



УДК 620.1-1/-9

Поступила 01.03.2016

## СКОРОСТНОЕ ГОРЯЧЕЕ ВЫДАВЛИВАНИЕ В РЕЖИМЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТЕРЖНЕВЫХ ДЕТАЛЕЙ ШТАМПОВ

### HIGH-SPEED HOT EXTRUSION IN HIGH TEMPERATURE MECHANICAL TREATMENT MODE OF BIMETALLIC ROD PARTS OF THE STAMPS

*И. В. КАЧАНОВ, В. Н. ШАРИЙ, В. В. ВЛАСОВ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: vlasov881988@gmail.com*

*I. V. KACHANOV, V. N. SHARIY, V. V. VLASOV, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: vlasov881988@gmail.com*

*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 биметаллических стержневых деталей штамповой оснастки скоростным горячим выдавливанием в режиме высокотемпературной термомеханической обработки с целью экономии штамповых сталей и повышения качества полученных изделий.*

*Исследованы микроструктуры полученных скоростным горячим выдавливанием биметаллических соединений для композиций на основе конструкционной и высоколегированных сталей, и 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.*

*Processes of high-speed shaping change and especially high-speed hot extrusion create efficient conditions for treatment of low plastic and difficult-to-form materials which are widely used in tool making production. Due to the fact that high-speed stamping provides accurate billets with increased mechanical properties, it can be used as a technological process for manufacturing rod parts of die tooling operating under the increased loads and high wear.*

*The purpose of the paper is to carry out experimental investigation of the possibility to obtain bimetallic rod stamping tooling by high-speed hot extrusion in high-temperature mode treatment in order to save die steels and improve the quality of the products obtained.*

*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.*

**Ключевые слова.** *Биметаллические стержневые детали, штамповая оснастка, метод скоростного горячего выдавливания.*

**Keywords.** *Bimetallic rod parts, die tooling, high-speed hot extrusion method.*

Одна из важнейших задач современного этапа развития машиностроительной отрасли в Республике Беларусь – это повышение качества, надежности и долговечности деталей узлов и механизмов как технологического оборудования, так и выпускаемой продукции. Поставленная задача может решаться на основе комплексного подхода, включающего в себя создание новых материалов, разработку и освоение эффективных технологий по упрочнению и ресурсосбережению металлов, являющихся основным сырьем для машиностроительных предприятий.

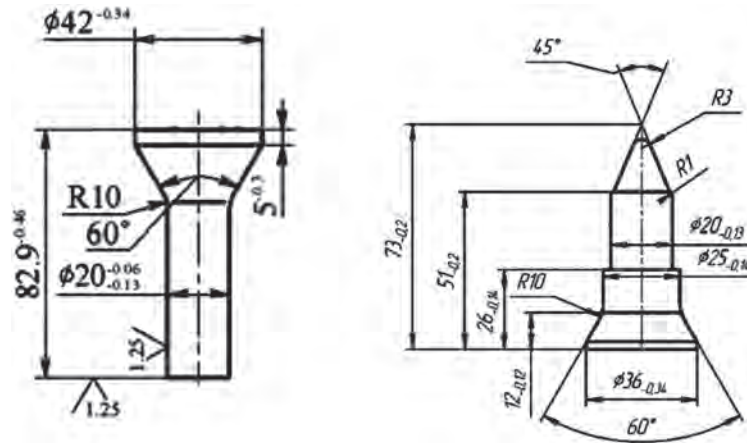


Рис. 1. Чертежи деталей «Толкатель» и «Пуансон» из номенклатуры инструментально-штампового производства ОАО «МАЗ»

Острой проблемой в промышленном производстве являются быстрый износ и поломки штампового инструмента, испытывающего большие нагрузки. Традиционные способы упрочняющей обработки такого инструмента исчерпали ресурс повышения его прочности и надежности. В связи с этим новые возможности открывают способы совмещенного деформационного и термического упрочнения, которые позволяют интенсифицировать физико-химические процессы за счет использования природы материалов и особенностей протекания скоростного горячего выдавливания (СГВ), осуществляемого в режиме высокотемпературной механической обработки ВТМО [1].

