

УДК 621.98.044: 629.7 +620.17 +620. 22-4

**М. Е. ТАРАНЕНКО****ИНТЕРАКТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ ШТАМПОВКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ**

Обговорены преимущества интерактивного контроля процесса штамповки крупногабаритных листовых деталей. Контролируются формы заготовки в ходе процесса деформирования, величина зазоров между отштамповкой и оснасткой и, в определенной мере, состояние энерговыделяющей системы оборудования.

Рассмотрено два метода контроля: с помощью струйных воздушных датчиков и акустический метод контроля. Приведены возможные варианты технических решений расположения датчиков. Методы контроля применимы для штамповки на многокривошипных механических прессах, процессов штамповки эластичной или жидкой средой, а также импульсных (электрогидравлических) методов штамповки указанных деталей. Показаны преимущества и недостатки двух методов.

**Ключевые слова:** листовая штамповка, контроль, струйные датчики, акустический метод контроля, штамповая оснастка.

Обговорені переваги інтерактивного контролю процесу штампування великогабаритних листових деталей. Контролюються форми заготовки в ході процесу деформування, величина зазорів між отштамповки і оснащенням і, до певної міри, стан енерговиделяючої системи обладнання.

Розглянуто два методи контролю: за допомогою струменевих повітряних датчиків і акустичний метод контролю. Наведено можливі варіанти технічних рішень розташування датчиків. Методи контролю застосовні для штампування на многокривошипних механічних пресах, процесів штампування еластичною або рідким середовищем, а також імпульсних (електрогидравлічних) методів штампування зазначених деталей. Показано переваги та недоліки двох методів.

**Ключові слова:** листова штамповка, контроль, струменеві датчики, акустичний метод контролю, штампова оснастка.

A large sheet metal parts are parts with dimensions greater than 1.0 m. In most cases, on the surface they are local elements in the form of a rift, cuttings, parts of mating surfaces with small radii of curvature. These sites require for their formation of high pressure or effort compared to the shaping of the general shape of the part. These details are avtokuzovnye panels, mirrors or antennas satellite space communications, details of cladding and lining units aircraft. To assess the ability to control the value of the blank to fit different matrix structure were analyzed and methods for measuring the characteristic distances – potentiometric, capacitive, inductive sensors and optical measurement methods. Main advantages of interactive control of forming of large-dimensional sheet articles are considered. Principal parameters under controlling of forming are blank shape, value of gapping between blank and forming tool and the state of energy-releasing system of equipment. Two controlling methods are analyzed: by means of jet-pipe transducers and acoustic method. Possible methods of engineering solutions of transducers location are shown. Mentioned methods of controlling are applicable for forming of large-dimensional articles on crank mechanical presses, by elastic or liquid mediums and impulse (electro-hydraulic) ones. Advantages and disadvantages of considered controlling methods are revealed.

**.Keywords:** sheet forming, controlling, jet-pipe transducer, acoustic method of controlling, forming tool.

**Введение.** К крупногабаритным листовым деталям относятся детали с габаритными размерами более 1,0 м. В большинстве случаев на своей поверхности они имеют локальные элементы в виде рифтов, подсечек, участков сопряжения поверхностей с малыми радиусами кривизны. Эти участки требуют для своего формообразования повышенного давления или усилий по сравнению с формообразованием генеральной формы детали. К таким деталям относятся автокузовные панели, зеркала антенн спутниковой или космической связи, детали обшивки и облицовки агрегатов самолетов. Они изготавливаются:

– на механических многокровошипных прессах с использованием штамповой оснастки, состоящей из матрицы и пуансона или нескольких пуансонов. Эти процессы характерны для массового или крупносерийного производства деталей. Для более мелких серий деталей они экономически не выгодны;

– на прессах штамповки эластичной средой или жидкостью типа прессов «Quintus». В таких процессах используется один элемент оснастки – матрица или формблок (пуансон). При этом необходимы высокие давления для деформирования, действующие на большой площади. Что, в свою очередь, обуславливает большую металлоемкость оборудования и высокие энергозатраты. Процессы

используются в серийном и мелкосерийном производствах;

– на импульсных прессах, в частности, электрогидравлических с управляемым полем нагружения и последовательным локальным деформированием заготовки. Такие процессы используются в индивидуальном и мелкосерийном производствах.

