

УДК 621.7-52

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЛИННОМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТОЛСТОЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Виноградов А.И., Шибakov В.Г., Панкратов Д.Л.**

*Набережночелнинский институт КФУ, Набережные Челны, e-mail: vinogradov.ri@mail.ru*

Предложена система автоматизации процесса штамповки длинномерных, тяжело нагруженных деталей из толстолистовых материалов типа лонжерон грузового автомобиля с помощью внедрения метода рационального распределения пробивных пуансонов по вертикальным уровням, а также дополнительного уравнителя ползуна гидравлического пресса. Данная система функционирует таким образом, что алгоритм для рационального распределения пуансонов по уровням пробивки позволяет полностью сбалансировать крутящие моменты от сил пробивки на ползуне пресса по двум уровням, а для последнего автоматически рассчитывает требуемую силу противодействия в заданной точке ползуна. При этом для точного расчета силы противодействия, передаваемого на уравнитель ползуна, в системе предусмотрены датчики для измерения технологических параметров каждой заготовки, поступающей на рабочую позицию пресса, в масштабе реального времени.

**Ключевые слова:** автоматизированная линия, вырубка – пробивка, гидравлическое устройство, перекос ползуна, алгоритм

## AUTOMATION IN PRODUCTION OF LONG PARTS FROM THICK PLATE MATERIALS

**Vinogradov A.I., Shibakov V.G., Pankratov D.L.**

*Branch of KFU in Naberezhnye Chelny, Naberezhnye Chelny, e-mail: vinogradov.ri@mail.ru*

Proposed a system to automate the process of stamping of long, heavy duty parts from thick plate of sheet materials such as longeron of truck by implementing of the method of rational distribution punches on the vertical levels, as well as an additional equalizer of ram hydraulic press. The system operates so that the algorithm for rational distribution of punches for piercing levels allows to fully balance torques of punching forces on the press ram at two levels, and for the latter automatically calculates the required reaction force at a given point of the ram. At the same time for accurate calculation the reaction force transmitted to the equalizer of ram, the system includes sensors for measuring technological parameters for each workpiece coming onto the working position of the press, in real time.

**Keywords:** automated production line, cutting-punching, hydraulic device, imbalance of ram, algorithm

В настоящее время изготовление лонжеронов на ОАО «КАМАЗ» для большегрузных автомобилей и автобусов осуществляется путем вырубки контурных заготовок длиной ~ 6000–10000 мм, толщиной ~ 8–10 мм из горячекатаного проката из качественной низколегированной стали повышенной прочности марки 20ГЮТ и дальнейшей их формовки. Данные операции выполняются на автоматизированной линии включающей 2 гидравлических пресса KOMATSU UAS 6000 MB силой 60 МН. Крепление к лонжерону деталей как самой рамы, так и других

узлов автомобиля обуславливает наличие в нем многочисленных отверстий различных диаметров ( $\varnothing = 11-45$  мм) и назначения (рис. 1), поэтому на первом этапе вырубка по контуру совмещена также с пробивкой более 300 отверстий (для модели автомобиля КАМАЗ 43118). При этом для снижения силы штамповки процесс вырубки и пробивки отверстий осуществляются последовательно, т.е. вырубной контур и пробивные пуансоны размещены на различных высотах в штампе. Кроме того, пробивные пуансоны также разделены между собой на 3 уровня по высоте.

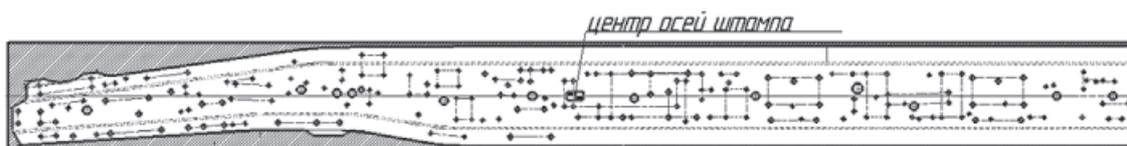


Рис. 1. Заготовка лонжерона автомобиля КАМАЗ, вырубаемая на прессе KOMATSU UAS 6000 MB

