

Залежність твердості зміцненого титану від інтенсивності напружень має залежність, близьку до лінійної. Статистичний розкид даних для титану ВТ6 досить суттєвий, що пов'язано зі структурними особливостями матеріалу та умовами експерименту.

Титан ВТ1-0 має велику пластичність в області всебічного стиску, що дає можливість проводити його технологічну обробку в холодному стані до великих значень накопичених деформацій. Титан ВТ6 виявляє малу чутливість пластичності до зміни схеми напруженого стану, тому при його технологічній обробці необхідно уникати великих локальних деформацій.

**Література:** 1. Огородников В.А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении / Огородников В.А.; – К.: УМК ВО, 1989. – 152 с. 2. Огородников В.А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / Огородников В.А.; – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 175 с. 3. Смирнов-Аляев Г.А. Механические основы пластической обработки металлов / Смирнов-Аляев Г.А.; – Л.: Машиностроение, 1968. – 272 с. 4. Колмогоров В.Л. Напряжения, деформации, разрушение / Колмогоров В.Л.; – М.: Металлургия, 1970. – 229 с. 5. Дель Г.Д. Определение напряжений в пластической области по распределению твердости / Дель Г.Д.; – М.: Машиностроение, 1971. – 200с. 6. Грушко А.В. Построение кривых течения материалов с учетом шейкообразования / А.В. Грушко, В.А. Огородников, В.И. Музычук // Кузнечно-штамповочное производство «Обработка металлов давлением». – 2007. - №8. – С.16-20. – ISSN 0234-8241. 7. Сивак И.О. Пластичность металлов при объемном напряженном состоянии / И.О.Сивак, Е.И. Коцюбовская // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії та машинобудуванні: тематичн. зб. наук. пр. – Краматорськ: ДДМА. – 2007. – С. 73-76.

**УДК 621.983.044:003.13**

*М.А. ГОЛОВАНОВА*, канд. техн. наук, доц., НАУ им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков

*М.К. КНЯЗЕВ*, канд. техн. наук, с.н.с., НАУ им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

*Д.Н. ТКАЧЕНКО*, аспирант, НАУ им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

### **ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНОЙ ШТАМПОВКЕ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

Изложено краткое описание двух вариантов технологических процессов с применением электрогидроимпульсной штамповки. Проведен комплексный анализ вариантов для определения интегрального коэффициента эффективности и выбора оптимального процесса по критериям прямых и косвенных показателей

Викладено короткий опис двох варіантів технологічних процесів з застосуванням електрогідроімпульсного штампування. Проведено комплексний аналіз варіантів для визначення інтегрального коефіцієнта ефективності та вибору оптимального процесу за критеріями прямих та непрямих показників

Short descriptions of two variants of manufacturing processes with use of electrohydroimpulse forming are submitted. Complex analysis of variants for determination of integral efficiency coefficient and selection of optimal process by direct and indirect factors is performed

## 1. Введение

Объективно обоснованная оценка экономической эффективности технологических процессов (ТП) электрогидроимпульсной штамповки (ЭГШ) опирается на критерии экономической эффективности, соответствующие показатели и условия. При выборе экономически целесообразного варианта технологии лишь при помощи одного критерия оптимальности, практическая значимость решения такой задачи будет незначительной. Например, при использовании только самого прибыльного техпроцесса, выбранного на основе критерия чистой текущей стоимости, может не хватить средств на внедрение техпроцесса в производство, если остановиться на минимизации затрат на производство продукции. Реализация такого проекта может обернуться недополученными прибылями или снижением качества деталей и т.п.

В условиях реального производства технолог, как правило, разрабатывает несколько вариантов технологических процессов, предполагающих использование технологического оснащения различного состава и сложности, различной последовательности операций, технологической подготовки производства различающейся по длительности и затратам. При этом многие составляющие затрат и другие показатели сложно определить как по причине большой трудоемкости, так и по причине неопределенности многих факторов, влияющих на себестоимость и качество продукции. В такой ситуации при выборе оптимального варианта ТП технолог опирается больше не на точные расчеты, а на собственный опыт и интуицию.

