 3,0	достигн. 0,9 перспект. 1,5	достигн. 0,3 перспект. 1,2	достигн. 0,45 перспект. 0,8	0,35	0,45	0,3	0,3

Наименование		Штамповка взрывом	Штамповка порохов	Детонационно-газовая штамповка	Штамповка испарением сжиженного газа	Штамповка электрическим разрядом		МИУ	Гидродинамическая штамповка				
	Источник энергии	Бризантные ВВ	Металлические ВВ	Смесь газов	Жидкий азот	Взрыв проволоки	Электро-разряд в жидкости	Магнитное поле	Порох	Газ высокого давления	Смесь горючих газов	Вакуум	Перегретый пар
Технологические характеристики	Располагаемая работа, кДж	не ограничена	до				до 500	до 120	реализов. 150 пер-спект. 250	до 50	до 50	до 10	до 10
	Источник энергии	Бризантные ВВ	Металлические ВВ	Смесь газов	Жидкий азот	Взрыв проволоки	Электро-разряд в жидкости	Магнитное поле	Порох	Газ высокого давления	Смесь горючих газов	Вакуум	Перегретый пар
	Максимальное давление на неподвижной преграде, МПа	$\geq 10^4$	$5 \cdot 10^2$		5...10		$2 \cdot 10^2$	–	$2...3 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^2$	$10^2$	10	$10^2$
	Универсальность	хорошая	хорошая	удовл.	удовл.	удовл.	хорошая	удовл.	отл.	хорошая	хорошая	удовл.	хорошая

Окончание таблицы 1

Наименование		Штамповка взрывом	Штамповка порохом	Детонационно-газовая штамповка	Штамповка испарением сжиженного газа	Штамповка электрическим разрядом		МИУ	Гидродинамическая штамповка				
	Источник энергии	Бризантные ВВ	Металлельные ВВ	Смесь газов	Жидкий азот	Взрыв проволоки	Электроразряд в жидкости	Магнитное поле	Порох	Газ высокого давления	Смесь горючих газов	Вакуум	Перегретый пар
Технологические характеристики	Основные выполняемые операции	вытяжка, раздача, формовка, калибровка, отбортовка, упорочнение, сборка	вытяжка, формовка, раздача, калибровка	вытяжка, формовка, калибровка, сборка	вытяжка, раздача, формовка	калибровка, формовка, сборка	вытяжка, формовка, калибровка, раздача	раздача, калибровка, сборка	вытяжка, раздача, формовка, калибровка, сборка, шт-ка крутоизог. пат-вов, пробивка	вытяжка, раздача, формовка, пробивка тонколистовых заготовок	вытяжка, раздача, формовка	вытяжка, формовка, раздача	вытяжка, формовка, раздача
	Возможности автоматизации	удовл.	удовл.	хорошая	хорошая	удовл.	отл.	хорошая	хорошая	отл.	отл.	хорошая	хорошая

им. Горбунова, Куйбышевский авиационный завод, Новосибирский авиационный завод им. Чкалова, моторостроительные заводы в Запорожье, Николаеве, Перми, Рыбинске), где были представлены и участки электрогидравлической, магнитно-импульсной, детонационно-газовой и гидродинамической штамповки.

Однако, вместе с зарождением и многочисленными попытками внедрения новых технологических методов в действующие производства, возникла и проблема определения их рациональной области применения, своей технологической ниши и соответствующих критериев.

Однако эти критерии позволяют учитывать лишь возможные варианты технологии.

При выборе же оптимального варианта следует разработать концепции и критерии, позволяющие объективно и всесторонне грамотно определять оптимальную технологию и оборудование для каждого конкретного случая.

При этом перед руководителями производства возникают сложные, в большинстве своем противоречащие друг другу проблемы. Они являются продуктом общественного научно-технического и социального развития, современного состояния ресурсной базы.

