

УДК 621.78(075.8)

DOI: 10.30987/1999-8775-2021-1-10-18

М.В. Терехов, Д. М. Севостьянов, Л.Б. Филиппова

ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ, ВЫПОЛНЕННЫХ ИЗ ВОЛЬФРАМОВЫХ СПЛАВОВ

Решена задача электроэрозионной обработки и точения детали из вольфрамового сплава ВКЗ.

Проведено исследование особенностей обработки деталей нефтегазовой промышленности из вольфрамовых сплавов на примере сплава ВКЗ. Описаны особенности механической обработки твердых сплавов точением, основные причины их трудно обрабатываемости. Приведены подходы к выбору режущего инструмента, показана зависимость шероховатости поверхности и стойкости инструмента от подбора режимов резания. Представ-

лены принципы проектирования электродов для электроэрозионной обработки твердого сплава и пути повышения производительности процесса. Сопоставлено применение медно-вольфрамовых псевдосплавов и меди марки М1 с точки зрения экономической целесообразности их использования.

Ключевые слова: сплав, механическая обработка, точение, электроэрозионная обработка, режимы резания, электрод, вольфрамовый сплав, стойкость.

M.V. Terekhov, D.M. Sevostiyarov, L.B. Filippova

PECULIARITIES IN TUNGSTEN ALLOY PARTS PROCESSING FOR OIL-GAS INDUSTRY

The purpose of the work carried out is to increase the effectiveness of hard alloy machining. Within the limits of the paper there is solved a matter of electro-erosion treatment and turning TC 3 alloy parts. Basic investigation methods are:

- experiment and comparison,
- computer simulation

The work resulted in recommendations for the choice of cutters and cutting modes for hard alloy edge machining and also electrode material at electro-erosion treatment.

One of the ways to increase productivity and operation quality equipment consists in the application of new materials and alloys including tungsten alloys. Within the limits of this work there are considered the peculiarities in machining TC3 alloy parts for oil-gas industry by the example of the "sleeve" part. For machining inner and outer surfaces there was used a turning operation, and for complex grooves – electro-erosion treatment as the only possible choice for processing because of a small size of the part. The peculiarities hard alloy machining through turning and basic

reasons of hard alloy hard-to-workability are described. There are shown approaches to the choice of cutters, and the dependence of surface roughness and tool durability upon cutting mode choice is shown. During turning plate material must have higher strength than alloy under machining. One of the best choices for hard alloy machining is cubic boron nitride. For processing it is necessary to use tool holders with the increased rigidity. There are presented principles of electrode designing for hard alloy electro-erosion treatment and ways for process productivity increase. The application of copper-tungsten pseudo-alloys and m1 grade copper is compared from the point of view of economic purposefulness in their use. In spite of copper-tungsten alloy high durability which gives advantages in processing rate and economy in manufacturing electrodes its use is economically inexpedient and it is more rational to use copper which is cheaper.

Key words: alloy, machining, turning, electro-erosion treatment, cutting modes, electrode, tungsten alloy, durability.

Введение

В настоящее время нефтегазовая отрасль является одной из самых крупных отраслей промышленности. В связи с ростом и развитием отрасли для увеличения производительности и качества работы

оборудования перед инженерами ставятся задачи по улучшению оборудования. Одним из путей является применение новых материалов и сплавов, в том числе и сплавов с применением вольфрама. Примене-

ние сплавов вольфрама при изготовлении деталей нефтегазовой промышленности обусловлено их износостойкостью и коррозийной стойкостью.

Вольфрам и его сплавы имеют как преимущества, так и недостатки, в том числе сложность обработки, обусловленные хрупкостью материала, его высокой абразивной способностью, высокой твердостью и термостойкостью.

В статье будут рассмотрены особенности обработки детали нефтегазовой промышленности из сплава ВК3. Материал ВК3 обладает следующими характеристиками: предел прочности при изгибе 1176 Н/мм, плотность 15-15,3 г/см³, твердость *HRA* не менее 89,5. Химический состав: 97% карбида вольфрама, 3% кобальт.

