

П. В. Рудак, инженер; А. П. Фридрих, канд. техн. наук, доцент

## ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ КОНЦЕВОГО ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРАБОТКЕ ПЛИТНЫХ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

At this article operational opportunities of increase of resistance of the trailer milling tool are studied at processing of plane wood materials. The purpose of the given work is search operational ways of increase of resistance of cutting elements of the trailer milling tool allowing simultaneously to reduce losses of energy at cutting, to increase quality of the processed surface in summary, to increase reliability and efficiency of use woodworking the centers as a whole.

These problems are solved in a direction of prevention of non-uniformity of deterioration of cutters, reduction of negative influence of a shaving and a dust arising during cutting on stability {resistance} of the tool, on a resource of units of the machine tool and an operating condition. Opportunities of realization of oblique-angled cutting to combined teams trailer milling processing are investigated.

**Введение.** На сегодняшний день во многих сферах производства (мебельная промышленность, вагоностроение, строительство) широкое применение находит такой древесный плитный материал, как древесностружечная плита (ДСтП).

В целях повышения эксплуатационно-декоративных качеств древесностружечные плиты подвергают отделке по пластям, а детали из ДСтП при необходимости отделяют и по боковым поверхностям (кромкам). Распространение получила отделка ДСтП синтетическими материалами на основе пропитанной смолами бумаги (фоновой или текстурной).

Облицовочный слой с содержанием твердой полимеризованной смолы 58–59% [1] и смола, содержащаяся в структуре плиты в качестве связующего (8–13%) [2], являются одним из факторов повышенного (по сравнению с обработкой массивной древесины) износа режущих элементов инструмента.

Перед отделкой ДСтП подвергают калиброванию. Чаще всего прибегают к производительному процессу шлифования широкими лентами замкнутого контура (на широколенточных калибровально-шлифовальных станках). В процессе шлифования от основ лент отрываются абразивные зерна, остающиеся и на пластях плит.

При использовании в производстве ДСтП низкокачественного древесного сырья возрастает вероятность попадания в массу для изготовления плит абразивных частиц песка ( $\text{Si}_2\text{O}$ ) и глинозема ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). В продукции даже самых известных производителей ДСтП могут быть визуальными обнаружены фрагменты древесной коры, что не рассматривается как нарушение технологии [2].

Анализ зернового состава золы от сгорания ДСтП показывает присутствие значительного количества абразивных частиц [1], [3].

Кроме того, плотность ДСтП неравномерна по толщине и может иметь разброс 600–1500 кг/м<sup>3</sup> (еще больше при использовании для формирования наружных слоев плиты более мелкой фракции древесной стружки).

Высокопроизводительный раскрой ДСтП по разнообразным (в том числе и криволинейным) траекториям движения инструмента на сегодняшний день осуществляют на обрабатывающих центрах с ЧПУ концевым фрезерным инструментом.

Таким образом, при обработке ДСтП резанием возникают следующие основные трудности по сравнению с резанием массива древесины:

- 1) повышенные силы резания;
- 2) повышение температуры в зоне резания;
- 3) более неравномерный по длине лезвия износ режущих элементов инструмента;
- 4) возможность появления сколов хрупкой отделки.

Отсюда понятно, что обеспечение необходимой стойкости режущих элементов при обработке ДСтП является сложной задачей и ее решение следует искать в разнообразных направлениях.

По месту и периодичности применения все методы повышения стойкости режущего инструмента классифицируют на конструктивные (повышение режущих свойств инструментальных материалов, совершенствование конструкций инструментов), технологические (локальное упрочнение лезвия местной обработкой, нанесением износостойких покрытий) и эксплуатационные (оптимизация режимов и схем резания) [3].

**1. Цель работы.** Целью данной работы является поиск эксплуатационных способов повышения стойкости режущих элементов концевым фрезерным инструментом, позволяющих одновременно сократить энергопотери при резании, повысить качество обработанной поверхности, в результате повысить надежность и эффективность использования деревообрабатывающих центров в целом.

Эти задачи решаются путем предотвращения неравномерности износа резцов, сокращения негативного влияния стружки и пыли на ресурс узлов станка и условия работы ([4], [5], [6]). Исследуются возможности реализации косого резания при обработке заготовки сборным концевым фрезерным инструментом.

