УДК
622.23.05

С.А. Чупин, В.И. Болобов, В.С. Бочков

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТАНГЕНЦИАЛЬНЫХ ПОВОРОТНЫХ РЕЗЦОВ

Главным недостатком выпускаемых резцов является низкая твердость головной части их державок, что приводит к преждевременному ее износу и последующей потере работоспособности всего резца. Работа резцами с нарушенными параметрами приводит к усилению динамики работы исполнительного органа, снижению производительности и ресурса проходческой машины. После анализа основных операций применяемой типовой термической обработки (ТТО) резцов делается вывод, что поверхностная твердость материала державки резцов обеспечивается только мартенситным превращением аустенита использованной среднеуглеродистой стали и не достигает по этой причине значительной величины (38–45 *HRC*). Как следствие, и износостойкость державки резца, как показывает практика эксплуатации, так же не отличается высокими показателями. На примере стали 30ХГСА, как наиболее часто используемого материала державок резцов, экспериментально обосновывается возможность использования в технологии изготовления резцов высокотемпературной термомеханической обработки ВТМО, как способа повышения износостойкости их державок. В соответствии с результатами представленных экспериментов показано, что применение ВТМО стали (деформация при 900 °С, закалка в воде, отпуск при 230 °С) приводит к существенному повышению ее твердости (на 23%) и износостойкости (на 38%) по сравнению с типовой термической обработкой, используемой при изготовлении резцов на заводах изготовителях. Предлагается усовершенствованная технологическая схема изготовления резцов, обладающих повышенной износостойкостью.

Ключевые слова: тангенциальный поворотный резец, материал державки, износостойкость, термомеханическая и термическая обработки.

В настоящее время подавляющая часть проходческих и очистных угольных комбайнов оборудуется исполнительными органами, рабочими инструментами которых являются тангенциальные поворотные резцы (рис. 1). Для повышения стойкости резцов к изнашиванию их армируют твердосплавной вставкой, обычно, из сплавов группы ВК. Однако эта мера не

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 3. С. 262–271.
© 2017. С.А. Чупин, В.И. Болобов, В.С. Бочков.

Рис. 1. Резец РШ 32–70/16.М1 производства ОАО «Горный инструмент»

исключает контакта головной части стального корпуса резца с разрушаемой породой, а, следовательно, и ее изнашивания.

В большинстве отечественных предприятий тангенциальные резцы изготавливаются по схеме (рис. 2), включающей:

• штамповку цилиндрической стальной заготовки (рис. 2, *а*) на горизонтально-ковочной машине в интервале температур 830–1140 °С [1] с получением поковки державки (рис. 2, *б*);

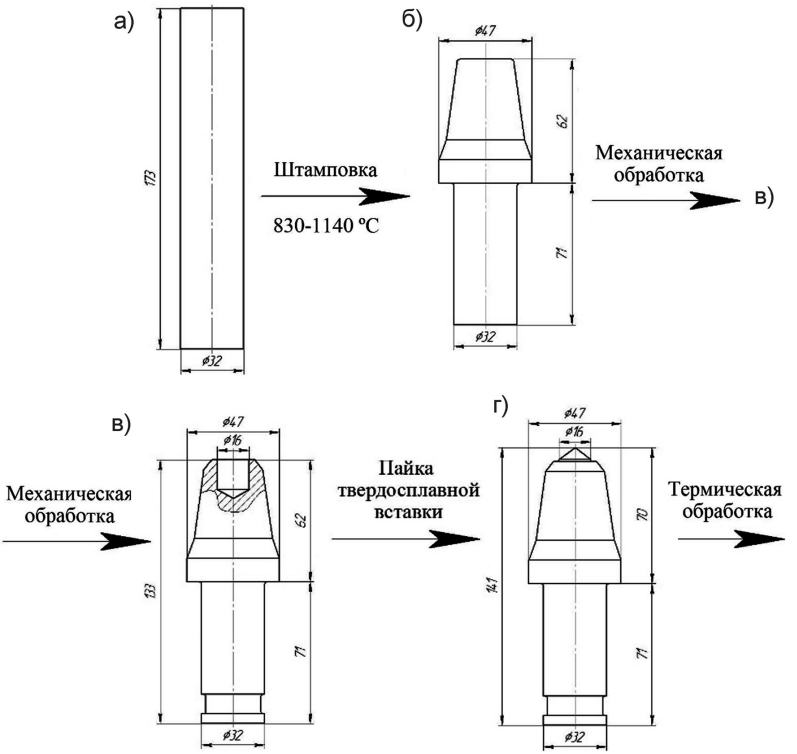

Рис. 2. Основные технологические операции существующего производства поворотных резцов на отечественных заводах изготовителях (на примере резца РШ 32-70/16.М1)