Точение вольфрамовых сплавов

Обработка твердых сплавов точением - это сложный и трудоемкий процесс, для реализации которого требуются специальное оборудование и инструмент.

Основные причины трудной обработки твердых сплавов точением:

- Высокая твердость. Режущий инструмент должен обладать твердостью выше, чем у самого материала. Твердость *HRA* не менее 91,0.

- Инородные включения или раковины. Процесс спекания твердого сплава очень сложен, поэтому получение качественной заготовки очень затратно и дорого. Из-за высокой стоимости твердого сплава зачастую используются заготовки более низкого качества, в которых имеются инородные включения или раковины, из-за которых точение превращается в ударное резание.

- Хрупкость. При неправильно подобранных режимах силы резания возрастают. Это приводит к появлению сколов или выкрашиванию самого материала.

Для того чтобы обработка стала возможной необходимо начать с правильной подборки режущего инструмента.

Для выполнения наружных и внутренних поверхностей была использована токарная обработка, для пазов сложной формы была выбрана электроэрозионная обработка как единственно возможный вариант обработки, по причине малого размера детали. Форма детали показана на рис. 2.

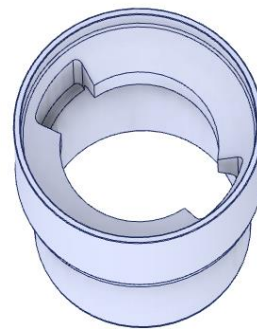


Рис. 1. 3D модель втулки

Пластина должна быть изготовлена из сплава с твердостью выше, чем у твердого сплава, обработку которого нужно произвести. Для обработки изделий из твердого сплава рациональнее выбирать между кубическим нитридом бора или поликристаллический алмаз (ПКА). ПКА широко используется для обработки цветных металлов, которым и является вольфрам, основной компонент твердых сплавов. Но основным минусом ПКА является его хрупкость, что при ударном резании приведёт к выкрашиванию режущей кромки пластины. Кубический нитрид бора – это сверхтвердый материал, не имеющий природного аналога. Он отличается красностойкостью, благодаря чему его можно использовать при особо твердых материалах, так как он выдерживает температуру в зоне резания до 1200 градусов. Современные сплавы состоят из керамических композиционных материалов с содержанием кубического нитрида бора (КНБ) 40-65%. Керамическое связующее вещество увеличивает износостойкость *CBN*, который в его отсутствие склонен к химическому износу. Из всего вышеперечисленного мож-

но сделать вывод, что рациональнее использовать КНБ.

После того как был выбран материал пластины, необходимо выбрать для них державки. Для наружного точения была

выбрана призматическая державка *T-Max*® *PDDJNR 2020K 11* (рис. 3) компании «*Sandvik Coromant*» с прижимом для повышенной жесткости.

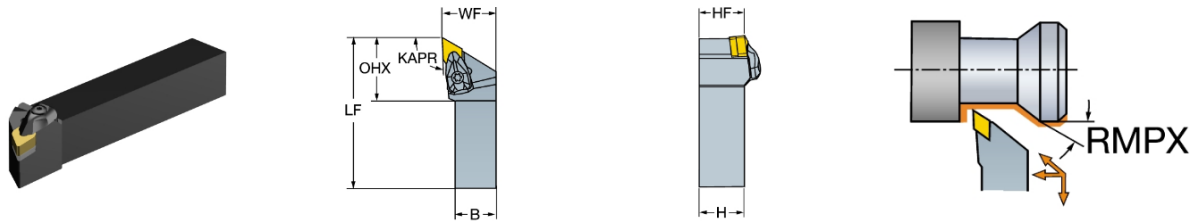


Рис. 4. Призматическая державка *T-Max*® *PDDJNR 2020K 11*

Для расточного резца, который будет обрабатывать вольфрамовые сплавы, необходима высокая жесткость, так как обычно расточные резцы обладают низкой жесткостью из-за того, что их вылет составляет в среднем 4-5 диаметров сечения державки. Исходя из фактов, было принято решение выбрать antivибрационный резец компании «*Sandvik Coromant*». Резец состоит из державки *F12Q-SDUCL 07-ER* (рис. 5) и цанговой втулки *EF-32-12*. Резец изготовлен из твердого сплава с отверстием в центре, для уменьшения вибраций, и наконечника из стали для крепления пла-

стин. Цанговая втулка необходима для повышения жесткости позиционирования державки. Для этого на державке сделаны пазы, а на втулке располагаются шарики.

