

УДК 67.05.

С. А. Чевычелов, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: tschsa@yandex.ru)

М. В. Снопков, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: snopkovmikhail@rambler.ru)

И. В. Бондарцев, слесарь КИПА, АО «КЭАЗ» (Курск, Россия) (e-mail: iv113326@yandex.ru)

А. В. Масленников, канд. техн. наук, ЗАО «Элат-инструмент» (Курск, Россия) (e-mail: amaslen@yandex.ru)

СХЕМА ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ВИБРАЦИОННОГО СВЕРЛЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

В данной статье рассматривается возможность использования способа вибрационного сверления для получения отверстий в композиционных материалах. Особенностью современных композиционных материалов является проблематичность механической обработки традиционными способами. Возникновение таких дефектов, как растрескивание матрицы, расслоение и непрорез волокон, термическая деструкция матрицы, получаемых при получении отверстий, требует разработки новых технологических решений и специального оборудования и оснастки. Наряду с лезвийными и абразивными методами механической обработки композиционных материалов, как альтернативу можно рассматривать вибрационное сверление, лазерную, ультразвуковую и струйно-абразивную обработку отверстий.

На кафедре Машиностроительных технологий и оборудования Юго-Западного государственного университета разработано устройство, предназначенное для вибрационного сверления отверстий в композиционных материалах. Использование предложенного метода позволяет уменьшить вибрации вдоль оси сверла как в низкочастотном, так и высокочастотном диапазоне (от 20 до 500 Гц), изменить частоту вибраций, не прекращая процесса резания. Приспособление спроектировано для металло-режущих станков, относящихся к сверлильно-расточной группе с вертикальным расположением шпинделя для увеличения производительности и улучшения качества формообразования отверстий. Технические характеристики созданного приспособления обеспечивают заданные подачи инструмента, требуемые частоты вращения шпинделя, обеспечивая необходимую скорость резания (они зависят от технических характеристик выбранного станка), а также необходимые амплитуду и высокочастотные осевые колебания инструмента. Для преобразования электрических колебаний в механические была принята схема из двух катушек индуктивности, расположенных друг над другом.

Предложенный метод электроимпульсного сверления позволит решить проблемы обработки композиционных материалов (растрескивание матрицы, расслоение и непрорез волокон) и повысить качество и производительность получения отверстий в композиционных материалах.

Ключевые слова: композиционный материал, вибрационное сверление, вибровозбудитель, катушка индуктивности.

DOI: 10.21869/2223-1560-2017-21-6-76-84

Ссылка для цитирования: Схема приспособления для вибрационного сверления отверстий в композиционных материалах / С. А. Чевычелов, М. В. Снопков, И. В. Бондарцев, А. В. Масленников // Известия Юго-Западного государственного университета. 2017. Т. 21, № 6(75). С.76-84.

Современные композиционные материалы, используемые для разработки инновационной продукции, обладают уникальными эксплуатационными свойствами, однако при этом плохо поддаются механической обработке традиционными способами. Ряд проблем, возникающих при получении отверстий в композиционных материалах, а именно растрески-

вание матрицы, расслоение и непрорез волокон, термическая деструкция матрицы, усложнение процесса удаления стружки из отверстия, требует специальных технологических решений, специального оборудования и оснастки [2, 13].

Наряду с лезвийными и абразивными методами механической обработки композиционных материалов как альтерна-

тивую можно рассматривать вибрационное сверление, лазерную, ультразвуковую и струйно-абразивную обработку отверстий [5].

