

УДК 674.055:621.95:674.815

Т. А. Машорипова, А. Ф. Аникеенко

Белорусский государственный технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ СВЕРЛЕНИЯ ЛАМИНИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ НА МОЩНОСТЬ РЕЗАНИЯ НА ЭТАПЕ ОТСЕИВАНИЯ МАЛОЗНАЧИМЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

В данной статье исследовано влияние режимов сверления ламинированных ДСтП на мощность резания. Установлено, что увеличение скорости подачи с 1 до 6 м/мин приводит к росту потребляемой мощности на 14 %. Для определения оптимальных технологических режимов, отвечающих современным требованиям к качеству и производительности, было проведено несколько экспериментов.

Объектом исследования являлись технологические режимы сверления ламинированных древесно-стружечных плит, а именно скорость подачи, варьируемая от 1 до 6 м/мин, и частота вращения инструмента от 1000 до 2000 мин⁻¹. Данные результаты могут быть полезны в процессе оптимизации производственных процессов, улучшения качества продукции и сокращения расходов на энергию.

Основная цель исследования заключалась в проведении эксперимента на машине с ЧПУ. Этот эксперимент основан на изучении зависимостей технологических режимов от состояния кромки отверстия и энергозатрат процесса сверления древесных материалов. Основное достижение этого эксперимента заключается в обеспечении требуемого качества процесса при высокой производительности и оптимальном энергопотреблении.

В процессе выполнения работы были проведены экспериментальные исследования, в результате которых были получены реальные зависимости технологических режимов от качества и энергопотребления. Были выполнены эксперименты, в которых применялись методы математического планирования для создания модели сверлильного процесса с учетом качества и прочности.

Ключевые слова: мощность, параметры, древесностружечная плита, сверление, сверло.

Для цитирования: Машорипова Т. А., Аникеенко А. Ф. Исследование влияния режимов сверления ламинированных древесно-стружечных плит на мощность резания на этапе отсеивания малозначимых переменных // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2023. № 2 (270). С. 251–256. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-270-2-30.

T. A. Mashoripova, A. F. Anikeenko

Belarusian State Technological University

STUDIES OF THE INFLUENCE OF DRILLING MODES OF LAMINATED CHIPBOARD ON CUTTING POWER AT THE STAGE OF SCREENING OUT INSIGNIFICANT VARIABLES

In this article, the influence of drilling modes of laminated chipboard on cutting power is investigated. It was found that an increase in the feed rate from 1 to 6 m/min leads to an increase in power consumption by 14%. To determine the optimal technological modes that meet modern requirements for quality and productivity, several experiments were conducted.

The object of the study was the technological modes of drilling laminated chipboard, namely the feed rate varying from 1 to 6 m/min and the rotation speed of the tool from 1000 to 2000 min⁻¹. These results can be useful in the process of optimizing production processes, improving product quality and reducing energy costs.

The main purpose of the study was to conduct an experiment on a CNC machine. This experiment is based on the study of the dependencies of technological modes on the state of the hole edge and the energy consumption of the drilling process of wood materials. The main achievement of this experiment is to ensure the required quality of the process with high productivity and optimal energy consumption.

The method of carrying out the work – in the course of the work, experimental studies were carried out, as a result of which real dependences of technological regimes on quality and energy consumption were obtained.

Experiments were performed where mathematical planning methods were applied to create a model of the drilling process, taking into account quality and strength. As variable factors, the size of the feed rate, feed per tooth and tool diameter for each cutter were chosen.

Keywords: power, parameters, particle board, drilling, drill.

For citation: Mashoripova T. A., Anikeenko A. F. Studies of the influence of drilling modes of laminated chipboard on cutting power at the stage of screening out insignificant variables. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2023, no. 2 (270), pp. 251–256. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-270-2-30 (In Russian).

Введение. Одним из наиболее эффективных и оптимальных направлений деревообработки во всем мире является производство древесностружечных плит, где в качестве сырья используется низкосортная древесина и древесные отходы. Деревянные панели являются основным конструкционным материалом для изготовления мебели. Технология производства древесностружечных плит, как приоритет для развития технологий в мире за последние 15–20 лет включает использование высокопроизводительного оборудования, основанного на непрерывном давлении.

