

УДК 621.7.044

Ресурсосберегающая технология скоростного горячего выдавливания биметаллического стержневого инструмента

Докт. техн. наук, проф. И. В. Качанов¹⁾, канд. техн. наук, доц. В. Н. Шарий¹⁾,
асп. В. В. Власов¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2016
Belarusian National Technical University, 2016

Реферат. Процессы скоростного формоизменения, особенно скоростного горячего выдавливания, создают эффективные условия для обработки малопластичных и труднодеформируемых материалов, широко используемых в инструментальном производстве. В связи с тем что высокоскоростная штамповка обеспечивает получение точных заготовок с повышенными механическими свойствами, она может быть использована как технологический процесс изготовления стержневых деталей штамповой оснастки, работающих в условиях повышенных нагрузок и износа. Целью данной работы являлись экспериментальные исследования возможности получения биметаллического стержневого инструмента, основой которого служат конструкционные стали, а рабочую часть выполняют из высоколегированных инструментальных сталей с экономией последних до 90 %. Разработаны схема нагружения и геометрия сопрягаемых поверхностей составной заготовки. Отработана экспериментальная технология получения биметаллических стержневых деталей штамповой оснастки при деформировании со скоростью $v_d = 70\text{--}80$ м/с и температуре составной заготовки $T = (1150 \pm 20)^\circ\text{C}$, с формированием соединения при совместном пластическом течении на поверхности контакта двух частей заготовки с удалением поверхностных оксидных пленок. Исследованы микроструктуры полученных скоростным горячим выдавливанием биметаллических соединений для композиций на основе конструкционной и высоколегированных сталей, подтверждено их высокое качество. Установлены зависимости распределения микротвердости в направлении от плоскости контакта двух сталей в зоне соединения, характеризующиеся минимальным значением микротвердости на стыке полученного соединения. Наличие более пластичной области в плоскости контакта способствует снижению остаточных напряжений вследствие их релаксации в этой области и повышению прочности соединения.

Ключевые слова: биметаллические стержневые детали, штамповая оснастка, метод скоростного горячего выдавливания

Для цитирования: Качанов, И. В. Ресурсосберегающая технология скоростного горячего выдавливания биметаллического стержневого инструмента / И. В. Качанов, В. Н. Шарий, В. В. Власов // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 1. С. 3–8

Resource-Saving Technology for High-Speed Hot Extrusion of Bimetallic Rod Parts

I. V. Kachanov¹⁾, V. N. Sharyi¹⁾, V. V. Vlasov¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. Processes of high-speed shaping changes and especially high-speed hot extrusion create efficient conditions for treatment of weakly plastic and poorly deformable materials which are widely used in tool making facilities. Due to the fact that high-speed stamping provides accurate billets with increased mechanical properties, it can be used as a technological

Адрес для переписки

Власов Вячеслав Владимирович
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 150,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 292-76-77
hidrokaf@bntu.by

Address for correspondence

Vlasov Viacheslav V.
Belarusian National Technical University
150 Nezavisimosti Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 292-76-77
hidrokaf@bntu.by

process for manufacturing rod parts of die tooling operating under conditions of increased loads and wear. The purpose of the given paper is to carry out experimental investigations on the possibility to obtain a bimetallic rod tool where structural steel is considered as a basis of the tool and a working cavity is made of high-alloyed tool steel with its saving up to 90 %. A scheme of loading and geometry of conjugated surfaces of the composite billet have been developed in the paper. Technology for obtaining bimetallic rod parts of die tooling with deformation at speed of $v_d = 70\text{--}80$ m/s and composite billet temperature of $T = (1150 \pm 20)$ °C has been experimentally tested with formation of a compound due to plastic flow of two billet parts on contact surface with removal of surface oxide films. Microstructures of the bimetallic compounds obtained with the help of high-speed hot extrusion method for compositions of structural and high-alloy steels have been investigated and their high quality has been proved during the investigations. Dependences of micro-hardness distribution have been established outbound two steel contact plane in the zone of connection that are characterized by a minimum micro-hardness value in the connection joint. Availability of more plastic zone in the contact plane contributes to reduction of residual stresses due to their relaxation in this zone and higher joint strength.