К этим проблемам относятся:

– технологическая, определяемая наличием или возможностью обеспечения производства необходимыми техническими средствами (производственными мощностями, специальным и универсальным оборудованием, энергией, инструментом, оснащением и т.д.), научно-технической базой (программами и методиками проектирования технологических процессов, производственными инструкциями, руководящими техническими материалами), специалистами соответствующего уровня;

– организационная, требующая разработки, согласования и утверждения в инстанциях документации, регламентирующей функционирование вновь организуемых производственных участков и оборудования;

– экономическая, связанная с растущим дефицитом основных конструктивных материалов, оборудования и энергетических поступлений;

– социальная, возникшая в связи с изменением ориентации профессиональных приоритетов, возросшими требованиями к условиям труда

и культуре производства, включая медицинские и эргономические аргументы;

– экологическая, определяемая современными требованиями защиты и сохранения окружающей среды;

– демографическая, вызванная изменением пропорций возрастных и социальных формаций в обществе;

– психологическая, определяющая особенность отношения и поведения людей в условиях работы с взрывчатыми веществами, источниками мощных электромагнитных и СВЧ-излучений и сильных импульсных шумов;

– территориальная, определяющая принципиальную возможность размещения технологического комплекса.

Машиностроение, испытывая острый дефицит в новых высокоэффективных технологиях металлообработки, успешно предпринимало многократные попытки освоения импульсных технологических процессов.

Обоснование выбора и последующей реализации того или иного способа штамповки стало уже весьма затруднительным без систематизированной концептуальной ориентации.

С этой целью был разработан алгоритм выбора технологии для возможного внедрения по соотношению между физическими параметрами заготовки и детали с одной стороны и энергосиловыми возможностями конкретного метода импульсной обработки материалов с другой стороны.

*Потребные параметры* – параметры заготовки и детали:

– габариты детали и заготовки;

– абсолютная и относительная толщина заготовки;

– объем проштамповки;

– минимальный относительный радиусгиба детали;

– механические характеристики материала заготовки;

– энергия пластической деформации;

– максимальное потребное давление.

Энергия пластической деформации как параметр, определяющий на этапе выбора источника импульсной энергии, используется при следующих условиях:

а) объем проштамповки достаточно велик, т.е. перемещения отдельных точек заготовки соразмерны с ее абсолютными размерами;

б) импульс нагружения характеризуется высокой скоростью нарастания давления и кратковременностью его действия. Если расположить реализованные импульсные технологии в ряд по этому признаку (табл. 1), то наиболее кратковременные импульсы создаются при взрыве БВВ, при электроразряде в жидкости, при создании импульсного магнитного поля; промежуточные положения занимают процессы гидродинамической и детонационно-газовой штамповки; наконец, процесс штамповки испарением сжиженных газов можно считать квазистатическим. Предельной (теоретически) следует считать ситуацию, при которой давление в импульсе бесконечно велико, а время его действия бесконечно мало. В этом случае разгон заготовки до скоростей, определяемых законом сохранения импульса (количества движения), происходит на бесконечно малых перемещениях, что позволяет для определения НДС заготовки решать уравнение движения без правой части, но совместно с начальными кинематическими условиями;

в) имеются статистические данные по величине коэффициента полезного действия аналогичных реализованных технологических процессов;

Максимальное потребное давление используется как определяющий параметр на этапе выбора источника импульсивной энергии при следующих условиях:

а) если технологический процесс характеризуется малыми (соизмеримыми с толщиной заготовки) перемещениями точек заготовки (калибровка, чеканка, пробивка отверстий, обжим и т.д.);

б) если импульс нагружения является достаточно длительным (квазистатическим). В этом случае имеется возможность пренебречь в уравнении движения инерционными членами и, решая получившееся уравнение статического равновесия, определить потребное давление.

*Располагаемые параметры.*

К числу этих данных относятся:

- располагаемая или запасаемая энергия;
- коэффициент полезного действия;
- геометрические и физические параметры объектов импульсной обра-

ботки материалов;

– параметры импульса нагружения:

- а) время нарастания и время действия давления;
- б) максимальное давление импульса нагружения;
- в) величина импульса.