Для точения были выбраны пластины компании «*Sandvik Coromant*». Для изготовления детали необходимо произвести точение периферии и расточку внутренних поверхностей. Исходя из этого, необходимо выбрать пластину на проходной и расточный резец. На проходной резец была выбрана пластина *DNGA110404S01525H 7115*, а на расточной резец *DCGW070204S01020F 7115* (рис. 6).



Рис. 8. Державка *F12Q-SDUCL 07-ER*

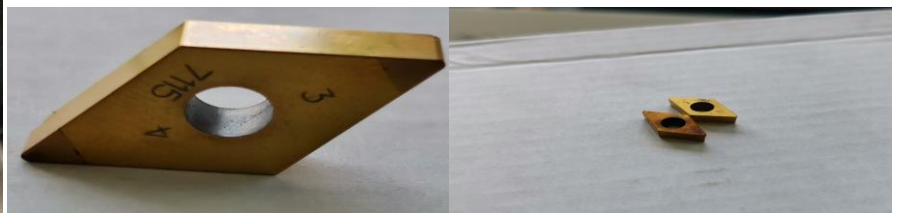


Рис. 7. Пластины *DNGA110404S01525H 7115* и *DCGW070204S01020F 7115*

Необходимо разобраться, какую использовать СОЖ.

Правильный подбор СОЖ не менее важный процесс при обработке, чем выбор режущего инструмента. При неправильном выборе СОЖ в зоне резания будет слишком высокая температура, что приведет к

быстрому износу инструмента. В зависимости от состава СОЖ разделяются на масляные и водосмешиваемые. Для тяжелого резания необходимо использовать СОЖ на масляной основе. Они обладают высокой плотностью, вязкостью и температурой вспышки. При этом на оборудова-

нии нет возможности использовать масляную СОЖ, поэтому использовалась полусинтетическая водосмешиваемая СОЖ. Причем содержание масла в ней необходимо поднять выше 30% для усиленного охлаждения.

Последним пунктом будет подбор режимов резания. Многие справочники, а

также каталог компании «Sandvik Coromant» располагает широким выбором расчетов режимов резания. Но в них не предусмотрены режимы для точения твердых сплавов. Поэтому было принято решение отталкиваться от режимов по закаленным сталям (рис. 9).

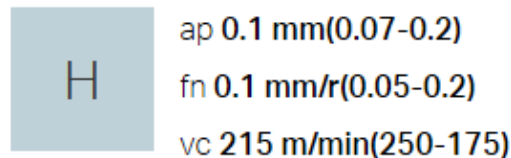


Рис. 10. Режимы резания по закаленным сталям

В ходе большого количества экспериментов было выявлено, что скорость резания необходимо снизить на 50% от рекомендуемых режимов. Из графика видно, что при повышении скорости резания шероховатость ухудшается. Это происходит из-за того, что при большой скорости резания повышается температура в зоне ре-

зания, при этом процесс обработки теряет стабильность, появляются волны на поверхности, мелкие трещины. Поэтому оптимальной скоростью резания для точения твердых сплавов является скорость 110 м/мин. График изменения шероховатости можно увидеть на рис. 11.