• охлаждение поковки на спокойном воздухе и механическую обработку с целью получения кольцевой проточки и закрытого паза для твердосплавной вставки (рис. 2, *в*);

• укладку в закрытый паз державки флюса с припоем и твердосплавной вставки, индукционный нагрев до температуры расплавления припоя (для припоя ПЛНКоМц49-9-0,2-0,2 – 955 °С) [2], (рис. 2, *г*);

• изотермическая закалка в расплавленной калиевой или натриевой селитре при температуре ~300 °С [3];

• охлаждение до комнатной температуры на спокойном воздухе;

• низкий отпуск в печи при температуре 230 °С.

В результате такой типовой термической обработки (ТТО) поверхностная твердость материала державки резцов обеспечивается только мартенситным превращением аустенита использованной среднеуглеродистой стали и не достигает по этой причине значительной величины (38–45 *HRC*). Как следствие, и износостойкость державки резца, как показывает практика эксплуатации, так же не отличается высокими показателями.

Промышленные испытания опытной партии тангенциальных поворотных резцов типа РШ, проведенные в период 2005–2006 гг. на шахтах ОАО «Воркутауголь» [4] показали, что наиболее вероятными причинами отказов являются:

• при работе по породам средней крепости и абразивности – износ стальной головки державки (рис. 3), приводящий к оголению твердосплавной вставки и ее выламыванию из головки в месте припайки;

• для крепких пород – поломка твердосплавной вставки в результате ее оголения на некую критическую величину.

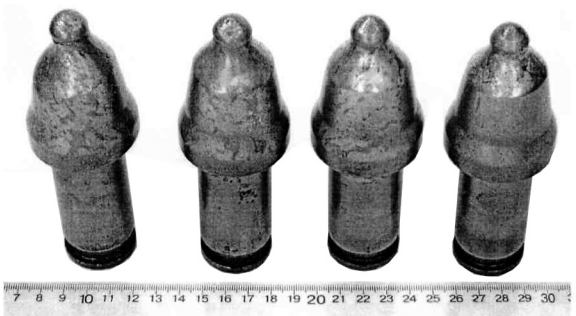

Рис. 3. Вид тангенциальных резцов РШ32 с интенсивным абразивным износом корпуса после работы по породам средней крепости и абразивности

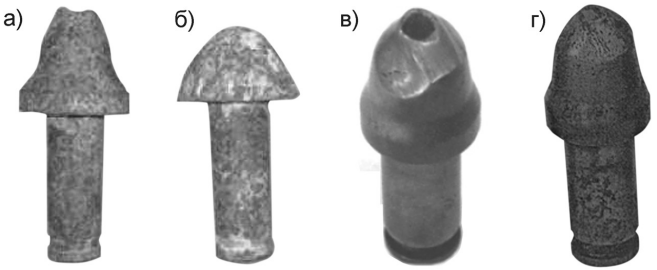

Рис. 4. Вид поворотных резцов, эксплуатирующихся после отрыва твердосплавной вставки: зарубежный производитель (а), (б); отечественный производитель (в), (г)

Дальнейшее резание породы резцами без твердосплавной вставки осуществляется державкой резца (рис. 4), вследствие чего действующие на инструмент усилия возрастают до двух раз, что приводит к таким негативным явлениям, как повышение энергоемкости процесса отбойки породы, усиление динамики работы исполнительного органа, снижение производительности и ресурса проходческой машины. Поэтому резцы без твердосплавной вставки считаются уже вышедшими из строя и требуют незамедлительной замены.

Таким образом, повышение износостойкости державок поворотных резцов является эффективным способом повышения срока их службы. Обеспечить повышение износостойкости державки можно, как конструктивными, так и технологическими мероприятиями. К конструктивным методам можно отнести изменение геометрических параметров резца, применение износостойких покрытий и наплавок и др. К технологическим – использование более износостойких материалов, применение различных видов термической и термомеханической обработок и др.

