

СПОСОБ ВИБРАЦИОННОГО СВЕРЛЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ В КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ ИНСТРУМЕНТОМ ИЗ МОДИФИКАЦИЙ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА

*Е.А. КУДРЯШОВ, доктор техн. наук, профессор
И.М. СМЕРНОВ, канд. техн. наук, доцент
С.А. ЧЕВЫЧЕЛОВ, канд. техн. наук, доцент
Е.И. ЯЦУН, канд. техн. наук, доцент
(ЮЗГУ, г. Курск)*

Поступила 1 ноября 2016
Рецензирование 1 декабря 2016
Принята к печати 17 января 2017

Кудряшов Е.А. – 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94
Юго-Западный государственный университет,
e-mail: kea@swsu.ru

Высокая эффективность обработки конструктивно сложных деталей достигается разработкой и внедрением специальных технологий, основанных на применении современного инструментального обеспечения и прогрессивной технологической оснастки.

В статье показана актуальность применения композиционных материалов в современном машиностроении, а также проблемы, связанные со сверлением отверстий в таких материалах. Предложены пути повышения производительности обработки и обеспечения качества полученной поверхности с помощью современных инструментальных материалов и специальных приспособлений.

Приведено описание способа вибрационного сверления отверстий в труднообрабатываемых материалах с применением специального приспособления и сверл, оснащенных режущими элементами из модификаций кубического нитрида бора. Показаны преимущества способа обработки и режущего инструмента с пластинами из композита 10 по сравнению с традиционными, применяемыми на производстве.

Ключевые слова: сверление, труднообрабатываемые материалы, конструкция приспособления, вибрационное резание, режущие элементы, модификации кубического нитрида бора, производительность, качество обработки.

DOI: 10.17212/1994-6309-2017-1-6-12

Введение

В современном машиностроительном производстве все большее применение находят машины и механизмы, в состав которых входят конструктивно сложные детали, изготовленные из композиционных материалов, а также из их различных сочетаний с металлической основой. При этом детали, представляющие собой металлопластиковые пакеты, плохо поддаются обработке резанием традиционными способами [1].

В этой связи для сверления отверстий 8–9 качества точности возникает ряд трудностей, а именно: растрескивание матрицы, расслоение и непрорез волокон материала, термическая деструкция матрицы, усложнение процесса удаления стружки разнородных по своим физико-механическим свойствам материалов, которые требуют новых технологических решений и специального оснащения операций формообразования отверстий [2].

Как показывает опыт работы машиностроительных предприятий, высокая эффективность

обработки труднообрабатываемых материалов достигается разработкой и внедрением специальных технологий, основанных на применении современного инструментального обеспечения в совокупности с прогрессивной технологической оснасткой [3].

Целью исследования является повышение производительности обработки и качества получаемой поверхности при сверлении отверстий в композиционных материалах путем использования современных инструментальных материалов и наложения на инструмент осевых колебаний.

Материалы и методы исследования

С учетом рекомендаций, приведенных в [3, 4], результаты исследований позволяют сформулировать общие требования, предъявляемые к материалу и конструкции режущего инструмента:

1) физико-механические свойства инструментального материала:

- предел прочности при растяжении $> 0,3$ ГПа;
- предел прочности при изгибе $> 0,6$ ГПа;
- коэффициент трещиностойкости $> 7,0 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$;
- коэффициент теплопроводности $> 50 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$;
- модуль упругости $750 \dots 800$ ГПа,

2) химические свойства инструментального материала:

- термостойкость на воздухе $1100 \dots 1200$ °С;
- минимальное взаимодействие с элементом обрабатываемого материала и кислородом воздуха.

Многочисленные исследования в области резания труднообрабатываемых материалов отдают предпочтение наиболее эффективным сверхтвердым композитам на основе кубического нитрида бора, способным обеспечить предъявляемые требования, а также достаточную прочность и износостойкость в условиях динамических нагрузок и перепадов температур, причём лучшим инструментальным материалом для решения поставленной задачи служит материал марки композит 10 [5, 6].

В качестве инструментального обеспечения выбран набор сверл диаметром от 10,5 до 20 мм с паяным или механическим креплением режущих вставок из композита 10, предназначенных для сверления отверстий глубиной до трех диаметров.

