

УДК 621.9.042; 621.941-229.2

**ВЫЯВЛЕНИЕ ЭМПИРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ НАЛОЖЕНИЯ ВИБРАЦИЙ НА ОСЕВОЕ УСИЛИЕ ПРИ СВЕРЛЕНИИ ОТВЕРСТИЙ МАЛОГО ДИАМЕТРА****Емельянов С.Г., Разумов М.С., Гречухин А.Н., Сидорова В.В.***ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, e-mail: Mika\_1984\_@mail.ru*

В работе рассмотрен вопрос формообразования глубоких отверстий малого диаметра в труднообрабатываемых металлах и сплавах на примере титана посредством вибрационного резания. Проведен анализ существующих конструкций механизмов вибровозбудителей и предложено устройство для реализации сверления с наложением осевых колебаний, создаваемых постоянными магнитами. Проведены экспериментальные исследования по выявлению влияния конструктивных параметров устройства для наложения вибраций. В частности, эмпирическим методом были получены значения силы постоянных магнитов в составе устройства для вибрационного резания в зависимости от расстояния между ними, при постоянных диаметре и высоте цилиндрического магнита; так же получены значения силы постоянных магнитов при постоянном расстоянии между магнитами и переменных диаметре и высоте цилиндрического магнита. На основании этих данных была получена эмпирическая зависимость по определению силы постоянных магнитов в зависимости от вышеуказанных конструктивных параметров устройства для вибрационного резания. Результаты эксперимента могут быть применены при выборе и расчете конструктивных параметров устройства для сверления с наложением осевых колебаний.

**Ключевые слова:** металлорежущий инструмент, вибрационное резание, титановые сплавы**IDENTIFICATION EMPIRICAL DEPENDENCE DESIGN PARAMETERS DEVICES FOR APPLYING VIBRATION TO THE AXIAL FORCES WHEN DRILLING PINHOLE****Emelyanov S.G., Razumov M.S., Grechukhin A.N., Sidorova V.V.***Southwest State University, Kursk, e-mail: Mika\_1984\_@mail.ru*

The paper considers the question of forming deep holes of small diameter of hard metals and alloys of titanium as an example by the vibration cutting. The analysis of the existing structures and mechanisms excites an apparatus for implementing the drilling superimposed axial vibration generated by the permanent magnets. Experimental studies to identify the influence of the design parameters of the device for applying vibrations. In particular, empirically obtained values were forces of the permanent magnets in the composition for vibration cutting apparatus according to the distance between them, with constant diameter and height of the cylindrical magnet; similarly, the values of force of the permanent magnets at a constant distance between the magnets and variable diameter and height of the cylindrical magnet. Based on these data was obtained empirical relationship for determining strength permanent magnets, depending on the design parameters of the above-mentioned devices for vibration cutting experimental results can be applied in selecting and calculating the design parameters of the device for drilling with the imposition of axial vibration.

**Keywords:** metal cutting tools, vibration cutting, titanium alloys

Титан и его сплавы находят все более широкое применение в различных отраслях промышленности. Сравнительно высокая стоимость титана и его сплавов компенсируется высокими эксплуатационными характеристиками металла, в некоторых случаях титановые сплавы являются единственным материалом, из которого можно изготовить работоспособную конструкцию [1].

Для получения транспортабельной формы стружки в виде отдельных сегментов, колец, коротких завитков или сплошной пружины применяют специальные способы стружкозавивания и стружколомания. При сверлении имеет место значительное трение стружки о поверхность канавок сверла, трение стружки и сверла об обработанную поверхность. Решением данной проблемы служит сверление отверстий с наложением вибрационных колебаний на осевой инструмент [2]. Такой

способ сверления получил название вибрационного резания. Он характеризуется тем, что инструменту наряду с основным вращательным движением сообщается колебательное движение относительно обрабатываемой заготовки. Его применяют для дробления стружки при обработке труднообрабатываемых материалов [3].

В настоящее время большое распространение получили механические и электромагнитные вибровозбудители, однако сложная конструкция увеличивает себестоимость обработки. Применение вибрационного оборудования на основе постоянных магнитов позволит значительно снизить его себестоимость [4].