Скоростная горячая пластическая деформация приводит к изменению дефектной структуры аустенита. Сформировавшуюся в результате горячей деформации мелкозернистую субструктуру аустенита необходимо сохранить. Это достигается закалкой – ускоренным охлаждением, предотвращающим перлитное и бейнитное превращения.

Скоростная высокотемпературная деформация аустенита в условиях создания развитой дислокационной субструктуры приводит к измельчению и большей однородности размеров пластин или реек мартенсита с сохранением подобия их формы, в результате чего формируется правильно ориентированное расположение групп крупных линзовидных двойникованных кристаллов мартенсита, радикально отличающееся от их хаотической ориентировки при обычной закалке. Кроме того, в процессе СГВ обеспечиваются условия для получения качественного биметаллического соединения, что позволяет экономить дорогостоящие штамповые стали. При скоростном нагружении процесс можно считать адиабатическим, т. е. теплообмен между инструментом и заготовкой практически отсутствует, а за счет деформации происходит приращение температуры, что повышает пластичность деформируемых материалов [2]. Также с увеличением скорости выдавливания повышается и скорость пластической деформации на контактных поверхностях, что приводит к росту плотности и частоты выхода дислокаций в зоне контакта соединяемых металлов и увеличению концентрации активных центров взаимодействия. При этом увеличивается вклад механической активации в процесс образования прочного сварного соединения [3].

Для экспериментального исследования влияния режима ВТМО, совмещенного с процессом СГВ, и отработки технологии получения биметаллического инструмента были выбраны стержневые детали штамповой оснастки «Толкатель» и «Пуансон» из номенклатуры инструментально-штампового производства ОАО «МАЗ» (рис. 1).

Для проведения исследований были выбраны штамповые стали 5ХНМ и ДИ23 для рабочей части и конструкционная легированная сталь 40Х для основы деталей штампов «Толкатель» и «Пуансон».

В табл. 1 приведены режимы традиционной термообработки для выбранных сталей с указанием получаемой твердости при данных режимах [4].

Процесс СГВ биметаллических стержневых деталей «Толкатель» и «Пуансон» в режиме ВТМО осуществляли на горизонтальной установке в конических полуматрицах (рис. 2) с применением упругого отскока ударника для практически мгновенного изъятия полуматриц с отштампованной поковкой из штампа с последующим погружением их в ванну с закалочным маслом [5].

Для проведения исследования разъемную коническую матрицу 1 помещали в обойму 2, которая крепилась на плите 7 горизонтальной установки. При этом заготовка состояла из двух частей: основной 5 (сталь 40Х) и рабочей 6 (стали ДИ23 и 5ХНМ) (рис. 2, а). Составную заготовку помещали в полуматрицу

Т а б л и ц а 1. Режимы термообработки для сталей 5ХНМ, ДИ23, 40Х [4]

Марка стали	Режим термообработки			Твердость
	операции	температура, °С	охлаждающая среда	HRC
5ХНМ, ГОСТ 5950-2000	Отжиг	810–830	С печью	»
	Закалка	830–860	Масло	48–50
	Отпуск	460–520	Воздух	
ДИ23, ГОСТ 5950-2000	Отжиг	840–880	С печью 40–50 °С/ч до 600 °С, затем на воздухе	»
	Закалка	1120–1140	Масло	54
	Отпуск	550	Воздух	50
40Х, ГОСТ 4543-71	Отжиг	820–840	С печью	»
	Закалка	845–875	Масло	30–35
	Отпуск	450–550	Вода или масло	

