

- чем больше площадь полотна  $S$ , тем больше должна быть и толщина полотна  $h_{пол}$ , т.е. технологичность при этом меньше;
- чем больше отношение длины к ширине полотна  $a_{пол}/b_{пол}$ , тем толщина полотна  $h_{пол}$  может быть меньше;
- чем больше высота ребра  $h_p$ , тем больше должна быть его ширина  $b_p$  (в производственной практике принято  $h_p/b_p=6,5...10$ );
- чем больше высота ребра  $h_p$ , тем больше должно быть минимальное расстояние между ребрами  $a_{min}$ , т.к. быстро изнашивается выступ штампа формирующий полотно (принято считать  $a/h_p=2...10$ ).

В результате выполненных экспериментального и компьютерного моделирования процесса штамповки установлена важность точности расположения заготовки в штампе, существенным образом влияющее на качество готовой продукции. Получены практические рекомендации по расположению заготовки в штампе – допустимое смещение заготовки по плоскости установки до  $\delta/a = \pm 0,012$ . Превышение приведенного допустимого значения приводит либо к появлению брака (недоштамповка ребер по высоте) либо к увеличению трудоемкости штамповки вследствие введения дополнительных технологических операций.

**Список литературы:** 1. Братухин А.Г. Современные технологии авиастроения / Под ред. А.Г. Братухина, Ю.Л. Иванова – М.: Машиностроение, 1999. – 832 с. 2. Савамура И. Пластическая обработка титановых сплавов / И. Савамура // Киндзоку. – 1983. – Т.53, №9. – С. 21-26. 3. Корнеев Н.И. Ковка и штамповка цветных сплавов: справочник / Н.И. Корнеев, В.М. Аржаков, Б.Г. Бармашенко и др. – М., «Машиностроение», 1971. – 232 с. 4. Маковецкий В.В. К расчету процессов получения заготовок на основе метода Треффца / В.В. Маковецкий, А.В. Маковецкий // Вісник донбаської державної машинобудівної академії: Зб. наук. праць. №2(4) – Краматорськ: ДДМА, 2006. – С. 132–137. 5. Авано Т. Моделирование процессов объемной штамповки / Т. Авано, А. Дано // Сосэй то како. – 1972. – Т. 13, №141. – С. 768–775. 6. Cook P.M. Models from plastic of materials / P. M. Cook // Metal Treatment & Drop Forging. – 1953. – Т. 20, №11. – р. 511. 7. Кирпичев М.В. Теория подобия / М.В. Кирпичев. – М.: Изд. АН СССР, 1953. – 94 с. 8. Полухин П.И. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов. Справочник / П.И. Полухин, Г.Я. Гун, А.М. Галкин. – М.: Металлургия. 1983. – 352 с.

*Поступила в редколлегию 25.12.2010*

**УДК 658.5.012.7**

**М.Е. ТАРАНЕНКО**, докт. техн. наук, проф., НАКУ «ХАИ», г. Харьков  
**А.В. ДЕМЧЕНКО**, аспирант, НАКУ «ХАИ», г. Харьков

### **НЕОБХОДИМОСТЬ ИНТЕРАКТИВНОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ ЛОКАЛЬНОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ**

В статье обосновывается возможность сокращения на 70...75% трудоемкости и цикла штамповки крупногабаритных листовых деталей на электрогидравлических прессах. Такой результат достигается уменьшением времени на контроль формоизменения путем внедрения

интерактивного контроля процесса ЭГШ и послеоперационного контроля листоштампованной детали.

У статті обґрунтовується можливість скорочення на 70...75% трудомісткості та циклу штампування великогабаритних листових деталей на електрогідравлічних пресах. Такий результат досягається зменшенням часу на контроль формозміни шляхом впровадження інтерактивного контролю процесу ЕГШ та післяопераційного контролю листоштампованої деталі.

The ability of shortening on 70...75% of laboriousness and production cycle of large-dimensional sheet metal electro hydraulic forming is described in this article. These results can be achieved with introduction of interactive control of electro hydraulic stamping and postoperative control of sheet-metal formed part.

Процессы последовательного локального деформирования крупногабаритных листовых деталей импульсным нагружением обладают рядом положительных свойств, определяемых технологической наследственностью, которые трудно или невозможно придать деталям при традиционных методах штамповки. Но они обладают и недостатками, к числу которых следует отнести относительно низкую производительность. В свою очередь она определяется необходимостью контроля за формоизменением заготовки.