График изменения шероховатости R_a от скорости резания V (м/мин)

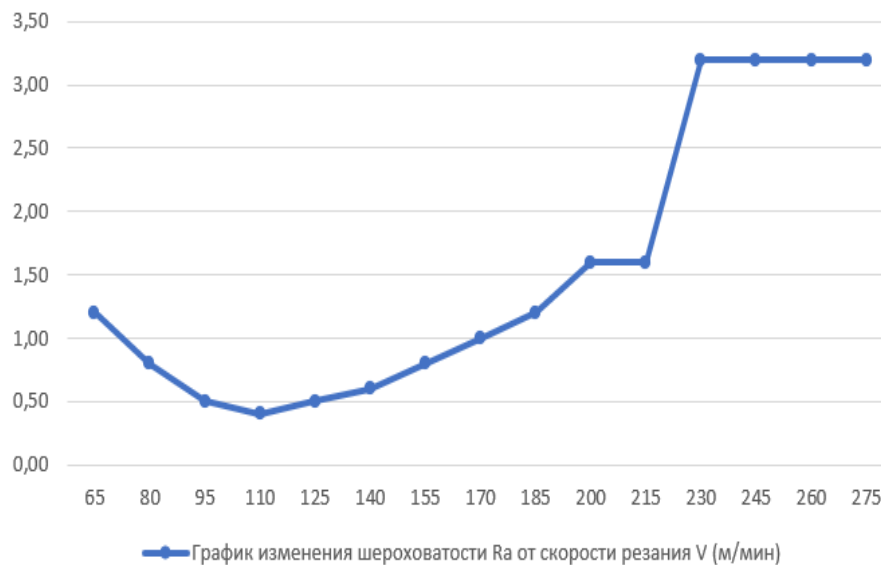
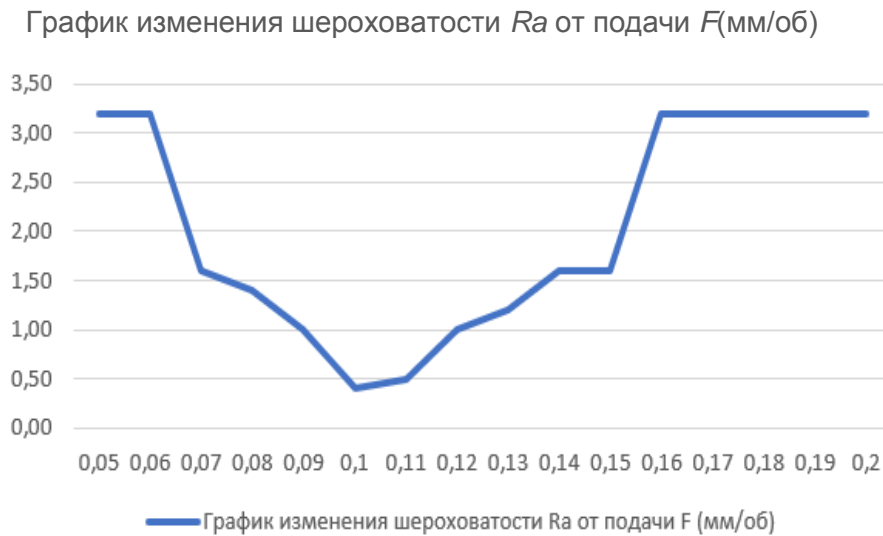


Рис. 12. График изменения шероховатости R_a в зависимости от скорости V , м/мин

Величина подачи осталась в районе средних каталожных значений и составила 0,1 мм/об. При уменьшении подачи ухудшалась частота поверхности, и появились

трещины, при увеличении уменьшалась стойкость инструмента и точность размеров. График изменения шероховатости можно увидеть на рис. 13.

Рис. 14. График изменения шероховатости Ra в зависимости от подачи F , мм/об

Глубину резания пришлось поднять до максимальных каталожных значений, она составила 0,2 мм на сторону. При маленькой глубине наблюдалось затираание режущей кромки и поверхности, также отсутствовала стабильность размеров. График изменения времени стойкости режущего инструмента можно увидеть на рис. 15.

При обработке точением материал пластины должен обладать более высокой твердостью, чем обрабатываемый сплав. Одним из лучших вариантов для обработ-

ки твердых сплавов является кубический нитрид бора. При обработке необходимо использовать державки с повышенной жесткостью.

