

УДК 621.934

А. Ф. Аникеенко, Т. А. Машорипова

Белорусский государственный технологический университет

**ПРИМЕНЕНИЕ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ В КОНСТРУКЦИИ
НОВОГО АДАПТИВНОГО СВЕРЛИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА**

В представленной работе уделено внимание применению упругих элементов в сверлильном инструменте, за счет которых будет независимо регулироваться скорость подачи при сверлении древесины и древесных материалов. Процесс образования в древесине и древесных материалах сквозных и несквозных цилиндрических отверстий с помощью сверл является актуальной задачей в мебельной промышленности. В настоящее время в деревообрабатывающей промышленности для получения качественных поверхностей методом сверления используют высокоточное оборудование с числовым программным управлением, не позволяющим механически изменять скорость подачи инструмента в зависимости от структуры обрабатываемого материала.

Проведен анализ существующего сверлильного инструмента, а также технологий получения отверстий в ламинированной древесностружечной плите. Рассмотрена классификация сверл, их виды и подвиды. Обозначены проблемы и особенности сверления ламинированных плитных материалов. Обоснована необходимость в проектировании сборных сверл особой конструкции. Предложена новая конструкция сборных винтовых сверл, позволяющая механическим путем изменять скорость подачи непосредственно во время обработки ламинированной древесностружечной плиты, тем самым предотвращая появление сколов на поверхности хрупкого слоя (ламината) плиты.

Произведен расчет системы упругих элементов и обоснована целесообразность их использования.

Ключевые слова: сверление, скорость подачи, производительность, качество, пружина.

A. F. Anikeenko, T. A. Mashoripova

Belarusian State Technological University

**APPLICATION OF ELASTIC ELEMENTS IN THE DESIGN
OF A NEW ADAPTIVE DRILLING TOOL**

In this paper, attention is paid to the use of elastic elements in the drilling tool, due to which the feed rate will be independently regulated when drilling wood and wood materials. The process of forming through and non-through cylindrical holes in wood and wood materials using drills is an urgent task in the furniture industry. Currently, in the woodworking industry, high-precision equipment with numerical control is used to obtain high-quality surfaces by drilling, which do not allow to change the tool feed rate mechanically depending on the structure of the material being processed.

The analysis of the existing drilling tools, as well as technologies for obtaining holes in laminated chipboard is carried out. The classification of drills, their types and subspecies is considered. Problems and features of drilling of laminated plate materials are outlined. The necessity of designing precast drills of a special design is justified. A new design of precast screw drills is proposed, which allows to change the feed rate by mechanical means directly during processing of laminated chipboard, thereby preventing the appearance of chips on the surface of the fragile layer (laminata) of the plate.

The calculation of the system of elastic elements is made and the feasibility of their use is justified.

Key words: drilling, feed rate, productivity, quality, spring.

Введение. К настоящему времени проведен ряд исследований по вопросам разработок новых конструкций сверл для обработки древесины и древесных материалов. Однако с созданием новых машин с числовым программным управлением и усовершенствованных конструкций сверлильного инструмента появляется необходимость проведения новых исследований, связанных с рациональным и экономным использованием материальных и энергетических ресурсов, совершенствованием

технологических режимов работы оборудования. Это позволяет экономить валютные средства предприятий и, как следствие, осуществлять импортозамещение, повышать конкурентоспособность выпускаемой продукции.

Таким образом, целью данной работы является разработка новой конструкции сверлильного инструмента с применением упругих элементов, а именно пружин с переменным шагом, которые позволят независимо от оборудования изменять скорость подачи.

Основная часть. Существующие сверлильные инструменты, предназначенные для обработки древесины твердых и мягких пород, плитных материалов, имеют один существенный недостаток: они предназначены для обработки только конкретного вида материала на определенных технологических режимах

В основном на деревообрабатывающих предприятиях используются два основных вида сверл, это сверла винтовые с конической заточкой и сверла с центром и подрезателями, спиральные сверла [1].

Сверла с центром и подрезателями винтовые применяются для сверления точных относительно глубоких отверстий в твердой и мягкой древесине, ДСП и МДФ. С помощью центра с оптимизированной геометрией для центрирования достигается точное позиционирование отверстия [2].