На кафедре «Машиностроительные технологии и оборудование» Юго-Западного государственного университета спроектировано устройство для реализации вибрационного сверления [5]. Сущность

изобретения заключается в том, что вибрации создаются за счет взаимодействия подвижных и неподвижных неодимовых магнитов, вследствие того, что при перемещении меняется их полярность [6]. С целью снижения затрат на производство данного вида устройств предлагается подвижную часть устройства выполнить из немагнитного материала с вставками из магнитного материала вместо неодимовых магнитов, что также создаст вибрации. Недостатком данной конструкции является снижение силы вибраций.

С целью определения влияния различных факторов на величину усилия постоянных магнитов были проведены экспериментальные исследования. Эксперимент проводился следующим образом: в патроне фрезерного станка закрепляется тензодатчик балочного типа. К предварительно откалиброванному тензодатчику был подключен блок индикации и закреплены экспериментальные образцы магнитов.

Схема установки для проведения экспериментальных исследований представлена на рис. 2.

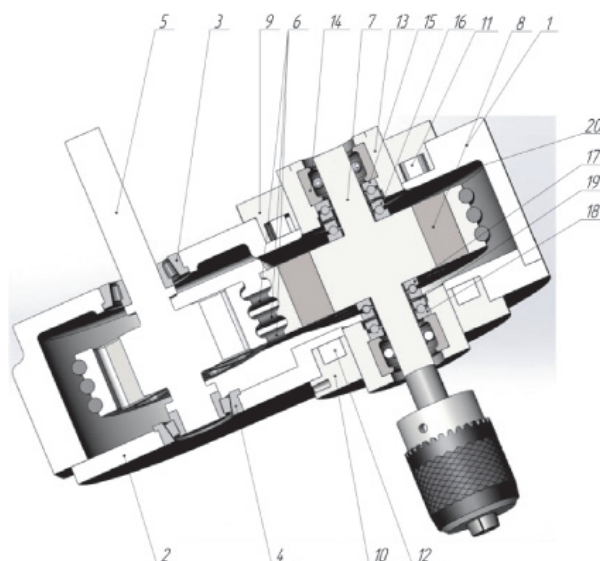


Рис. 1. Устройство для вибрационного сверления:

1 – корпус; 2 – крышка корпуса; 3, 4 – подшипники; 5 – входной вал; 6 – гибкая связь; 7 – выходной вал; 8 – магниты; 9, 10 – магнитные корпуса; 11, 12 – магниты; 13 – гайка; 14 – подшипник; 15, 16, 17, 18 – упорные подшипники; 19, 20 – пружины

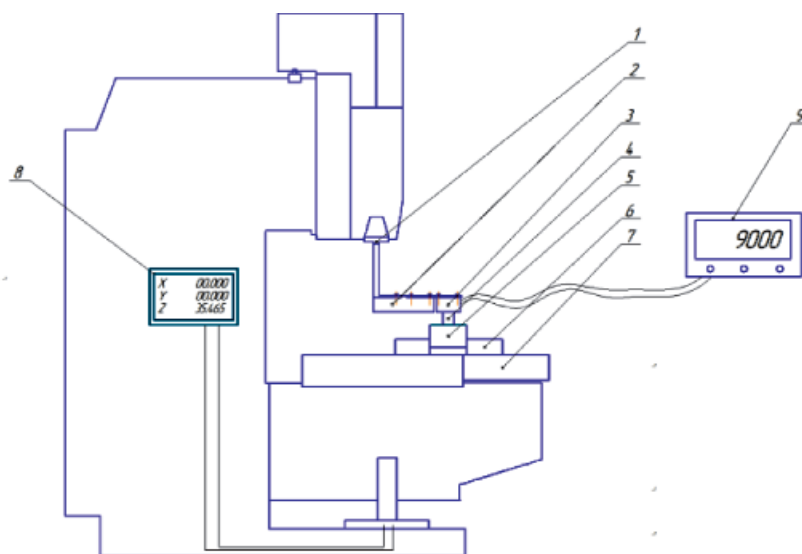


Рис. 2. Схема установки для проведения экспериментальных исследований с целью определения усилий постоянных магнитов