**Основная часть.** Необходимость интерактивного контроля процесса штамповки крупногабаритных деталей, т. е. контроля процесса или состояния заготовки в ходе самого процесса, обусловлено рядом факторов.

1. Высокими требованиями к качеству деталей, точностью их размеров и формы. Для некоторых типов деталей такой группы допустимое отклонение формы от формы оснастки не превышает 0,3...0,5 мм.

2. Большой трудоемкостью контроля размеров и формы нежестких деталей. В условиях штамповки таких деталей практически единственным носителем заданных параметров является штамповая оснастка. Т. е. контроль можно осуществлять за счет определения отклонений поверхностей детали от поверхности оснастки.

3. Наличием большого коробления (поводок) отштампованных деталей, возникающих от действия

остаточних напружень. Для некоторых перспективных для применения сортов и марок сталей степень коробления достигает значений, соизмеримых с размерами деталей.

4. Неточностью дозирования прилагаемого усилия или давления, которая определяется широкими значениями допусков на механические свойства штампуемого материала. Для некоторых марок стали допуски на пределы прочности и текучести достигают 20 % от номинального значения. А номинальные значения сильно зависят от направления проката. В свою очередь неточность дозирования приводит к недоштамповке или увеличению наклепа поверхности детали.

Все вышперечисленное можно устранить и получать качественные детали при правильном построении технологического процесса на основе знания состояния деформируемой заготовки в ходе самого процесса штамповки и степени прилегания заготовки к формозадающей поверхности оснастки. Строгим дозированием выделяемой энергии, которая может трансформироваться в прилагаемое к заготовке давление или скорость ее приближения к матрице, можно исключить недоштамповку, наклеп, отскок детали от матрицы и другие явления, приводящие к неточности детали.

Более просто проблема неточности детали решается в процессах последовательного локального деформирования и в процессах штамповки эластичной и жидкими средами. В этих процессах достаточно легко можно дозировать прилагаемую энергию и давление в ходе самого процесса штамповки. При штамповке на механических многокривошипных прессах контролю поддается степень прилегания поверхности заготовки к матрице и развиваемое прессом усилие при калибровочных переходах.

**Цель работы** – исследовать возможность применения методов контроля положения заготовки в оснастке и диагностики работы оборудования, в отличие от известных методов контроля, не требующих существенного усложнения оснастки, сложного контрольного и диагностического оборудования, а, в оптимальном случае, бесконтактного контроля.

Для оценки возможности контроля величины прилегания заготовки к матрице были проанализированы разные конструкции и методы измерения характерных расстояний – потенциометрические, емкостные, индуктивные датчики и оптические методы измерений. В условиях штамповки они обладают определенными преимуществами, но главный их недостаток сводится к необходимому присутствию в рабочей зоне электрических проводки и контактов. Контакты подвергаются загрязнению и, как следствие, ненадежно работают. Электрическая проводка часто повреждается большими перемещаемыми массами металла.

В таких условиях наиболее приемлемыми можно считать являются воздушные струйные датчики расстояний [1-3]. Прежде всего, в них привлекает: простота – датчик состоит практически из одной детали – сопла; высокая точность измерения расстояний 0–10 мм, невысокие питающие давления сжатого воздуха, устойчивость к вибрациям, электрическим помехам, загрязнениям. За базовую поверхность принимается поверхность матрицы, что позволяет не применять дополнительные контрольно-измерительные устройства.

Современное исполнение подобных элементов представлено в [5–8].

Некоторые варианты использования и установки струйных датчиков показаны на рис. 1 и 2. Для регистрации равномерности по периметру вытяжки фланца днищ датчики 4 рекомендуется устанавливать в прижимной плите 2, ориентируя в радиальном направлении. В исходном положении фланец заготовки 6 перекрывает отверстия для выхода воздуха и его расход через датчик минимальный. По мере вытяжки фланца в полость матрицы увеличивается расход воздуха через датчик, что снижает давление в питающей сети  $P_{пит}$  (Па), которое регистрируется микроманометром (на рис. 1 показан условно). Такое изменение по величине сигнала прямопропорционально величине перемещения фланца. При сравнении этих сигналов с нескольких датчиков легко определить расположение участков более интенсивной вытяжки фланцев и, после несложных пересчетов, положение данной части заготовки.

При неравномерной прогрессирующей вытяжке фланца процесс останавливается на промежуточном этапе, заготовка проворачивается на  $90^\circ \dots 180^\circ$  и процесс деформирования продолжается далее. Такая последовательность действий предотвращает появление брака из-за неравномерности сил трения или большой анизотропии свойств металла заготовки.