В качестве способов решения вышеуказанных задач выделены: особая ориентация режущего элемента относительно обрабатываемой заготовки (косоугольное резание [7], [8], [9], [10], [11], [12]); наложение на обычную кинематическую схему резания концевым фрезерным инструментом дополнительного движения ([13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21]).

**2. Неравномерный износ реза при фрезеровании ДСтП.** Древесностружечные плиты имеют неравномерную плотность по толщине. При этом высокие абразивные свойства ДСтП и высокая насыщенность полимеризованной смолой области вблизи отделки плит приводит к выраженному неравномерному износу режущих элементов, появлению областей *I* интенсивного износа (рис. 1).

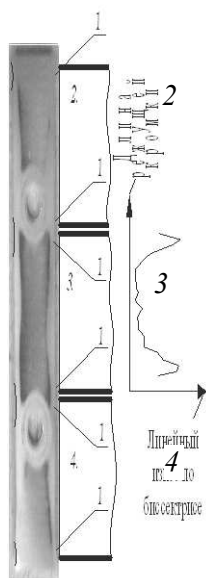


Рис. 1. Неравномерный износ реза концевой фрезы при обработке ДСтП

На рис. 1 изображен также типичный график изменения линейного износа по биссектрисе вдоль режущей кромки (черными контурами на резае показана типичная локализация областей затупления).

На производстве после затупления реза, при котором в процессе обработки возникают краевые сколы, концевую фрезу обычно поднимают или опускают на величину, чуть больше толщины плиты, чтобы ввести в эксплуатацию острый участок лезвия *3*, затем *4* (рис. 1) (таких участков, как правило, 2–3).

После того как добавление острого участка становится невозможным, двусторонний резец переворачивают и работают лезвием на его противоположной стороне.

Ресурс твердосплавного реза вырабатывается не полностью – между областями наибольшего износа остаются притупленные, но не потерявшие стойкость участки лезвия.

В случае выполнения резания на обрабатываемом центре с ЧПУ более полное использование реза может быть осуществлено при периодических малых дискретных перемещениях инструмента от его верхнего или нижнего края соответственно вниз или вверх в пределах толщины плиты через определенные интервалы времени по программе (рис. 2).

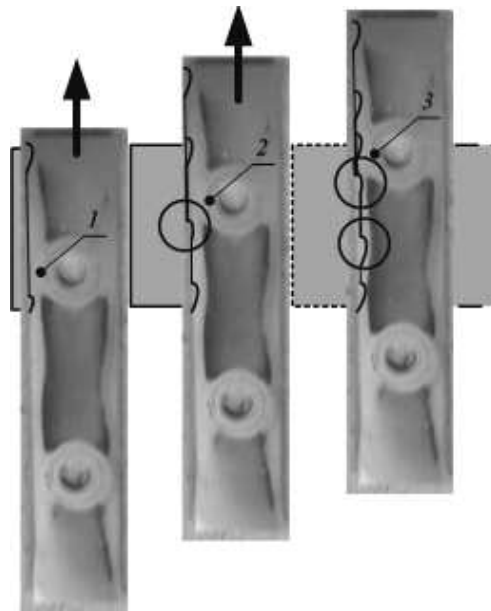


Рис. 2. Периодические малые дискретные перемещения инструмента

Однако при этом введение в процесс резания выработанных областей реза (на рис. 2 обозначены кружками) может сопровождаться появлением дефектов на обработанной поверхности.

Наиболее полное использование реза возможно при постоянном протягивании вращающейся концевой фрезы вверх-вниз вдоль касательной к лезвию с амплитудой в пределах толщины обрабатываемой ДСтП (предложено кафедрой ДОСиИ БГТУ).

**3. Роль стружки и пыли в затуплении резов концевых фрез.** Важным фактором, увеличивающим интенсивность износа резов при обработке ДСтП резанием, является наличие высоких абразивных свойств не только непосредственно у плитного материала, но и у частиц (стружек), отделяемых от его поверхности режущими элементами инструмента. Отделенные резцом от плиты частицы попадают в стружечную впадину концевой фрезы, на поверхности которой после обработки можно различить область взаимодействия со стружкой.