При пробивке многочисленных отверстий в заготовке лонжерона возникает неравномерное распределение силы штамповки относительно поперечной оси пресса, что приводит к смещению центра давления

штампа относительно центра давления самого пресса. Данное явление обусловлено двумя причинами: во-первых, распределение пробивных пуансонов на уровни осуществляется по принципу – одинаковые

диаметры на одном уровне; во-вторых, при штамповке в ряде модификации лонжеронов в настоящее время «универсальные» отверстия, пробиваемые на прессе, расположены преимущественно на одной половине заготовки. Вследствие этих причин сила штамповки начинает значительно преобладать на одном из концов заготовки и возникает крутящий момент, стремящийся повернуть ползун относительно центра давления пресса.

Это явление приводит к проблемам как собственно оборудования, так и самого процесса штамповки. В частности это повышенный износ рабочих частей штампа, таких как втулки, направляющие, пуансоны и т.д.; поломка пуансонов; появление заусенцев после пробивки отверстий на детали; повышенный износ самого пресса, возможность заклинивания ползуна вследствие перекоса и, как следствие, простой уникального, дорогостоящего оборудования.

**Целью проведенной работы** является устранение обозначенных проблем путем приведения центров давления штампов, находящихся в обращении, на ось пресса с помощью создания дополнительной силы противодействия перекосу ползуна и рационального размещения пуансонов по высоте.

Для достижения указанной цели предлагается:

1. В случае наличия в изготавливаемом лонжероне приблизительно одинакового соотношения пробиваемых отверстий относительно оси пресса – применить более рациональное распределение отверстий по вертикальным уровням, чтобы свести крутящий момент на ползуне пресса до приемлемых значений. Для этого разработан алгоритм, на основе которого будет внедрена программа, позволяющая рассчитать по заданным координатам и диаметрам отверстий крутящий момент и распределить отверстия между уровнями с достижением минимальных приемлемых значений крутящего момента.

2. В случае отсутствия или весьма неравномерного соотношения отверстий относительно оси пресса единственным вариантом решения остается создание дополнительной силы противодействия для предотвращения перекоса ползуна.

Основной принцип рационального распределения пуансонов по уровням пробивки заключается в переводе некоторых пуансонов 1-го уровня на 2-й и далее на 3-й уровень. Наиболее эффективно это реализуется с помощью применения подкладных плиток необходимой толщины под каждый пробивной пуансон. Алгоритм определения вариантов рационального раз-

мещения пуансонов и необходимой силы противодействия перекосу ползуна пресса приведен на рис. 2. Более подробно особенности его функционирования рассмотрены ниже на примере рационального распределения пуансонов по уровням пробивки для штампа вырубке-пробивки заготовки лонжерона автомобиля КАМАЗ 43118.

На рис. 2 приняты следующие обозначения:

$d_{i(j)nm}$  – диаметры пробиваемых отверстий, мм; где  $n = 1, 2, 3$  – уровни пробивки;  $i(j)$  – правая (левая) половина заготовки лонжерона относительно центра осей пресса;  $m = 1, 2, 3, \dots$  – номера отверстий;

$L_{i(j)nm}$  – расстояния от центра осей пресса до центра каждого отверстия (плечи крутящих моментов), мм (рис. 3);

$S$  – толщина металла, мм;

$\sigma_{ср}$  – сопротивление срезу, Н/мм<sup>2</sup>. Сопротивление срезу – это условная величина, применяемая в теоретических технологических расчетах ввиду сложности и неоднородности силового поля при вырубке-пробивке. Оно объединяет все виды сопротивления вырезаемого металла и автоматически учитывает упрочнение металла к моменту скола [1];

$P_{i(j)n}$  – сумма сил пробивки на  $n$ -м уровне на правой (левой) половинах заготовки лонжерона, Н;

$\sum P_i$  – сумма всех сил пробивки на правой половине заготовки лонжерона, Н;

$\sum P_j$  – сумма всех сил пробивки на левой половине заготовки лонжерона, Н;