Способ обработки резанием – вибрационное сверление отверстий, которое позволяет повысить качество обработанной поверхности и стойкость режущего инструмента [7–11]. Для реализации данного способа было спроектировано специальное приспособление для вибрационного сверления, рис. 1.

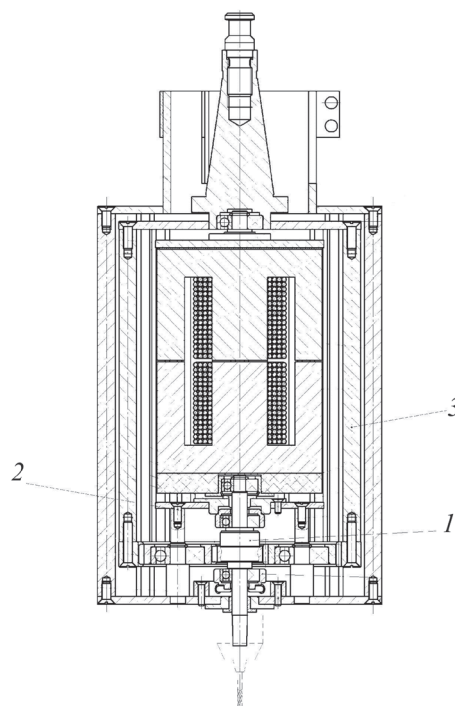


Рис. 1. Схема устройства для высокочастотного вибрационного сверления композиционных материалов

Приспособление предназначено для металлорежущих станков, относящихся к сверлильно-расточной группе. В этом случае инструменту или заготовке сообщаются возвратно-поступательные колебания определенной амплитуды и частоты [12–16]. Технические характеристики созданного приспособления обеспечивают реализацию широкого диапазона подачи инструмента, требуемые частоты вращения шпинделя, скорость резания, а также необходимую амплитуду и высокочастотные осевые колебания инструмента.

Частоты, на которых работает приспособление, варьируются от 20 до 500 Гц. Верхний частотный предел ограничен весом механизма. Сила подачи меняется методом широтно-импульсного регулирования. Электронная часть приспособления представляет собой задающий генератор, который способен вызывать сигналы с регулируемой частотой указанного диапазона,

меняя скважность импульсов, что дает возможность изменять амплитуду импульсной подачи.

Для преобразования электрических колебаний в механические принята схема из двух катушек индуктивности (рис. 1, поз. 3), расположенных друг над другом, рис. 2. На верхнюю неподвижно закрепленную катушку индуктивности подается постоянный ток, а на нижнюю катушку, имеющую возможность осевого перемещения и установленную соосно с верхней катушкой, подается переменный ток. При создании на катушках одноименного магнитного поля происходит их отталкивание друг от друга. В итоге нижняя катушка перемещается возвратно-поступательно, передавая аналогичное движение инструменту, который крепится в трехкулачковом сверлильном патроне на шпиндельном валу (рис. 1, поз. 1).

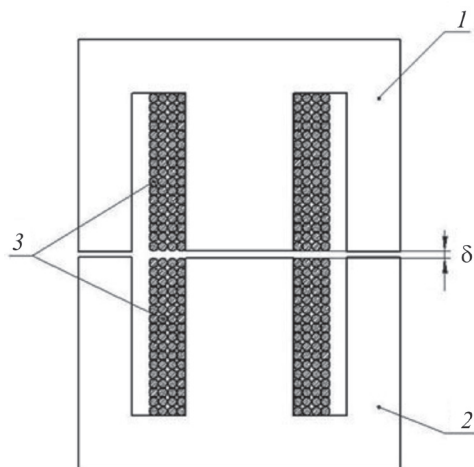


Рис. 2. Электродинамический Ш-образный вибропривод:

1 – верхняя катушка; 2 – нижняя катушка; 3 – обмотка катушек

Катушку вдоль оси перемещает магнитодвижущая сила, а возвращают в исходное состояние упругие элементы (поз. 2), предусмотренные в механизме, рис. 1.

Ударный механизм представляет подвижную Ш-образную металлическую деталь (магнитопровод) с намотанным внутри медным проводником. Подвижный магнитопровод жестко связан с патроном, который приводится в движение с помощью планетарной передачи. Учитывая вес патрона, катушки с магнитопроводом и трение ведомой шестеренки о шестеренки планетарной передачи, можно вычислить необходимое ускорение, которое приобретет сверло при действии магнитного поля $3 \dots 4 \text{ Тл/см}^2$.