В ходе большого количества экспериментов было выявлено, что для точения твердого сплава пластинами *DNGA110404S01525H* 7115 и *DCGW070204S01020F* 7115 будет рационально использовать следующие режимы: скорость резания 110 м/мин, подача 0,1 мм/об, глубина резания 0,2 мм.

Рис. 8. График изменения времени стойкости РИ T , мин, в зависимости от глубины резания A_p , мм

Электроэрозионная обработка твёрдого сплава

В связи с тем, что паз детали имеет не большие габаритные размеры, глубину более 15 мм и радиус при вершине 1 мм, не возможно использовать лезвийную об-

работку, так как фрез для подобной операции нет. Для изготовления данной детали была выбрана электроэрозионная обработка (рис. 9).

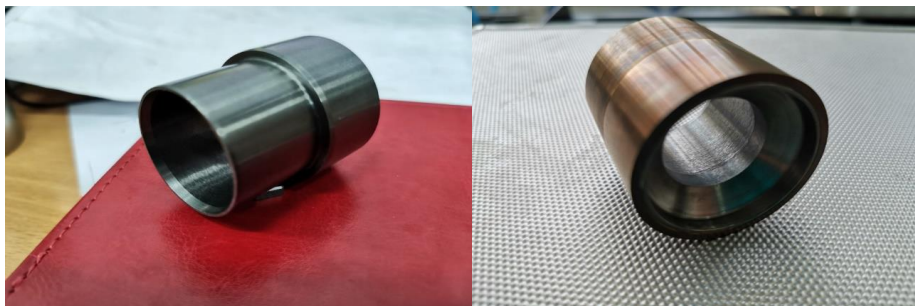


Рис. 16. Полученное изделие

Для изготовления детали требуется спроектировать электрод по форме повторяющий элемент детали. Так как электроэрозионная обработка по своей сути является бесконтактной, то основной сложностью при проектировании электрода является прогнозирование величины искрового зазора при расчётных режимах обработки. При решении данной задачи электрода была использована 3D модель детали, полученная от конструктора и функции CAD-системы, для проверки правильности построения модели электрода. На рис. 17 изображен спроектированный электрод.

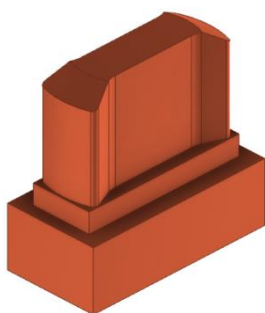


Рис. 18. 3D модель электрода

В процессе электроэрозионной обработки была выявлена проблема низкой скорости обработки. Время обработки одной детали составило 6 ч. Решением данной проблемы стали два основных направления: замена материалов электрода на медно-вольфрамовый псевдосплав и уве-

личение количества электродов. Существенным различием обработки твердых сплавов является его эрозионная стойкость. Во время обработки твердого сплава электрод теряет свою форму в 2-2,5 раза быстрее, чем при обработке стали.

Решение проблемы путем замены материала электрода с меди марки М1 на медно-вольфрамовый сплав ВД-75 с содержанием меди 75% дало следующий результат. Применение данного материала, в купе с повышением режимов обработки, позволило уменьшить время обработки одной детали с 6 до 3 ч. Повышение эрозионной стойкости электрода в 2 раза позволило использовать электрод на 2-3 детали, вместо одной для медного электрода. Данный метод оказался эффективен с точки зрения производительности, так как увеличилась скорость обработки и как следствие увеличения стойкости электрода снизались затраты на изготовление электродов, но большая цена заготовок, превышающая стоимость меди в 10 раз, делает экономически не целесообразным его применение.

Из-за высокой цены вольфрамового сплава, его использование экономически не целесообразно и рациональнее изготавливать электроды из медного сплава в большом количестве. Несмотря на то, что медь имеет низкую стойкость, что изображено на рис. 19 при обработке твердых

сплавов, а при повышении режимов обработки значительно увеличивается износ электрода, низкая цена на материал заготовок становится решающим фактором, в связи с этим решение проблемы производительности увеличением количества электродов становится более эффективным.