Выбор параметров для контроля качества процесса формоизменения, в первую очередь, зависит от целей процесса придания заготовке тех или иных свойств. При штамповке крупногабаритных листовых деталей, помимо явной цели – получения заданной формы, можно рассматривать следующие цели:

- при необходимости получения минимального уровня остаточных напряжений возможен только косвенный контроль пока не установленных параметров;

- при преследовании цели получения задаваемого поля максимально упрочненных участков детали (для реализации безопасной конструкции) можно использовать методику замера твердости переносными твердомерами [4]. Но для этого необходима разборка установленной в прессе оснастки;

- при максимальной минимизации размеров заготовки или максимального использования запаса пластических свойств, а также деформировании деталей с равномерным утонением, можно использовать заранее отработанные схемы последовательности поля нагружения. При этом контролировать только соответствие заданных и фактически осуществляемых режимов.

Известно [2], что проще контролировать начальный процесс энерговыделения, регистрируя импульс тока и напряжения на отдельном электрическом контуре с помощью специальных датчиков и осциллографа. Зная допустимые параметры импульсов, можно судить о качестве выделения энергии на электродах, и, следовательно, о состоянии ЭС.

Для получения таких сложных свойств у изготавливаемых деталей необходимо контролировать функционирование всей технологической системы на всех этапах преобразований. Это общее правило в приложении к штамповке крупногабаритных листовых деталей может быть интерпретировано в следующем виде:

- контроль процессов выделения энергии, во многом определяющийся состоянием элементов энерговыделяющей системы;
- входной контроль заготовок по материалу, состоянию поверхности и т.п.;
- контроль характера деформирования для получения заданных свойств или характеристик детали.

Для реализации качественного с минимальными ресурсозатратами контроля необходимо выбрать соответствующие способы контроля, контролируемые параметры, установить их точность и надежность. При таком выборе следует руководствоваться положением о том, что контроль на заключительных этапах преобразований заготовки в деталь экономически менее выгоден, чем контроль на начальных этапах преобразования.

В рассматриваемом приложении типичную фотографию технологического процесса электрогидравлической штамповки крупногабаритной листоштампованной детали с габаритными размерами 1000×1500 мм (табл. 1). Из анализа составляющих трудозатрат следует, что затраты времени непосредственно на контроль степени формоизменения затрачивается 6...12% времени цикла штамповки. Но вспомогательное время этой операции достигает 40% длительности техпроцесса.

С другой стороны, при листовой штамповке жестким носителем формы детали чаще всего является технологическая оснастка. Использование в этом случае современных координатно-измерительных машин экономически неоправданно, в том числе и потому, что требует съема детали с технологической оснастки. Поэтому, существует объективная потребность контроля формы непосредственно в оснастке, необходимо стремиться к минимизации времени такого контроля.

Косвенный контроль параметров процесса в отношении его трудоемкости предпочтителен, тем более известны его способы и методики проведения [2, 3].

Так в НАКУ «ХАИ» разработана методика параллельного ходу техпроцесса формообразования контроля процесса выделения энергии в межэлектродном пространстве при ЭГШ. Контроль производится практически в реальном времени и не удлиняет техпроцесс. Параметрами, выбранными для контроля являются:

- отношение падения напряжения на предразрядной стадии к зарядному напряжению:  $\Delta U / U_0$ ;
- отношение длительности предразрядной стадии к характеристическому времени разрядного контура  $t_{i\partial} / \sqrt{LC}$ , где L и C – индуктивность и емкость разрядного контура.

Состав операций техпроцесса штамповки представлен в таблице 1.

Оба параметра характеризуют уровень потери энергии на предразрядной стадии и при установлении предельных значений могут служить контролируемыми параметрами. Например, экспериментально установленная зависимость  $\Delta U / U_0 = 7 \cdot 10^{-5} \cdot N + 0,0607 (\pm 0,0067)$ , где N – количество произведенных разрядов, с достаточной степенью адекватности описывает состояние электродной системы, которое может изменяться в неблагоприятную сторону вследствие разрушения, например, изоляции электродной системы.