Производство древесностружечных и ламинированных плит в Республике Беларусь сосредоточено на предприятиях концерна «Беллесбумпром»: ОАО «Ивацевичдрев», ОАО «Речицадрев», ОАО «Витебскдрев» [1]. Республика Беларусь экспортирует около 50% производимых древесностружечных плит (включая ламинированные плиты) большей частью в Российскую Федерацию.

Динамика производства древесностружечных плит белорусским производственно-торговым концерном лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности «Беллесбумпром» представлена на рис. 1.

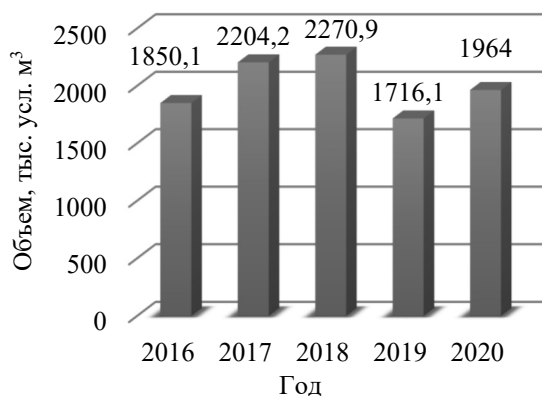


Рис. 1. Динамика производства ДСтП

Механическая обработка древесных материалов, особенно ламинированных ДСтП, связана с фундаментальной проблемой поддержания качества продукции. Неоднородная структура материала, разная его плотность и различное количество клея на вертикальном поперечном сечении говорит о том, что качество поверхности должно быть очень точным и его необходимо контролировать. На практике этот процесс должен происходить в режиме реального времени. Возможность для контроля этого процесса в режиме онлайн может дать визуальная система контроля качества.

Основным аспектом обрабатываемости является подробное изучение силы, крутящего момента, стойкости инструмента и чистоты поверхности. Хотя существует ряд взаимосвязанных факторов, влияющих на обрабатываемость материала,

наиболее важными из них являются параметры резания, свойства материала заготовки и инструмента, геометрия режущего инструмента, закрепление заготовки и тип станка.

Основная часть. Качество обработки зависит от разных показателей. Качество сверления воспринимается как состояние обрабатываемой поверхности или кромок элементов, оно чувствительно не только к износу инструмента, но и к параметрам резания, таким как подача на оборот или скорость резания [2]. Штумайер В. [3] доказал, что при фрезеровании ЛДСП со значениями подачи на оборот в диапазоне 0,5–2,5 мм и с увеличением скорости резания наблюдается небольшое ухудшение качества. Согласно работе [4], более высокая подача на зуб имеет невыгодное влияние на качество сверления ЛДСП. Однако увеличение скорости резания уменьшает повреждение кромок обрабатываемого материала в случае использования нового инструмента. Этот эффект слабее с увеличением износа инструмента [5]. Качество обработки в работе Лемастера Р. Л. и др. [6] определяется средней величиной расслоения материала, которое было улучшено с увеличением скорости вращения при встречном фрезеровании, а также при попутном фрезеровании кромок ДСтП. Другие исследователи, такие как Давим Ж. П. и др. [7], показали, что при сверлении отверстий на высоких скоростях резания в ламинированном ДСтП (Суперпан Декор) качество обработки незначительно становится лучше. С другой стороны, увеличение подачи на оборот влечет за собой ухудшение качества. В экспериментах были исследованы три скорости резания и пять скоростей подачи на оборот. Гаитонд В. Н. и др. в своей работе [8] заключили, что с увеличением скорости сверления в ламинированном ДСтП качество становилось хуже, но с уменьшением подачи на оборот наблюдался противоположный результат.

Разработка и применение оптимальных режимов резания являются важным фактором в повышении конкурентоспособности деревообрабатывающей промышленности. Древесностружечные плиты средней плотности широко используются при производстве различных изделий, но отсутствует расчетный метод для получения оптимальных режимов сверления этого типа материала. Некоторые производители деревообрабатывающего оборудования и инструмента дают рекомендации по режимам сверления ламинированных ДСтП, но они учитывают только общие аспекты и не обращают внимания на специфику материала [9–15].