Одним из наиболее результативных способов повышения эффективности процесса сверления является применение вибрации, то есть вибрационного сверления [1]. В этом случае инструменту или заготовке сообщаются возвратно-поступательные колебания определенной амплитуды и частоты. Вибрация снижает сопротивление материала деформированию, исключает образование нароста на режущем инструменте, а также облегчает перемещение стружки в канале отверстия, решая проблему отвода стружки и тепла из зоны резания [6, 8, 11, 12]. При возникновении адгезии вибрация приводит к разрыву контакта, тем самым облегчает возможность возврата сверла к оси вращения и снижению крутящего момента, что предотвращает поломку сверла. Оптимальные амплитуда и частота колебаний зависят от режима резания, свойств материала заготовки и инструмента и должны рассчитываться из условий надежного образования стружки надлома и проверяться эмпирически [4, 7].

Предлагаемый ниже метод электроимпульсного сверления может оказаться полезным для обработки композиционных материалов. При достаточно больших скоростях удаётся получить сколы в обрабатываемом материале в зоне резания, что даёт кромкам сверла возможность срезать тонкий слой материала. При импульсном давлении обрабатываемый материал крошится и выводится винтовой канавкой из зоны обработки.

Приспособление (рис. 1) спроектировано для металлорежущих станков, отно-

сящихся к сверлильно-расточной группе с вертикальным расположением шпинделя для увеличения производительности и улучшения качества формообразования отверстий. Технические характеристики созданного приспособления обеспечивают заданные подачи инструмента, требуемые частоты вращения шпинделя, обеспечивая необходимую скорость резания (они зависят от технических характеристик выбранного станка), а также необходимые амплитуду и высокочастотные осевые колебания инструмента [10]. Отметим, что в увеличении частоты вращения шпинделя станка нет необходимости, так как в конструкции предусмотрена повышающая планетарная передача 4 [3].

Частоты, на которых работает исследуемое приспособление, варьируются от 20 до 500 Гц. Верхний частотный предел ограничен весом ударного механизма. Сила подачи меняется методом широтно-импульсного регулирования. Электронная часть станка представляет из себя задающий генератор, формирующий "старт-стоповые" импульсы, широтно-импульсный регулятор и усилитель мощности. Задающий генератор (рис. 2) способен выдавать прямоугольные сигналы с регулируемой частотой вышеуказанного диапазона, ШИМ-регулятор, меняет скважность импульсов, что даёт возможность менять амплитуду импульсной подачи.

Источником импульсных сигналов предполагалось использовать генератор Г5-54. Но, как показала практика, его нижний диапазон частот оказался неприемлемым, т.к. длительность импульса на нижнем диапазоне составляет 1 мс, что соответствует частоте меандра со скважностью 50% – 1 КГц.