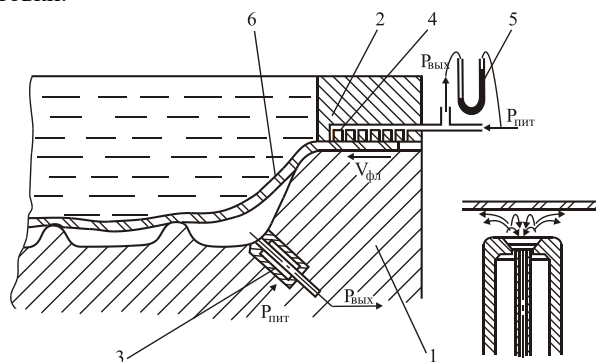


Рис. 1 – Вариант расположения воздушных струйных датчиков для контроля параметров штамповки:  
1 – матрица; 2 – прижимная плита; 3 – датчик для определения расстояния заготовки до матрицы;  
4 – датчик для контроля вытяжки фланца;  
5 – микроманометр; 6 – заготовка

Во втором случае для определения положения заготовки относительно матрицы 1, на участках, в которых заготовка прилегает к матрице в последнюю очередь, рекомендуется использовать дифференциальный (двухканальный) датчик 3. По наружному каналу подается питающий поток воздуха, на выходе из сопла воздушные струи отражаются от поверхности заготовки. Давление в центральной зоне датчика повышается и по изменению этого давления можно судить о расстоянии от заготовки до торца датчика. Зависимость выходного сигнала преобразователя пропорциональна третьей степени расстояния между поверхностями заготовки и матрицы. Это позволяет с достаточной точностью определять зазоры.

Вариант расположения струйных датчиков при штамповке высокоточных зеркал антенн космической связи показан на рис. 2.

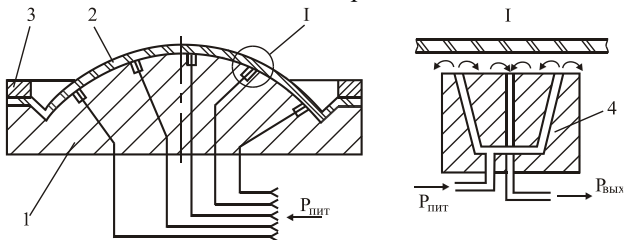


Рис. 2 – Вариант расположения струйных датчиков для определения прилегания заготовки к матрице:

- 1 – матрица; 2 – заготовка; 3 – прижимное кольцо;  
4 – корпус датчика;  $P_{пит}$  – питающее давление;  
 $P_{вых}$  – измеряемый параметр

Установка воздушных струйных датчиков в штамповой оснастке не сложна и инструментальное обеспечение замеров довольно просто. Подача воздуха в зазоры между матрицей и отштампованной деталью упрощает съем последней из полости матрицы, позволяет отказаться от различного рода выталкивателей, что упрощает штамповую оснастку.

Описанный метод конкретного положения заготовки позволяет получать результаты с высокой точностью без снятия детали с оснастки. А это упрощает процесс контроля. Но вместе с тем, требует определенного усложнения оснастки и наличия регистрирующей аппаратуры (главным образом трубопроводы) не упрощает архитектуру технологической зоны. Гальванический контакт между оснасткой и измерительной аппаратурой при использовании ЭГ-прессов или магнито-импульсных установок может приводить к появлению электрических шаговых напряжений на приборах. Исходя из этого желательно использовать для контроля бесконтактные методы измерений.

При использовании последовательной локальной штамповки крупногабаритных листовых деталей на ЭГ-прессах [4] для определения степени доштамповки заготовки и диагностики работы оборудования предлагается использовать акустический метод. Его суть состоит в регистрации и соответствующей обработке акустических

сигналов, излучаемых листовой заготовкой при импульсном нагружении, ее взаимодействии с матрицей при взаимном ударе, а также импульсных сигналов элементов оборудования. Сама заготовка, как мембрана, корпуса разрядных камер, оснастки, а также кожухи разрядника и прочих элементов конструкции пресса, выделяют звуковые сигналы при импульсном нагружении, пропорциональные количеству выделенной при взрыве энергии на частоте, определяемой их жесткостью. В Национальном аэрокосмическом университете им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт» были проведены эксперименты, основной задачей которых было установление корреляционных зависимостей акустических показателей от степени деформации заготовки и состояния системы выделения энергии электрогидравлического пресса. Схема экспериментов показана на рис. 3.