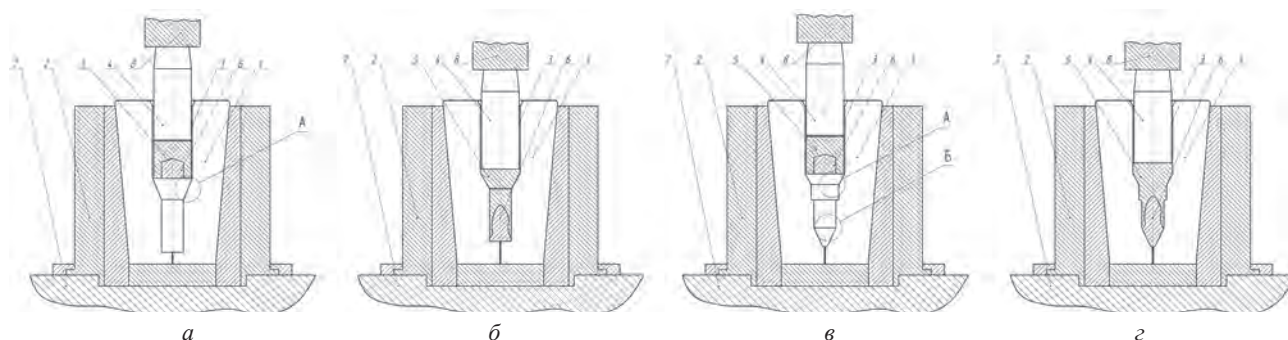


Рис. 2. Схема реализации технологии получения биметаллического инструмента в режиме ВТМО на горизонтальной установке: *а, в* – начальный момент процесса СГВ; *б, з* – момент получения соединения и завершения формообразования поковки

цы 1 штампа для закрытого выдавливания, рабочая поверхность 3 имела шероховатость  $R_a = 0,63–0,32$ . Процесс скоростного выдавливания осуществляли с коэффициентами вытяжки  $l_1 = 2,06$  и  $l_2 = 3,2$  (где  $l_1$  – вытяжка участка А,  $l_2$  – вытяжка участка Б поковки).

Для деформации составной заготовки 3 промежуточный пуансон 4 разгоняли основным бойком 8. В результате он получал запас энергии, обеспечивающий скоростную деформацию заготовки, которая сопровождалась совместным пластическим течением двух частей 5 и 6 заготовки в осевом направлении. Причем после ударного нагружения длина поверхности сопряжения заготовки двух совместно деформированных частей как минимум в  $\lambda$  раз превышала исходную длину сопрягаемых основной и рабочей частей заготовки (рис. 2, *а, 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 [2, 6, 7]. В момент окончания деформации происходит упругий отскок соударяющихся частей штампа (ударник, промежуточный пуансон, полуматрицы с поковкой), в результате чего полуматрицы с поковкой легко извлекаются из конической обоймы штампа и падают в ванну с закалочным маслом. Отмеченное практически мгновенное извлечение поковки из штампа за счет использования эффекта упругого отскока соударяющихся частей позволяет осуществлять закалку нерекристаллизованной микроструктуры биметаллических деталей, сохраняя и наследуя мелкое зерно и мелкодисперсные карбиды, сформированные в результате скоростной пластической деформации биметаллической заготовки.

При совмещении процессов СГВ биметаллических изделий и режима ВТМО в первую очередь необходимо установить температурный режим, который обеспечит термическую активацию для качественного соединения двух сталей и полное растворение карбидов легирующих элементов в аустените, что обеспечит высокую твердость и требуемые механические свойства.

Для композиции сталей 40Х+5ХНМ температурный интервал штамповки, обеспечивающий наилучшую пластичность, составляет: для стали 40Х –  $T_{ш1} = 800–1250$  °С; для стали 5ХНМ –  $T_{ш2} = 850–870$  °С. Температуры критических точек  $A_{c3}$ , обеспечивающие проведение полной закалки, составляют: 782 °С для стали 40Х; 780 °С для стали 5ХНМ. Следовательно, с учетом подстуживания заготовки при переносе в штамп оптимальная температура нагрева составной заготовки в печи должна составлять  $T_{з1} = 1200$  °С

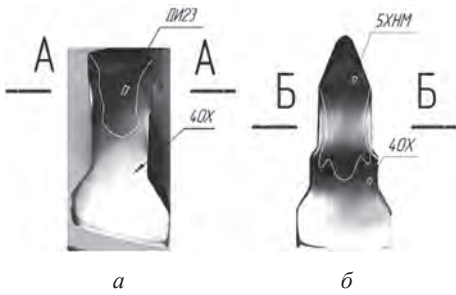


Рис. 3. Продольные шлифы образцов, полученных по технологии СГВ и использованных для измерения твердости и микроструктурного анализа в зоне соединения разнородных материалов: *а* – продольный шлиф композиций сталей 40Х+ДИ23; *б* – композиция сталей 40Х+5ХНМ

и время нагрева 1 мин на 1 мм сечения образца. Учитывая одноударный режим получения детали по технологии СГВ, время проведения эксперимента 3–5 с и температуру штампа 15–20 °С, охлаждение до точки  $A_{c3}$  происходит в полуматрицах штампа, а затем полуматрицы с поковкой в результате отскока падали в закалочную ванну. После закалки поковки подвергали низкотемпературному отпуску при 300 °С с последующим остыванием на воздухе [8].