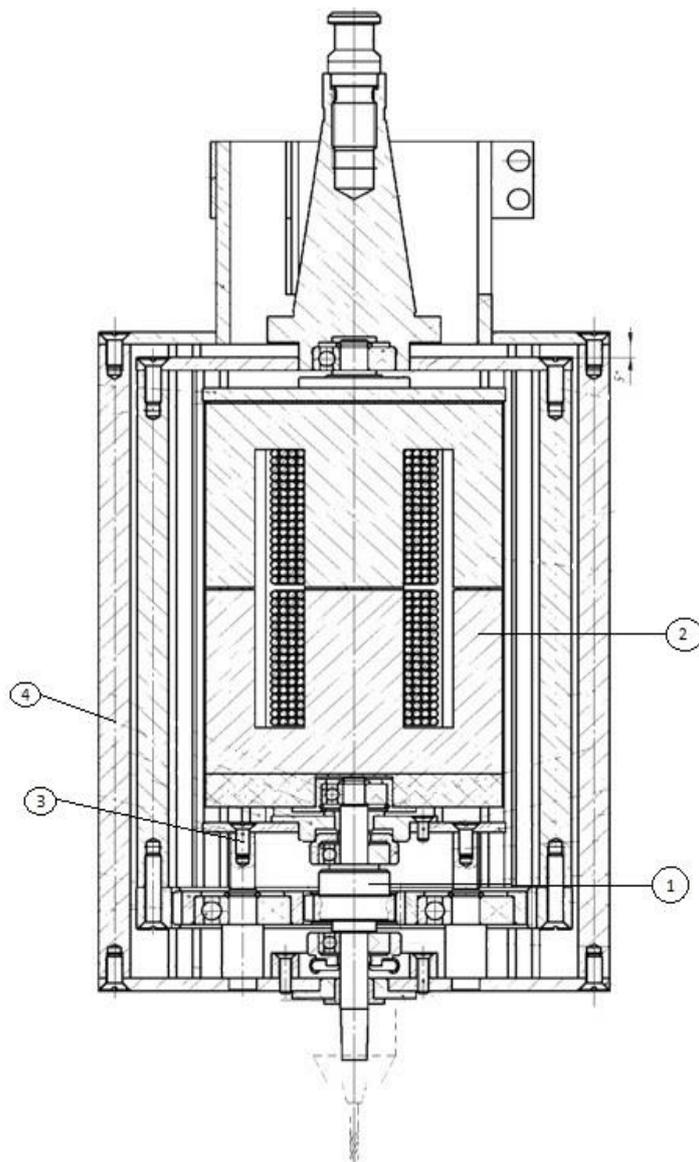


Рис. 1. Схема устройства для высокочастотного вибрационного сверления композиционных материалов



Рис. 2. Блок-схема электроимпульсного преобразователя

Передача дополнительной энергии в зону резания, а также дополнительного возвратно-поступательного движения инструмента, который крепится в трехкулачковом сверлильном патроне на шпиндельном валу 1, осуществляется катушками индуктивности 2 и упругими элементами – пальцами, выполненными в виде винтов 3.

Одной из основных задач является проектирование исполнительного (ударного) механизма. Т.к. ударный механизм имеет инертную массу, форма скорости его перемещения близка к пилообразной. Причём подъём пилы сигнала может иметь более пологую форму, спад – более крутую. Это связано с тем, что кроме

импульсной подачи на сверло действует ещё непрерывная подача сверла самим станком, и эта сила по модулю противоположна силе прилагаемой генератором. Таким образом, чтобы силы по модулю оказались равны, необходим ШИМ-регулятор, а изменение частоты необходимо, т.к. может изменяться скорость вращения сверла.

Из этого можно заключить следующее:

- 1) для контроля частоты необходим частотомер;
- 2) для контроля длительности импульсов необходим измеритель интервалов;
- 3) для контроля давления необходим пьезоэлектрический измеритель ускорения.