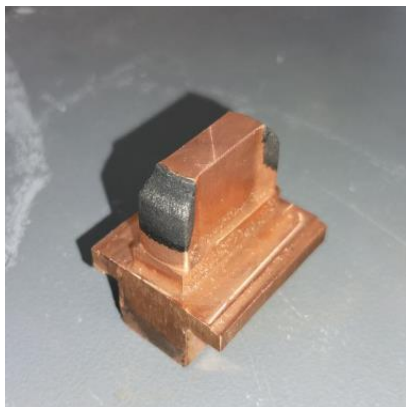


Рис. 21. Деформированный медный электрод после обработки твердого сплава

Также для уменьшения расходов на материал и обработку была увеличена

Выводы

Сплавы с содержанием вольфрама, в том числе ВКЗ являются труднообрабатываемыми и требуют сложной технологической подготовки при изготовлении деталей из них.

При обработке точением материал пластины должен обладать более высокой твердостью чем обрабатываемый сплав. Одним из лучших вариантов для обработ-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Русецкий А. М.** Автоматизация и управление в технологических комплексах: монография / А. М. Русецкий, П. А. Витязь, М. Л. Хейфец, Д. Н. Свирски, А. В. Аверченков, В. И. Аверченков, Л. М. Акулович, О. Г. Барашко, И. А. Каштальян, О. Л. Родионова, А. М. Пынькин, М. В. Терехов, В. К. Шелег; под общ. ред. А. М. Русецкого. – Минск : Беларуская навука, 2014. – 375 с. - ISBN 978-985-08-1774-7
2. **Жолобов, А. А.** Станки с ЧПУ: устройство, программирование, инструментальное обеспе-

оформляющая часть. Таким образом, появилась возможность его реставрации при помощи токарной обработки, что изображено на рис. 12. Возможность реставрации электрода уменьшила количество затрачиваемого времени на обработку электродов.

Для уменьшения расходов на материал и обработку, при проектировании электродов могут быть внедрены конструктор-



Рис. 20. Медный электрод после восстановления

ские решения, которые дадут возможность восстановления электрода до рабочего состояния. В данном примере для реставрации электрода была применена токарная обработка. На рис. 22 изображен пример реставрации электрода.

ки твердых сплавов является кубический нитрид бора.

Несмотря на высокую стойкость медно-вольфрамового сплава, которое дает преимущество в скорости обработки и экономии на изготовлении электродов его использование является экономически не целесообразным и рациональнее использовать более дешёвую медь.

- чение и оснастка: учеб. пособие / А. А. Жолобов, Ж. А. Мрочек, А. В. Аверченков, М. В. Терехов, В. А. Шкаберин. – 2-е изд., стер. – М.: ФЛИНТА, 2014. – 355 с. - ISBN 978-5-9765-1830-8
3. **Терехов, М. В.** Математическое обеспечение процедуры выбора оптимального режущего инструмента / М. В. Терехов, А. В. Аверченков, А. А. Мартыненко // Информационные системы и технологии. - Орел: Госуниверситет-УНПК - 2011. - № 5 (67). - С. 5-10.