На рис. 3 показан фрагмент передней поверхности твердосплавного режущего элемента концевой фрезы с четкими следами абразивного износа от взаимодействия со сходящимися по ней стружками.



Рис. 3. Износ передней поверхности резца концевой фрезы при обработке ДСтП

Согласно данным производственного опыта промышленных деревообрабатывающих предприятий (ЗАО «Пинскдрев», СООО «Мебелинк», ООО «Дим Компания») при эксплуатации деревообрабатывающего оборудования (в том числе обрабатывающих центров с ЧПУ) в условиях отсутствия вытяжки инструмент теряет стойкость более интенсивно, затупление происходит при обработке меньшего количества заготовок. Это особенно выражено при резании древесных материалов.

В данной работе были изучены особенности удаления стружки и пыли в процессе раскроя и обработки боковой поверхности ДСтП при работе на деревообрабатывающем центре с ЧПУ. Обработывалась ДСтП толщиной 25 мм с двусторонней отделкой пластей. Обработка осуществлялась сборной однорезцовой концевой фрезой с диаметром резания 21 мм. Подача на резец оставалась постоянной  $U_z = 0,3$  мм, изменялась только частота вращения инструмента.

Определялся процент удаления стружки вытяжкой – на основании отношения массы древесных отходов, не удаленных вытяжкой, к массе обработанного материала (рис. 4).

Рис. 4. Зависимость процента удаления стружки вытяжкой от частоты вращения концевой фрезы при обработке боковой поверхности и раскросе ДСтП

Из рис. 4 видно, что с ростом частоты вращения концевой фрезы эффективность удаления стружки сокращается.

При высоких частотах вращения более эффективно удаляется стружка при обработке боковых поверхностей по сравнению с раскросом плиты.

Это можно объяснить следующим образом.

Вытяжкой более эффективно улавливаются рассеянные отходы обработки, обладающие малой кинетической энергией и быстро теряющие скорость своего движения в результате трения о воздух и взаимодействия с другими частицами.

При раскросе ДСтП стружка и пыль формируются полученным пазом в некоторый мало рассеивающийся луч (сноп стружки), а при обработке боковой поверхности угол рассеивания отходов от резания гораздо выше, поэтому их удаление происходит более полно (рис. 5, а, б).

Таким образом, приходим к выводу о необходимости эффективного удаления стружки из зоны резания. Для этого на кафедре ДОСиИ БГТУ предложено располагать режущий элемент повернутым в сторону стружкоприемника – это позволяет в том числе повышать эффективность вытяжки, используя для удаления отходов их кинетическую энергию.

**4. Косоугольное резание ДСтП концевыми фрезами.** В связи с высокими абразивными свойствами ДСтП в качестве материала резцов инструмента в основном применяют износостойкие вольфрамкобальтовые твердые сплавы (НВ) и поликристаллические алмазы (DP). Указанные инструментальные материалы обладают низкой вязкостью (являются хрупкими), поэтому для обеспечения прочности углы заточки для твердосплавного или алмазного резца следует назначать большим по величине, чем у резца из быстрорежущей или инструментальной стали.

Поскольку при обработке ДСтП резцы теряют стойкость достаточно интенсивно, целесообразным является использование сборного концевой фрезерного инструмента с механическим креплением перетачиваемых резцов.

Однако изготовить сборную концевую фрезу с механическим креплением скошенного резца проблематично в связи с малым диаметром данного типа инструмента.

На кафедре ДОСиИ БГТУ разработаны технологические способы, позволяющие вести обработку наиболее распространенной прямозубой сборной концевой фрезой при использовании достоинств косоугольного резания.

При эксплуатации концевой фрезерного инструмента в качестве оснастки пятикоординатных деревообрабатывающих центров с ЧПУ угол скоса может быть достигнут поворотом непосредственно оси инструмента (рис. 6).