$M_{i(j)n}$  – сумма моментов от сил пробивки на  $n$ -м уровне на правой (левой) половинах заготовки лонжерона, Н·мм;

$\sum M_i$  – сумма моментов от всех сил пробивки на правой половине заготовки лонжерона, Н·мм;

$\sum M_j$  – сумма моментов от всех сил пробивки на левой половине заготовки лонжерона, Н·мм;

$\Delta$  – допустимое отклонение разности моментов от сил пробивки на правой и левой половинах заготовки лонжерона, %, определяемое по формуле

$$\Delta = \frac{\sum M_{in} - \sum M_{jn}}{\sum M_{in}} \cdot 100;$$

$\Delta M_n$  – разность моментов от сил пробивки на правой и левой половинах заготовки лонжерона на  $n$ -м уровне, Н·мм;

$P_{НОМ,n}$  – номинальная сила пробивки на  $n$ -м уровне, Н;

$L_{вн} = 4894$  мм – значение плеча уравновешивающей силы противодействия перекосу ползуна;

$P_{вн}$  – уравновешивающая сила противодействия перекосу ползуна, Н;

$\sigma_{\text{эк}}$  – экстремальное значение сопротивления срезу материала заготовки, Н/мм<sup>2</sup>. Оно определяется как отношение максимальной силы к площади поверхности заготовки в момент начала скалывания шириной  $S - h_n$ :

$$\sigma_{\text{эк}} = P_{\text{max}} / L \cdot (S - h_p),$$

где  $h_n$  – величина перемещения пробивного пуансона от момента его внедрения в заготовку до начала уменьшения величины технологической силы с его максимального значения (глубина зоны пластического сдвига в заготовке), мм;  $L = \pi \cdot d$  – периметр контура пробивки, мм.