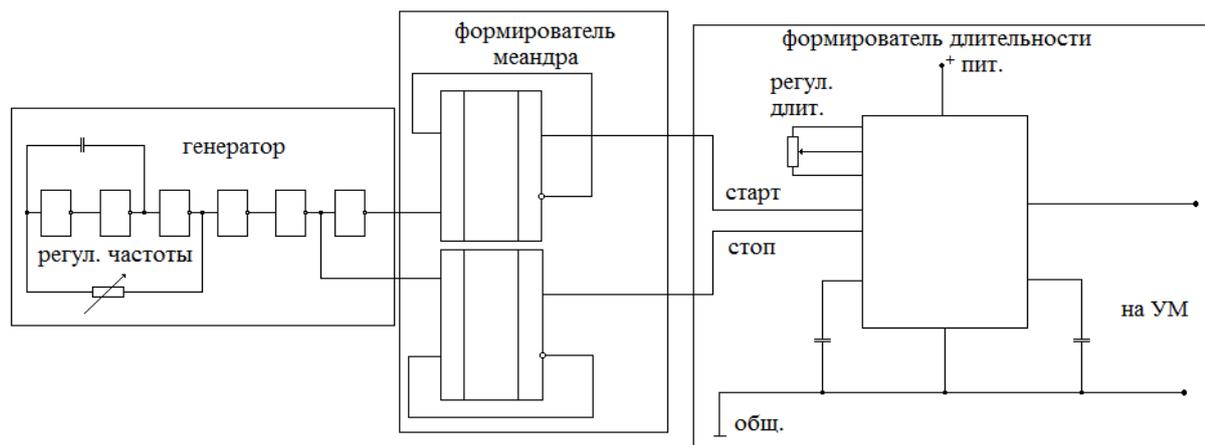


Рис. 3. Принципиальная схема формирователя сигнала

Генератор импульсов (рис. 3) представляет собой интегральную микросхему, например КР561ЛН1, собранную усилителем с положительной обратной связью. Глубина обратной связи регулируется резистором. Импульсы с микросхемы подаются на триггер, формирующий два меандра со скважностью 50% и сдвигом сигналов на 180 градусов. Роль триггера может выполнять КР561ТМ2. Далее импульсы поступают на таймер КР1006ВИ1, где осуществляется регули-

ровка скважности. После этого импульс поступает на развязывающую оптипару, которая управляет усилителем мощности (импульсным усилителем).

Катушки индуктивности, подключают к источнику энергии постоянного тока, высокочастотному усилителю и генератору высокочастотных колебаний, причем таким образом, чтобы они создавали одноимённое магнитное поле и отталкивались друг от друга. Так как нижняя катушка подвижна, то она воздействует на

шпиндель. Вал перемещается вдоль своей оси на величину амплитуды A .

Для преобразования электрических колебаний в механические была принята схема из двух катушек индуктивности, расположенных друг над другом (рис. 4). При такой схеме расположения электромагнитов необходимо питать верхнюю катушку постоянным током, а нижнюю – переменным. В этом случае механические колебания будут создаваться нижней катушкой. Так как 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, то при создании на катушках одноименного магнитного поля происходит их отталкивание друг от друга. В итоге нижняя катушка перемещается возвратно-поступательно. Катушку вдоль оси перемещает магнитодвижущая сила, а возвращают в исходное состояние упругие элементы, предусмотренные в механизме.

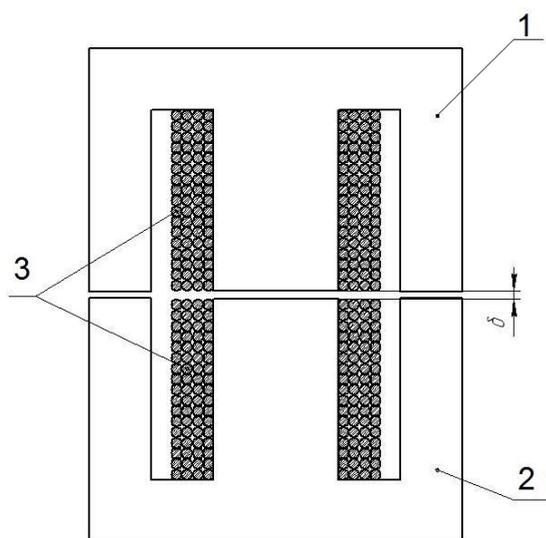


Рис. 4. Электродинамический Ш-образный вибропривод: 1 – верхняя катушка; 2 – нижняя катушка; 3 – обмотка катушек

В качестве источника дополнительной энергии будем принимать электродинамический вибровозбудитель с Ш-образными катушками индуктивности [9]. При создании привода необходимо иметь данные по максимальной силовой тяге катушек, частоте и амплитуде колебаний, минимально возможным её размерам.

Конструктивные параметры катушки необходимо определить по заданному тяговому усилию вибропривода и длине катушки, чтобы обеспечить нужные режимы резания при обработке композиционных материалов.

Схема усилителя представлена на рисунке 5. Переменное напряжение сети проходит через фильтр заграждающих частот (фильтр ВЧ) и поступает на двухполупериодный выпрямитель. Конденсатор ёмкостью 1000 мкФ с напряжением 450 В имеет большую индуктивность, нежели 10 по 100 мкФ, что вполне оправдано. Делитель напряжения на резисторах шунтирован конденсаторами, т.к. за счёт наличия ёмкостей, возможно потребление от этого делителя большой импульсной мощности, которая необходима для открытия силовых транзисторов, затворы которых тоже имеют свою ёмкость.