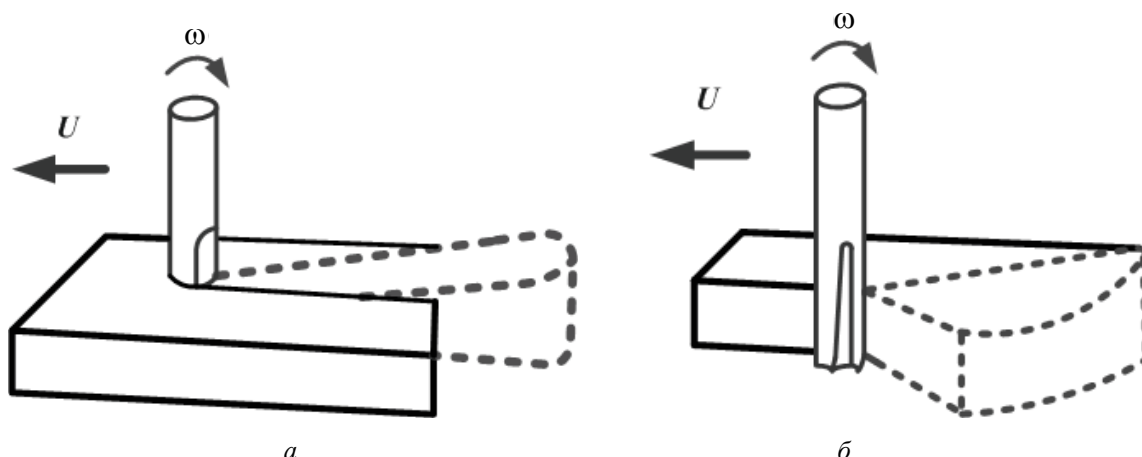


Рис. 5. Зависимость степени рассеяния отходов от резания при раскрое (а) и обработке боковой поверхности (б) ДСтП

При этом в обработке материала занят участок лезвия большей протяженностью. Появляется возможность осуществлять адаптивное резание [18], а именно – изменять угол наклона концевой фрезы в зависимости от режимов резания и типа материала заготовки.

Изменяя угол наклона концевой фрезы, можно целенаправленно изменять направление снопа стружки и пыли, возникающих в процессе резания (рис. 6), тем самым используя его собственную кинетическую энергию для повышения эффективности вытяжки, сокращения мощности привода вентилятора. Отходы обработки могут быть направлены под углом к оси инструмента в сторону вытяжного колпака, то есть вверх в случае такой ориентации фрезы, при которой нижняя часть лезвия вынесена вперед по направлению подачи инструмента (рис. 6, в). Соответственно может быть реализован и отвод стружки под углом к оси инструмента вниз, в сторону транспортера для отходов или бункера для отходов обрабатывающего центра (рис. 6, б, з), в зависимости от конструктивных особенностей системы удаления отходов станка.

Анализ конструкций систем удаления отходов обработки современных деревообрабатывающих центров с ЧПУ показывает, что именно направления отвода стружки вверх или вниз являются предпочтительными.

Помимо экономии электроэнергии и повышения стойкости резцов, благодаря повышению эффективности удаления стружки и пыли, улучшаются условия работы людей на обрабатываемом центре, сокращаются вредные воздействия на персонал и детали оборудования, сокращаются производственные потери времени на уборку и чистку.

Однако при обработке по криволинейной траектории для получения перпендикулярной пластям боковой поверхности необходимо изменять плоскость, в которой реализован наклон инструмента. Это повышает трудоемкость об-

работки (например, трудоемкость создания программ для обрабатывающего центра с ЧПУ для каждого сложного (например, содержащего большое количество дуг) описываемого контура обработки).

Для сокращения энергопотребления при резании, повышения стойкости инструмента, более полного использования режущих элементов, увеличения эффективности удаления отходов обработки из зоны резания на кафедре ДОСиИ БГТУ предложено процесс обработки плитных древесных материалов концевыми фрезами вести при наложении на кинематическую схему резания дополнительного колебательного движения вдоль касательной к вращающемуся лезвию.

**5. Осциллирующее резание ДСтП концевыми фрезами.** При сообщении лезвию концевой фрезы дополнительного колебательного движения малой амплитуды (доли миллиметра – несколько сантиметров), при достаточно большой величине числа двойных ходов лезвия в минуту (несколько сот или тысяч ходов в минуту), подобное резание можно отнести к резанию с поперечными вибрациями (вибрационное резание). В случае больших амплитуд и меньших частот говорят о резании с осциллирующим движением лезвия (осциллирующем резании) [22].