Теоретические расчеты, как правило, приближены и не учитывают все факторы, которые могут влиять на переменную величину. Поэтому решения, полученные при помощи экспериментов, проверяют и дополняют теоретическими расчетами.

Развитие экспериментальных исследований и область их применения зависят от технических возможностей измерения и оборудования.

Обычно экспериментальное решение инженерных задач заключается в поиске закономерностей между входными параметрами процесса и выходными показателями. Эти закономерности позволяют оценить влияние входных переменных и управлять технологическим процессом, чтобы достичь его оптимальности.

Математически закономерность описывается уравнением типа:

$$Y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n),$$

где Y – оценочный показатель, являющийся функцией нескольких независимых входных переменных x . В простейшем случае это может быть одна переменная.

При формулировании математической задачи необходимо указать переменные факторы процесса и их диапазоны изменения, а также постоянные факторы и оценочные показатели.

Для фундаментальных исследований обычно используется однофакторное планирование, а для прикладных и промышленных исследований рекомендуется математическое планирование эксперимента.

Планы экспериментов для исследования процессов резания древесины и древесных материалов

описаны в работе А. А. Пижурин и М. С. Розенблита [16].

В качестве экспериментальной установки определен современный многооперационный деревообрабатывающий станок модели Rover B 4.35 с числовым программным управлением. Принципиальная схема экспериментальной установки представлена на рис. 2.

Станок состоит из станины, группы устройств, которые позволяют осуществлять позиционирование и блокировку обрабатываемой детали, а также из серии групп (оперативный блок), предназначенных для обработки детали.

Проведен ряд экспериментов с использованием метода математического планирования, который позволяет получить достоверные модели процесса сверления с учетом качества и мощности. В качестве переменных факторов выбраны скорость подачи, скорость главного движения, диаметр инструмента.

Для проведения эксперимента была составлена методическая сетка опытов, охватывающая различные технологические режимы обработки, согласно рекомендациям А. А. Пижурин [16].

Факторы проведения эксперимента и методическая сетка экспериментальных данных с указанием переменных факторов в кодированном и явном выражении представлены в табл. 1 и 2.



Рис. 2. Экспериментальная установка на базе обрабатывающего центра с числовым программным управлением Rover B 4.35

Таблица 1

Факторы проведения эксперимента

| Переменный фактор | Уровни варьирования | | |
|--|---|--------------|-------------|
| | верхний (+1) | основной (0) | нижний (-1) |
| 1. Глубина сверления, мм [X_1] | 38 | 24 | 10 |
| 2. Частота вращения, мин ⁻¹ [X_2] | 2000 | 1500 | 1000 |
| 3. Скорость подачи, м/мин [X_3] | 6 | 3,5 | 1 |
| 4. Тип плиты | ДСтП, ламинированная синтетическим материалом | | |
| 5. Диаметр сверла, мм | – | 10 | – |
| 6. Толщина плиты, мм | – | 28 | – |

Таблица 2

Методическая сетка экспериментальных данных

| Номер опыта | Переменные факторы в кодированном выражении | | | Переменные факторы в явном выражении | | | Выходной параметр |
|-------------|---|-------|-------|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------|
| | X_1 | X_2 | X_3 | h , мм [X_1] | n , мин ⁻¹ [X_2] | V_s , м/мин [X_3] | |
| 1 | + | + | + | 38 | 2000 | 6 | 0,19017 |
| 2 | - | + | + | 10 | 2000 | 6 | 0,118787 |
| 3 | + | - | + | 38 | 1000 | 6 | 0,12253 |
| 4 | - | - | + | 10 | 1000 | 6 | 0,143158 |
| 5 | + | + | - | 38 | 2000 | 1 | 0,101131 |
| 6 | - | + | - | 10 | 2000 | 1 | 0,124318 |
| 7 | + | - | - | 38 | 1000 | 1 | 0,118354 |
| 8 | - | - | - | 10 | 1000 | 1 | 0,127082 |
| 9 | + | 0 | 0 | 38 | 1500 | 3,5 | 0,108041 |
| 10 | - | 0 | 0 | 10 | 1500 | 3,5 | 0,121166 |
| 11 | 0 | + | 0 | 24 | 2000 | 3,5 | 0,120278 |
| 12 | 0 | - | 0 | 24 | 1000 | 3,5 | 0,116627 |
| 13 | 0 | 0 | + | 24 | 1500 | 6 | 0,105734 |
| 14 | 0 | 0 | - | 24 | 1500 | 1 | 0,102692 |