Анализируя возможные пути повышения износостойкости державки резцов, можно отметить, что при использовании типовой технологии структура их материала не получает преимуществ, которые могла бы получить, если бы закалку осуществлять непосредственно с температуры ковки, то есть подвергнув державку высокотемпературной термомеханической обработке (ВТМО) [5]. В настоящей работе на основании проведенных экспериментов сравнивается износостойкость образцов стали 35ХГСА, как материала державок поворотных резцов, прошедших типовую термическую обработку и ВТМО.

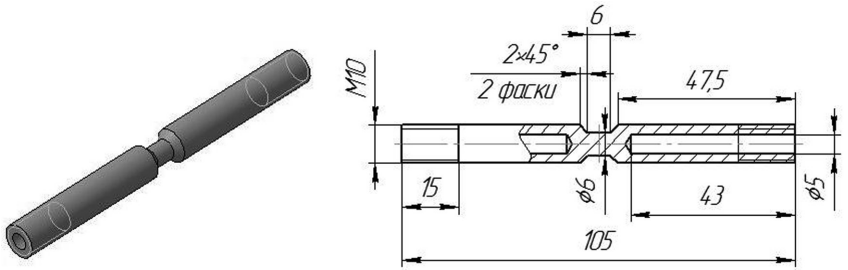

Рис. 5. Исходный образец из стали 30ХГСА для проведения заданной термической обработки металла

Объектом обработок и дальнейших исследований являлась утоненная (рабочая) часть образцов, вида представленного на рис. 5.

Высокотемпературная термомеханическая обработка проводилась по методике [6, 7] и заключалась в циклической деформации металла этой части образца при 900 °С сжатием-растяжением до достижения суммарной истинной деформации металла $\varepsilon_{ист}$

$$\varepsilon_{ист} = 2 \cdot \ln\left(\frac{d_0}{d_0 + \Delta d}\right) \approx 1,5$$

и последующей закалке в воде.

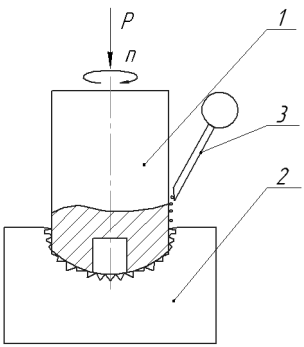

Рис. 6. Схема испытаний образцов на абразивный износ: 1 – вращающийся образец (n = 685 об/мин); 2 – пластина из абразивного материала; 3 – устройство подачи охлаждающей жидкости

В другом случае, эту часть подвергали только термической обработке (ТО) – закалке с 900 °С в воде без предварительного высокотемпературного деформирования.

После обоих видов обработки образцы разрезали поперек по центру их рабочей части. Торцевую поверхность одной из полученных половинок в виде шлифа использовали для металлографического анализа, другой – для измерения твердости *HV* и проведения экспериментов по изнашиванию. Эксперименты проводились по методике по схеме, представленной на рис. 6.

В качестве абразива 2 в экспериментах использовали песчаник, как

материал попутной породы средней крепости и абразивности ($\sigma_{сж}$ = 74 МПа, a = 21 мг), наиболее часто встречающийся при работе проходческих угольных комбайнов.

При постоянной статической нагрузке (P = 500 Н) торцевую поверхность половинок образцов изнашивали при экспозициях t от 10 до 50 с. По результатам замера массы образца до и после воздействия породы определяли потерю массы металла Δm. Полученные экспериментальные точки зависимости $\Delta m = f(t)$ экстраполировали прямой линией, тангенс угла наклона которой принимали за скорость изнашивания V.

Результаты металлографического анализа иллюстрируют рис. 7 *а*, *б*.

Видно (рис. 7, *а*, *б*), что основной структурной составляющей стали, как после термического, так и после термомеханического видов обработки является игольчатый мартенсит. В тоже время размер кристаллов (длина игл) этого соединения зависимости от вида обработки существенно различается: если после ТО он достигает 20 мкм (балл 9 по ГОСТ 8233-56), то после ВТМО – только 2 мкм (балл 2), т.е. сдвигается в субмикронную область. Полученный эффект объясняется измельчением зерна аустенита в результате пластической деформации при ВТМО и, как следствие, соответствующим уменьшением размеров кристаллов мартенсита, образующихся внутри зерен аустенита в процессе последующей закалки.

Как показали результаты измерения HV, указанное изменение в структуре стали находит свое отражение и в изменении ее твердости: при переходе от термического к термомеханическому виду обработки твердость материала возрастает от 4340 до 5339 МПа, т.е. в 1,25 раза.