Рассмотрим режущий элемент, вращающийся с окружной скоростью  $V_0$  концевой фрезы, который совершает одновременно еще два независимых движения – равномерное движение подачи со скоростью  $U$  и движение вдоль режущей кромки со скоростью  $V_{пр}$  – скоростью протягивания режущей кромки. На рис. 7, а, показан резец в момент его движения вверх  $x$ , а на рис. 7, б – в момент движения вниз.

Векторная сумма окружной скорости и скорости подачи определяет скорость резания  $V_{р60}$  при классической обработке без протягивания режущей кромки. При этом происходит трансформация угловых характеристик резца на величину динамического угла  $\mu$ .

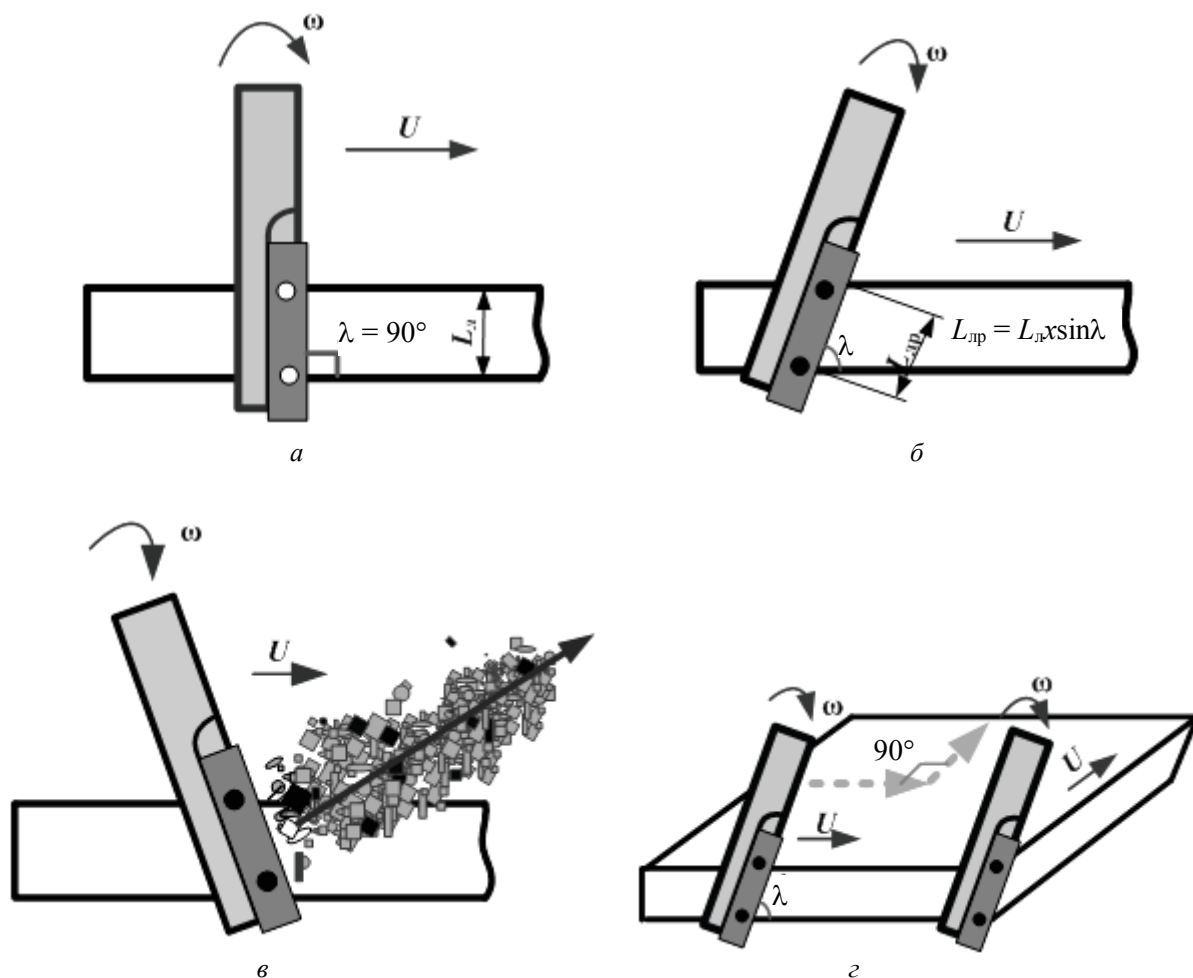


Рис. 6. Резание концевой фрезой без наклона (а), с наклоном и выносом верхней части резца в направлении подачи (б), с наклоном и выносом нижней части резца в направлении подачи (в), сложность использования наклона инструмента при повороте (г)

Вектор скорости резания без осцилляции лежит в горизонтальной плоскости, при этом кинетическая энергия отходов, возникающих в процессе обработки, не используется для их эффективного удаления вытяжкой.

Дополнительное движение со скоростью протягивания  $V_{пр}$  может изменить направление схода стружки, улучшить степень ее удаления вентилятором. Это обусловлено появлением в процессе работы кинематического угла наклона режущей кромки  $\lambda = \lambda_k$ . Из рис. 8 видно, что

(1)

Это равносильно приданию аналогичного угла наклона режущей кромке резца, работающего по классической схеме резания (без осцилляции).

Согласно рис. 7, для горизонтальной плоскости по теореме синусов