Не производя расчетов, можно сказать, что на каждый ватт/с потребленной электроэнергии будет использовано $0,35 \dots 0,40 \text{ Н/с}$ механической мощности, т. е. если время импульса составит 10 мс, сила удара на сверло окажется $3,5 \dots 4,0 \text{ кг/мс}$.

Результаты и обсуждение

Создаваемая вибрация снижает сопротивление материала деформированию, исключает образование нароста на режущем инструменте и облегчает перемещение стружки в канале отверстия, решая проблему отвода стружки и тепла из зоны резания [17–18]. При возникновении адгезии вибрация приводит к разрыву контакта, тем самым облегчает возможность возврата сверла к оси вращения и снижению крутящего момента, что существенно снижает нагрузку на его режущую часть. Это обстоятельство особенно важно для сохранения работоспособности инструментального материала композит 10, учитывая его высокую хрупкость и обеспечение необходимых качественных характеристик обработанной поверхности [19–20].

Приспособление нашло применение для изготовления группы симметричных отверстий Ø12Н8 (рис. 3, поз. 1) в торце гаммы деталей Матрица (размером $240 \times 120 \times 30 \text{ мм}$ и выше), изготовленных из стали 45 (чугуна СЧ20) в комбинации с полиамидом ПАБ-211/15, заполнившим 30 отверстий Ø5 мм (Ø3 мм) (рис. 3, поз. 2 и 3) и перпендикулярно пересекающим путь резания в каждом основном симметричном отверстии Ø12Н8, по три отверстия на каждом, рис. 3.

Повышения производительности процесса сверления можно добиться заменой твердосплавной вставки сверла (Т15К6/ВК8) для обработки группы симметричных отверстий Ø12Н8 на специальный инструмент, оснащенный инструментальным материалом композит 10, способным проводить сверление (рассверливание) отверстий металлопластикового пакета с высокими режимами резания и качеством.

Выводы

По результатам проведенного комплекса можно заключить следующее:

– применение инструментального материала композит 10 при обработке композиционных

Изготавливаемая деталь		Матрица									
Материал обрабатываемой заготовки		сталь 45(СЧ20)									
		полиамид ПА6-211/15									
Оборудование		Станок радиально-сверлильный, приспособление для вибрационного сверления									
№ п/п	Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента	Режимы резания						СОЖ	t _{осв} , мин	T, (шт. заг.)
			n, об/мин	V, м/с	S, мм/об	t _м , мм	i	L, мм			
1	Сверление, рассверливание	Сверло специальное, оснащенное инструментальным материалом композит 10	2000	2,5	0,05	2,0	1	45	-	0,8	150
Элементы старой технологии			Технико-экономическая эффективность внедрения								
Сверло спиральное (Т15К6/ВК8)			За счёт применения нового способа обработки, интенсификации режимов резания и повышения стойкости инструмента производительность выросла в 7 раз. ликвидирован брак								

Рис. 3. Информационная карта процесса механической обработки

материалов позволяет существенно повысить производительность процесса сверления отверстий до семи раз за счет интенсификации режимов резания;

– использование высокочастотных осевых колебаний при данном виде обработки дает возможность обеспечить качество обработанной поверхности и повысить стойкость инструмента за счет снижения адгезионного износа.

Список литературы

1. Смирнов И.М. Повышение эффективности процессов механической обработки конструктивно сложных деталей машин. – М.: Триумф, 2012. – 224 с. – ISBN 978-5-89392-576-0.
2. Технологическое оснащение процессов изготовления конструктивно сложных деталей / Е.А. Кудряшов, С.Г. Емельянов, Е.И. Яцун, Е.В. Павлов. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – 268 с. – ISBN: 978-5-94178-375-5.
3. Смирнов И.М. Инструментальное обеспечение процессов механической обработки конструктивно сложных деталей машин. – М.: Триумф, 2014. – 128 с. – ISBN 978-5-89392-607-1.
4. Кудряшов Е.А. Обработка деталей инструментом из композитов в осложненных технологических условиях. Т. 1. – Чита: Изд-во ЧитГУ, 2002. – 257 с.
5. Технологические преимущества инструментального материала композит при обработке конструктивно сложных поверхностей деталей / Е.А. Кудряшов, А.Ю. Алтухов, Д.Ю. Лунин, Е.Н. Фомичев // Известия ВолгГТУ. – 2010. – Т. 6, № 12 (72). – С. 15–20.
6. Кудряшов Е.А., Смирнов И.М. К вопросу выбора рациональной марки и инструментального ма-

териала // Системы. Методы. Технологии. – 2014. – № 2 (22). – С. 118–125.