С помощью данной схемы можно получить в импульсе мощность 12250 Вт в течение 1 мс. Теоретические расчёты показывают, что львиную долю потерь вносят как провода, так и сам ударный механизм. Простейший расчёт показывает, что при токах 35 А и сопротивлении подводных проводов 10 мОм, индуктивности 100 мкГн и фронте импульса 5 мкс, падение напряжения на подводных проводах может составить 2210,25 В. Но, т.к. на практике такое невозможно, время фронта импульса неизбежно уве-

личится до 50-60 мкс, (ибо мощность автоматически согласуется с подводными напряжением и током), а время формирования импульса с учётом сопротивления катушек может составить и 100-150 мкс.

Более того, ударный механизм представляет собой подвижную Ш-образную металлическую деталь (магнитопровод), с намотанным внутри неё медным проводником.

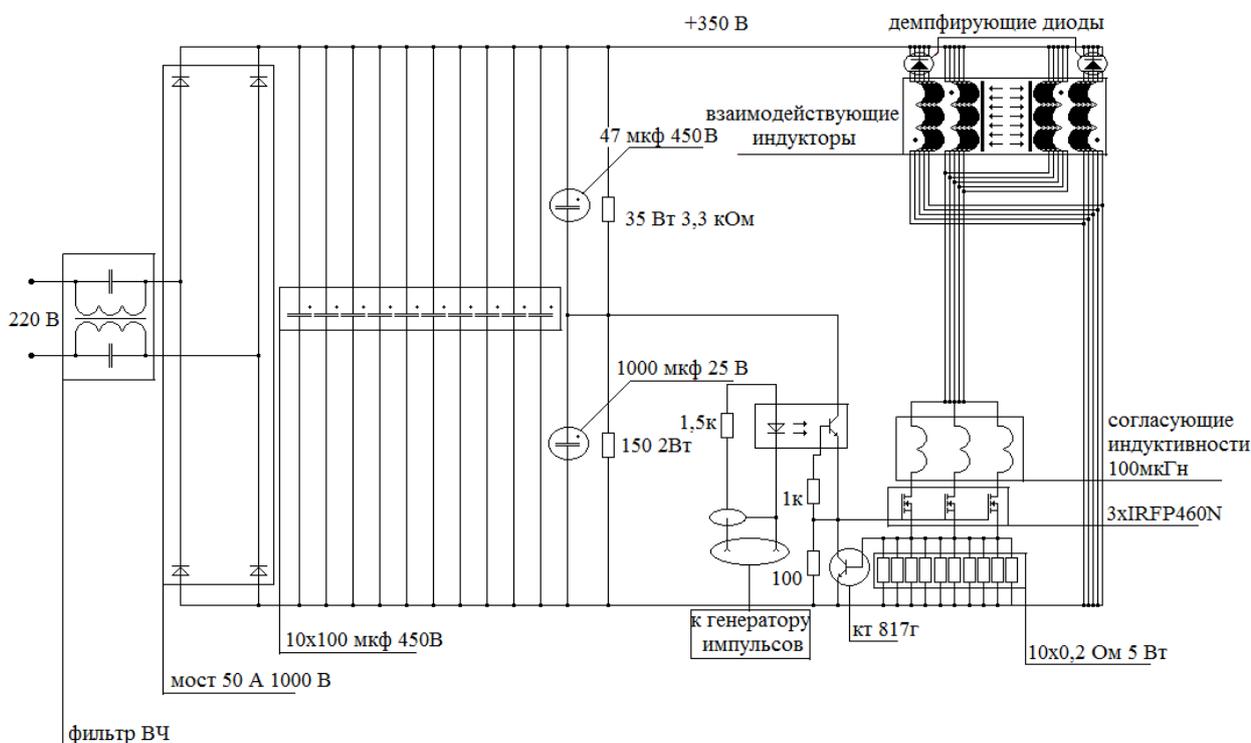


Рис. 5. Импульсный усилитель

Подвижный магнитопровод жёстко связан с патроном, в котором зажато сверло. Патрон же, в свою очередь, приводится в движение с помощью планетарной передачи 4 (см. рис. 1). Учитывая вес патрона, катушки с магнитопроводом и трение ведомой шестерёнки о шестерёнки планетарной передачи, можно вычислить, какое ускорение приобретёт сверло при действии магнитного поля 3-4 Wb.

Пропуская расчёты, можно сказать, что, на каждый Ватт/с потреблённой электроэнергии, будет использовано 0,35-0,4 Вт механической мощности. Т.е., если время импульса составит 10 мс, сила удара на сверло окажется 3,5-4 Н. С учётом того, что существует запас по мощности в импульсном усилителе, подводящие

провода к катушкам должны быть выполнены из отдельных мелких проводников, что должно уменьшить действие Скин-эффекта. Катушка магнитопровода для уменьшения собственной индуктивности наматывается медной лентой. Эти изменения позволяют уменьшить потери на комплексное сопротивление проводов и уменьшить индуктивность подвижной катушки, что приведёт к подведению к ней большей мощности и как следствие – механической отдачи на сверло.

Таким образом, на кафедре Машиностроительных технологий и оборудования Юго-Западного государственного университета разработано устройство, предназначенное для вибрационного сверления отверстий в композиционных

материалах, позволяющее подавать вибрации вдоль оси сверла как в низкочастотном, так и высокочастотном диапазоне (от 20 до 500 Гц), изменять частоту вибраций, не прекращая процесса резания. Это устройство решит проблемы, возникающие при сверлении отверстий в композиционных материалах, а именно: растрескивание матрицы, расслоение и непрорез волокон. Т.о. можно будет повысить качество и производительность получения отверстий в композиционных материалах.