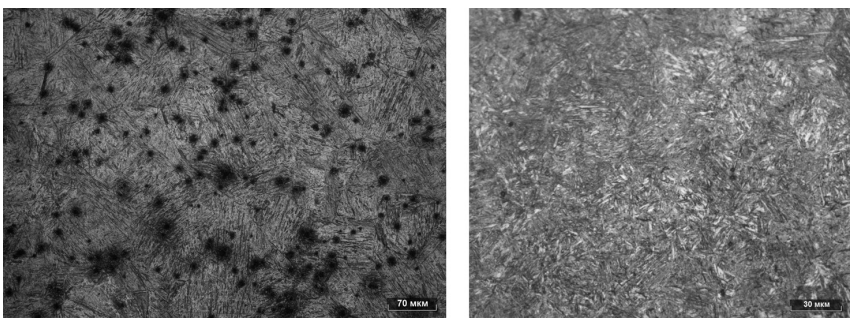

Рис. 7. Микроструктура стали 30ХГСА после термической, Х100, (а) и термомеханической, Х500, (б) обработок

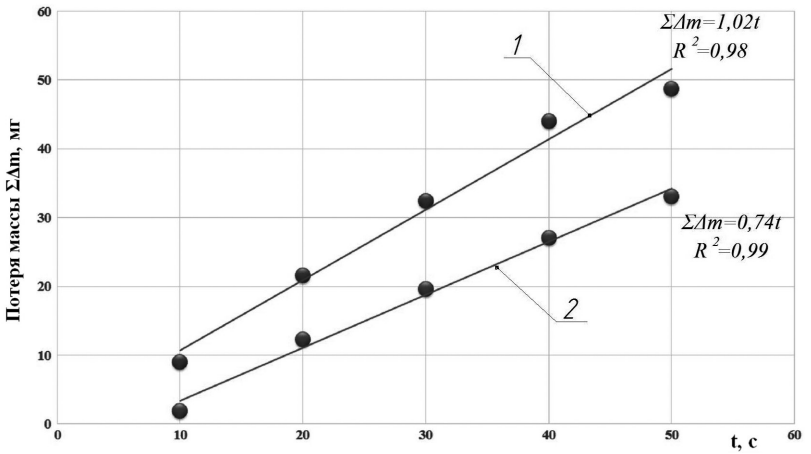

Рис. 8. Зависимость потери массы образцов от времени для процесса абразивного изнашивания образцов стали 30ХГСА после ТТО (кривая 1) и ВТМО (кривая 2)

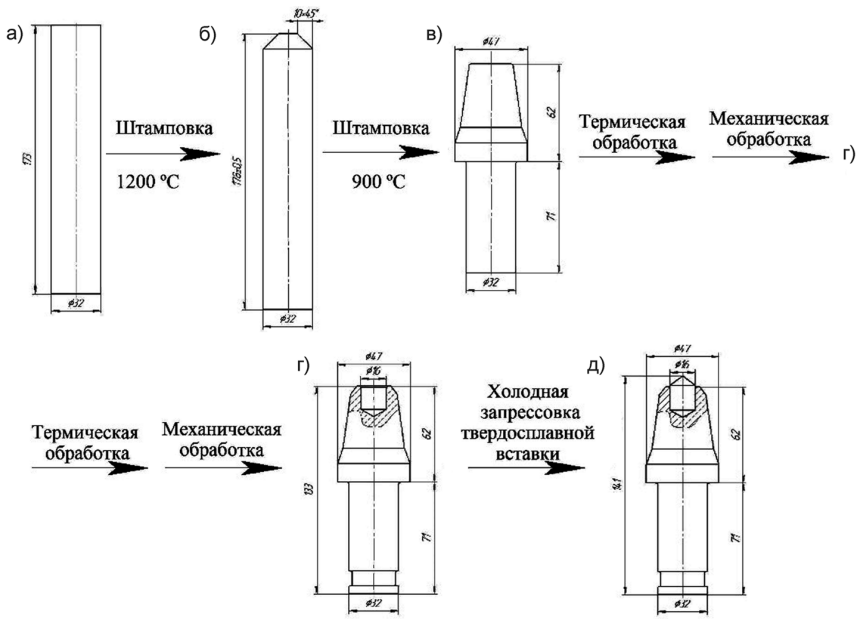

Рис. 9. Основные технологические операции усовершенствованной технологии производства резцов (на примере резца РШ 32–70/16.М1)

Результаты испытаний на абразивное изнашивание иллюстрирует рис. 8.