$$\frac{U}{\sin \mu} = \frac{V_{ок}}{\sin(\varphi - \mu)} = \frac{V_{рбо}}{\sin \varphi}. \quad (2)$$

$$V_{рбо} = \frac{U \cdot \sin \varphi}{\sin \mu}. \quad (3)$$

$$\text{Отсюда } \mu = \arctg \left( \frac{U \cdot \sin \varphi}{V_{ок} + U \cdot \cos \varphi} \right). \quad (4)$$

На обрабатывающих центрах с ЧПУ можно задать изменение вектора  $V_{пр}$  по гармоническому закону:

$$V_{пр} = A \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t), \quad (5)$$

где  $A$  – амплитуда колебательного движения;  $\omega$  – циклическая частота колебаний инструмента.

Уравнения (1), (3), (4) и (5) позволяют рассчитать необходимые режимные параметры резания с осцилляцией (величины амплитуды колебаний  $A$  и циклической частоты или числа двойных ходов в минуту инструмента).

На рис. 8 показаны последовательные положения лезвия осциллирующего резца.

За начало отсчета времени принято положение III лезвия.

Резание с осцилляцией обладает достоинствами косоугольного резания, кроме этого, позволяет вести адаптивное резание.

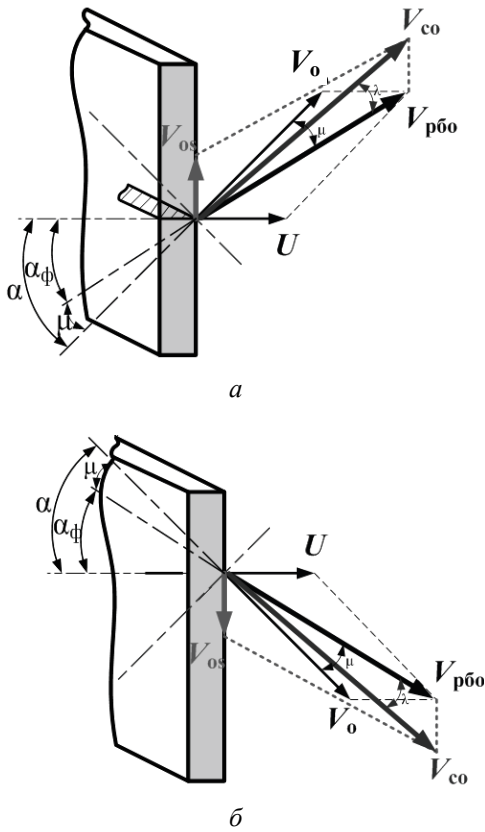


Рис. 7. Осциллирующий резец при движении вверх (а) и вниз (б)

Резание с осцилляцией инструмента имеет ряд достоинств. При таком резании со стороны лезвия на обрабатываемый материал воздействует знакопеременная нагрузка и в материале

появляется знакопеременное поле напряжений, которое локализуется в некоторой массе материала, обладающей собственной частотой упругих колебаний. Возможен подбор амплитуды и частоты вибраций, накладываемых на лезвие и вызывающих резонанс, благодаря которому снижается энергоёмкость процесса резания.