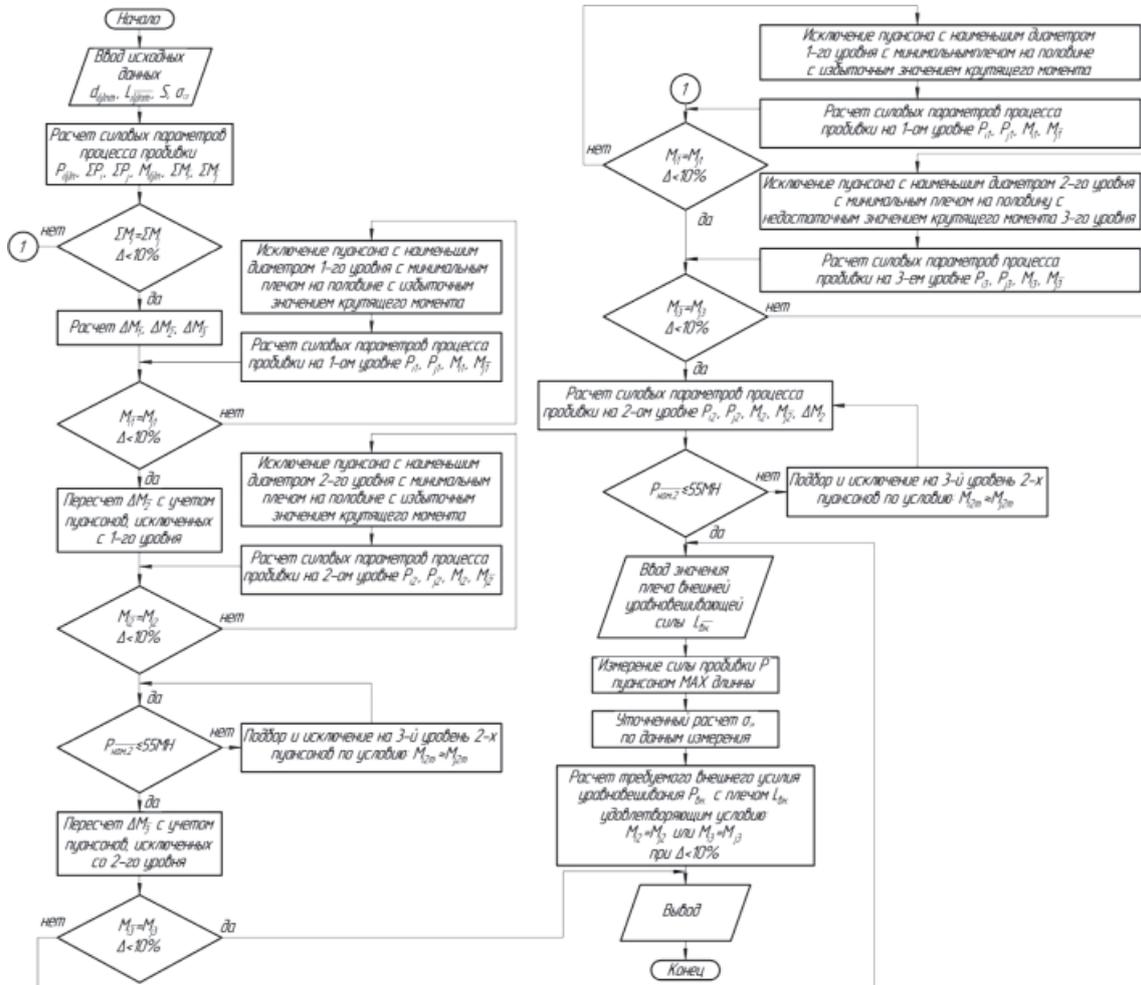


Рис. 2. Алгоритм расчета вариантов рационального распределения пробивных пуансонов по уровням пробивки и определения дополнительной силы уравнивания в реальном масштабе времени

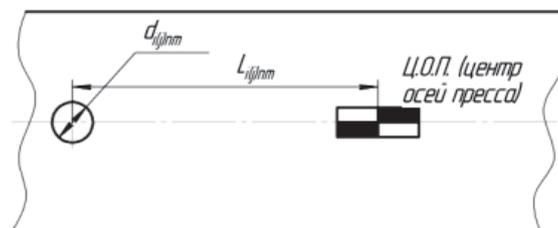


Рис. 3. Схема определения исходных данных на заготовке лонжерона

Экстремальное и условное сопротивление срезу находятся в зависимости [2]:

$$\sigma_{\text{эк}} = \sigma_{\text{ср}} / (S - h_p).$$

Расчеты проводятся в следующей последовательности.

Экстремальное сопротивление срезу  $\sigma_{\text{эк}}$  определяется непосредственно при про-

бивке с использованием силоизмерительного устройства, установленного в штампе (рис. 4) под пуансоном, выполненным с длиной большей, чем у других пуансонов. Сигнал с силоизмерителя поступает на компьютер, где производится расчет  $\sigma_{эк}$  для каждой вырубаемой заготовки. Использование усредненных значений  $\sigma_{ср}$  для данной марки стали из ТУ на поставку приводит к значительным погрешностям при расчете фактического крутящего момента, так как разброс значений  $\sigma_{ср}$  для различных плавок существует большой [4].

Силы пробивки для каждого отверстия рассчитываются по формуле

$$P_{i(j)nm} = \omega \cdot \sigma_{ср} \cdot L \cdot S,$$

где  $\omega$  – коэффициент.

Моменты сил, создаваемых ими, определялись по формуле

$$M_{i(j)nm} = P_{i(j)nm} \cdot L_{i(j)nm}.$$

Суммарные моменты по 3-м уровням ( $n$ ) расположения пуансонов и обеим половинам штампа  $i(j)$ :

$$\sum M_{in}, \sum M_{jn};$$

и для каждой половины по всем уровням:

$$\sum M_p, \sum M_j.$$

Расчет разности моментов сил по уровням.