4. **Аверченков, А. В.** Малые инновационные предприятия в сфере наукоемкого машиностроительного производства / А. В. Аверченков, М. В. Терехов, А. А. Мартыненко // Справочник. Инженерный журнал с приложением. - 2011. - № 11. - С. 54-56.
5. **Аверченков, А. В.** Автоматизированный выбор стратегий обработки деталей в условиях малых предприятий / А. В. Аверченков, А. А. Мартыненко, М. В. Терехов, О. А. Вдовиченко // Материалы III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Исследование и проектирование интеллектуальных систем в автомобилестроении, авиастроении и машиностроении ("ISMCA' 2019")». – Таганрог: Общество с ограниченной ответственностью «ЭльДирект». - 2019. – С. 171-174. - ISBN: 978-5-6042202-4-5
6. **Аверченков, А. В.** Справочник технолога-машиностроителя: в 2 томах 6-е издание, переработанное и дополненное. Том. 1 / А. В. Аверченков, М. В. Терехов, Л. Б. Филиппова [и др.]. – Москва: Инновационное машиностроение, 2018. – 756 с. - ISBN: 978-5-6040281-6-2
7. **Leonov, Yu. A.** Selection of rational schemes automation based on working synthesis instruments for technological processes / Yu.A. Leonov, E.A. Leonov, A.A. Kuzmenko, A.A. Martynenko, E.E. Averchenkova, R.A. Filippov — Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House LLC, 2019 — 192 p. — ISBN: 978-5-9765-4023-1.
8. **Leonov, E. A.** Intellectual subsystems for collecting information from the internet to create knowledge bases for self-learning systems / E.A. Leonov, Y.A. Leonov, Y.M. Kazakov, L.B. Filippova / In: Abraham A., Kovalev S., Tarassov V., Snasel V., Vasileva M., Sukhanov A. (eds) — Text : electronic // Proceedings of the Second International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (ITI'17). ITI 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing. —2017— vol 679. — Springer, Cham, p. 95-103 — DOI:10.1007/978-3-319-68321-8_10
9. **Терехов М. В.** Модели и методы анализа проектных решений: Лабораторный практикум/ М. В. Терехов, В. А. Шкаберин, Л. Б. Филиппова [и др.] — Москва: ООО «Флинта», 2018. — 147 с. — ISBN: 978-5-9765-4023-1.
10. **Филиппов Р. А.** Программно-аппаратный комплекс виртуальной лаборатории для микроструктурного и микрогеометрического анализа / Р. А. Филиппов, А. В. Аверченков, Д. В. Чмыхов, И. Л. Пыриков, А. П. // Вестник Брянского государственного технического университета.- Брянск: Издательство БГТУ. - 2010. - № 3(27). -с. 78-83. - ISSN: 1999-8775.
1. **Rusetsky, A. M.** *Automation and Control in Technological Complexes: monograph* / A.M. Rusetsky, P.A. Vityaz, M.L. Heifetz, D.N. Svirsky, A.V. Averchenkov, V.I. Averchenkov, L.M. Akulovich, O.G. Barashko, I.A. Kashtaliyan, O.L. Rodionova, A.M. Pynkin, M.V. Terekhov, V.K. Sheleg; under the general editorship of Rusetsky. – Minsk: Belorussian Science, 2014. – pp. 375. - ISBN 978-985-08-1774-7
2. **Zholobov, A. A.** *NC Machines: Structure, Programming, Tool Support and Equipment: manual* / A.A. Zholobov, Zh.A. Mrochek, A.V. Averchenkov, M.V. Terekhov, V.A. Shkaberin. – 2-d Edition, stereotypical. – M.: FLINTA, 2014, 2014. – pp. 355. - ISBN 978-5-9765-1830-8
3. **Terekhov, M.V.** Mathematical support in optimum cutter choice / M.V. Terekhov, A.V. Averchenkov, A.A. Martynenko // *Information Systems and Technologies.*- Orel: State University – ESPC – 2011. – No.5 (67). – pp. 5-10.
4. **Averchenkov, A. V.** Small innovation enterprises in science intensive engineering production / A.V. Averchenkov, M.V. Terekhov, A.A. Martynenko // *Reference Book. Engineering Journal with Appendix.* 2011. – No.11. – pp. 54-56.
5. **Averchenkov, A. V.** Automated choice of strategies in parts processing under conditions of small-scale enterprises / A.V. Averchenkov, A.A. Martynenko, M.V. Terekhov, O.A. Vrovichenko // *Proceedings of the III-d All-Russian Scientific Practical Conf. with Inter. Participation “Research and Design of Intelligent Systems in Automobile Industry, Aircraft Industry and Mechanical Engineering “ISMCA' 2019”.* – Taganrog: El Direct Co. Ltd. – 2019. – pp. 171-174. - ISBN: 978-5-6042202-4-5
6. **Averchenkov, A. V.** *Technologist-Engineering Worker's Reference Book: in @ Vol. 6-th edition, revised and supplemented. Vol.1* / A.V. Averchenkov, M.V. Terekhov, L.V. Filippova [et al.]. – Moscow: Innovation Mechanical Engineering, 2018. – pp. 756. - ISBN: 978-5-6040281-6-2
7. **Leonov, Yu. A.** Selection of rational schemes automation based on working synthesis instruments for technological processes / Yu.A. Leonov, E.A. Leonov, A.A. Kuzmenko, A.A. Martynenko, E.E. Averchenkova, R.A. Filippov — Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House LLC, 2019 — 192 p. — ISBN: 978-5-9765-4023-1.
8. **Leonov, E. A.** Intellectual subsystems for collecting information from the internet to create knowledge bases for self-learning systems / E.A. Leonov, Y.A. Leonov, Y.M. Kazakov, L.B. Filippova / In: Abraham A., Kovalev S., Tarassov V., Snasel V., Vasileva M., Sukhanov A. (eds) — Text : electronic // Proceedings of the Second International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (ITI'17). ITI 2017. Advances in Intelligent Systems and