7. Анализ эффективности процесса вибрационного формообразования отверстий / А.В. Масленников, С.А. Чевычелов, Д.И. Гвоздев, М.С. Мерзоева, М.Ш. Гатиев // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Техника и технологии. – 2012. – № 2, ч. 3. – С. 47–52.

8. Кумабэ Д. Вибрационное резание: пер. с яп. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.

9. Ломаев В.Н., Дударев А.С. Перспективы механической обработки отверстий при производстве изделий из волокнистых композиционных материалов гражданской авиатехники // Технология машиностроения. – 2006. – № 7. – С. 18–22.

10. Подураев В.Н., Валиков В.И. Физические особенности процесса вибрационного сверления // Резание труднообрабатываемых материалов: материалы семинара / Московский дом научно-технической пропаганды. – М., 1969. – С. 95–101.

11. Influence of axial harmonic oscillations on chip formation when drilling holes in ductile metals / A.V. Maslennikov, S.A. Chevychelov, M.S. Merzhoeva, M.S. Gatiev, V.V. Sidorova // Russian Engineering Research. – 2014. – Vol. 34, N 11. – P. 722–724. – doi: 10.3103/S1068798X14110136.

12. Maslennikov A.V., Chevychelov S.A., Golubev I.G. Rear angle of a helical bit in hole shaping with axial vibration // Russian Engineering Research. – 2013. – Vol. 33, N 5. – P. 295–298. – doi: 10.3103/S1068798X13050092.

13. Использование вибрационного резания для управления стружкообразованием / А.В. Масленников, С.А. Чевычелов, Д.И. Гвоздев, В.В. Сидорова,

М.Ш. Гатиев // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Техника и технологии. – 2012. – № 2, ч. 1. – С. 117–120.

14. Сидорова В.В., Разумов М.С. Устройство для вибрационного сверления // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. – № 4 (306). – С. 51–54.

15. Razumov M.S., Sidorova V.V., Grechukhin A.N. Automated control of process conditions during drilling with imposition of vibrations // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – Vol. 6, no. 5. – P. 19–23.

16. Патент на полезную модель 147317 Российская Федерация, В 23 В 35/00. Устройство для вибрационного сверления / В.В. Сидорова, М.С. Разумов, П.А. Понкратов. – № 2014120738/02; заявл. 22.05.2014; опубл. 10.11.2014, Бюл. № 31.

17. Выявление эмпирических зависимостей конструктивных параметров устройства для наложения вибраций на осевое усилие при сверлении отверстий малого диаметра / С.Г. Емельянов, М.С. Разумов,

А.Н. Гречухин, В.В. Сидорова // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 10-3. – С. 484–488.

18. Емельянов С.Г., Сидорова В.В., Разумов М.С. Разработка конструктивных параметров устройства для наложения вибраций на осевое усилие при сверлении отверстий малого диаметра с использованием неодимовых магнитов // Национальная ассоциация ученых. – 2015. – № 9-1 (14). – С. 149–151.

19. Сидорова В.В., Разумов М.С., Гречухин А.Н. Определение зависимости силы постоянных магнитов от расстояния при вибрационном резании // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях: V-я Международная научно-практическая конференция: сборник научных трудов. – Курск, 2015. – С. 284–287.

20. Сидорова В.В., Разумов М.С., Гречухин А.Н. Расчет силовых параметров вибрационного резания // Будущее машиностроения России: сборник трудов Седьмой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов / МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М., 2014. – С. 10–11.

ОБРАБОТКА METALLOV

(METAL WORKING AND MATERIAL SCIENCE)

N 1 (74), January – March 2017, Pages 6–12

Method for vibration drilling holes in composite materials tool modification of cubic boron nitride

Kudryashov E.A., D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: kea@swsu.ru

Smirnov I.M., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: kea-swsu@list.ru

Chevychelov S.A., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: tschsa@yandex.ru

Yatsun E.I., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: el.yatsun@gmail.com

Southwest State University, 94, 50 let Oktyabrya str., Kursk, 305040, Russian Federation

Abstract

High performance of highly engineered product processing is reached by development and adoption of special technologies based on the application of modern instrumental support and progressive tooling.