Видно (рис. 8), что временные зависимости, соответствующие установившейся стадии процесса изнашивания, для образцов обоих видов обработки с достаточной степенью достоверности аппроксимируются прямыми вида $\Sigma\Delta m = Kt$ с коэффициентами пропорциональности K (скоростями изнашивания), отличающимися для каждого вида. Для образцов, подвергнутых ВТМО скорость изнашивания ($K = 0{,}74$ мг/с) в 1,4 раза меньше, чем в случае образцов после типовой термической обработки ($K = 1{,}02$ мг/с).

Таким образом, термомеханическая обработка стали приводит к увеличению ее твердости (в 1,25 раза) и износостойкости (в 1,4 раза) по сравнению со сталью, прошедшей типовую термическую обработку. Предлагаемая технологическая схема изготовления резцов, представленная на рис. 9, включает следующие основные операции:

- нагрев цилиндрической заготовки (рис. 9, *а*) до температуры аустенизации (1200 °С) и выполнение штамповкой в ее головной части фаски определенных геометрических параметров;
- подстуживание заготовки с фаской (рис. 9, *б*) до температуры 900 °С, штамповка на горизонтально-ковочной машине с получением поковки (рис. 9, *в*);
- закалка поковки в расплавленной селитре или в масле;
- низкий отпуск поковки в печи при температуре 230 °С;
- механическая обработка поковки с целью получения кольцевой проточки и закрытого паза для твердосплавной вставки (рис. 9, *г*);
- запрессовка в полученную державку твердосплавной вставки, проводимая по технологии холодной посадки [9, 10] (рис. 9, *д*).

Предполагается, что использование данной технологии приведет к повышению износостойкости отечественных тангенциальных поворотных резцов до 1,4 раз при разрушении ими пород средней прочности и абразивности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Семенов Е. И.* Ковка и горячая штамповка: учебник. – М.: МГИУ, 2011. – 414 с.

2. *Крапивин М. Г.*, *Раков И. Я.*, *Сысоев Н. И.* Горные инструменты. – М.: Недра, 1990. – 256 с.

3. *Гуляев А. П.* Металловедение: учеб. для вузов, 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1986. – 541 с.

4. *Белич Е. В.*, *Гусельников Л. М.*, *Задков Д. А.*, *Подосенов А. А.* Испытание нового горно-режущего инструмента в шахтах Воркуты // Горное оборудование и электромеханика. – 2007. – № 8. – С. 2–5.

5. *Бернштейн М. Л.* Термомеханическая обработка металлов и сплавов. Т. 1–2. – М.: Металлургия, 1968. – 1172 с.

6. *Колбасников Н. Г.*, *Зотов О. Г.*, *Дураничев В. В.*, *Наумов А. А.*, *Мишин В. В.*, *Рингинен Д. А.* Влияние больших деформаций в горячем состоянии на структуру и свойства низкоуглеродистой стали // Металлообработка. – 2009. – №4 (52). – С. 25–31.

7. *Naumov A. A.*, *Bezobrazov Y. A.*, *Kolbasnikov N. G.* and *Chernikov E. V.* Novel Physical Simulation Technique Development for Multistage Metal Plastic Deformation Processing, Materials Science Forum. Vols. 762 (2013), pp. 62–69.

8. *Болобов В. И.*, *Баталов А. П.*, *Бочков В. С.*, *Сюй Цинянь* О износостойкости стали 110Г13Л в различных абразивных средах // Записки горного института. – 2014. – Т. 209. – С. 17–22.

9. *Богомолов Р. М.*, *Ищук А. Г.*, *Гавриленко М. В.*, *Неупокоев В. Г.*, *Морозов Л. В.*, *Мокроусов В. П.* Патент RU 2270318 C1 МПК E21B10/16 Буровое долото с твердосплавным вооружением. Опубл. 20.02.2006.

10. *Зябрева Н. Н.* Пособие к решению задач по курсу «Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения». – М.: Высшая школа, 1977. – 203 с. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Чупин С.А.[1] – ассистент кафедры,
e-mail: Staseg-88@mail.ru,
Болобов Виктор Иванович[1] – доктор технических наук,
профессор, e-mail: Boloboff@mail.ru,
Бочков Владимир Сергеевич[1] – кандидат технических наук,
ассистент кафедры, e-mail: bochkof@list.ru,
[1] Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 3, pp. 262–271.