Keywords: bimetallic rod parts, die tooling facilities, high-speed hot extrusion method

For citation: Kachanov I. V., Shary V. N., Vlasov V. V. (2016) Resource-Saving Technology for High-Speed Hot Extrusion of Bimetallic Rod Parts. *Science & Technique*. 15 (1), 3–8 (in Russian)

Введение

В настоящее время в Республике Беларусь остро стоит вопрос создания современных, оснащенных прогрессивными техпроцессами и оборудованием, специализированных предприятий по проектированию и изготовлению высококачественной технологической оснастки и инструмента. Как показывает мировой промышленный опыт, машиностроительным предприятиям необходимо применять инструмент, штампы и пресс-формы качеством на порядок выше, чем выпускаемая продукция. Это связано с усложнением производимой продукции и сокращением ее жизненного цикла в соответствии с требованиями рынка.

Благодаря ряду преимуществ (адиабатные условия протекания процесса, снижение контактного трения, благоприятное действие сил инерции, способствующие лучшему заполнению матричной полости, и т. д.) процессы скоростного формоизменения, особенно скоростного горячего выдавливания (СГВ), создают эффективные условия для обработки малопластичных и труднодеформируемых материалов, широко используемых в инструментальном производстве [1–4]. В связи с тем что высокоскоростная штамповка обеспечивает получение точных заготовок с повышенными механическими свойствами, она может быть использована как технологический процесс изготовления стержневых деталей штамповой оснастки [1–4].

Цель работы – исследование возможности получения путем СГВ биметаллического инструмента, основой которого служат конструк-

ционные стали, а рабочую часть выполняют из высоколегированных штамповых сталей с экономией последних до 90 %.

Технология получения деталей

Для проведения исследований были выбраны представители штамповых сталей 5ХНМ и 45Х3ВЗМФС (ДИ23), широко используемых для изготовления стержневых деталей кузнечных штампов в инструментальном производстве. В качестве материала основы взята легированная конструкционная сталь 40Х.

Для экспериментального исследования процесса и отработки технологии использовали высокоскоростную установку горизонтального типа, конструктивная схема которой показана на рис. 1 [1–3, 5]. Установка состоит из рамы 1, с одной стороны которой жестко закреплен ствол 2 с энергоузлом 3, а с другой – сборный шабот 4. На шаботе в регулируемых направляющих 5 и упорах 6 смонтирован выдвижной переходник 7 для крепления штампа. Изменение положения переходника по высоте осуществляется винтом 8. Для снижения уровня шума установка оснащена съемным глушителем 9, для обеспечения безопасных условий труда – ловителем 10. Пуансон 11 за счет сгорания энергоносителя в энергоузле имеет возможность разогнаться в стволе до скорости $v_0 = 150\text{--}200$ м/с. Разгон пуансонов с массой $M_n = 8\text{--}12$ кг до указанных скоростей обеспечивал придание им энергии $E_0 = 100\text{--}200$ кДж, вполне достаточной для скоростного выдавливания практически любой стержневой детали штамповой оснастки.

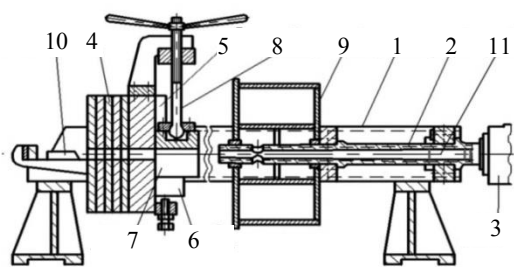


Рис. 1. Конструктивная схема горизонтальной установки

Fig. 1. Structural diagram of horizontal installation

Для проведения исследований и отработки технологии выбрали деталь штампа пуансон (рис. 2) из номенклатуры инструментального производства ОАО «МАЗ». Деталь пуансон используется в штампе для высадки на горизонтально-ковочной машине ГКМ-100, поковок типа ключ.

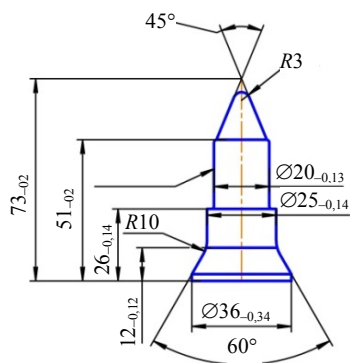


Рис. 2. Чертеж детали пуансон № 9783-433.09 из номенклатуры инструментального производства ОАО «МАЗ»

Fig. 2. Drawing of punch item No 9783-433.09 from range of tool-making facilities of JSC "MAZ"

Для получения детали пуансон из разнородных металлов (ДИ23 + 40Х, 5ХНМ + 40Х) разработали экспериментальную оснастку (рис. 3), в состав которой входили: комплект из двух полуматриц типов 1 или 2, основной ударник и промежуточный боек, которые позволяли осуществлять пластическое формообразование из биметаллической заготовки детали пуансон полностью в полуматрицах 2 либо частично в полуматрицах 1 с дополнительным использованием наковальни.