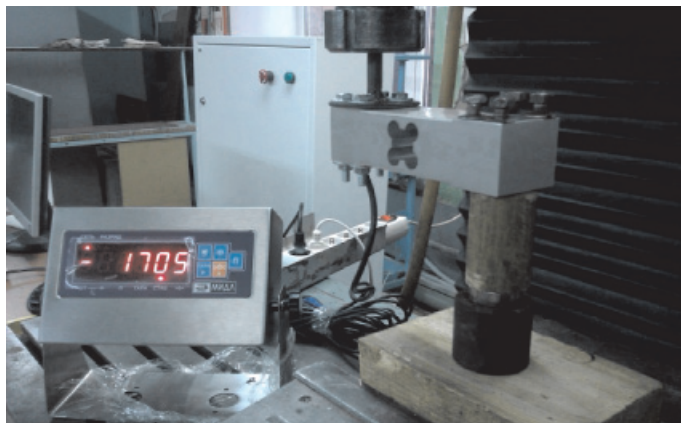


Рис. 3. Фрагмент проведения экспериментальных исследований

На станине фрезерного станка был закреплен цилиндр из металлического материала на пластине из немагнитного материала. Передвижение рабочего стола фрезерного станка позволяло с точностью до 0,001 мм регулировать расстояние между испытуемыми образцами, что фиксировалось на мониторе фрезерного станка, а блок индикации показывал создаваемое усилие.

В ходе экспериментальных исследований были проведены серии исследований с постоянными магнитами диаметром 10 мм и высотой 5, 10, 15, 20, 25, 30, данные представлены на рис. 4.

Таким образом, при постоянном диаметре и различной высоте можно определить влияние данного параметра на усилие осевых колебаний. В ходе эксперимента также изменялось расстояние между постоянными магнитами и цилиндром из металличе-

ского материала, тем самым имитировалось изменение амплитуды колебания.

Также экспериментальные исследования были проведены с постоянными магнитами высотой 10 мм и диаметром 5, 10, 15, 20, 25, 30, данные представлены на рис. 5. Методика проведения испытания соответствовала первым сериям экспериментов.

Результаты эксперимента показывают влияние габаритных параметров магнитов и расстояния между вставками из магнитного материала на усилие вибраций. Ранее были проведены исследования, целью которых было выявить требуемое усилие осевых колебаний при сверлении отверстий малого диаметра с использованием в качестве инструмента спирального сверла [7]. Таким образом, зная влияние габаритных параметров, амплитуду колебаний и требуемое усилие для осевых колебаний, авторы выбрали диапазоны конструктивных пара-

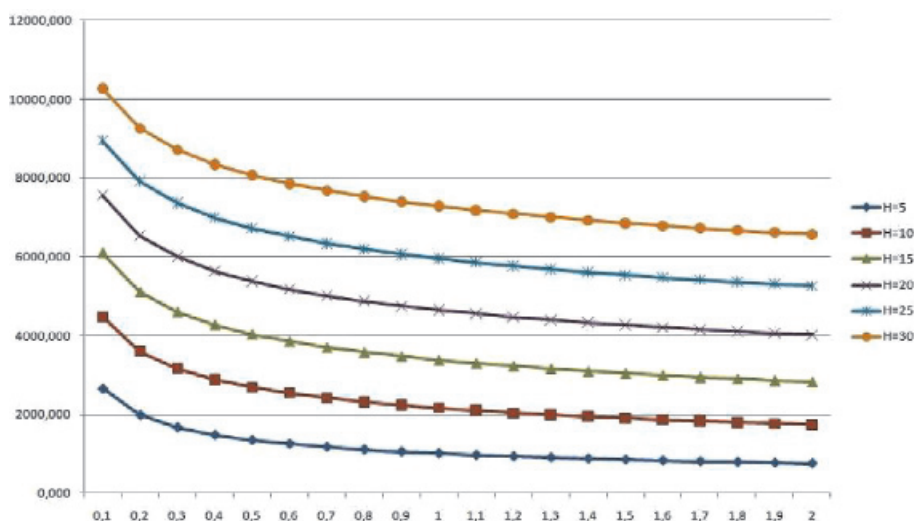


Рис. 4. График зависимости силы постоянных магнитов от расстояния при вибрационном резании при различной высоте испытуемых магнитов

метров для устройства, позволяющего выполнить процесс сверления отверстий малого диаметра с наложением вибраций [8]. После чего была составлена матрица эксперимента, представленная в таблице, и проведена серия экспериментов согласно данной таблице, которые позволили получить эмпирическую зависимость влияния технологических параметров на устройства для сверления отверстий малого диаметра на усилии осевых колебаний.