Computing. —2017— vol 679. — Springer, Cham, p. 95-103 — DOI:10.1007/978-3-319-68321-8_10

9. **Terekhov, M. V.** *Models and Methods of Design Solution Analysis: Laboratory Practicum* / M.V. Terekhov, V.I. Shkaberin, L.B. Filippova [et al.]. – Moscow: PC"Flinta", 2018. – pp. 147. - ISBN: 978-5-9765-4023-1.

10. **Filippova, R. A.** Software-hardware complex of virtual laboratory for micro-structural and micro-geometrical analysis / R.A. Filippova, A.V. Averchenkov, D.V. Chmykhov, I.L. Pyrikov, A.P. // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. – Bryansk: BSTU Publishers. – 2010. – No.3 (27). – pp. 78-83. - ISSN: 1999-8775.

Ссылка цитирования:

Терехов М.В. Особенности обработки деталей нефтегазовой отрасли, выполненных из вольфрамовых сплавов / М.В. Терехов, Д. М. Севостьянов, Л.Б. Филиппова // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. - № 1. – С. 10 - 18. DOI: 10.30987/1999-8775-2021-1-10-18.

Статья поступила в редакцию 27.11.20.

Рецензент: д.т.н., профессор Юго-Западного государственного университета

Куц В.В.

Статья принята к публикации 23.12.20.

Сведения об авторах:

Севостьянов Дмитрий Михайлович, магистрант кафедры «Компьютерные технологии и системы» Брянского государственного технического университета, тел. (4832) 56-49-90, e-mail: kts@tu-bryansk.ru.

Терехов Максим Владимирович, к.т.н., доцент кафедры «Компьютерные технологии и системы»

Брянского государственного технического университета, тел.: 89208308791, e-mail: malt86@mail.ru.

Филиппова Людмила Борисовна, к.т.н., доцент кафедры «Компьютерные технологии и системы» Брянского государственного технического университета, тел. 89803007624, e-mail: libv88@mail.ru.

Sevostiyarov Dmitry Mikhailovich, Master student of the Dep. "Computer Technologies and Systems", Bryansk State Technical University, phone: (4832) 56-49-90, e-mail: kts@tu-bryansk.ru.

Terekhov Maxim Vladimirovich, Can. Sc. Tech., Assistant Prof. of the Dep. "Computer Technologies

and Systems", Bryansk State Technical University, phone: 8-920-830 -7-91, e-mail: malt86@mail.ru.

Filippova Lyudmila Borisovna, Can. Sc. Tech., Assistant Prof. of the Dep. "Computer Technologies and Systems", Bryansk State Technical University, phone: 8-980-300-76 -4, e-mail: libv88@mail.ru.