Заготовку для получения биметаллической детали пуансон делали составной из двух частей (рис. 4). Основную часть изготавливали из легированной конструкционной стали 40Х с глухим цилиндрическим отверстием, донная

часть которого выполнялась конической с углом при вершине 120° . Рабочую часть выполняли из высоколегированных штамповых сталей (ДИ23 и 5ХНМ). Соединение частей 1, 2 заготовки осуществляли по переходной посадке на гидрпрессе.

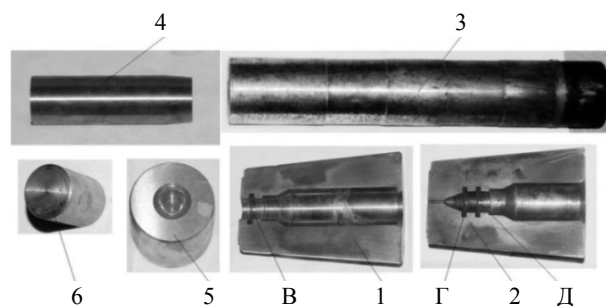


Рис. 3. Внешний вид экспериментальной оснастки для изготовления биметаллической детали пуансон: 1, 2 – формообразующая полуматрица с частичным и полным формообразованием детали в матрице соответственно; 3 – основной ударник; 4 – промежуточный боек; 5 – наковальня с рабочей полостью; 6 – биметаллическая заготовка

Fig. 3. External view of experimental tooling facilities for manufacturing of bimetallic punch item: 1, 2 – shape-forming semi-matrix with partial and complete item shape-formation in matrix; 3 – main striker; 4 – intermediate firing pin; 5 – anvil with working cavity; 6 – bimetallic billet

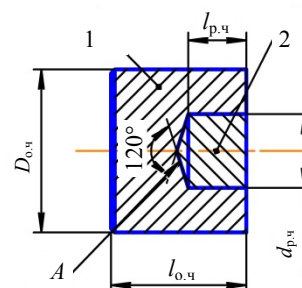


Рис. 4. Чертеж бесступенчатой составной заготовки для СГВ стержневых биметаллических деталей ШЮ: 1, 2 – материал основной (сталь 40Х) и рабочей (стали ДИ23, 5ХНМ) частей заготовки;

$D_{0.ч}, d_{р.ч}$ – диаметр основной и рабочей частей; $l_{0.ч}, l_{р.ч}$ – длина основной и рабочей частей заготовки

Fig. 4. Drawing of infinitely-variable composite billet for high-speed hot extrusion of rod bimetallic items for die tooling facilities: 1, 2 – material of main (Steel 40X) and working (Steel ДИ23, 5ХНМ) parts of billet; $D_{0.ч}, d_{р.ч}$ – diameter of main and working parts; $l_{0.ч}, l_{р.ч}$ – length of main and working parts of billet

Скоростное деформирование составных заготовок осуществляли с нагревом в камерной печи СНОЛ-2УМ. Для предотвращения окисления образцы засыпали порошкооб-

разным древесным углем. В процессе нагрева температуру в рабочем пространстве печи контролировали с помощью платино-родиевой термопары ТПРТ 01.01-000-В3-Н-К799-4-320, соединенной с микропроцессорным измерителем-регулятором ТРМ-101. Время выдержки образцов в печи принималось из расчета полного прогрева по сечению и составляло 1 мин на 1 мм сечения заготовки [6].

Температурные интервалы горячей штамповки для выбранных сталей составляют: 40Х – 800–1250 °С; 5ХНМ – 750–1240 °С; 45ХЗВЗМФС (ДИ23) – 850–1160 °С. Учитывая такой разброс температур нагрева, деформацию составной заготовки осуществляли при температуре $T_0 = (1150 \pm 20)$ °С, при которой обеспечивается значительная термическая активация, способствующая в сочетании с движущимися дислокациями образованию прочного соединения разнородных материалов основной и рабочей частей заготовки [6–8].