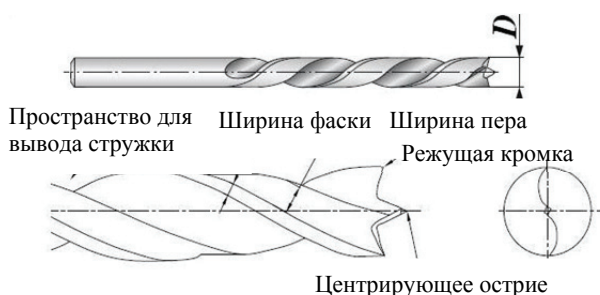


Рис. 1. Центровое сверло

Возникают трудности со сверлами с центром и подрезателями после переточки, т. к. неравномерно заточены кромки и подрезатели находятся не на одном уровне.

Неравномерная заточка происходит из-за того, что затачивают сверла с центром и подрезателями на станках с ручным подводом затачиваемого инструмента.

Немаловажной проблемой сверления ламинированной древесностружечной плиты является образование сколов на поверхности плиты.

На данный момент эту проблему устраняют уменьшением скорости подачи на входе и выходе сверла из отверстия, путем написания алгоритма управления машинами с числовым программным управлением, но при смене инструмента или использовании другого материала необходимо переписывать программу.

Главным критерием качества обработки ламинированных древесно-стружечных плит сверлильным инструментом является отсутствие сколов облицовочного материала недопустимых размеров вдоль кромок полученных отверстий.

В основном детали с облицованной поверхностью являются видимыми и, как следствие,

не допускают на поверхности различного вида сколов, вырывов и т. д. [3].

Обеспечение качества поверхности ламинированной поверхности древесностружечной плиты при сверлении отверстий является актуальной задачей, для решения которой разрабатываются новые алгоритмы программного управления станков, применяются современные инструментальные материалы, оптимизируются режимы обработки, а также проектируются новые конструкции сверлильного инструмента.

Существующие методики расчетов технологических режимов резания сверлением требуют усовершенствования. Устаревшая информация и теоретические изыскания, содержащиеся в научной и технической литературе, отсутствие конкретных практических данных не позволяют выполнять достоверные расчеты периода стойкости сверлильного инструмента и потребности в инструменте для выполнения заданного объема работ.

Было спроектировано сверло спиральное сборное. Конструкция данного сверла состоит из хвостовика, цела сверла и одной пружины с переменным шагом. Это сверло позволит, имея систему упругих элементов, с переменным шагом, обрабатывать древесностружечные плиты, в том числе и ламинированные, исключая возможность появления сколов на входе и выходе инструмента. Дело в том, что коэффициент жесткости пружины с переменным шагом возрастает с увеличением нагрузки, что повышает надежность и увеличивает срок ее службы. Применение сверл данного типа в первую очередь позволит улучшить также повысить стойкость сверл за счет уменьшения скорости подачи. Применение такого типа сверл также экономически выгодно, так как закупается только тело сверла, а хвостовики остаются прежние.

Упругий элемент в момент соприкосновения режущей части сверла с обрабатываемым материалом сжимается и тем самым уменьшает скорость подачи. Далее сверло работает как обычное. При увеличении нагрузки на пружину, в момент, когда процесс сверления завершается, чаще расположенные витки начинают смыкаться. При этом число работающих витков уменьшается, и, соответственно, пружина становится жестче. Для определения параметров пружины необходимо рассчитать ее жесткость.

Данная конструкция сверла позволит реализовать изменение скорости подачи на этапе входа и выхода инструмента из обрабатываемого материала.

Изменяя параметры упругих элементов, можно использовать данный инструмент для различных плитных материалов с разным покрытием по толщине и плотности.

Использование данного типа инструмента при сверлении плитных материалов позволит в значительной мере сократить количество брака, увеличить производительность вместе со снижением энергопотребления.

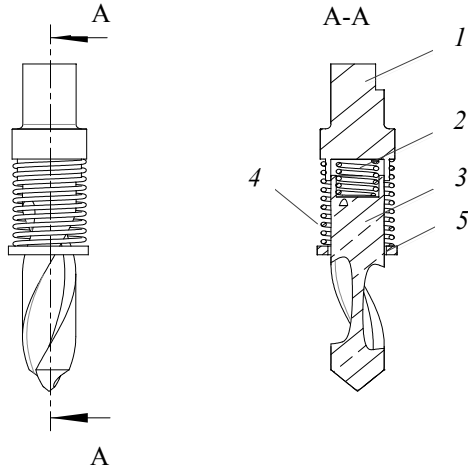


Рис. 2. Прототип предлагаемого инструмента:
1 – оправка; 2 – внутренняя пружина; 3 – сверло;
4 – внешняя пружина; 5 – шайба

Расчетная схема для решения системы упругих элементов приведена на рис. 3.