Процесс обработки с протягиванием инструмента вдоль лезвия характеризуется также существенными изменениями условий трения в зоне образования стружки. Известно, что силы трения скольжения уменьшаются в первоначальном направлении движения, если к этому телу приложено дополнительное движение, перпендикулярное к первому.

Важное значение имеет и равномерный износ режущих элементов.

**Закключение.** Проанализировав эксплуатационные возможности повышения стойкости концевой фрезерного инструмента при обработке плитных древесных материалов, можем сделать выводы.

1. Большое значение в повышении стойкости резцов концевой фрезерного инструмента имеет удаление стружки и пыли непосредственно из зоны резания при использовании собственной кинетической энергии этих отходов.

Особенности процесса раскрытия плитных древесных материалов концевым фрезерным инструментом вызывают необходимость повышения эффективности и совершенствования способа удаления стружки и пыли.

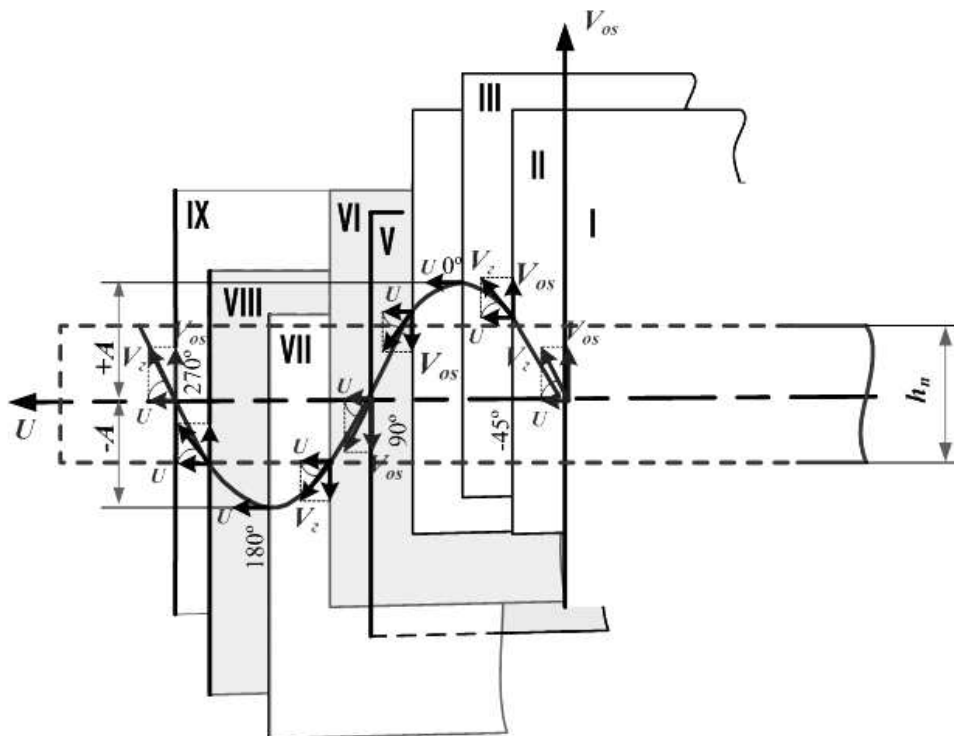


Рис. 8. Траектория перемещения осциллирующего лезвия в вертикальной плоскости

2. Косоугольное резание концевым фрезерным инструментом может быть реализовано благодаря непосредственному повороту фрез, а также благодаря использованию комбинированных способов обработки.

3. С целью повышения стойкости концевого фрезерного инструмента, для сокращения энергозатрат на резание, повышения качества обработанной поверхности следует применять комбинированные схемы обработки (протягивание инструмента вдоль режущей кромки).