Суммарные моменты от сил пробивки каждой из половин  $i(j)$  по всем уровням:

$$\sum M_i = \sum M_{i1} + \sum M_{i2} + \sum M_{i3};$$

$$\sum M_j = \sum M_{j1} + \sum M_{j2} + \sum M_{j3}.$$

Разность моментов сил 2-х половин по  $i(j)$  по всем уровням, а также для каждого уровня:

$$\Delta M = \sum M_i - \sum M_j;$$

$$\Delta M_1 = \sum M_{i1} - \sum M_{j1};$$

$$\Delta M_2 = \sum M_{i2} - \sum M_{j2};$$

$$\Delta M_3 = \sum M_{i3} - \sum M_{j3}.$$

Сравнение суммарных моментов сил каждой из половин  $i(j)$  по всем уровням:

$$\sum M_i \approx \sum M_j,$$

$$\Delta \leq 10\%.$$

Если данное условие не выполняется, согласно алгоритму необходимо уравновесить 1-й и 3-й уровни, а затем рассчитать значение требуемой внешней силы противодействия перекоосу ползуна.

Произведем сравнение суммарных моментов сил каждой из половин  $i(j)$  на 1-м уровне:

$$\sum M_{i1} \approx \sum M_{j1},$$

$$\Delta \leq 10\%.$$

Данное условие не выполняется, поэтому исключить пуансон с минимальным диаметром и наименьшим плечом момента на левой половине 1-го уровня и перенести его на 2-й уровень пробивки.

Сравнение суммарных моментов сил каждой из половин  $i(j)$  на 3-м уровне показывает

$$\sum M_{i3} \approx \sum M_{j3},$$

$$\Delta \leq 10\%.$$

что данное условие также не выполняется и необходимо перенести пуансон с минимальным диаметром и наименьшим плечом момента на правой половине 2-го уровня на 3-й уровень пробивки.

Далее производится проверка допустимой силы штамповки на 2-м уровне:

$$P_{НОМ.2} = \sum P_{2m} \leq 55 \cdot 10^9 \text{ Н}.$$

Ввод значения плеча  $L_{вн}$  внешней уравновешивающей силы.

Значение плеча  $L_{вн} = 4894$  мм уравновешивающей силы противодействия принимаем исходя из технических возможностей согласно схеме на рис. 4.

Определим требуемую внешнюю силу уравновешивания  $P_{вн}$  с плечом  $L_{вн}$ .

Расчет производим исходя из условия

$$\sum M_{i2} = \sum M_{j2} \text{ или } \sum M_{i3} = \sum M_{j3};$$

по формуле:

$$P_{вн} = \frac{\sum M_{i(j)}}{L_{вн}}.$$

Согласно проведенным расчетам следует:

– перенести 2 пуансона с минимальным плечом крутящего момента с 1-го на 2-й уровень;

– перенести 30 пуансонов с минимальным плечом крутящего момента со 2-го на 3-й уровень;

– приложить внешнюю силу  $P_{вн} = 420,52 \cdot 10^3 \text{ Н}$ , необходимую для уравновешивания ползуна прессы при  $L_{вн} = 4894$  мм.

Таким образом, для рассмотренного примера только рациональным размещением пуансонов проблему перекоосу ползуна не решить, необходимо приложить к ползуну силы противодействия его повороту.

Для создания этой силы на прессы KOMATSU UAS 6000 MB наиболее рационально применить специальное гидрав-

лическое устройство [3] (рис. 4). При этом следует иметь в виду, что сила противодействия перекосу ползуна необходима только при пробивке отверстий 2-го уровня, так

как остальные уровни уравниваются с помощью рационального распределения пуансонов согласно данным расчетного алгоритма.