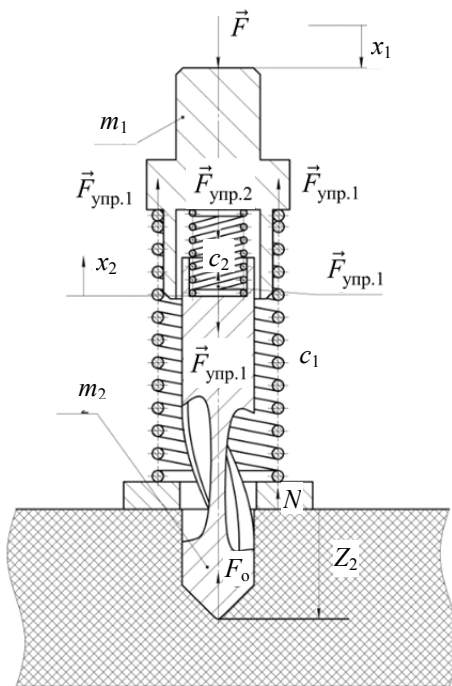


Рис. 3. Расчетная схема

Для решения составим следующие дифференциальные уравнения:

$$m_1 \ddot{x}_1 = F - c_1 x_2; \tag{1}$$

$$m_2 (\ddot{x}_1 - \ddot{x}_2) = c_1 x_2 - F_0, \tag{2}$$

где F – тяговое усилие, Н; c_1 – коэффициент жесткости внешней пружины, Н/м; x_1 – деформация внешней пружины, м; x_2 – деформация внутренней пружины, м.

Выразим из (1) \ddot{x}_1 и подставим в (2):

$$m_2 \left(\frac{F - c_1 x_2}{m_1} - \ddot{x}_2 \right) = c_1 x_2 - F_0. \tag{3}$$

Преобразуем выражение (3), поделив правую и левую часть на m_2 :

$$\ddot{x}_2 + c_1 x_2 \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} = \frac{F_0}{m_2} + \frac{F}{m_1}. \tag{4}$$

Для удобства записи произведем замену

$$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}; K = \frac{F_0}{m_2} + \frac{F}{m_1}.$$

Тогда выражение (4) примет вид

$$\ddot{x}_2 + \frac{c_1}{\mu} x_2 = K. \tag{5}$$

Решением данного уравнения будет являться выражение

$$x_2 = A \cos k_2 t + B \sin k_2 t + \frac{K}{c_1} \mu, \tag{6}$$

где k_2 – частота колебаний, c^{-1} :

$$k_2 = \sqrt{\frac{c_1}{\mu}}. \tag{7}$$

Для определения констант A и B продифференцируем выражение (6):

$$\dot{x}_2 = -A k_2 \sin k_2 t + B k_2 \cos k_2 t. \tag{8}$$

Начальные условия: $\dot{x}_2 = 0$; $x_2 = 0$; $t = 0$.

Тогда из (6) и (7) следует, что $A = -\frac{K}{c_1} \mu$;

$B = 0$

Таким образом, с учетом найденных констант, выражение (5) примет вид

$$x_2 = \frac{K}{c_1} \mu (1 - \cos k_2 t). \tag{9}$$

Подставим выражение (9) в (2) и получим

$$m_1 \ddot{x}_1 = F - K \mu (1 - \cos k_2 t). \tag{10}$$

Разделим правую и левую часть на m_1 :

$$\ddot{x}_1 = \frac{F - K \mu}{m_1} + \frac{K \mu}{m_1} \cos k_2 t. \tag{11}$$

Для определения \dot{x}_1 проинтегрируем выражение (11):

$$\dot{x}_1 = \int_0^t \frac{F - K\mu}{m_1} dt + \int_0^t \frac{K\mu}{m_1} \cos k_2 t dt.$$

Получим

$$\dot{x}_1 = \frac{F - K\mu}{m_1} t + \frac{K\mu}{m_1 k_2} \sin k_2 t + C_1. \quad (12)$$

Чтобы найти x_1 , проинтегрируем выражение (12):

$$x_1 = \int_0^t \frac{F - K\mu}{m_1} t dt + \int_0^t \frac{K\mu}{m_1 k_2} \sin k_2 t dt + \int_0^t C_1 dt.$$

Получим

$$x_1 = \frac{F - K\mu}{m_1} t^2 - \frac{K\mu}{m_1 k_2^2} \cos k_2 t + C_1 t + C_2, \quad (13)$$

где C_1 и C_2 – постоянные интегрирования.