В настоящей работе поставлена цель апробировать применение комплексного анализа в практике электрогидроимпульсной штамповки на примере обоснования выбора оптимального варианта ТП для детали «основание».

## 2. Варианты технологических процессов ЭГШ

Деталь представляет собой полутор с плоским дном и максимальной глубиной 15 мм. Центральная часть детали выше на 5 мм ее периферийной части. Радиусы перехода дно-стенка равны 4 мм (рис. 1).

Исследование выполняли на экспериментальной многоэлектродной установке УЭГШ-2 с максимальным уровнем запасаемой энергии 69 кДж для семи разрядных контуров [1].

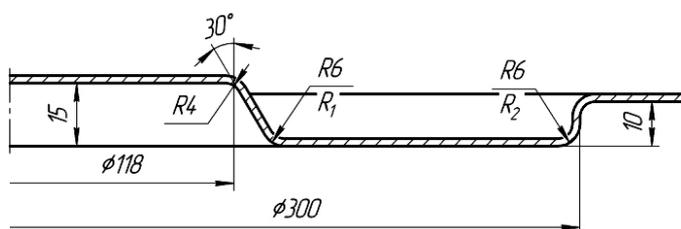


Рис. 1. Эскиз детали «основание»

Первый вариант технологического процесса предполагает штамповку в матрицу (рис. 2) с применением подкладок, облегчающих условия формовки элементов большой кривизны. По расчетам для формирования донных радиусов  $R_1$

и  $R_2$  (см. рис. 1) потребовалось бы затратить 1669 кДж энергии [2], что в условиях

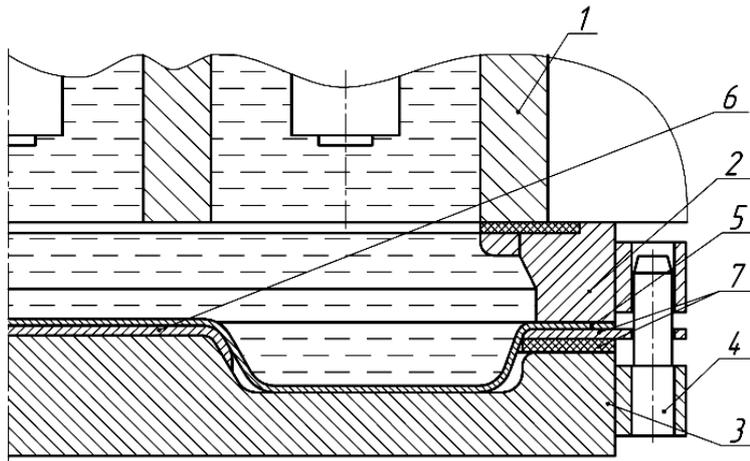


Рис. 2. Схема штамповки в матрицу:  
1 – многоэлектродный разрядный блок;  
2 – прижимное кольцо; 3 – матрица;  
4 – центровочные штифты; 5 – заготовка;  
6 – стальная подкладка; 7 – стальная и  
резиновая подкладки

штамповки на установке УЭГШ-2 означало бы примерно 25 разрядов с максимальным уровнем запасаемой энергии. Фактически количество таких разрядов составило 32. Следствием этого является интенсивный износ изоляторов электродов и необходимость проведения частого ремонта (перетачивания), что увеличивает себестоимость изделия. Большое количество разрядов также приводит к увеличению длительности технологического процесса и затрат на электроэнергию.

Второй вариант ТП предполагает выполнение двух переходов: 1) образование генеральной конфигурации и формовка элементов детали в матрице и 2) калибровка донных радиусов на пуансон (рис. 3). Такой подход потребовал изготовления дополнительного элемента штамповой оснастки – пуансона и, соответственно, дополнительных затрат. Однако общее количество разрядов на двух технологических