Учитывая данные табл. 1, для композиции сталей 40Х+ДИ23 проводили нагрев в печи при температуре  $T_{32} = 1230$  °С и времени нагрева 1 мин на 1 мм сечения образца. Подстуживание на 50–70 °С при переносе в штамп не приводило к выделению и коагуляции карбидной фазы, так как эти процессы происходят при температурах ниже 1100 °С.

Процесс СГВ в режиме ВТМО для композиций сталей 40Х+5ХНМ и 40Х+ДИ23 проходил в диапазоне начальных скоростей деформирования  $V_0 = 70–80$  м/с и энергий удара  $E_0 = 36–40$  кДж.

На рис. 3 показаны продольные шлифы биметаллических образцов, полученных по технологии СГВ и использованных для измерения твердости и микроструктурного анализа.

Качество инструмента и его физико-механические свойства в значительной степени зависят от термической обработки, в связи с чем контроль твердости дает представление о структуре металлов и их свойствах.

Микроструктурный анализ проводили в поперечных сечениях А-А и Б-Б (рис. 3, *а*, *б*) стержневых частей поволоков инструмента.

Для композиции сталей 40Х+ДИ23 микроструктура в зоне соединения двух металлов со схемой расположения точек, в которых измерялась микротвердость, представлена на рис. 4.

Из рисунка видно, что поверхности соединения двух металлов в биметаллических образцах являются прямолинейными и четковыраженными. На этих поверхностях не обнаружены оксиды и интерметаллидные включения.

Для образца, полученного в режиме ВТМО (рис. 4, *б*), характерно наличие в материале основы (сталь 40Х) мелкозернистой нерекристаллизованной структуры, состоящей из остаточного аустенита и мартенситных включений с соотношением указанных компонентов ориентировочно 50:50.

Для микроструктуры стали ДИ23 (рабочая часть биметаллического образца) характерно наличие мелкозернистой текстуры, сориентированной в направлении пластического течения с преобладающим содержанием «белой фазы», не поддающейся травлению, основу которой составляет мелкоигольчатый мартенсит.

На микрошлифах образцов, подвергнутых после СГВ охлаждению на воздухе, а также наряду с охлаждением на воздухе, последующими операциями закалки с отпуском (рис. 4, *а*, *в*), четко просматривается частично рекристаллизованная структура основной части (сталь 40Х) без искажения границ зерен, прочно соединенная по прямолинейной поверхности с рабочей частью (сталь ДИ23) биметаллического инструмента.

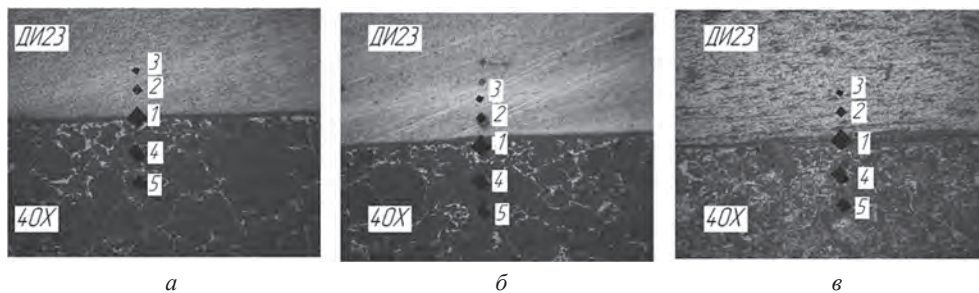


Рис. 4. Микроструктура и схема расположения точек (1–5) для определения микротвердости в зоне шва биметаллических образцов (40Х+ДИ23), изготовленных при различных режимах термообработки: *а* – СГВ с охлаждением на воздухе; *б* – СГВ в режиме ВТМО; *в* – СГВ с охлаждением на воздухе и последующей закалкой и среднетемпературным отпуском;  $V_0 = 70–80$  м/с,  $E_0 = 36–40$  кДж,  $T_0 = 1150 \pm 20$  °С.  $\times 500$