Для определения постоянных интегрирования зададимся начальными условиями: $\dot{x}_1 = V_s$, так как в начальный момент времени тело m_1 двигалось со скоростью V_s ; $x_1 = 0$; $t = 0$.

Таким образом, подставляя начальные условия в выражения (12) и (13), получим $C_1 = V_s$; $C_2 = -\frac{K\mu}{m_1 k_2^2}$.

Деформация внешней пружины

$$x_1 = \frac{F - K\mu}{m_1} t^2 + V_s t + \frac{K\mu}{m_1 k_2^2} (1 - \cos k_2 t). \quad (14)$$

Тогда углубление сверла z_2 найдем из выражения

$$z_2 = x_1 - x_2. \quad (15)$$

Подставив (9) и (14) в (15), получим

$$z_2 = \frac{F - K\mu}{m_1} t^2 + V_s t + \frac{K\mu}{m_1 k_2^2} (1 - \cos k_2 t) - \frac{K}{c_1} \mu (1 - \cos k_2 t). \quad (16)$$

Преобразовав выражение (16) с учетом (7), получим

$$z_2 = \frac{F - K\mu}{m_1} t^2 + V_s t + (1 - \cos k_2 t) \left(\frac{K\mu^2}{m_1 c_1} - \frac{K\mu}{c_1} \right). \quad (17)$$

Однако выражение (17) довольно сложно оптимизировать, поэтому расчет будем вести с той позиции, что сила F является постоянной. Тогда $x_1 = V_s t$; $\dot{x}_1 = V_s$; $\ddot{x}_1 = 0$; $t = 0$.

$$m_2 (\ddot{x}_1 - \ddot{x}_2) = c_2 x_2 - F, \quad (18)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + c_2 x_2 = F. \quad (19)$$

Произведем замену

$$k_{20}^2 = \frac{c_2}{m_2}. \quad (20)$$

Также представим F как

$$F = \frac{F_0}{h} (V_s t - x_2), \quad (21)$$

где h – биссектриса угла заточки сверла, м.

Разделим правую и левую часть на m_2 и с учетом (20) и (21) получим

$$\ddot{x}_2 + k_{20}^2 x_2 = \frac{F_0}{m_2 h} (V_s t - x_2). \quad (22)$$

Для облегчения расчетов произведем замену

$$k_2^2 = k_{20}^2 + \frac{F_0}{m_2 h}. \quad (23)$$

Тогда выражение (22) примет вид

$$\ddot{x}_2 + k_2^2 x_2 = \frac{F_0 V_s}{m_2 h} t. \quad (24)$$

Решением выражения (24) будет являться

$$x_2 = B \sin k_2 t + \frac{F_0 V_s}{m_2 h k_2^2} t. \quad (25)$$

Для определения констант A и B продифференцируем выражение (25):

$$\dot{x}_2 = B k_2 \cos k_2 t + \frac{F_0 V_s}{m_2 h k_2^2}. \quad (26)$$

Начальные условия: $\dot{x}_2 = 0$; $x_2 = 0$; $t = 0$; тогда

$$B = -\frac{F_0 V_s}{m_2 h k_2^3}.$$

Выражение (26) примет вид

$$\dot{x}_2 = \frac{F_0 V_s}{m_2 h k_2^2} t - \frac{F_0 V_s}{m_2 h k_2^3} \sin k_2 t. \quad (27)$$

Углубления сверла найдем по формуле (15), с учетом (27) и условий работы системы получим

$$z_2 = V_s t - \frac{F_0 V_s}{m_2 h k_2^2} t + \frac{F_0 V_s}{m_2 h k_2^3} \sin k_2 t. \quad (28)$$

Произведем замену

$$\frac{F_0}{m_2 h} = k_2^2 - k_{20}^2. \quad (29)$$

Тогда

$$z_2 = \frac{k_{20}^2}{k_2^2} V_s t + \left(1 - \frac{k_{20}^2}{k_2^2}\right) \frac{V_s}{k_2} \sin k_2 t. \quad (30)$$