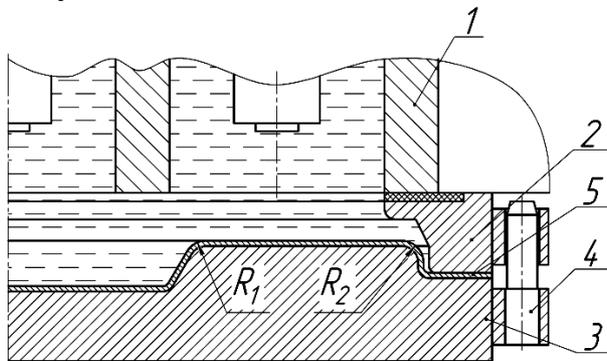


Рис. 3. Схема калибровки на пуансон: 1 – разрядный блок; 2 – прижимное кольцо; 3 – пуансон; 4 – центровочные штифты; 5 – заготовка

переходах сократилось до 9-ти, уменьшился износ электродов и электроэнергии, сократились затраты на ремонт электродов и длительность штамповки, а также повысилось качество продукции.

Таким образом, перед технологом стоит задача выбора оптимального варианта технологии. При этом на правильность выбора влияют многие противоречивые факторы, а их значения невозможно рассчитать с высокой степенью достоверности.

### 3. Комплексный анализ вариантов технологических процессов

Полный состав показателей для комплексного анализа описанных вариантов технологических процессов ЭГШ объединяет в себе группу прямых показателей, состоящих из набора материальных, энергетических, трудовых, финансовых и временных показателей, имеющих различную квалиметрическую оценку, и косвенных показателей, таких как конкурентоспособность, социальная

значимость, новизна, реализуемость и другие, имеющих только качественную шкалу измерений [3].

Следует отметить, что учет косвенных показателей следует проводить после отбора вариантов технологических процессов, обеспечивающих на данном предприятии экономическую целесообразность их применения. Предлагается для анализа сравниваемых вариантов ТП рассматривать только показатели, приведенные в Таблице. Значения отобранных для анализа параметров имеют интервальный характер, что связано с неопределенностью данных. При этом отобранные показатели, в отличие от других, существенно зависят от программы выпуска, а вследствие интервальности входящих в них переменных образуют спектр границ экономической эффективности сравниваемых вариантов технологических процессов ЭГШ.

Таблица - Значения показателей для вариантов технологических процессов

Статьи затрат	Единица измерения	Вариант 1 (матрица)	Вариант 2 (матрица + пуансон)
Оснастка (проектирование и изготовление)	грн	2250	3500
Электроды (изготовление)	грн	1600	1600
Электроды (ремонт)	грн	[950; 1150]	[250; 300]
Электроэнергия технологического назначения	грн/дет.	[4,15; 4,58]	[1,04; 1,18]
Заработная плата основных производственных рабочих	грн/дет.	[30; 35]	[4,5; 5,2]
Технологическая себестоимость (по сравниваемым статьям затрат)	грн/дет.	[154,4; 164,58]	[139,29; 141,58]
Выработка	дет./смена	[3; 4]	[8; 10]
Реализуемость	балл	5	9
Новизна	балл	2	8

Принято считать, что себестоимость изготавливаемой продукции является важнейшим показателем экономической эффективности технологических процессов. Однако минимальная себестоимость не всегда является решающим критерием для выбора варианта технологического процесса. Производителю не безразлично, какие капитальные затраты необходимы для внедрения новой техники. Поэтому капитальные затраты, связанные с проектированием и изготовлением штамповой оснастки (матрица или матрица и пуансон) необходимо выделять как самостоятельный показатель и обязательно учитывать

при экономическом анализе вариантов технологического процесса ЭГШ. Что касается трудоемкости операций (выработки), то при единичном или мелкосерийном производстве интервальность значений может быть выражена очень сильно.

В качестве косвенных показателей учитывали такие показатели как новизна и реализуемость.

Для упорядочения по совокупности критериев альтернативных вариантов технологических процессов путем комплексного учета показателей рассчитывают интегральный коэффициент эффективности

$$K_{\text{эф}} = K_x \cdot K_y,$$

где  $K_x$  – степень эффективности технологического процесса по группе прямых показателей;  $K_y$  – степень эффективности технологического процесса по группе косвенных показателей.