Схема нагружения для выдавливания биметаллического пуансона приведена на рис. 5.

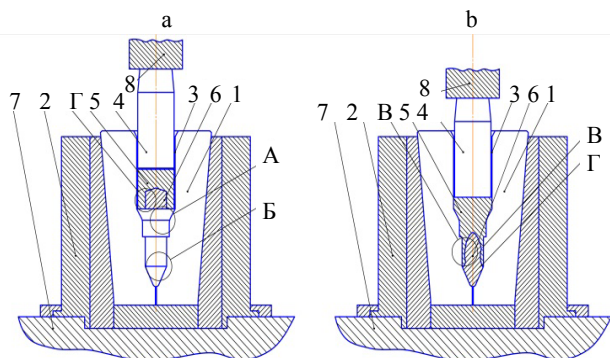


Рис. 5. Схема нагружения для выдавливания биметаллической стержневой детали: а – до нагружения; б – после нагружения

Fig. 5. Scheme of loading for extrusion of bimetallic core item: a – before loading; b – after loading

Разъемную коническую матрицу 1 помещали в обойму 2, которая крепилась на нижней плите 7 горизонтальной установки [9, 10]. При этом заготовка состояла из двух частей: основной 5 (сталь 40Х) и рабочей 6 (сталь ДИ23 или 5ХНМ). Заготовку помещали в разъемную матрицу 1 штампа для закрытого выдавливания, рабочая поверхность 3 которой имела шероховатость $Ra = 0,63\text{--}0,32$. Процесс скоростного выдавливания осуществлялся с коэффици-

ентами вытяжки: $\lambda_1 = 2,06$ – для участка А; $\lambda_2 = 3,2$ – для участка Б поковки.

Для деформации составной заготовки 3 мастер-пуансон 4 разгоняли основным бойком 8. В результате он получал запас энергии, обеспечивающий скоростную деформацию заготовки, которая сопровождалась совместным пластическим течением двух частей заготовок 5 и 6 в осевом направлении. Причем после ударного нагружения длина поверхности сопряжения заготовки двух совместно продеформированных частей В как минимум в два раза превышала исходную боковую длину Г сопряжения основной и рабочей частей заготовки (рис. 5а, б). Указанное удлинение (вытяжка) боковых поверхностей двух сопрягаемых разнородных нагретых металлов, протекающее в условиях всестороннего неравномерного сжатия и сопровождаемое синхронным формированием ювенильных сопрягаемых поверхностей, как раз и является основной причиной формирования сварного соединения этих материалов в осевом направлении [9, 10].

Фотографии биметаллических образцов, полученных скоростным горячим выдавливанием по данной схеме нагружения, показаны на рис. 6. При рассмотрении представленных шлифов, выполненных в продольной плоскости продеформированных образцов, хорошо видны четкие линии сварного соединения двух металлов, достигнутого за счет совместного скоростного осевого течения двух металлов в процессе их скоростного выдавливания.

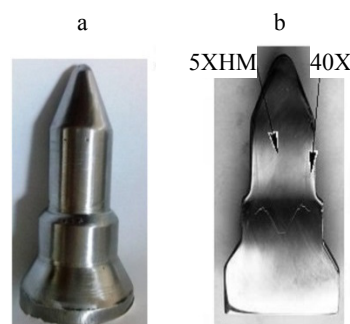


Рис. 6. Фото поковки биметаллического пуансона (а) и продольного шлифа (б): $v_0 = 70\text{--}80$ м/с; $M_n = 12,1$ кг; $T_0 = (1150 \pm 20)$ °С; композиция сталей 40Х + 5ХНМ, 40Х + ДИ23

Fig. 6. Photo of bimetallic punch forging (a) and longitudinal section (b): $v_0 = 70\text{--}80$ m/s; $M_n = 12.1$ kg; $T_0 = (1150 \pm 20)$ °С; composition of steels 40Х + 5ХНМ, 40Х + ДИ23

Микроструктуру в зоне шва исследовали на аттестованном сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения Mira (Tescan, Чехия) с микрорентгеноспектральным анализатором INCA Energy 350 (Oxford Instruments Analytical, Великобритания). Погрешность метода в данном случае составляла 3–5 относительных процентов.

Фотографии микроструктуры биметаллических образцов в зоне шва без микротрещин и расслоения приведены на рис. 7. Как видно из фотографий, качество полученного шва в центре и на краю образцов практически неизменно, что является доказательством сформированного хорошего физического контакта разнородных металлов по всей соединяемой площади.