Результаты эксперимента показывают влияние конструктивных параметров устройства для сверления отверстий малого диаметра с наложением вибраций на силу осевых колебаний.

Матрица эксперимента (таблица), а также полученная эмпирическая зависимость представлены ниже

$$F = e^{3,0346} \cdot D^{0,909} \cdot H^{1,107} \cdot L^{(0,153 \ln D + 0,153 \ln H - 1,022)},$$

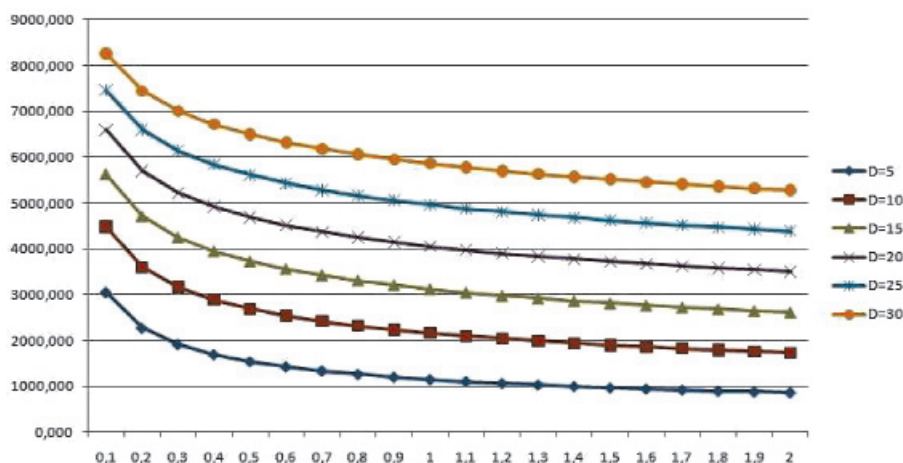


Рис. 5. График зависимости силы постоянных магнитов от расстояния при вибрационном резании при различных диаметрах испытуемых магнитов

№ п/п	X <sub>1</sub>		X <sub>2</sub>		X <sub>3</sub>		Погрешность				lnΔ <sub>1</sub>	lnΔ <sub>2</sub>	lnΔ <sub>3</sub>	lnΔ̄
	Код	L	код	D	код	H	Δ <sub>1</sub>	Δ <sub>2</sub>	Δ <sub>3</sub>	Δ̄				
1	-	0,1	-	15	-	5	3248	3199	3294	3247	8,0858	8,0706	8,0999	8,0855
2	+	2	-	15	-	5	1195	1256	1246	1232,333	7,0859	7,1357	7,1277	7,1167
3	-	0,1	+	30	-	5	5253	5229	5216	5232,667	8,5666	8,5620	8,5595	8,5627
4	+	2	+	30	-	5	2067	2015	2122	2068	7,6339	7,6084	7,6601	7,6343
5	-	0,1	-	15	+	10	6016	5983	5989	5996	8,7022	8,6967	8,6977	8,6988
6	+	2	-	15	+	10	2379	2371	2374	2374,667	7,7744	7,7711	7,7723	7,7726
7	-	0,1	+	30	+	10	8045	7979	8071	8031,667	8,9928	8,9846	8,9960	8,9911
8	+	2	+	30	+	10	5581	5832	5945	5786	8,6271	8,6711	8,6903	8,6632

Данные исследования позволили проанализировать влияние исследуемых параметров и выявить диапазон изменения, который учитывает характеристики технологического процесса сверления отверстий малого диаметра в труднообрабатываемых материалах. В рамках данного диапазона была получена эмпирическая зависимость. Данные исследования могут быть полезны при выборе и расчете кон-

структивных особенностей устройства для сверления, с наложением осевых вибраций исходя из требований технологического процесса сверления сложнообрабатываемых материалов

Работа была выполнена при финансовой поддержке гранта президента Российской Федерации по государственной поддержке молодых российских ученых – кандидатов наук МК в-2653.2014.8.