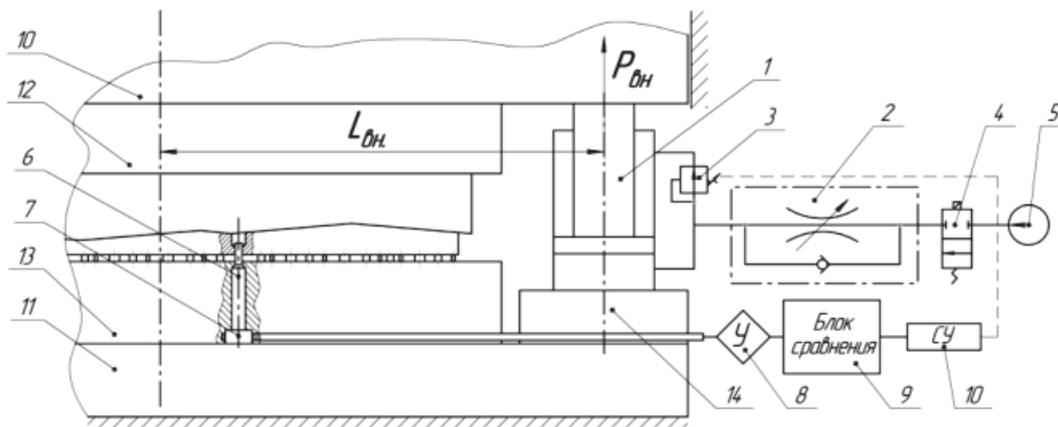


Рис. 4. Принципиальная гидравлическая схема устройства для уравнивания ползуна прессы

На рис. 4 приняты следующие обозначения: 1 – гидроцилиндр; 2 – регулирующий элемент; 3 – перепускной клапан; 4 – двухпозиционный распределитель; 5 – нерегулируемый насос; 6 – пробивной пуансон максимальной длины; 7 – датчик для измерения параметров штампуемости (силоизмеритель (месдоза), ходограф); 8 – усилитель;

9 – блок сравнения измеренных параметров с эталонными; 10 – система управления прессом; 11 – ползун; 12 – стол прессы; 13 и 14 – верхний и нижний штампы; 15 – плита подкладная.

Алгоритм управления процессом с использованием гидравлического устройства [5] приведен на рис. 5.

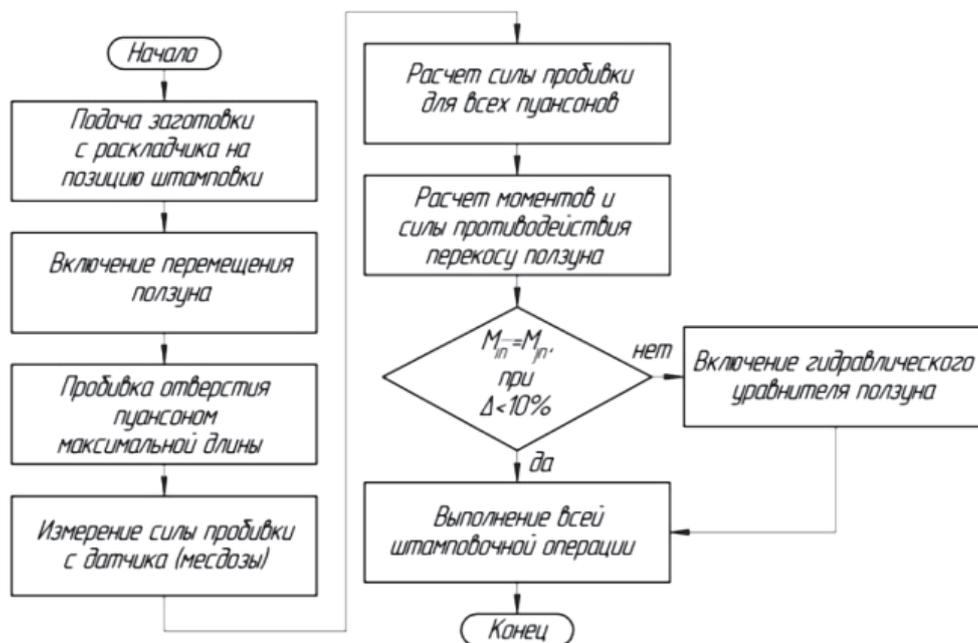


Рис. 5. Алгоритм управления процессом с использованием гидравлического устройства противодействия перекосу ползуна

Принцип работы данного устройства следующий, шток гидроцилиндра 1 до рабочего хода выставляется на высоту про-

бивки отверстий 2-го уровня с помощью насоса 5, переключения распределителя 4 и регулирующего элемента 2. Перепускной

клапан 3 настраивается на силу, полученную из алгоритма на предыдущем этапе. В момент рабочего хода шток гидроцилиндра должен соприкоснуться с ползуном 10 и при пробивке отверстий 2-го уровня сила на штоке достигает заданного значения для противодействия перекоосу. В дальнейшем срабатывает перепускной клапан, рабочая жидкость перетекает в верхнюю полость гидроцилиндра и ползун беспрепятственно совершает дальнейший ход.