Список литературы

1. Кумабе Д. Вибрационное резание // *Машиностроение*. 1985. С. 54-63.
2. Ломаев В.Н., Дударев А.С. Перспективы механической обработки отверстий при производстве изделий из волокнистых композиционных материалов гражданской авиатехники // *Технология машиностроения*. 2006. С.18-22.
3. Масленников А.В., Голубев Р.Г., Голубев И.Г. Разработка вибрационного привода для сверления отверстий малого диаметра // *Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации*. Курск, 2010. С. 63-70.
4. Масленников А.В. Устройство для высокочастотного вибрационного сверления // *Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сборник материалов IV Международной научно-технической конференции*. Курск, 2006. С. 152-156.
5. Подураев В.Н., Валиков В.И. Физические особенности процесса вибрационного сверления // *Резание труднообрабатываемых материалов*. МДНТП. 1969. С. 95-101.
6. Механизм влияния осевых гармонических колебаний и режимов резания на процесс образования стружки скалывания при формообразовании отверстий спиральным сверлом в вязких металлах / А.В. Масленников, С.А. Чевычелов, М.С. Мержоева, М.Ш. Гатиев, В.В. Сидорова // *СТИН*. 2014. № 4. С. 25–28.
7. Масленников А.В., Чевычелов С.А., Голубев И.Г. Влияние режимов резания на задний угол спирального сверла при формообразовании отверстий с помощью осевых вибраций // *СТИН*. 2012. №10. С. 19-22.
8. Исследование процесса формообразования отверстий спиральным сверлом с наложением осевых гармонических колебаний / А.В. Масленников, С.А. Чевычелов, В.В. Сидорова, М.С. Мержоева, М.Ш. Гатиев // *Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сборник научных трудов XI-ой Международной научно-практической конференции: в 4 т.* Курск, 2014. С. 57-61.
9. Способ вибросверления отверстий малого диаметра на основе Ш-образного вибропривода / А.В. Масленников, С.А. Чевычелов, Р.Г. Голубев, И.Г. Голубев // *Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: материалы VIII Международной научно-технической конференции: в 2 ч.* Курск, 2011. С. 222-226.
10. Проблемы формообразования отверстий спиральным сверлом с наложением осевых гармонических колебаний / М.С. Мержоева, М.Ш. Гатиев, А.В. Масленников, С.А. Чевычелов, М.В. Снопков // *Современные материалы, техника и технология: материалы 5-й Международной научно-практической конференции*. Курск, 2015. С. 90-94.
11. Использование вибрационного резания для управления стружкообразованием / А.В. Масленников, С.А. Чевы-