На рис. 1 представлен алгоритм выбора источника импульсной энергии по фактическим параметрам, т.е. алгоритм определения *возможности*

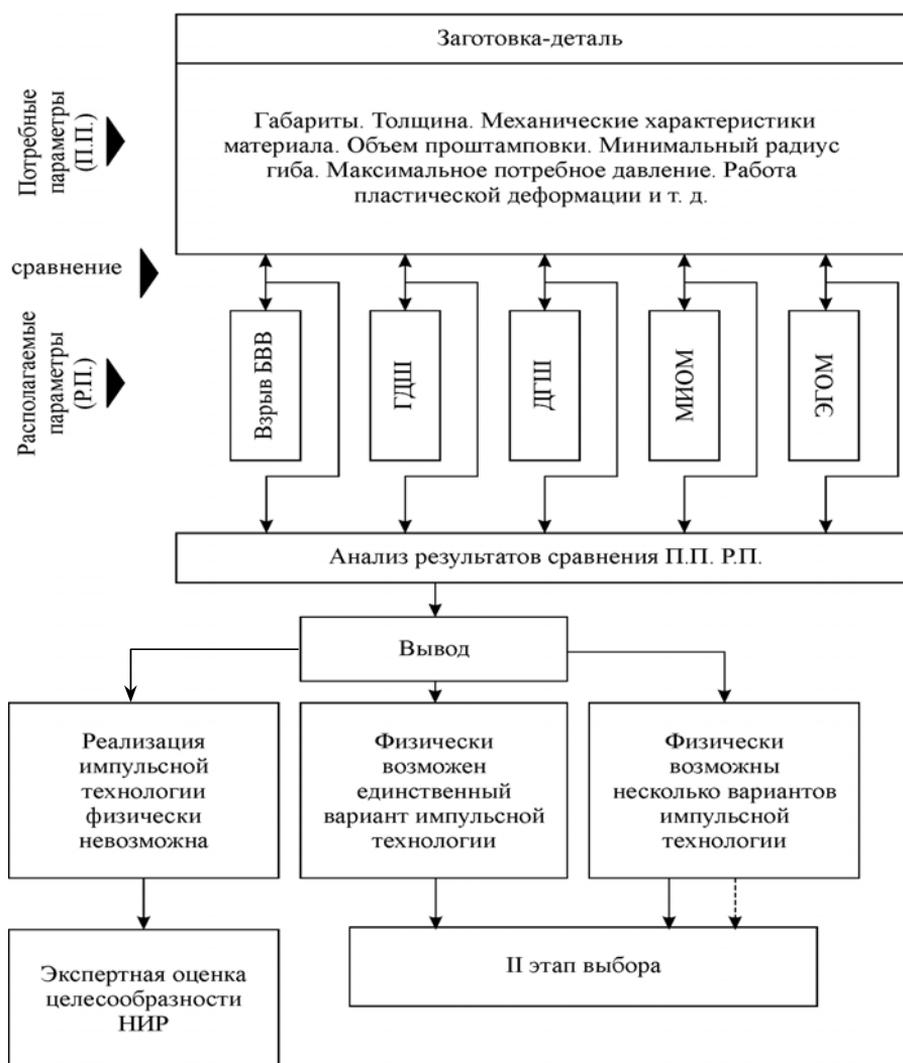


Рис. 1. Блок-схема алгоритма выбора источника импульсной энергии по фактическим параметрам (1 этап – выбор по физическим параметрам)

---

*реализации* конкретного технологического процесса с использованием конкретного источника импульсной энергии, который был теоретически и экспериментально исследован и разработан для внедрения в промышленность импульсных технологий в основном учеными Проблемной лаборатории ХАИ, руководителем которой до 1972 года был профессор, д.т.н. Р.В. Пихтовников, а в последующее время – его ученики.

Если приведенный в соответствии с этим алгоритмом анализ приводит к выводу, что реализация импульсной технологии физически невозможна, то должна быть проведена экспертная оценка целесообразности проведения НИР, так как располагаемые параметры представляют собой статистические данные по параметрам реализованных процессов и слово «невозможна» в этом случае означает «нереализована».

Если физически возможны один или несколько вариантов импульсной технологии, то необходимо перейти ко второму этапу выбора, т.е. к выбору по сравнению технико-экономических показателей.

Целесообразность внедрения определяется в результате сравнения технико-экономических показателей.

В настоящее время проводится работа по формированию информационного блока данных по перечисленным выше критериям.

В АНТК им. О.К. Антонова совместно со специалистами ХАИ планируется проведение работ по классификационной обработке статистических данных новыми математическими методами и адаптации данной концепции в современных САПР системах.

*Поступила в редакцию 15.06.2007*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.Г. Гребенников, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.