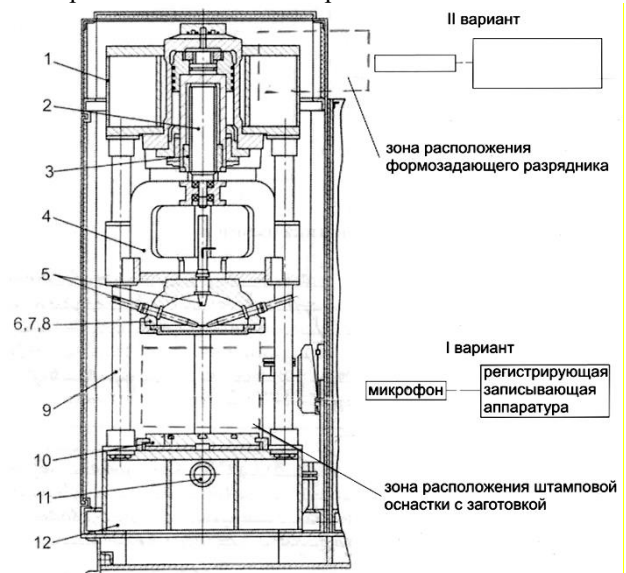


Рис. 3 – Схема конструкции ЭГ-пресса и схема расположения микрофонов (два варианта) для записи звуковых сигналов: I вариант – запись звуковых сигналов от заготовки и общей выделенной энергии;

II вариант – запись звуковых сигналов подаваемой в рабочую зону энергии; 1 – верхняя траверса, совмещенная с расходной емкостью для воды; 2 – прижимной гидроцилиндр; 3 – механизм регулирования хода подвижной траверсы; 4 – подвижная траверса рамного типа; 5 – боковой и верхний рабочие электроды; 6 – разрядная камера; 7 – эластичная диафрагма; 8 – прижимное кольцо диафрагмы; 9 – колонна; 10 – выдвигной стол; 11 – гидроцилиндр выдвигания стола; 12 – нижняя траверса

К числу бесконтактных методов исследований относятся акустические методы. Они широко используются в промышленности, при диагностике зданий и сооружений (мостов, крупных химических колонн и пр.) при этом исследуемый объект сначала нагружается коротким акустически или механическим сигналом определенной частоты, а регистрируется акустическая реакция объекта на возмущающий импульс.

В непосредственной близости от исследуемого объекта, например, разрядной камеры с прижатой к ней заготовкой и матрицей (вариант I) устанавливается микрофон шумомера, соединенной с самим шумомером и электронным осциллографом для визуальной записи сигнала. На прессе производились ЭГ-разряды и акустические сигналы от них регистрировались.

В качестве регистрируемых параметров были выбраны уровень звукового давления  $L_H$  (дБ) и частота звукового сигнала. В качестве регистрирующей аппаратуры использовался прецизионный импульсный шумомер 00017 (RFT, ГДР) и электронный запоминающий осциллограф С8-13. Эксперименты проводились на стандартном ЭГ-прессе ПЭГ-25. Микрофоны шумомера устанавливались на уровне расположения заготовки (~ 1,2 м от пола) на расстоянии 0,8 м от защитной шторы прессы, выполненной из оргстекла. Регистрировались уровни звукового давления на частотах от 63,5 Гц до 8000 Гц, а также усредненное по октавам значение  $L_H$ . Одновременно записывались осциллограммы разрядных тока и напряжения, а также импульсного давления в куполе разрядной камеры. Плоская круглая заготовка штамповалась последовательными разрядами энергией 13,5 кДж. Изменением межэлектродного расстояния имитировалось нарушение системы выделения энергии. В результате экспериментов установлены следующие зависимости (рис. 4).