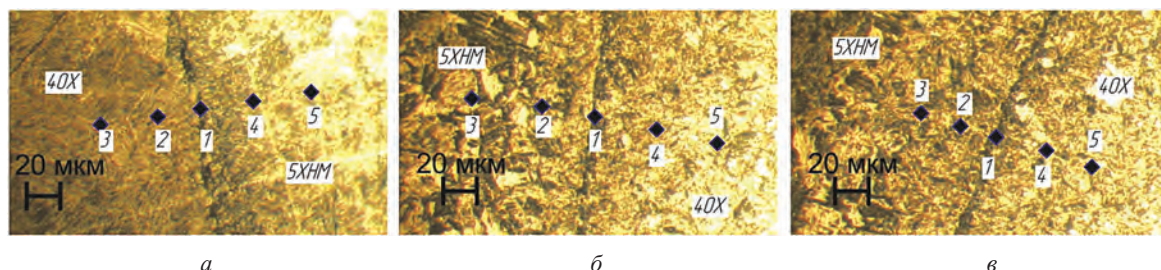


Рис. 5. Микроструктура и схема расположения точек (1–5) для определения микротвердости в зоне шва биметаллических образцов (40X+5XHM), изготовленных при различных режимах термообработки: а – СГВ с охлаждением на воздухе; б – СГВ в режиме ВТМО; в – СГВ с охлаждением на воздухе и последующими операциями закалки и среднетемпературного отпуска;  $V_0 = 70\text{--}80$  м/с,  $E_0 = 36\text{--}40$  кДж,  $T_0 = 1150 \pm 20$  °С.  $\times 500$

Результаты измерений микротвердости по Виккерсу (HV), полученные на приборе ПМТ-3 с нагрузкой на индентор, равной 2Н, в поперечном сечении А-А (см. рис. 3, а) детали «Толкатель» приведены в табл. 2.

Таблица 2. Значения микротвердости по Виккерсу (HV) в поперечном сечении детали «Толкатель»

Нумерация точек для измерения микротвердости	Данные обработки		
	СГВ ( $T_0 = 1200$ °С; $V_0 = 75,2$ м/с), охлаждение на воздухе, HV, МПа	СГВ ( $T_0 = 1200$ °С; $V_0 = 75,2$ м/с) в режиме ВТМО, HV, МПа	СГВ, охлаждение на воздухе, закалка в масле + среднетемпературный отпуск, HV, МПа
1 (зона соединения)	482	512	310
2	341	386	310
3	344	389	330
4	541	617	598
5	553	631	603

Как видно из таблицы, для всех образцов микротвердость резко возрастает, в 1,6–1,8 раза в направлении от зоны шва в сторону рабочей части детали, изготовленной из стали ДИ23 (точки 2, 3). В направлении от зоны соединения к основной части отмечен незначительный рост микротвердости HV в 1,05–1,12 раза.

Для композиции сталей 40X+5XHM микроструктура зоны соединения двух металлов со схемой точек, в которых измерялась микротвердость, показана на рис. 5. Образцы, представленные на рис. 5, а, в, не подвергались режиму ВТМО. Их термообработка после СГВ осуществлялась по рекомендациям, приведенным в табл. 1, применительно к стали 5XHM.

Результаты измерения микротвердости для образцов, показанных на рис. 5, приведены в табл. 3.

Таблица 3. Значения микротвердости по Виккерсу (HV) в поперечном сечении детали «Пуансон»

Нумерация точек для измерения микротвердости	Данные обработки		
	СГВ ( $T_0 = 1200$ °С; $V_0 = 75,2$ м/с), охлаждение на воздухе, HV, МПа	СГВ в режиме ВТМО, HV, МПа	СГВ, охлаждение на воздухе, закалка в масле + среднетемпературный отпуск, HV, МПа
1 (зона соединения)	354	449	323
2	590	707	603
3	638	701	660
4	315	449	326
5	397	456	345

Из таблицы видно, что изменение HV для композиции стали 40X+5XHM по сечению образцов такое же, как и для композиции 40X+ДИ23. Следует отметить, что для композиции 40X+5XHM характерна большая степень упрочнения в зоне соединения за исключением образцов, прошедших после СГВ охлаждение на воздухе с последующими закалкой и отпуском.