Коэффициенты  $K_x$  и  $K_y$  являются комплексными и рассчитываются соответственно по формулам:

$$K_x = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot [x_i],$$

где  $\alpha_i$  – функциональная весомость  $i$ -го ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) прямого показателя;  $[x_i]$  – интервальное значение функции полезности  $i$ -го из  $n$  прямых показателей;

$$K_y = \sum_{j=1}^m \beta_j \cdot [y_j],$$

где  $\beta_j$  – функциональная весомость  $j$ -го ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) косвенного показателя;  $[y_j]$  – интервальное значение функции полезности  $j$ -го из  $m$  косвенных показателей.

Значения функциональных весомостей  $\alpha_i$  и  $\beta_j$  определяются экспертным путем в соответствии со значимостью функций. Количество показателей  $n$  определяется количеством формально установленных функциональных зон. Количество показателей  $m$  зависит от особенностей производства и определяется по сферам затрат, включая как формально установленные, так и реально существующие. Для отобранных показателей строят функции полезности (рис. 3) в соответствии с предельными значениями.

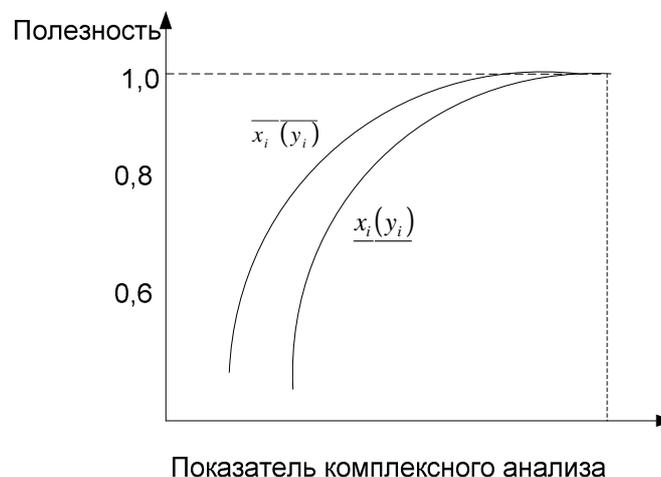


Рис. 4. График функций полезности

Показатели эффективности определяются в пределах от «0» до «1», путем анализа каждой функциональной зоны. При этом учитывают степень влияния функциональной зоны на конечные результаты производства, степень корреляционной связи между затратами и полученными показателями.

Таким образом, по мнению экспертов, наиболее важным критерием для рассматриваемых вариантов штамповки является технологическая себестоимость детали, следующим по важности является стоимость специальной оснастки детали, затем затраты на электроэнергию, и наименее важными критериями являются трудоемкость изготовления детали и заработная плата основных производственных рабочих. Среди косвенных показателей более приоритетным является реализуемость технологического процесса по сравнению с таким показателем как новизна.

Предложенная математическая модель оценки эффективности ТП ЭГШ позволила рассчитать интегральный коэффициент эффективности производства детали по всей комплексной системе показателей. Результирующие показатели в виде интегрального коэффициента эффективности для сравниваемых вариантов технологических процессов получены следующие:  $K_1 = [0,251; 0,351]$ ;  $K_2 = [0,831; 0,701]$ .

Таким образом, исходя из проведенных расчетов, можно сделать вывод о том, что при заданных условиях следует выбрать второй вариант технологического процесса ЭГШ с применением матрицы для первого перехода и пуансона для второго перехода.

### **Выводы**

Проведенный комплексный анализ вариантов ТП показал, что предложенная методика эффективна в применении к процессам электрогидроимпульсной штамповки. Методика рекомендуется для использования на предприятиях с листоштамповочным производством.

**Список литературы:** 1. Особенности электрогидроимпульсной штамповки деталей с локальными элементами большой кривизны / А.И. Долматов, Я.С. Жовноватюк, М.К. Князев, О.В. Мананков // Авиационно-космическая техника и технология. – 2009. – № 10. – С. 31-35.  
2. Влияние геометрических параметров электродной пары направленного воздействия на технологические параметры поля нагружения / А.А. Антоненко, М.К. Князев // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2002. – № 11. – С. 7-12.  
3. Модели, методы и инструментальные средства поддержки принятия решений в наукоемком высокотехнологическом производстве: монография / В.М. Вартамян, М.А. Голованова, Б.Б. Стелюк, И.В. Дронова. – Х.: ИД «ИНЖЕК», 2009. – 224 с.