челов, Д.И. Гвоздев, В.В. Сидорова, М.Ш. Гатиев // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2012. № 2-1. С. 117-120.

12. Анализ эффективности процесса вибрационного формообразования отверстий / А.В. Масленников, С.А. Чевычелов, Д.И. Гвоздев, М.С. Мержоева, М.Ш. Гатиев // Известия Юго-Западного госу-

дарственного университета. Серия: Техника и технологии. 2012. № 2-3. С. 47-52.

13. Чевычелов С.А., Снопков М.В. Анализ методов обработки отверстий в изделиях из композиционных материалов // Молодежь и XXI век -2015: материалы V Международной молодежной научной конференции. Курск, 2015. С. 168-173.

Поступила в редакцию 09.11.17

UDC 67.05.

S. A. Chevychelov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: tschsa@yandex.ru)

M. V. Snopkov, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: snopkovmikhail@rambler.ru)

I. V. Bondartsev, Fitter at KIPA, JSC "Keaz" (Kursk, Russia) (e-mail: iv113326@yandex.ru)

A. V. Maslennikov, Candidate of Engineering Sciences, ZAO Elat-instrument (Kursk, Russia) (e-mail: amaslen@yandex.ru)

DIAGRAM OF FIXTURE FOR VIBRATION DRILLING OF HOLES IN COMPOSITE MATERIALS

This paper discusses the use of vibration drilling method for hole making in composite materials. The special feature of advanced composite materials is the difficulty of machining by conventional methods. The occurrence of defects such as matrix cracking, delamination and fibers failure, thermal degradation of matrix obtained in the process of making holes requires the development of new technological solutions and special equipment and tooling. As an alternative, along with cutting and abrasive machining methods for composite materials, we can consider vibration drilling, laser, ultrasonic and abrasive blasting machining of holes.

The Department of Engineering Technologies and Equipment of Southwest State University has made a device intended for vibration drilling of holes in composite materials. Using the proposed method allows us to reduce the vibrations along the drill axis, both in the low-frequency and high-frequency range (20 to 500 Hz). It also allows us to change the frequency of vibration without stopping the cutting process. The device is designed for metall cutting machines related to drilling-and-boring group of machines with a vertical spindle to increase performance and improve the quality of holes shaping. Technical specifications of the designed device provide the set tool advances, the required frequency of spindle rotation, giving the necessary cutting speed (they depend on technical features of the selected machine), as well as the necessary amplitude and high frequency axial oscillations of the tool. To convert electric oscillations into mechanical ones there has been adopted the scheme of two inductance coils, being placed one above the other.

The proposed method of electro-impulse drilling will solve the problem of processing composite materials (matrix cracking, delamination and fiber failures) and improve the quality and productivity of making holes in composite materials.

Key word: composite material, vibration drilling, vibration exciter, inductance coil.

DOI: 10.21869/2223-1560-2017-21-6-76-84

For citation: Chevychelov S. A., Snopkov M. V., Bondartsev I. V., Maslennikov A. V. Diagram of Fixture for Vibration Drilling of Holes in Composite Materials, Proceedings of the Southwest State University, 2017, vol. 21, no. 6(75), pp. 76-84 (in Russ.).