### Литература

1. Сленьгис, М.-Э. А. Механическая обработка ламинированных ДСтП / М.-Э. А. Сленьгис. – Рига: Лат. НИИНТИ, 1982. – 40 с.

2. Справочник по производству древесностружечных плит / И. А. Отлев [и др.]; под общ. ред. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 384 с.

3. Зотов, Г. А. Повышение стойкости дерево-режущего инструмента / Г. А. Зотов, Е. А. Памфилов. – М.: Экология, 1991. – 304 с.

4. Святков, С. Н. Удаление стружки и пыли при работе на деревообрабатывающих станках / С. Н. Святков. – М.; Л.: Машиностроение, 1964. – 124 с.

5. Власов, А. Ф. Удаление пыли и стружки от режущего инструмента / А. Ф. Власов. – М.: Машиностроение, 1982. – 241 с.

6. Westkämper, E. Konstruktive Maßnahmen zur Reduzierung der Staubemission an spanenden Holzbearbeitungsmaschinen / E. Westkämper, L. Bertling, J. Freytag, M. Fuß, F. Prekwinkel. – Essen, 1991.

7. Векшин, А. М. Исследование процесса цилиндрического фрезерования древесины тонкими винтовыми ножами: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 421 / А. М. Векшин; Московский лесотехн. ин-т. – М., 1970. – 31 с.

8. Лискив, В. Д. Исследование зависимостей силовых и качественных показателей процесса цилиндрического фрезерования древесины от положения лезвия относительно направления резания: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.06.02 / В. Д. Лискив; Львовский лесотехн. ин-т. – Львов, 1973. – 24 с.

9. Волков, Е. Н. Исследование процесса резания древесины инструментом с наклоном режущей кромки: автореф. дис. ... канд. техн.

наук: 05.21.05 / Е. Н. Волков; Московский лесотехн. ин-т. – М., 1980. – 24 с.

10. Клубков, А. П. Особенности фрезерования ламинированных ДСтП наклонными ножами / А. П. Клубков, Б. В. Войтеховский, С. А. Гриневич // Труды II Междунар. Евразийского симпозиума. – Екатеринбург, 2007. – С. 182–185.

11. Бобров, В. Ф. Влияние угла наклона режущей кромки на процесс резания / В. Ф. Бобров. – М.: Машгиз, 1962.

12. Зорев, Н. Н. Вопросы механики процесса резания металлов / Н. Н. Зорев. – М.: Машгиз, 1956.

13. Бакиев, Р. Ш. Контактные напряжения на резце и влияние вибраций на процесс резания древесины: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.06.02 / Р. Ш. Бакиев; Московский лесотехн. ин-т. – М., 1972. – 22 с.

14. Подураев, В. Н. Резание труднообрабатываемых материалов / В. Н. Подураев. – М.: Машиностроение, 1974.

15. Подураев, В. Н. Технология физико-химических методов обработки / В. Н. Подураев. – М.: Машиностроение, 1985.

16. Подураев, В. Н. Обработка резанием с вибрациями / В. Н. Подураев. – М.: Машиностроение, 1970.

17. Ермаков, Ю. М. Комплексные способы эффективной обработки резанием / Ю. М. Ермаков. – М.: Машиностроение, 2005. – 271 с.

18. Кумабэ, Д. Вибрационное резание / Д. Кумабэ; пер. с яп. С. Л. Масленникова; под ред. И. И. Портнова и В. В. Белова. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.

19. Ящерицын, П. И. Теория резания: учеб. / П. И. Ящерицын, Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – Минск: Новое знание, 2005. – 512 с.

20. Адиков, С. Г. Особенности процесса стружкообразования при ультразвуковом резании древесины / С. Г. Адиков // Труды II Междунар. Евразийского симпозиума. – Екатеринбург, 2007. – С. 166–169.

21. Бершадский, А. Л. Резание древесины / А. Л. Бершадский, Н. И. Цветкова. – Минск: Выш. шк., 1975. – 304 с.

22. Любченко, В. И. Резание древесины и древесных материалов: учеб. для вузов / В. И. Любченко. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во Московского гос. ун-та леса, 2002. – 310 с.