Продифференцируем выражение (30):

$$\begin{aligned} \dot{z}_2 = \frac{k_{20}^2}{k_2^2} V_s + V_s \left(1 - \frac{k_{20}^2}{k_2^2}\right) \cos k_2 t = V_s \cos k_2 t + \\ + \frac{2k_{20}^2}{k_2^2} V_s \sin^2 \frac{k_2 t}{2}. \end{aligned} \quad (31)$$

Тогда с учетом (41) получим

$$z_2 = \frac{k_{20}^2}{k_2^2} V_s t + \frac{V_s}{k_2} \sin k_2 t. \quad (32)$$

Как видно из выражения (31), при углублении сверла на z_2 скорость будет уменьшаться. Однако для точного расчета необходимы более детальные исследования.

Известно, что наиболее высокая достоверность результатов исследований выходных показателей процесса резания достигается при реализации всего комплекса измерений по единой методике с соблюдением одинаковых условий выполнения экспериментальных работ.

Учитывая данное условие, при исследовании качественных и стойкостных показателей процесса сверления ламинированной древесностружечной плиты одновременно фиксирува-

лась мощность, затрачиваемая на резание, с реализацией методических сеток опытов по отсеиванию малозначимых переменных факторов.

Теоретические исследования всегда являются приближенными и не учитывают всех факторов, которые влияют на переменную величину. Именно поэтому будут проводиться дальнейшие исследования в данной области с проведением экспериментов.

Заключение. При проектировании дерево-режущего инструмента, в частности сверла винтового с адаптивными возможностями, актуальным является вопрос исследования влияния технологических режимом (скорости подачи и частоты вращения) на качество обрабатываемой поверхности.

Особенностью применения упругих элементов в конструкции сверлильного инструмента является то, что пружина с переменным шагом позволит механически регулировать скорость подачи во время обработки.

Существующие сверлильные инструменты, предназначенные для обработки древесины твердых и мягких пород, плитных материалов имеют один существенный недостаток: они предназначены для обработки только конкретного вида материала на определенных технологических режимах.

В связи с вышесказанным актуально и целесообразно использовать упругие элементы (пружины с переменным шагом) в конструкции сверлильного инструмента, которые позволят независимо регулировать скорость подачи на входе и выходе из отверстия сверла, что значительно увеличит производительность оборудования за счет хорошего качества обработанной поверхности.

Список литературы

1. Волинский В. Н. Технология древесных плит и композитных материалов: учебно-справочное пособие. СПб.: Лань, 2010. 336 с.
2. Грубе А. Э. Дереворежущие инструменты. М.: Лесная промышленность, 1971. 339 с.
3. Цуканов Ю. А., Амалицкий В. В. Обработка резанием древесностружечных плит. М.: Лесная промышленность, 1966. 94 с.
4. Аникеенко А. Ф. Технологические режимы сверления ламинированных древесностружечных плит, обеспечивающие установленное качество // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды XII Международного евразийского симпозиума, 19–22 сент. 2017 г. / Уральский государственный лесотехнический университет. Екатеринбург, 2017. С. 197–201.

References

1. Volynski V. N. *Tekhnologiya drevesnykh plit i kompozitnykh materialov* [Technology wood stoves and composite materials]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2010. 336 p.
2. Grube A. E. *Derevorezhushchiye instrumenty* [Wood cutting tools]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1971. 339 p.
3. Tsukanov Yu. A., Amalitskiy V. V. *Obrabotka rezaniyem drevesnostruzhhechnykh plit* [Cutting processing of particle boards]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1966. 94 p.
4. Anikeenko A. F. Technological modes of drilling laminated chipboard, ensuring the established quality. *Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovaiye, menedzhment XXI veka: Trudy XII Mezhdunarod-*

nogo evraziyskogo simpoziuma [Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century: proceedings of the XII International Eurasian Symposium]. Ural'skiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskiy universitet. Ekaterinburg, 2017, pp. 197–201 (In Russian).

Информация об авторах

Аникеенко Андрей Федорович – кандидат технических наук, доцент кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dosy@belstu.by

Машорипова Татьяна Александровна – аспирант кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dosy@belstu.by

Information about the authors

Anikeenko Andrey Fedorovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dosy@belstu.by

Mashoripova Tatiana Aleksandrovna – PhD student, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dosy@belstu.by

Поступила 14.03.2020