Предложена конструкция устройства для уравнивания ползуна гидравлического пресса KOMATSU UAS 6000 MB. Разработанная принципиальная схема гидравлического устройства уравнивателя ползуна пресса позволяет задавать требуемое значение силы противодействия перекоосу ползуна в необходимый момент времени, приложенной в заданной точке ползуна. Его использование позволит предотвратить такие проблемы, как преждевременный износ и выход из строя рабочих частей штампов, в частности поломки пробивных пуансонов; образование заусенцев на заготовках для лонжеронов при недопустимых значениях перекооса ползуна; тяжелые условия функционирования прессового оборудования и повышенный износ его узлов; незапланированные простои из-за проблем с прессом, а также вследствие заклинивания ползуна в процессе штамповки.

#### Список литературы

1. Мовшович И.Я., Ткачук Н.А., Ткачук А.В., Демина Н.А. Экспериментальное определение контактных давлений в технологической системе «пуансон–заготовка–матрица» разделительного штампа // Кузнечно-штамповочное производство. – 2012. – № 9. – С. 25–30.
2. Омский государственный технический университет. Кафедра MiTOMD. 2006 год. Электронный справочник по холодной штамповке. URL: <http://omd.omgtu.ru/wp-content/themes/iGadgets/basetlsh/15-23.htm> (дата обращения: 04.08.2014).
3. Шандров Б.В. Технические средства автоматизации: учебник для студентов высших учебных заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 368 с.
4. Шинкаренко О.М., Корчак Е.С. Современные тенденции совершенствования систем управления гидравлическими прессами с насосно-аккумуляторным приводом // Кузнечно-штамповочное производство. – 2012. – № 5. – С. 18–23.
5. Щербина Ю.В. Технические средства автоматизации и управления: учебное пособие; Моск. гос. ун-т печати. – М.: МГУП, 2002. – 448 с.

#### References

1. Movshovich I.Ya., Tkachuk N.A., Tkachuk A.V., Demina N.A. *Experimental determination of contact pressure in the technological system «punch – blank – matrix» of the cutting die. Forging and stamping production.* 2012. no. 9. pp. 25–30.
2. *Omskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet. Kafedra MiTOMD. 2006 god. Elektronnyy spravochnik po kholodnoy shtampovke* (Omsk State Technical University. Department of MiTOMD. 2006. Electronic directory for cold forming), Available at: <http://omd.omgtu.ru/wp-content/themes/iGadgets/basetlsh/15-23.htm> (accessed 4 August 2014).
3. Shandrov B.V. *Tekhnicheskie sredstva avtomatizatsii: uchebnik dlya studentov vysschikh uchebnykh zavedeniy* [Means of automation: a textbook for university students], Moscow, Publishing Center «Academia», 2007. 368 p.
4. Shinkarenko O.M., Korchak E.S. *Current trends of improving control systems of hydraulic presses with pump-and-accumulator drive. Forging and stamping production.* 2012. no. 5. pp. 18–23.
5. Scherbina Yu.V. *Tekhnicheskie sredstva avtomatizatsii i upravleniya: Uchebnoe posobie* [Technical means of Automation and Control: Study Guide]; Mosk. State. Univ Press. M.: MGUP, 2002. 448 p.

#### Рецензенты:

Симонова Л.А., д.т.н., профессор, зам. директора по научной деятельности Набережночелнинского филиала Казанского федерального университета, г. Набережные Челны;

Астащенко В.И., д.т.н., профессор Набережночелнинского филиала Казанского федерального университета, г. Набережные Челны.

Работа поступила в редакцию 26.08.2014.