Таблица 1 – Состав операций техпроцесса штамповки крупногабаритной детали (1000×1500 мм) сложной формы двойной кривизны

№	Операция	$t_{опн}, \%$
1.	Установка на матрицу подготовленной заготовки	1,06
2.	Установка на заготовку фигурных накладок и эластичного коврика	2,13
3.	Прижим комплекта оснастки к МРБ	1,06
4.	Заполнение водой разрядного (рабочего) объема	4,26
5.	Проверка готовности пресса к работе. Контроль включения блокировок	1,06
6.	Выполнение заданного количества разрядов	4,26
7.	Слив воды из рабочего объема	4,26
8.	Разборка комплекта оснастки	2,13
9.	Контроль степени формоизменения на определенных участках	6,38
10.	Правка образовавшихся складок	7,45
11.	Повторение операций 1...8	19,15
12.	Контроль формы и других заданных параметров	7,45
13.	Окончательная обрезка технологических припусков	8,51
14.	Повторение операций 1...8 для калибровки детали. Калибровка	19,15
15.	Повторение операций 7, 8 (иногда 10)	6,38
16.	Окончательный съем детали с оснастки. Зачистка заусенцев. Протирка	5,32

Увеличение значений второго параметра свидетельствует об увеличении межэлектродного расстояния (по разным причинам), повышенной искровой эрозии разрядных кромок электродов или «старений» воды. Это наглядно фиксируется кривыми нормального распределения параметра  $U$  и значением дисперсии этого распределения.

Следует подчеркнуть, что при косвенном контроле таких процессов желательно одновременно контролировать два-три разных параметра, т.к. это обеспечивает надежность процесса контроля и позволяет с высокой степенью точности определять причину нарушения режима выделения энергии.

Для контроля степени прилегания заготовки к матрице, т.е. заключительной стадии контроля, предложено использовать матрицу последнего перехода [1], в которой устанавливаются датчики, определяющие положение заготовки относительно поверхности матрицы.

Датчики, основанные на использовании методов пневмоники являются наиболее устойчивыми к работе в производственных условиях. Рекомендуемая схема использования воздушных датчиков для определения зазора между заготовкой и матрицей показана на рис. 2, где изображен дифференциальный (двухканальный) датчик. По наружным каналам подается

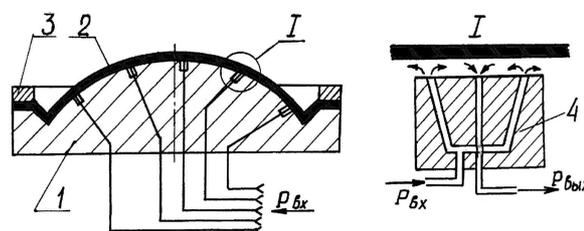


Рис. 2. Вариант расположения струйных датчиков для определения прилегания заготовки к матрице: 1 – матрица; 2 – заготовка; 3 – прижимное кольцо; 4 – корпус датчика;  $P_{вх}$  – питающее давление;  $P_{вых}$  – измеряемый параметр

питающий поток воздуха. На выходе из сопла воздушные струи отражаются от поверхности заготовки, давление в центральной зоне повышается по мере уменьшения зазора между заготовкой и матрицей. По мере изменения давления судят о расстоянии от заготовки до торца датчика. Зависимость выходного сигнала преобразователя обратно пропорциональна расстоянию в третьей степени.

Это позволяет достаточно точно определять зазоры, образующиеся при полном прилегании с диапазоном расстояний 0...10 мм и точностью 0,5...0,05 мм.

По данным измерения при превышении фактической величины зазора заданной, производится дополнительная калибровка детали. Трудоемкость такого контроля минимальна по сравнению с длительностью техпроцесса. Дополнительная операция калибровки позволяет исправить брак без затрат времени на вспомогательные операции.

Алгоритм действий, описанный в табл. 1 характерен для опытного или штучного производства и очень трудоемок и длителен при попытке внедрить его в поточные линии штамповки автокузовных панелей или других крупногабаритных листоштампованных деталей.

Введение интерактивного контроля качества процессов ЭГШ способно, при наличии отработанного технологического процесса, исключить такие повторяющиеся этапы, как 1–8 (табл.) на протяжении процесса штамповки. Зная качество энерговыделения на всех электродах многоэлектродного разрядного блока (МРБ), оператор может судить о протекании технологического процесса и своевременно вносить корректирующие воздействия.