Reference

1. Kumabe D. Vibracionnoe rezanie. Mashinostroenie, 1985, pp. 54-63.

2. Lomaev V.N., Dudarev A.S. Perspektivy mehanicheskoy obrabotki otverstij pri proizvodstve izdelij iz voloknistyh kompozicionnyh materialov grazhdanskoj aviatehniki. Tehnologija mashinostroenija, 2006, pp.18-22.

3. Maslennikov A.V., Golubev R.G., Golubev I.G. Razrabotka vibracionnogo privoda dlja sverlenija otverstij malogo diametra. Sovremennye instrumental'nye sistemy, informacionnye tehnologii i innovacii. Kursk, 2010, pp. 63-70.

4. Maslennikov A.V. Ustrojstvo dlja vysokochastotnogo vibracionnogo sverlenija. Sbornik materialov IV Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii "Sovremennye instrumental'nye sistemy, informacionnye tehnologii i innovacii". Kursk, 2006, pp. 152-156.

5. Poduraev V.N., Valikov V.I. Fizicheskie osobennosti processa vibracionnogo sverlenija. Rezanie trudnoobrabatyvaemyh materialov, MDNTP, 1969, pp. 95-101.

6. Maslennikov A.V., Chevychelov S.A., Merzhoeva M.S., Gatiev M.Sh., Sidorova V.V. Mehanizm vlijanija osevyh garmonicheskikh kolebanij i rezhimov rezanija na process obrazovanija struzhki skalyvanija pri formoobrazovanii otverstij spiral'nym sverlom v vjazkih metallah. STIN, 2014, no. 4, pp. 25-28.

7. Maslennikov A.V., Chevychelov S.A., Golubev I.G. Vlijanie rezhimov rezanija na zadnij ugol spiral'nogo sverla pri formoobrazovanii otverstij s pomoshh'ju osevyh vibracij. STIN, 2012, no.10, pp. 19-22.

8. Maslennikov A.V., Chevychelov S.A., Sidorova V.V., Merzhoeva M.S., Gatiev M.Sh. Issledovanie processa formoobrazovanija otverstij spiral'nym sverlom

s nalozheniem osevyh garmonicheskikh kolebanij. Sbornik nauchnyh trudov XI-oj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Sovremennye instrumental'nye sistemy, informacionnye tehnologii i innovacii". Kursk, 2014, pp. 57-61.

9. Maslennikov A.V., Chevychelov S.A., Golubev R.G., Golubev I.G. Sposob vibrosverlenija otverstij malogo diametra na osnove Sh-obraznogo vibroprivoda. Materialy VIII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii "Sovremennye instrumental'nye sistemy, informacionnye tehnologii i innovacii". Kursk, 2011, pp. 222-226.

10. Merzhoeva M.S., Gatiev M.Sh., Maslennikov A.V., Chevychelov S.A., Sнопков M.V. Problemy formoobrazovanija otverstij spiral'nym sverlom s nalozheniem osevyh garmonicheskikh kolebanij. Materialy 5-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. "Sovremennye materialy, tehnika i tehnologija". Kursk, 2015, pp. 90-94.

11. Maslennikov A.V., Chevychelov S.A., Gvozdev D.I., Sidorova V.V., Gatiev M.Sh. Ispol'zovanie vibracionnogo rezanija dlja upravlenija struzhkoobrazovanijem. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii, 2012, no. 2-1, pp. 117-120.

12. Maslennikov A.V., Chevychelov S.A., Gvozdev D.I., Merzhoeva M.S., Gatiev M.Sh. Analiz jeffektivnosti processa vibracionnogo formoobrazovanija otverstij. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii, 2012, no. 2-3, pp. 47-52.

13. Chevychelov S.A., Sнопков M.V. Analiz metodov obrabotki otverstij v izdeljah iz kompozicionnyh materialov. Materialy V Mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchnoj konferencii. "Molodezh' i XXI vek - 2015". Kursk, 2015, pp. 168-173.