Основная серия опытов была проведена по плану полного факторного эксперимента типа 23. В качестве переменных были приняты основные факторы, определяющие режим резания: скорость подачи (V_s , м/мин), частота вращения инструмента (n , мин⁻¹) и глубина сверления (h , мм), выходной параметр – мощность (P , кВт). В опытах использовались ДСтП, ламинированные синтетическим материалом, толщиной 28 мм. Сверление проводилось винтовым сверлом с конической заточкой ($D = 10$ мм).

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 древесно-стружечной плиты фиксировалась мощность, затрачиваемая на резание, с реализацией методических сеток опытов по отсеиванию малозначимых переменных факторов.

Результаты эксперимента будут использоваться для дальнейших исследований, в том числе для построения уравнений регрессии, позво-

ляющих точнее оценить влияние рассматриваемых факторов на процесс сверления и качество обработки.

Заключение. Анализ полученных данных, представленных в табл. 2, показывает, что с увеличением частоты вращения с 1000 до 2000 мин⁻¹, скорости подачи с 1 до 6 м/мин и глубины сверления (h , мм) мощностные показатели возрастают на 14%. Результаты исследования показали, что переменные факторы имеют одинаковое влияние на затрачиваемую мощность при сверлении отверстий и качество обработки. Диапазон изменения глубины сверления не оказывает значительного влияния на процесс сверления ламинированных древесно-стружечных плит. Чтобы достичь более точных результатов, планируется использовать единую методику измерений и учитывать только те переменные факторы, влияние которых оценивается в пределах 3% и выше. Для предотвращения образования дефектов (сколов) на выходе и входе отверстия необходимо регулировать скорость подачи.

В дальнейших исследованиях планируется получить уравнение регрессии, что позволит более точно определить влияние различных факторов на процесс сверления ламинированных древесно-стружечных плит и качество обработки.

Список литературы

1. Белорусский производственно-торговый концерн лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности // Беллесбумпром. Режим доступа: <http://www.bellesbumprom.by> (дата обращения: 05.03.2023).
2. Cyra G. Studies on automatic control of wood routing using acoustic emission // The United Graduate School of Agricultural Science. 1997. Vol. 34 (3). P. 237–252.
3. Stuhmeier W. Fräsen von Spanplatten mit hochharten Schneidstoffen // TU Braunschweig, F-B VDI 2. 1989. Bd. 2 (181). S. 181–187.

4. Porankiewicz B. Tępienie się ostrzy i jakość przedmiotu obrabianego w skrawaniu płyt wiórowych. Poznań: Wyd. PTPN, 2003. 215 s.
5. Porankiewicz B. Zużycie ostrzy narzędzi przy frezowaniu płyt wiórowych. Poznań: Wyd. PTPN, 2000. 270 s.
6. Lemaste R. R. L., Lu L., Jackson S. The Use of Process Monitoring Techniques on CNC Wood Router. Part 2. Use of Vibration Accelerometer to Monitor Tool Wear and Workpiece Quality // *Forest Products Journal*. 2000. Vol. 50 (9). P. 59–64.
7. Davim J. P., Clemente V. V., Silva S. Drilling investigation of MDF (medium density fibreboard) // *Journal of Materials Processing Technology*. 2008. Vol. 203. P. 537–541.
8. Gaitonde V. N., Karnik S. R., Davim P. J. Taguchi Multiple-Performance Characteristics Optimization in Drilling of Medium Density Fibreboard (MDF) to Minimize Delamination Using Utility Concept // *Journal of Materials Processing Technology*. 2008. Vol. 196 (1). P. 73–78.
9. Сверлильный инструмент // Leuco. URL: https://www.leuco.com/RU/RU/Boring_Bits (дата обращения: 22.03.2023).
10. Сверла // Деревообрабатывающий инструмент LEITZ. URL: <https://leitz.by/index.pl?act=SECTION§ion=sverla> (дата обращения: 10.03.2023).
11. Сверла // Дереворежущий инструмент FABA. URL: <https://faba78.ru/products/category/sverla> (дата обращения: 10.03.2023).
12. Сверла для присадочных станков // Деревообрабатывающий инструмент Freud-catalog. URL: <http://freud-catalog.ru/catalog/376/692/index.htm> (дата обращения: 10.03.2023).
13. Сверла для деревообработки // КАМИ – металлообрабатывающее, деревообрабатывающее оборудование, станки для мебельного производства, запасные части и инструмент. URL: <https://www.stanki.by/catalog/svyerla/> (дата обращения: 10.03.2023).
14. Сверла спиральные дереворежущие. Технические условия: ГОСТ 22057–76. М.: Изд-во стандартов, 1978. 21 с.
15. Сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком. Технические условия: ГОСТ 10902–77. М.: Изд-во стандартов, 1979. 23 с.
16. Пижурин А. А., Розенбит М. С. Исследования процессов деревообработки. М.: Лесная пром-сть, 1984. 232 с.

References

1. Belarusian industrial and trading concern of the timber, woodworking and pulp and paper industries. Available at: <http://www.bellesbumprom.by> (accessed 05.03.2023) (In Russian).
2. Cyra G. Studies on automatic control of wood routing using acoustic emission. *The United Graduate School of Agricultural Science*. 1997. Vol. 34 (3). P. 237–252.
3. Stuhmeier W. Fräsen von Spanplatten mit hochharten Schneidstoffen. *TU Braunschweig, F-B VDI 2*, 1989. Vol. 2 (181). P. 181–187 (In German).
4. Porankiewicz B. Tępienie się ostrzy i jakość przedmiotu obrabianego w skrawaniu płyt wiórowych. Poznań, Wyd. PTPN, 2003. 215 p. (In Polish).
5. Porankiewicz B. Zużycie ostrzy narzędzi przy frezowaniu płyt wiórowych. Poznan, Wyd. PTPN, 2000. 270 p. (In Polish).
6. Lemaste R. R. L., Lu L., Jackson S. The Use of Process Monitoring Techniques on CNC Wood Router. Part 2. Use of Vibration Accelerometer to Monitor Tool Wear and Workpiece Quality. *Forest Products Journal*, 2000, vol. 50 (9), pp. 59–64.
7. Davim J. P., Clemente V. V., Silva S. Drilling investigation of MDF (medium density fibreboard). *Journal of Materials Processing Technology*, 2008, vol. 203, pp. 537–541.
8. Gaitonde V. N., Karnik S. R., Davim P. J. Taguchi Multiple-Performance Characteristics Optimization in Drilling of Medium Density Fibreboard (MDF) to Minimize Delamination Using Utility Concept. *Journal of Materials Processing Technology*, 2008, vol. 196 (1), pp. 73–78.
9. Drilling tools. Available at: https://www.leuco.com/RU/RU/Boring_Bits (accessed 22.03.2023) (In Russian).
10. Drills. Available at: <https://leitz.by/index.pl?act=SECTION§ion=sverla> (accessed 10.03.2023) (In Russian).
11. Drills. Available at: <https://faba78.ru/products/category/sverla> (accessed 10.03.2023) (In Russia).
12. Drill bits for filler machines. Available at: <http://freud-catalog.ru/catalog/376/692/index.htm> (accessed 10.03.2023) (In Russian).
13. Drills for woodworking. Available at: <https://www.stanki.by/catalog/svyerla/> (accessed 10.03.2023) (In Russian).

14. GOST 22057–76. Wood-cutting spiral drills. Specifications. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1978. 21 p. (In Russian).
15. GOST 10902–77. Spiral drills with a cylindrical shank. Specifications. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1979. 23 p. (In Russian).
16. Pizhurin A. A., Rozenblit M. S. *Issledovaniya protsessov derevoobrabotki* [Studies of woodworking processes]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1984. 232 p. (In Russian).

Информация об авторах

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

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

Information about the authors

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: t.a.mashoripova@mail.ru

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

Поступила 16.03.2023