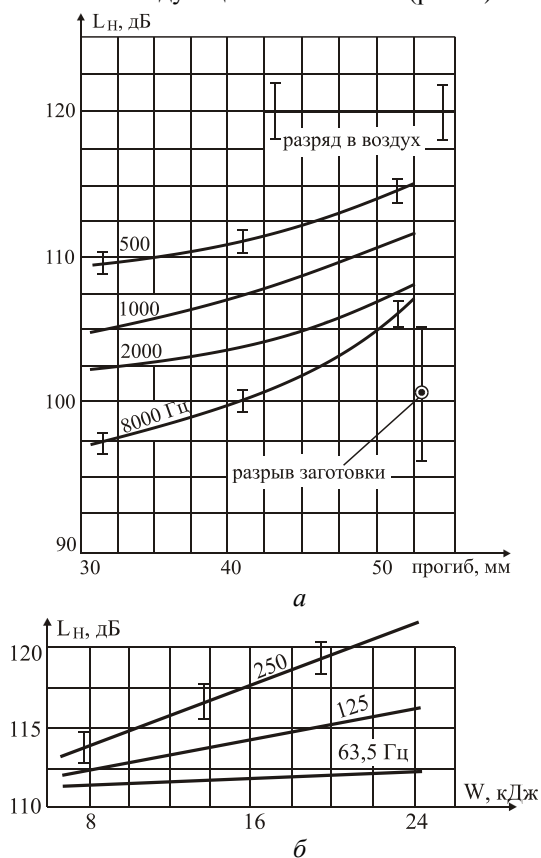


Рис. 4 – Зависимость уровня звукового давления: а – от прогиба заготовки; б – от запасаемой энергии при штамповке днищ из материала сталь 08кп, лист 1,0 мм

С увеличением выделяемой энергии увеличивается уровень звукового давления (рис. 4, б). Эта зависимость становится более крутой с увеличением частоты октав с 63,5 Гц до 250 Гц. Доверительный интервал зависимостей при 95 % надежности находится в пределах 2-5 % регистрируемого значения (на графике вертикальные черточки).

Установлена зависимость уровня звукового давления от прогиба заготовки (ее жесткости). На рис. 4, а показано, что, в общем, с увеличением прогиба увеличивается значение регистрируемого параметра, генерируемого при ЭГ-разряде. Эта зависимость на частотах 63,5 и 125 Гц достаточно слабая, а на более высоких частотах выражена сильнее. На графике показаны точки, соответствующие разрыву заготовки ( $L_H \approx 101 \pm 4,5$  дБ) и разряду в пустую матрицу (имитируется калибровка отштамповки) –  $120 \pm 2$  дБ. Последние два значения – это линеаризованные по октавам значения  $L_H$ .

Полученные зависимости вполне объяснимы следующим образом. На начальном этапе деформирования, при более податливой заготовке выделявшаяся энергия в большей мере тратится на пластическое формоизменение заготовки, и ее меньшая часть отражается от заготовки и вызывает колебания технологической обстановки. По мере увеличения прогиба увеличивается жесткость заготовки и соотношение поглощенной и отраженной долей энергии меняется в пользу последней. Следовательно, с увеличением прогиба увеличивается генерируемый заготовкой уровень звукового давления. При разрыве заготовки ее жесткость резко уменьшается, что приводит к падению значения  $L_H$ . При калибровке заготовки большая часть выделившейся энергии переходит в акустическую форму.

Более резка зависимость  $L_H$  от прогиба на частотах 2000-8000 Гц объясняется более высокой частотой колебаний изогнутой заготовки по сравнению с более плоской. Чем ближе частота, пропускаемая измерительным каналом к собственной частоте заготовки, тем более резкая зависимость уровня звукового давления от прогиба, наблюдающегося в экспериментах.

Деформирование заготовки под действием ЭГ-разряда происходит с колебаниями сложной формы. Наблюдаются колебания с двумя и более гармониками [4], соответствующими разным формам колебаний. Расчет колебаний деформируемой заготовки в рамках теории С. П. Тимошенко для условий эксперимента дает два значения собственной частоты: основная 50–100 Гц и более высокая 1-2 кГц. Характерные частоты, наблюдаемые в условиях эксперимента 1,0...2,0 кГц; 100 Гц и 20–22 Гц. Как видно, расчетные и опытные значения частот довольно близки. Наблюдаемые на осциллограммах гармоники более низкой частоты

могут относиться к колебаниям конструкции прессы или оснастки.

**Выводы.** Предложены два метода интерактивного контроля процессов листовой штамповки, отличающейся оценки формы и размеров получаемых деталей, сложностью организации технологической зоны и наличием или отсутствием механического контакта между технологической оснасткой и измерительной или регистрирующей аппаратурой.

Другие методы интерактивного контроля штамповки крупногабаритных деталей исследованы в меньшей степени.