## Список литературы

1. Патент РФ № 147317 /10.11.2014.
2. Область применения титановых сплавов // URL: <http://www.mazprom.ru/spravochnik/oblasti-primeneniya> (дата обращения 27.08.2015).
3. Сидорова В.В. Анализ методов расчета металлорежущего инструмента на жесткость при сверлении / В.В. Сидорова, М.С. Разумов, А.Н. Гречухин // Молодые ученые – основа будущего машиностроения и строительства: сб. науч. трудов Международной научно-практической конференции / Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2014. – С. 323–326.
4. Сидорова В.В. Исследование влияния осевой нагрузки на спиральное сверло с цилиндрическим хвостовиком / В.В. Сидорова, М.С. Разумов // Инновации в науке, технике и технологиях: сб. науч. ст. Всероссийской научно-технической конференции / Ижевский гос. техн. ун-т. им. М.Т. Калашникова – Ижевск, 2014. – С. 242–243.
5. Сидорова В.В. Повышение производительности вибрационного сверления отверстий малого диаметра в заготовках из титановых сплавов / В.В. Сидорова, М.С. Разумов // Интеграция науки и практики как условие экономического роста: сб. науч. трудов VII Международной научно-технической конференции / Ульяновский гос. техн. ун-т. – Ульяновск, 2014. – С. 11–12.
6. Сидорова В.В. Расчет силовых параметров вибрационного резания / В.В. Сидорова, М.С. Разумов, А.Н. Гречухин // Будущее машиностроения России: сб. науч. трудов Седьмой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов. / Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана – Мю, 2014. – С. 10–11.
7. Сидорова В.В. Устройство для вибрационного сверления / В.В. Сидорова, М.С. Разумов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии – 2014. – № 4 (306). – С. 51–54.
8. Razumov M.S. Automated control of process conditions during drilling with imposition of vibrations / M.S. Razumov, V.V. Sidorova, A.N. Grechukhin // Metallurgical and Mining Industry – 2014. – № 5. – P. 20–24.
3. Sidorova V.V. Analiz metodov rascheta metallorazhushhego instrumenta na zhestkost pri sverlenii / V.V. Sidorova, M.S. Razumov, A.N. Grechuhin // Molodye uchenye osnova budushhego mashinostroeniya i stroitelstva: sb. nauch. trudov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii / Jugo-Zap. gos. un-t. Kursk, 2014. pp. 323–326.
4. Sidorova V.V. Issledovanie vlijaniya osevoj nagruzki na spiralnoe sverlo s cilindricheskim hvostovikom / V.V. Sidorova, M.S. Razumov // Innovacii v nauke, tehnike i tehnologijah: sb. nauch. st. Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoj konferencii / Izhevskij gos. tehn. un-t. im. M.T. Kalashnikova Izhevsk, 2014. pp. 242–243.
5. Sidorova V.V. Povyshenie proizvoditelnosti vibracionnogo sverlenija otverstij malogo diametra v zagotovkah iz titanovyh splavov / V.V. Sidorova, M.S. Razumov // Integracija nauki i praktiki kak uslovie jekonomicheskogo rosta: sb. nauch. trudov VII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoj konferencii / Uljanovskij gos. tehn. un-t. Uljanovsk, 2014. pp. 11–12.
6. Sidorova V.V. Raschet silovyh parametrov vibracionnogo rezanija / V.V. Sidorova, M.S. Razumov, A.N. Grechuhin // Budushhee mashinostroeniya Rossii: sb. nauch. trudov Sedmoj Vserossijskoj konferencii molodyh uchenyh i specialistov / Moskovskij gosudarstvennyj tehniceskij universitet imeni N.E. Baumana Mju, 2014. pp. 10–11.
7. Sidorova V.V. Ustrojstvo dlja vibracionnogo sverlenija / V.V. Sidorova, M.S. Razumov // Fundamentalnye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii 2014. no. 4 (306). pp. 51–54.
8. Razumov M.S. Automated control of process conditions during drilling with imposition of vibrations / M.S. Razumov, V.V. Sidorova, A.N. Grechukhin // Metallurgical and Mining Industry 2014. no. 5. pp. 20–24.

## References

1. Patent RF no. 147317 /10.11.2014.
2. Oblast primeneniya titanovyh splavov // URL: <http://www.mazprom.ru/spravochnik/oblasti-primeneniya> (data obrashhenija 27.08.2015).

## Рецензенты:

Кобелев Н.С., д.т.н. профессор, заведующий кафедрой теплогазодоснабжения, заслуженный изобретатель РФ, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск;

Колмыков В.И., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск.