

тического анализа распределения линейных размеров, позволяющих учитывать состояние технологического оборудования, качество сушки и уровень подготовки режущего инструмента.

Somar A.M. Modeling of line dimensions and allowances for prefabricates treatment at lamellas production

It is studied in the article the issue of determination of prescribed dimensions and allowances on planning and drying at production of dry prefabricates for lamellas production. The calculation of allowances on treatment and drying is done with help of statistical analysis of line dimensions distribution, which is allowing to take into account the state of technological equipment, quality of drying and level of preparation of cutting equipment.

УДК 674.05.055

Аспір. С.П. Степанчук¹ – НЛТУ України, м. Львів

**АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТОЧНОСТІ ПИЛЯННЯ
НА СТРІЧКОПИЛКОВИХ ВЕРСТАТАХ**

Виконано аналіз результатів відомих досліджень точності пиляння на колодопиляльних стрічкопилкових верстатах. На основі результатів аналітичного огляду сформульовано мету і завдання подальших досліджень. На основі результатів аналізу поставлено завдання та визначено шляхи подальших досліджень, які забезпечить підвищення точності пиляння вузькими стрічковими пилками завдяки підвищенню жорсткості та стійкості робочої вітки пилки і динамічної оптимізації режиму різання.

Ключові слова: точність, стрічкопилковий верстат, пропи́л, хвилястість.

Актуальність теми дослідження. Розвиток лісопильної галузі в сфері приватного підприємництва посприяв поширенню горизонтальних стрічкопилкових верстатів з вузькими пилками. На сьогодні на них припадає 60-70 % об'єму розпилюваних лісоматеріалів [1].

Однією з вад стрічкового пиляння є низька точність виготовлених пиломатеріалів через хвилястість пропи́лу [1-6], що призводить до зниження продуктивності пиляння і зумовлює додаткові втрати деревини та енергії для усунення хвилястості на подальших стадіях механічного оброблення заготовок [2, 4]. На сьогодні проблема хвилястості пропи́лу під час стрічкового пиляння деревини повністю не вирішена. Тому для формування завдань подальших досліджень вважаємо актуальним виконання аналітичного огляду досліджень точності стрічкового пиляння.

Аналіз досліджень точності пиляння на вертикальних колодопиляльних стрічкопилкових верстатах. Перші дослідження точності стрічкового пиляння виконували на вертикальних стрічкопилкових верстатах, які широко застосовувались для розпилювання лісо- та пиломатеріалів у другій половині ХХ ст. [2, 3, 7].

У роботах [2, 3] вперше експериментально досліджено вплив швидкості подачі на точність пиляння і встановлено, що точність пиляння є основним обмежувальним чинником швидкості подачі. Зокрема А.Є. Феоктістов [2] встановив, що для підвищення точності розпилювання колод з ± 3 мм до ± 1 мм швидкість подачі потрібно знизити майже втричі – з 40...45 м/хв. до

¹ Наук. керівник: доц. М.І. Пилипчук, канд. техн. наук – НЛТУ України, м. Львів

15...18 м/хв. У роботі [3] досліджено характер залежності точності стрічкового пиляння від швидкості подачі. Встановлено, що після досягнення певного граничного значення швидкості подачі спостерігається різке зниження точності пиляння. Однак підвищення точності за рахунок зниження швидкості подачі неефективне, оскільки знижується продуктивність процесу розпилювання. Тому завданням подальших досліджень став пошук ефективніших напрямків підвищення точності стрічкового пиляння.

У роботах [7-9] встановлено, що основною причиною хвилястості пропилу під час стрічкового пиляння є втрата стійкості пилки під дією сил різання. Досліджено, що пилка втрачає стійкість, коли нормальна складова сили різання досягає значення критичної сили, за якої полотно пилки втрачає плоску форму згину. Підвищення стійкості пилок стало основним методом підвищення точності стрічкового пиляння у наступних дослідженнях [9-12].

Проф. Прокоф'єв [9] виділив три типи жорсткості стрічкової пилки: власна жорсткість полотна пилки без натягу, початкова жорсткість натягнутої пилки без дії сил різання, робоча жорсткість натягнутої пилки із врахуванням сил різання. У роботах [8, 9], на підставі отриманих залежностей критичної сили від геометричних параметрів пилки та її вільної довжини, показано, що критична сила тим більша, чим більші розміри поперечного перерізу та модуль пружності її матеріалу і чим менша вільна довжина пилки в зоні різання. Також встановлено, що величина відхилень пилки в боковому напрямку залежить від бокової та нормальної складових сил різання, а також від початкової жорсткості пилки та критичної сили.

У теоретичних дослідженнях авторів [8, 10, 11] робочу вітку пилки розглядали як стрічку сталої ширини, натягнуту центрально чи з ексцентриситетом. Внаслідок цих досліджень встановлено, що в разі застосування двосторонніх безконтактних напрямників пилки її початкова жорсткість збільшується зі зменшення зазору між пилкою та напрямниками і вільної довжини пилки в боковому напрямку [8, 10]. Дослідження початкової жорсткості у разі застосування односторонніх контактних напрямників [10, 11] показують, що застосування таких напрямників є ефективнішим засобом підвищення стійкості пилок, ніж застосування двосторонніх безконтактних напрямників. У цих дослідженнях також доведено можливість додатково підвищувати стійкість пилок завдяки оптимальному ексцентриситету їх натягу.

Відомі також дослідження жорсткості широких стрічкових пилок, виконані за допомогою комп'ютерного моделювання [12]. Дослідження виконували на базі моделі пилки з односторонніми напрямниками ковзання за допомогою програмного комплексу ANSYS v. 5.5.3 ED. Встановлено, що величина відведення пилки напрямниками безпосередньо на величину жорсткості її робочої вітки не впливає, однак визначає граничну бокову силу, яка призводить до втрати контакту між напрямниками та поверхнею пилки і, як наслідок, – до значного зниження її робочої жорсткості.

У теоретичних дослідженнях жорсткості стрічкових пилок [12] розроблено методику розрахунку початкової жорсткості пилок із контактними напрямниками на основі двох моделей пилки – стержневої і пластинчастої, на

основі якої з'ясовано, що застосування стержневої моделі зумовлює виникнення похибок у розрахунках до 50 %. Тому під час теоретичних досліджень жорсткості вузьких стрічкових пилок необхідно користуватися пластинчастою моделлю пилки.

Автор [8] запропонував для зменшення вільної довжини пилки застосовувати замість шківів криволінійні аеростатичні напрямні. Для додаткового підвищення жорсткості пилки за рахунок зменшення зазору між напрямниками та пилкою запропоновано застосовувати замість традиційних двосторонніх безконтактних напрямників двосторонні аеростатичні напрямники пилки. У роботі [11] пропонують застосовувати односторонні аеростатичні напрямники пилки. Однак такі аеростатичні конструкції так і не були використані в серійному виробництві стрічкопилкових верстатів через їх високу вартість та складність, а також через додаткові затрати енергії на подачу стиснутого повітря.

Автори робіт [8, 13] дослідили характер початкових деформацій стрічкової пилки на шківках верстата у разі застосування безконтактних напрямників та встановили, що за рахунок власної жорсткості пилки дійсний кут її контакту зі шківками є меншим від 180° , внаслідок чого відбувається додатковий згин пилки в межах її вільної довжини. Подібні деформації властиві також у разі застосування односторонніх контактних напрямників, до того ж додатковий згин виникає ще й у зонах контакту пилки з напрямниками. Однак досліджень початкових деформацій стрічкових пилок з односторонніми контактними напрямниками на сьогодні не відомо.

На основі наведеного аналітичного огляду результатів досліджень необхідно зазначити, що найефективнішим методом підвищення точності стрічкового пиляння є підвищення стійкості пилок. Однак в усіх згаданих вище дослідженнях жорсткості та стійкості стрічкових пилок [8, 10-12] було прийнято припущення, що робоча вітка пилки є плоскою, а вплив початкових деформацій згину пилки на її стійкість не було враховано.

Крім цього, під час теоретичних досліджень жорсткості і стійкості не було враховано впливу зубчастого вінця, а стрічкова пилка була представлена у вигляді суцільної смуги з шириною рівною ширині пилки. Такий підхід призводить до завищення визначених значень жорсткості і критичної сили. Щодо вузьких колодопиляльних стрічкових пилок така методика не може бути застосована через значно більше відношення висоти зубців до ширини пилки. Тому є потреба в розробленні нової методики та виконанні досліджень жорсткості та стійкості вузьких колодопиляльних стрічкових пилок із врахуванням початкових деформацій і впливу зубчастого вінця.

Аналіз результатів досліджень точності пиляння на горизонтальних вузькострічкових верстатах. Пиляння деревини на горизонтальних вузькострічкових верстатах, попри свою схожість з вертикальними стрічкопилковими верстатами, має істотні відмінності. Зокрема, значно нижчою є швидкість подачі [14]: під час пиляння на горизонтальних стрічкопилкових верстатах з вузькими пилками швидкість подачі не перевищує 10 м/хв., тоді як на вертикальних стрічкопилкових верстатах вона становить до 30 м/хв. У горизонтальних стрічкопилкових верстатах часто використовують відмінний від 90° кут подачі, що для вертикальних стрічкопилкових верстатів не власти-

во. Умови роботи горизонтальної пилки щодо виносу стружки істотно відрізняються від умов роботи вертикальної пилки: у горизонтальних стрічкопилкових верстатах більша частина стружки нагромаджується знизу під пилкою, створюючи додаткову бокову силу. Для широких пилок використовують попарне розведення зубців, тоді як для вузьких колодопиляльних пилок застосовується розведення зубців через один нерозведений, а це зумовлює нерівномірне навантаження на зубці пилки [15]. Крім цього, через малу ширину вузькі колодопиляльні стрічкові пилки мають значно меншу власну жорсткість. Такі відмінності процесу пиляння на горизонтальних вузькострічкових верстатах є підґрунтям для виконання нових досліджень.

Для оцінювання точності стрічкового пиляння розроблено два основні показники: хвилястість за екстремумами Y_e , яка характеризує втрати деревини на наступних стадіях механічного оброблення через кривизну поверхонь пиломатеріалів, і середня хвилястість пропилу $Y_{сер}$, яка враховує похибки від хвилястості по всій поверхні і є кількісною характеристикою вертикальних коливань полотна пилки в процесі пиляння [6]. Останній показник доцільно приймати за основну характеристику величини хвилястості пропилу під час досліджень точності процесу пиляння.

На підставі експериментальних досліджень [1, 4, 5] встановлено, що для горизонтальних стрічкопилкових верстатів з вузькими пилками проблема точності розпилювання є ще актуальнішою, ніж для стрічкопилкових верстатів з широкими пилками. Встановлено обернену залежність між точністю розпилювання та швидкістю подачі, тому величина хвилястості пропилу обмежує період стійкості пилки та знижує корисний вихід деревини. У роботі [5] експериментально досліджено вплив на величину хвилястості пропилу таких чинників, як швидкість подачі, радіус заокруглення головних різальних крайок зубців пилки та відстань між напрямниками пилки, а в роботі [1] – вплив кута подачі, подачі на зубець, різниці кутів нахилу головних різальних кромek лез зубців пилки та способу розведення зубців.

Провідний виробник стрічкопилкових верстатів американська фірма Wood-Mizer [16] для забезпечення високої точності пиляння рекомендує приділяти особливу увагу якісному підготовленню пилок до роботи, а також слідкувати за правильним налагодженням напрямників пилок.

Питання підготовлення вузьких стрічкових пилок до роботи детально розглянуто в роботі [15]. Для підвищення жорсткості зубців пилок рекомендується здійснювати розведення з відгинанням зубців перпендикулярно до бісектриси кута загострення.

Українські виробники деревообробного обладнання НВО "ГК МАГР" (м. Чернігів) і фірма "Астра" (м. Кіровоград) для підвищення точності пиляння на горизонтальних стрічкопилкових верстатах застосовують автоматичну систему електронної стабілізації сили різання [17, 18]. Система в процесі пиляння регулює швидкість подачі залежно від навантаження на пилку, зменшуючи її під час збільшення висоти пропилу або твердості деревини. Однак навантаження на пилку визначає дотична складова сили різання, а нормальна та бокова складові, які й зумовлюють втрату стійкості пилки, системою взагалі не контролюються. Через це існуючі системи електронної стабілізації си-

ли різання не забезпечують необхідної точності пиляння, коли значення нормальної складової сили різання близьке до критичного. Ефективнішою буде така автоматична система оптимізації режиму різання, яка б безпосередньо контролювала відхилення пилки під час розпилювання.

Виконаний аналітичний огляд засвідчив, що дослідження точності пиляння на горизонтальних вузькострічкових верстатах є експериментальними. Стійкість та жорсткість вузьких стрічкових пилок не досліджували. Недослідженими є також оптимальні параметри налагодження односторонніх напрямників для вузьких стрічкових пилок. Перспективним напрямком підвищення точності стрічкового пиляння є розроблення автоматичної системи динамічної оптимізації режиму різання з контролем відхилень пилки під час розпилювання.

Визначення мети та завдань досліджень. На основі аналітичного огляду результатів основних теоретичних та експериментальних досліджень щодо точності пиляння на стрічкопилкових верстатах сформульовано мету і задачі для подальших досліджень.

Мета дослідження – підвищення точності розпилювання колод на горизонтальних стрічкопилкових верстатах з вузькими пилками внаслідок зниження хвилястості пропилу.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі завдання:

1. Розробити методику визначення жорсткості вузької стрічкової пилки із врахуванням зубчастого вінця;
2. Дослідити вплив початкових деформацій згину робочої вітки стрічкової пилки на стійкість пилки та точність пиляння;
3. Визначити оптимальні параметри налагодження односторонніх контактних напрямників на горизонтальних вузькострічкових верстатах;
4. Розробити ефективну конструкцію напрямників, що забезпечить максимальну жорсткість і стійкість та мінімальні початкові деформації робочої вітки пилки.
5. Розробити автоматичну систему динамічної оптимізації режиму різання з контролем відхилень пилки під час пиляння.

Висновки

1. Основною проблемою стрічкового пиляння деревини, з погляду точності, продуктивності та економічності, є хвилястість пропилу. Ця проблема особливо актуальна для горизонтальних вузькострічкових верстатів.

2. Найефективнішим напрямком зниження хвилястості та підвищення точності пиляння на стрічкопилкових верстатах є підвищення стійкості пилок.

3. Перспективним напрямком підвищення точності стрічкового пиляння є застосування автоматичних систем динамічної оптимізації режиму різання.

4. На основі результатів аналізу поставлені задачі для подальших досліджень, розв'язання яких забезпечить підвищення точності пиляння вузькими стрічковими пилками внаслідок підвищення жорсткості та стійкості робочої вітки пилки і динамічної оптимізації режиму різання.

Література

1. Ребезнюк І.Т. Розвиток наукових основ розпилювання деревини на стрічкопилкових верстатах : дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.05.04 / Ребезнюк Ігор Тарасович. – Львів : НЛТУ України, 2008. – 375 с.

2. Феоктистов А.Е. Точность распиловки и производительность ленточнопильных станков / А.Е. Феоктистов // Деревообрабатывающая промышленность. – 1969. – № 4. – С. 12-13.
3. Thunell B. Dimensional Accuracy in Sawing // Swenska Traforskning Institutet. – 1975. – B. Serie, № 109. – 17 s.
4. Пилипчук М.І. Дослідження показників точності розпилювання колод на горизонтальному стрічкопилковому верстаті / М.І. Пилипчук, С.П. Степанчук // Науковий Вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2005. – Вип. 15.3. – С. 123-236.
5. Пилипчук М.І. Дослідження впливу домінуючих факторів на величину хвилястості пропилю в процесі пиляння колод на горизонтальних стрічкопилкових верстатах / М.І. Пилипчук, С.П. Степанчук, М.В. Лобода, І.В. Офік // Науковий Вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2007. – Вип. 17.4. – С. 134-140.
6. Пилипчук М.І. Визначення показників оцінки хвилястості пропилю на горизонтальних стрічкопилкових верстатах / М.І. Пилипчук, С.П. Степанчук // Науковий Вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2006. – Вип. 16.5. – С. 97-101.
7. Феоктистов А.Е. Исследования влияния некоторых факторов на устойчивость ленточных пил : дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.421 / Феоктистов Александр Ефимович. – Химки-Архангельск, 1959. – 220 с.
8. Прокофьев Г.Ф. Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1990. – 235 с.
9. Прокофьев Г.Ф. Некоторые вопросы точности рамного пиления / Г.Ф. Прокофьев // Научные труды ЦНИИМОД: Совершенствование технологии и оборудования лесопильного производства. – Архангельск : Изд-во ЦНИИМОД. – 1981. – С. 69-75.
10. Прокофьев Г.Ф. Исследование начальной жесткости полосовых пил / Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин, Н.И. Дундин // Лесной журнал : изв. высш. учебн. заведений. – 2001. – № 3. – С. 88-95.
11. Банников А.А. Повышение точности пиления древесины на делительных ленточнопильных станках : дисс. ... канд. техн. наук: спец. 05.21.05 / Банников Анатолий Анатольевич. – Архангельск, 2007. – 177 с.
12. Лобанова И.С. Совершенствование методов повышения жесткости и устойчивости рамных и ленточных пил : дисс. ... канд. техн. наук: спец. 05.21.05 / Лобанова Ирина Станиславовна. – Архангельск, 2004. – 145 с.
13. Иванкин И.И. К вопросу о начальном изгибе ленточной пилы в зоне резания / И.И. Иванкин // Лесной журнал : изв. высш. учебн. заведений. – 2003. – № 5.
14. Шостак В.В. Сили різання під час розпилювання сосни на горизонтальних стрічкопилкових верстатах / В.В. Шостак, В.В. Пуна // Науковий Вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2007. – Вип. 17.3. – С. 113-118.
15. Ребезнюк І.Т. Підготовка вузьких колодопиляльних стрічкових пилок до роботи : монографія. – Львів : Кольорове небо, 2005. – 260 с.
16. Ленточные пилы Wood-Mizer: Что делать, если идет волна? // Wood-Mizer Russia. [Електронний ресурс]. – Доступний з http://www.woodmizer.ru/wd/pila_volna.php
17. Розумному виробнику – розумну пилораму // Деревообробник. – 2006. – № 9. – С. 15.
18. Ленточная пилорама модели ПЛП-АСТРА-ЕС. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://www.astrawood.net/lentochnie-pilorami/lentochnaya-pilorama-plp-astra-es/>

Степанчук С.П. Аналитический обзор исследований точности пиления на ленточнопильных станках

Выполнен аналитический обзор результатов известных исследований точности пиления на бревнопиловых ленточнопильных станках. На основе результатов аналитического обзора сформулированы цель и задачи последующих исследований. На основе результатов анализа поставленной задачи определены пути последующих исследований, решение которых обеспечит повышение точности пиления узкими ленточными пилами за счет повышения жесткости и стойкости рабочей ветки пилки и динамической оптимизации режима резания.

Ключевые слова: точность, ленточнопильный станок, пропил, волнистость.

Stepanchuk S.P. Analytical review of researches of sawing exactness is on band machine-tools

The analytical review of results of the known researches of sawing exactness is executed on band machine-tools for saws of logs. On the basis of results of analytical review a purpose and tasks of subsequent researches is formulated. On the basis of results of analysis tasks are put certainly ways of subsequent researches the decision of which will provide the increase of exactness of saw narrow band saws due to the increase of inflexibility and firmness of working branch of saw and dynamic optimization of the cutting mode.

Keywords: exactness, band machine-tool, saw, waviness.

УДК 535.343.2

Проф. З.П. Чорний, д-р фіз.-мат. наук;

доц. В.М. Салапак, канд. фіз.-мат. наук – НЛТУ України, м. Львів

РАДІАЦІЙНА ЧУТЛИВІСТЬ КРИСТАЛІВ ФЛЮОРИТІВ, ЛЕГОВАНИХ ЛУЖНИМИ МЕТАЛАМИ

В одномірній моделі розраховано параметри радіаційної чутливості кристалів флюоритів, легованих лужними металами. Визначено граничні концентрації центрів забарвлення залежно від концентрації домішки лужного металу в кристалі флюориту. Здійснено аналіз результатів дослідження та їхнє зіставлення з експериментом

Ключові слова: кристали, центри забарвлення, радіація.

Вступ. Загальновідомо, що чисті кристали флюоритів MeF_2 ($\text{Me} = \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$) стійкі до дії рентгенівських променів: за температури $T > 80 \text{ K}$ радіація не генерує в кристалах стабільних центрів забарвлення. Радіаційну чутливість кристалів флюоритів можна збільшити на кілька порядків за величиною, якщо кристали легувати домішками лужних металів Me^+ ($\text{Me}^+ = \text{Li}^+, \text{Na}^+, \text{Rb}^+, \text{Cs}^+$). Механізм утворення центрів забарвлення в кристалах $\text{MeF}_2\text{-Me}^+$ та їхню структуру в літературі інтенсивно досліджували в останні п'ять десятиліть. Однак за відсутності відповідної теорії експериментальні дані не систематизовано. У попередніх наших роботах [1-6] показано, що системний підхід до розуміння радіаційних процесів у кристалах флюоритів можна здійснити в межах моделі іонного ланцюга з вкрапленими точковими дефектами. Ця модель дає змогу, враховуючи зарядовий стан дорадіаційних точкових дефектів, оцінити радіаційну чутливість іонних кристалів: розрахувати енергію, що витрачається на створення комплементарної пари центрів забарвлення, їхні граничні концентрації, енергетичний вихід активаторної та власної люмінесценції, теплові втрати енергії. Такі розрахунки виконано на кристалах флюоритів, коли кристали опромінюються при низьких температурах [1-6], тобто коли домішково-вакансійні диполі (ДВД) заморожені в ґратці кристала. У цьому дослідженні температурний діапазон, в якому опромінюються кристали, розширений. Розглянуто радіаційні процеси за наявності в кристалах мобільних дірок і аніонних вакансій.

1. Кристали флюоритів, опромінених при $T < 90 \text{ K}$. При низьких температурах іони лужного металу входять в ґратку кристала у вигляді ДВД типу MeV_a' , де Me – негативно заряджений відносно ґратки іон лужного металу, а V_a' – позитивно заряджена аніонна вакансія. Як показано в попередніх наших ро-