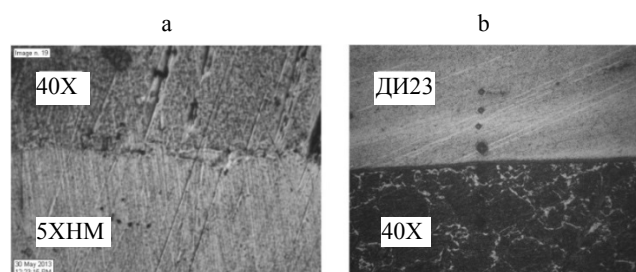


Рис. 7. Микроструктура биметаллических образцов, полученных СГВ, $\times 500$; $T_0 = (1150 \pm 20)^\circ\text{C}$;
а – в зоне шва 40X + 5XNM);
б – то же 40X + ДИ23

Fig. 7. Microstructure of bimetallic specimens obtained by high-speed hot extrusion, $\times 500$; $T_0 = (1150 \pm 20)^\circ\text{C}$;
а – in weld zone 40X + 5XNM);
б – ditto 40X + ДИ23

Микротвердость измеряли на приборе ПМТЗ с нагрузкой на индентор, равной 1 Н. Результаты измерения микротвердости в зоне соединения разнородных металлов приведены на рис. 8.

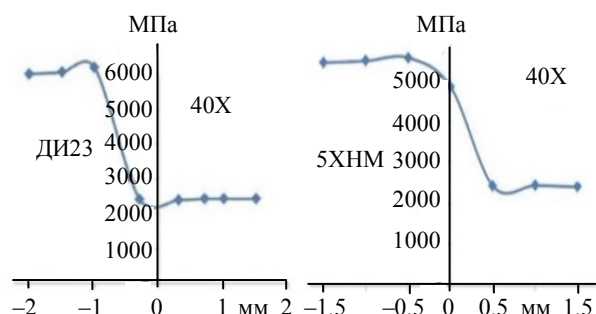


Рис. 8. Распределение микротвердости в зоне соединения композиций сталей 40X + ДИ23 и 40X + 5XNM

Fig. 8. Distribution of microhardness in the bond compositions of steels 40X + ДИ23 and 40X + 5XNM

Измерения микротвердости показали ее уменьшение при приближении к границе контакта как со стороны сталей 5XNM и ДИ23, так и стали 40X. Наличие более «мягкой», чем свариваемые материалы, зоны в окрестности контакта способствует снижению остаточных напряжений (вследствие их релаксации в этой зоне) и повышению прочности соединения.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны экспериментальная оснастка и геометрия сопрягаемых частей составной заготовки. Отработана экспериментальная технология получения биметаллической стержневой детали штамповой оснастки типа «Пуансон».

2. Установлены параметры получения качественного сварного биметаллического соединения при деформировании со скоростью $v_0 = 70\text{--}80$ м/с и температуре составной заготовки $T_0 = (1150 \pm 20)^\circ\text{C}$. Соединение создается в осевом направлении при скоростном пластическом течении разнородных металлов (40X + ДИ23 и 40X + 5XNM) с вытяжкой $\lambda = 2,0\text{--}3,2$, приводящей к соответствующему удлинению начальной боковой поверхности сопрягаемых материалов в 2–3,2 раза. За счет такого удлинения формируются ювенильные боковые поверхности, на которых происходит схватывание (сварка) соединяемых разнородных материалов при их пластическом течении через коническую часть матрицы.

3. Исследованы микроструктуры полученных биметаллических образцов для композиций сталей 40X + ДИ23 и 40X + 5XNM. Качество полученного шва в центре и на краю образцов практически неизменно, отсутствуют микротрещины и расслоение, что является доказательством произошедшего физического контакта по всей соединяемой площади.

4. Установлены зависимости распределения микротвердости в направлении от плоскости контакта двух сталей в зоне соединения, характеризующие минимальным значением микротвердости на стыке полученного соединения. Наличие более пластичной области в плоскости контакта способствует снижению остаточных напряжений вследствие их релаксации в этой области и повышению прочности соединения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Качанов, И. В. Скоростное горячее выдавливание стержневых изделий / И. В. Качанов; под ред. Л. А. Исаевича. Минск: Технопринт, 2002. 327 с.
2. Здор, Г. Н. Технологии высокоскоростного деформирования материалов / Г. Н. Здор, Л. А. Исаевич, И. В. Качанов. Минск: БНТУ, 2010. 456 с.
3. Скоростное горячее выдавливание стержневых изделий с плакированием торцевой части / И. В. Качанов [и др.]. Минск: БНТУ, 2011. 198 с.
4. Голованенко, С. А. Производство биметаллов / С. А. Голованенко, Л. В. Меандров. М.: Металлургия, 1966. 153 с.
5. Исследование совмещенных процессов скоростного выдавливания с плакированием или деформационной сваркой при изготовлении стержневых и формообразующих деталей штамповой оснастки: отчет о научно-исследовательской работе, № ГР 20112407 / И. В. Качанов [и др.]. Минск: БНТУ, 2013. 274 с.
6. Шмыков, А. А. Справочник термиста / А. А. Шмыков. М.: Машгиз, 1956. 331 с.
7. Гельман, А. С. Основы сварки давлением / А. С. Гельман. М.: Машиностроение, 1970. 312 с.
8. Шоршоров, М. Х. Клинопрессовая сварка давлением разнородных металлов / М. Х. Шоршоров, В. А. Колесниченко, В. П. Алехин. М.: Металлургия, 1982. 112 с.
9. Способ штамповки деталей со стержнем: пат. 18113 Респ. Беларусь; МКИ В 21 J 5/00 / И. В. Качанов, Г. Н. Здор, Л. А. Исаевич, В. Н. Шарий, М. В. Кудин, В. В. Власов; опубл.: 30.04.2014.
10. Способ изготовления клапана двигателя внутреннего сгорания: пат. 16601 Респ. Беларусь; МКИ В 21 J 5/00 / И. В. Качанов, В. Н. Шарий, М. В. Кудин, Д. И. Буто, И. А. Ходос, В. В. Власов; опубл.: 30.12.2012.

Поступила 17.03.2015
Подписана в печать 28.05.2015
Опубликована онлайн 22.01.2016

REFERENCES

1. Kachanov I. V., Isaevich L. A. (2002) *High-Speed Hot Extrusion of Core Products*. Minsk, Tekhnoprint. 327 p. (in Russian).
2. Zdor G. N., Isaevich L. A., Kachanov I. V. (2010) *Technology of High-Speed Material Deformation*. Minsk: BNTU. 456 p. (in Russian).
3. Kachanov I. V., Zdor G. N., Isaevich L. A., Shary V. N. (2011) *High-Speed Hot Extrusion of Core Products with Butt end Cladding*. Minsk: BNTU 198 p. (in Russian).
4. Golovanenko S. A., Meandrov L. V. (1966) *Production of Biomaterials*. Moscow, Metallurgiya. 153 p. (in Russian).
5. Kachanov I. V., Zdor G. N., Isaevich L. A., Shary V. N., Kudin M. V., Mikhnovets M. M., Lenkevich S. A., Vlasov V. V., Rubchenia A. A., Belkevich N. A., Filipchik A. V., Shleg A. A. (2013) *Investigation on Combined Processes of High-Speed Extrusion and Cladding or Deformation Welding While Manufacturing Core and Shaping Parts for Die Tooling*. Report on R&D Activity, No GP 20112407. Minsk: BNTU. 274 p. (in Russian, Unpublished).
6. Shmykov A. A. (1956) *Handbook of Heat-Treatment Operator*. Moscow, Mashgiz. 331 p. (in Russian).
7. Gelman A. S. (1970) *Fundamentals of Pressure Welding*. Moscow, Mashinostroenie. 312 p. (in Russian).
8. Shorshorov M. Kh., Kolesnichenko V. A., Alekhin V. P. (1982) *Wedge Pressure Welding of Dissimilar Metals*. Moscow, Metallurgiya. 112 p. (in Russian).
9. Kachanov I. V., Zdor G. N., Isaevich L. A., Shary V. N., Kudin M. V., Vlasov V. V. (2014) *Method for Stamping of Items with Core*. Patent Republic of Belarus No 18113 (in Russian).
10. Kachanov I. V., Shary V. N., Kudin M. V., Buto D. I., Khodos I. A., Vlasov V. V. (2012) *Method for Manufacturing Valve of Internal Combustion Engine*. Patent Republic of Belarus No 16601 (in Russian).

Received: 17.03.2015
Accepted: 28.05.2015
Published online: 22.01.2016