The paper shows the composite materials relevance in modern engineering and also considers the problems associated with holes drilling in these materials. It proposes the ways of the increase of process efficiency and quality improvement of the finished surface when drilling the composite materials by using of the modern tool materials coupled with the instrument axial vibration.

The article defines the description of the holes' vibrational cut in higher-melting-point materials using especial device and drill equipped with cutting elements made of cubic boron nitride. The advantages of the processing method and cutting tool with composite plates over traditional tools using in the enterprises are shown.

The using the cubic boron nitride plates as a cutting part of drills allows to increase the processing performance more than 7 times due to intensification of cutting modes.

The created design of device for drilling machines, allows to apply axial vibration on a drill in the range 20-500 Hz. The specifications of created device support the implementation of a wide range of tool feed required spindle speed, cutting speed and required amplitude high-frequency axial tool vibrations. The circuit of two stacked inductors is accepted for converting electrical into mechanical vibrations. A direct current is supplied to fixed top inductor, and alternating current is supplied low inductor, fixed coaxially with the upper inductor, and having axial movement.

The using of this device allows providing the quality of finished surface and increasing durability of cutting tool with composite plates due to adhesive wear decrease.

Keywords

drilling, tough materials, fixture design, cutting vibration, cutting elements, modification of cubic boron nitride, performance, quality

DOI: 10.17212/1994-6309-2017-1-6-12

References

1. Smirnov I.M. *Povyshenie effektivnosti protsessov mekhanicheskoi obrabotki konstruktivno slozhnykh detalei mashin* [The increase the efficiency of the machining processes highly engineered machine parts]. Moscow, Triumph Publ., 2012. 224 p. ISBN 978-5-89392-576-0.
2. Kudryashov E.A., Emel'yanov S.G., Yatsun E.I., Pavlov E.V. *Tekhnologicheskoe osnashchenie protsessov izgotovleniya konstruktivno slozhnykh detalei* [The machining attachments of fabrication processes structurally complex parts]. Staryi Oskol, TNT Publ., 2013. 268 p. ISBN 978-5-94178-375-5.
3. Smirnov I.M. *Instrumental'noe obespechenie protsessov mekhanicheskoi obrabotki konstruktivno slozhnykh detalei mashin* [The tool support of machining structurally complex machine parts]. Moscow, Triumph Publ., 2014. 128 p. ISBN 978-5-89392-607-1.
4. Kudryashov E.A. *Obrabotka detalei instrumentom iz kompozitov v oslozhnennykh tekhnologicheskikh usloviyakh*. T. 1 [The processing parts of composite materials in complicated technological conditions. Vol. 1]. Chita, ChitGU Publ., 2002. 257 p.
5. Kudryashov E.A., Altukhov A.Yu., Lunin D.Yu., Fomichev E.N. Tekhnologicheskie preimushchestva instrumental'nogo materiala kompozit pri obrabotke konstruktivno slozhnykh poverkhnostei detalei [Technological advantages of the tool material composite when machining structurally complex surfaces of parts]. *Izvestiya VolgGTU – Izvestia VSTU*, 2010, vol. 6, no. 12 (72), pp. 15–20.
6. Kudryashov E.A., Smirnov I.M. K voprosu vybora ratsional'noi marki i instrumental'nogo materiala [Choosing rational brand of the tool material]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii – Systems. Methods. Technologies*, 2014, no. 2 (22), pp. 118–125.
7. Maslennikov A.V., Chevychelov S.A., Gvozdev D.I., Merzhoeva M.S., Gatiev M.Sh. Analiz effektivnosti protsessa vibratsionnogo formoobrazovaniya otverstii [Analysis of efficiency of process vibration forming holes]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Tekhnika i tekhnologii – Proceedings of the South-West State University. Technics and Technologies*, 2012, no. 2, pt. 3, pp. 47–52.
8. Kumabe J. *Vibration Cutting*. Tokyo, Jikkyou Publ., 1979 (In Japanese) (Russ. ed.: Kumabe D. *Vibratsionnoe rezanie*. Translated from Japanese. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 424 p.).
9. Lomaev V.N., Dudarev A.S. Perspektivy mekhanicheskoi obrabotki otverstii pri proizvodstve izdelii iz voloknistykh kompozitsionnykh materialov grazhdanskoi aviatsionnoi tekhniki [Prospects for machining of holes in the manufacturing of fibrous composite materials of civil aircraft]. *Tekhnologiya Mashinostroeniya – Technology of Mechanical Engineering*, 2006, no. 7. pp. 18–20.
10. Poduraev V.N., Valikov V.I. [Physical characteristics of the vibration drilling process]. *Rezanie trudnoobrabatyvaemykh materialov: materialy seminara. Moskovskii dom nauchno-tekhnicheskoi propagandy* [Proceedings of the Moscow House of Scientific and Technical Information “Cutting hard materials”]. Moscow, 1969, pp. 95–101. (In Russian)
11. Maslennikov A.V., Chevychelov S.A., Merzhoeva M.S., Gatiev M.S., Sidorova V.V. Influence of axial harmonic oscillations on chip formation when drilling holes in ductile metals. *Russian Engineering Research*, 2014, vol. 34, no. 11, pp. 722–724. doi: 10.3103/S1068798X14110136
12. Maslennikov A.V., Chevychelov S.A., Golubev I.G. Rear angle of a helical bit in hole shaping with axial vibration. *Russian Engineering Research*, 2013, vol. 33, no. 5, pp. 295–298. doi: 10.3103/S1068798X13050092
13. Maslennikov A.V., Chevychelov S.A., Gvozdev D.I., Sidorova V.V., Gatiev M.Sh. Ispol'zovanie vibratsionnogo rezaniya dlya upravleniya struzhkoobrazovaniem [Use of vibration cutting for control chip formation]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Tekhnika i tekhnologii – Proceedings of the South-West State University. Technics and Technologies*, 2012, no. 2, pt. 1, pp. 117–120.
14. Sidorova V.V., Razumov M.S. Ustroistvo dlya vibratsionnogo sverleniya [Device for vibration drilling]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii – Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology*, 2014, no. 4 (306), pp. 51–54.