### Выводы

1. Установлена возможность получения качественного биметаллического соединения при деформировании со скоростью  $V_0 = 70\text{--}80$  м/с и температуре составной заготовки  $T = 1150 \pm 20$  °С, которое форми-

руется при совместном пластическом течении на поверхности контакта двух частей заготовки с удалением поверхностных оксидных пленок.

2. Исследованы микроструктуры полученных соединений методом скоростного горячего выдавливания для композиций сталей 40X+5XHM и 40X+ДИ23.

3. Установлены зависимости распределения микротвердости в направлении от плоскости контакта двух сталей в зоне соединения, характеризуемые 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. Мн.: УП «Технопринт», 2002. 327 с.
2. Шоршоров М. Х. Клинопрессовая сварка давлением разнородных металлов / М. Х. Шоршоров, В. А. Колесниченко, В. П. Алехин. М.: Металлургия, 1982. 112 с.
3. Гельман А. С. Основы сварки давлением / А. С. Гельман. М.: Машиностроение, 1970. 312 с.
4. Зубченко А. С. Марочник сталей и сплавов. 2-е изд., доп. и испр. / А. С. Зубченко, М. М. Колосков, Ю. В. Каширский и др. М.: Машиностроение, 2003. 784 с.
5. А. с. 871967 СССР: МКИ В 21 J 5/04. Инструмент для высокоскоростной штамповки / М. А. Барановский, О. М. Дьяконов, И. В. Качанов, И. С. Шабека, 1981.
6. Качанов И. В. 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; заявитель Белорус. нац. техн. ун-т. № А20110844; заявл. от 16.06.2011 г.; опубл. // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2014.
7. Качанов И. В. 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; заявитель Белорус. нац. техн. ун-т. № А20100853; заявл. от 06.01.2010 г.; опубл. // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2013.
8. Шмыков А. А. Справочник термиста / А. А. Шмыков М.: Mashgiz, 1981. 331 с.

### References

1. **Kachanov I. V.** *Skorostnoe gorjachee vydavlivanie sterzhnevyyh izdelij* [High-speed extrusion of hot rod articles]. Minsk, UP «Tehnoprint» Publ., 2002, 327 p.
2. **Shorshorov M. H., Kolesnichenko V. A., Alehin V. P.** *Klinopressovaya svarka davleniem raznorodnyh metallov* [Klinopressovaya pressure welding of dissimilar metals]. Moscow, Metallurgija Publ., 1982, 112 p.
3. **Gel'man A. S.** *Osnovy svarki davleniem* [Pressure welding Basics]. Moscow, Metallurgija Publ., 1970, 312 p.
4. **Zubchenko A. S., Koloskov M. M., Kashirskij Yu. V.** *Marochnik stalej i splavov* [Database of steels and alloys]. Moscow, Engineering Publ., 2003, 784 p.
5. **Baranovskij M. A., D'jakonov O. M., Kachanov I. V., Shabeka I. S.** Instrument dlja vysokoskorostnoj shtampovki [Tool for high speed stamping]. A. s. № 871967 SSSR, 1981.
6. **Kachanov I. V., Zdor G. N., Isaevich L. A., Sharij V. N., Kudin M. V., Vlasov V. V.** Sposob shtampovki detalej so sterzhnem [Punching method with the shaft parts]. Patent RB, no. 18113, 2014.
7. **Kachanov I. V., Sharij V. N., Kudin M. V., Buto D. I., Hodos., I. A., Vlasov V. V.** Sposob izgotovlenija klapana dvigatelja vnutrennego sgoranija [Способ изготовления клапана двигателя внутреннего сгорания]. Patent RB, no. 16601, 2013.
8. **Shmykov A. A.** *Spravochnik termista* [Directory treater]. Moscow, Mashgiz Publ., 1981, 331 p.