#### Список литературы

1. Залманзон, Л. А. Теория элементов пневмоники [текст]/ Л. А. Залманзон. – М. : Физматгиз, 1969, 568 с.
2. Дылев, В. И. Применение струйных датчиков в комплексах оборудования с промышленными роботами [текст]: / В. И. Дылев. А. С. Шаров. – Минск, Вестник машиностроения, № 6, 1978. – С. 18–20.
3. Баселаев, В. Н. Исследование струйных датчиков расстояния [текст]/ В. Н. Баселаев, В. К. Даниленко и М. П. Чайко // В сб. «Вопросы струйной техники». – Минск, 1975, – С. 164–177.
4. Тараненко, М. Е. Электрогидравлическая штамповка: теория, оборудование, техпроцессы [текст]: монография в 2 ч. [текст] / М. Е. Тараненко. – Харьков, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», 2011 – 272 с.
5. Горюнов В. А. Разработка метода повышения эффективности струйных управляющих устройств систем автоматического управления технологическим оборудованием [текст]: автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.13.06 / Волгогр. гос. техн. ун-т. – Волгоград, 2001. – 19 с.

6. Режим доступа: <http://lib-bkm.ru/load/23-1-0-1411>. Дата обращения: 20.09.2015 г.

7. Режим доступа: [http://en.wikipedia.org/wiki/Pneumatics\\_automation](http://en.wikipedia.org/wiki/Pneumatics_automation). Дата обращения: 21.10.2015 г.

8. Режим доступа: <http://www.numaticengineering.com/pneumatic-automation-components.html>. Дата обращения: 20.05.2016 г.

#### References (transliterated):

1. Zalmanzon L.A. Theory of pneumatic elements [text]. [Phizmatgiz, Moscow, 1969, 568 p.
2. Dylev V.I., Sharov A.S. Application of jet-pipe transducers in complexes with industrial robotic equipment. Herald of Machine-building [text]: Collection of Scientific Papers. Minsk, No.6, 1978, pp. 18 – 20.
3. Baselayev V.N., Danilenko V.K., Chaiko M.P. Studying of jet-pipe transducers of distances. Problems of jet engineering [text]: Collection of Scientific Papers. Minsk, 1975, pp. 164 – 177.
4. Taranenko M.Ye. Electro-hydraulic forming: theory, equipment, manufacturing processes [text]: monograph (in 2 parts). Zhukovsky National Aerospace University “KhAI”. Kharkiv, 2011, 272 p.
5. Gorunov V.A. Developing of the method of improving efficiency of jet control systems for automatic controlling of manufacturing facilities [text]: abstract dis. ... The candidate of technical sciences: 05.13.06 / Volgogr. state. tehn. Univ. – Volgograd, 2001. – 19 p.
6. Available at: <http://lib-bkm.ru/load/23-1-0-1411>. (accessed 20.09.2015 г.)
7. Available at: [http://en.wikipedia.org/wiki/Pneumatics\\_automation](http://en.wikipedia.org/wiki/Pneumatics_automation). (accessed 21.10.2015 г.)
8. Available at: <http://www.numaticengineering.com/pneumatic-automation-components.html>. (accessed 20.05.2016 г.)

*Надійшла (received) 15.11.2016*

#### Бібліографічні описи / Библиографическое описание / Bibliography dicriptions

**Интерактивный контроль штамповки крупногабаритных листовых деталей / М. Е. Тараненко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – № 30(1202). – С. 69–73. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2519-2671**

**Интерактивный контроль штампування великогабаритних листових деталей / М. Є. Тараненко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – № 30(1202). – С. 69–73. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2519-2671**

**Interactive controlling of forming of large-dimensional sheet articles / М. Е. Тараненко // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2016. – No 30 (1202). – P. 69–73. – Bibliogr.: 8 – ISSN 2519-2671**

#### Відомості про автора / Сведения об авторе / About the Author

**Тараненко Михаил Евгеньевич** – доктор технических наук, профессор, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», г. Харьков, тел.: (057) 788-41-70, e-mail: k107@khai.edu.

**Тараненко Михайло Євгенович** – доктор технічних наук, професор, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, тел.: (057) 788-41-70, e-mail: k107@khai.edu.

**Mykhaylo Taranenko** – Full Professor, National Aerospace University “Kharkiv aviation institute” named after N. Ye. Zhukovsky, Kharkiv, tel.: (057) 788-41-70, e-mail: k107@khai.edu.