15. Razumov M.S., Sidorova V.V., Grechukhin A.N. Automated control of process conditions during drilling with imposition of vibrations. *Metallurgical and Mining Industry*, 2014, vol. 6, no. 5, pp. 19–23.
16. Sidorova V.V., Razumov M.S., Ponkratov P.A. *Ustroistvo dlya vibratsionnogo sverleniya* [Device for vibration drilling]. Patent RF, no. 147317, 2014.
17. Emel'yanov S.G., Razumov M.S., Grechukhin A.N., Sidorova V.V. Vyyavlenie empiricheskikh zavisimosti konstruktivnykh parametrov ustroystva dlya nalozheniya vibratsii na osevoe usilie pri sverlenii otverstii malogo diametra [Identification empirical dependence design parameters devices for applying vibration to the axial forces when drilling pinhole]. *Fundamental'nye issledovaniya – Fundamental research*, 2015, no. 10-3, pp. 484–488.
18. Emel'yanov S.G., Sidorova V.V., Razumov M.S. Razrabotka konstruktivnykh parametrov ustroystva dlya nalozheniya vibratsii na osevoe usilie pri sverlenii otverstii malogo diametra s ispol'zovaniem neodimovykh magnetov [The development of the constructive parameters of the device for overlaying vibrations on axial force during drilling of small holes using neodymium magnets]. *Natsional'naya assotsiatsiya uchenykh – National Association of Scientists*, 2015, no. 9-1 (14), pp. 149–151.
19. Sidorova V.V., Razumov M.S., Grechukhin A.N. [A determination of strength permanent magnets from a distance when cutting vibration]. *Innovatsii, kachestvo i servis v tekhnike i tekhnologiyakh: V-ya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya: sbornik nauchnykh trudov* [Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference “Innovations, quality and service in the equipment and technologies”]. Kursk, 2015, pp. 284–287. (In Russian)
20. Sidorova V.V., Razumov M.S., Grechukhin A.N. [A calculation of power parameters of the vibration cutting]. *Budushchee mashinostroeniya Rossii: sbornik trudov Sed'moi Vserossiiskoi konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov* [Proceedings of the 7th All-Russian conference “Future of Mechanical Engineering of Russia”]. Moscow, 2014, pp. 10–11. (In Russian)

Article history

Received 1 November 2016

Revised 1 December 2016

Accepted 17 January 2017