Интерактивный контроль позволяет избавиться от ряда относительно трудоемких операций, таких как контроль формоизменения заготовки, который вызывает необходимость остановки штамповки. Если имеется готовый отработанный технологический процесс ЭГШ на конкретную деталь, то, согласно таблице, цикл штамповки может быть сокращен на 70...75%, и в итоге будет составлять около 25 минут.

Главным преимуществом схемы интерактивного контроля, базирующейся на измерении и оценке импульса напряжения является ее относительно малая трудоемкость и простота, а также возможность визуализации процесса штамповки при наличии математических моделей процесса.

Боле сложный и точный контроль формы детали требует более дорогой оснастки и некоторых затрат времени. Но позволяет с минимальной трудоемкостью исправлять брак процесса.

Таким образом, в результате проведенных исследований предложена схема контроля процесса ЭГШ крупногабаритных листовых деталей, основывающаяся на сочетании методов интерактивного и послеоперационного контроля. При отработанном технологическом процессе это может сократить трудоемкость техпроцесса штамповки на 70...75%, что является весьма значительным.

**Список литературы:** 1. Тараненко М.Е. Параметры и методы контроля процессов ЭГШ крупногабаритных листовых деталей / М.Е. Тараненко // Кузнечно-штамповочное производство. – 1997. – № 6. – С. 20–23. 2. Тараненко М.Е. Возможности интерактивного контроля

процесса ЭГШ крупногабаритных деталей / М.Е. Тараненко, А.В. Демченко, Т.В. Гарибова // Сборник научных трудов ХАИ «Вопросы проектирования и производства конструкции летательных аппаратов». – 2010. – Вып. 2 (62). – С.58-62. 3. Батыгин Ю.В. Численная обработка результатов измерения импульсных токов поясом Роговского / Ю.В. Батыгин, Г.С. Сериков, Е.А. Чаплыгин // Сб. научн. трудов «Автомобильный транспорт». ХНАДУ – 2009. – Вып. 25. – С. 194-198. 4. Огородников В.А. Керування технологічною спадковістю при листовому штампуванні з метою підвищення безпеки конструкторів / В.А. Огородников, В.Є. Перлов, С.В. Войтків // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія Машинобудування №60. – С. 133-137.

*Поступила в редколлегию 19.01.2011*

**УДК 621.983.3.044.002**

***М.Е. ТАРАНЕНКО***, докт. техн. наук, проф., НАКУ «ХАИ», г. Харьков

### **ВЛИЯНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕМ НАГРУЖЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ШТАМПОВКЕ НА ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ**

Кратко описаны возможности влияния управления полем нагружения заготовки при последовательном локальном электрогидравлическом деформировании на технологическую наследственность листовых деталей.

Коротко описані можливості впливу управління полем навантаження заготовки при послідовному локальному електрогидравлічному деформуванні на технологічну спадковість листових деталей.

Briefly describes the ability to influence management field loading blanks for local electro hydraulic sequential deformation on technological heredity sheet metal parts.

Исследования проведенные за последнее десятилетие позволили уточнить положительное влияние управления полем нагружения, а, следовательно, топографией полей остаточных напряжений и накопленных деформаций, которые в большой степени определяют качество крупногабаритных листовых деталей. Здесь качество продукции рассматривается как сложное свойство отштампованных деталей, в том числе включающее, высокую точность деталей с низким уровнем остаточных напряжений, высокие параметры технологической наследственности, рассматриваемые с точки зрения безопасности эксплуатации конструкции, а также гибкость процесса, позволяющую расширить диапазоны параметров технологичности конструкции детали.

В работах [1,2] описаны результаты разработки и создания многоконтурного ЭГ-пресса ПЭГ-ХАИ-500, с запасаемой энергией до 500 кДж, которые определяют возможность изготовления крупногабаритных кузовных деталей микроавтобусов и легковых автомобилей. Отштампованные детали из сталей 08кп и 08Ю имеют точность, соответствующую точности формозадающей оснастки и несклонны к короблению или поводкам. Эффект проявляется наиболее полно при определенном режиме многоимпульсного нагружения. При формообразовании детали за один импульс нагружения его проявление