UDC 622.23.05

S.A. Chupin, V.I. Bolobov, V.S. Bochkov

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY MANUFACTURING OF THE TANGENTIAL ROTARY CUTTERS

Technology of production of tangential rotary cutters currently used at national manufacturing plants does not provide enough wear resistance of rock cutting tool. The main drawback of the cutter manufactured is a low hardness of the head part holders, which leads to its premature wear and the consequent loss of efficiency cutter tool. Working by tools with a broken parameters is lead to enhance the dynamics of the work of the cutter head of roadheader, poor performance and resource tunneling machine. After analyzing the basic operations used by a typical thermal processing (TR) cutters were concluded that the surface hardness of the material of the cutter body is provided only martensitic transformation of austenite medium

carbon steel used and does not reach for this reason large quantities (38–45 HRC). As a result, the wear resistance and the cutter body, in practice operate, as no different high levels.

In an article on the example of steel 30KhGSA as the most frequently used material holders cutters experimentally substantiated the use of technology in the manufacture of high-temperature thermomechanical treatment cutters as a way to improve the wear resistance of their toolholders. In accordance with the results presented experiments proved that the application of high-temperature thermomechanical treatment steel (strain at 900 °C, water quenching, tempering at 230 °C) leads to a substantial increase of its hardness (23%) and wear resistance (38%) compared to typical heat treatment used in the manufacture of cutters at the factory. Advanced technological scheme of the manufacture of cutters with enhanced wear resistance is described in the article.

Key words: tangential rotary cutter, material of cutter body, wear resistance, thermomechanical and thermal treatment.

AUTHORS

Chupin S.A.[1], Assistant of Chair, e-mail: Staseg-88@mail.ru,
Bolobov V.I.[1], Doctor of Technical Sciences, Professor,
e-mail: Boloboff@mail.ru,
Bochkov V.S.[1], Candidate of Technical Sciences,
Assistant of Chair, e-mail: bochkof@list.ru,
[1] National Mineral Resource University «University of Mines»,
199106, Saint-Petersburg, Russia.

REFERENCES

1. Semenov E. I. *Kovka i goryachaya shtampovka*: uchebnik (Hammering and hot forming: Textbook), Moscow, MGIU, 2011, 414 p.

2. Krapivin M. G., Rakov I. Ya., Sysoev N. I. *Gornye instrumenty* (Mining tools), Moscow, Nedra, 1990, 256 p.

3. Gulyaev A. P. *Metallovedenie*: uchebnik dlya vuzov, 6-e izd. (Metal science: Textbook for high schools, 6th edition), Moscow, Metallurgiya, 1986, 541 p.

4. Belich E. V., Gusel'nikov L. M., Zadkov D. A., Podosenov A. A. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2007, no 8, pp. 2–5.

5. Bernshteyn M. L. *Termomekhanicheskaya obrabotka metallov i splavov*. T. 1–2 (Thermomechanical treatment of metals and alloys, vol. 1–2), Moscow, Metallurgiya, 1968, 1172 p.

6. Kolbasnikov N. G., Zotov O. G., Duranichev V. V., Naumov A. A., Mishin V. V., Ringinen D. A. *Metalloobrabotka*. 2009, no 4 (52), pp. 25–31.

7. Naumov A. A., Bezobrazov Y. A., Kolbasnikov N. G. and Chernikov E. V. *Novel Physical Simulation Technique Development for Multistage Metal Plastic Deformation Processing, Materials Science Forum*. Vols. 762 (2013), pp. 62–69.

8. Bolobov V. I., Batalov A. P., Bochkov V. S., Syuy Tsinyan' *Zapiski gornogo instituta*. 2014, vol. 209, pp. 17–22.

9. Bogomolov R. M., Ishchuk A. G., Gavrilenko M. V., Neupokoev V. G., Morozov L. V., Mokrousov V. P. *Patent RU 2270318 C1 MPK E21B10/16*, 20.02.2006.

10. Zyabreva N. N. *Posobie k resheniyu zadach po kursu «Vzaimozamenyaemost', standartizatsiya i tekhnicheskie izmereniya»* (Textbook on problem solution within the Interchangeability, Standardization and Technical Metrology Course), Moscow, Vysshaya shkola, 1977, 203 p.