

В. В. Раповец, инженер; Н. В. Бурносов, канд. техн. наук; И. И. Бавбель, инженер

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ДВУХЛЕЗВИЙНЫМИ РЕЗЦАМИ НА ФРЕЗЕРНО-БРУСЮЩИХ СТАНКАХ

In this article power parameters of process of cutting of natural wood of double-blade cutters on chiper-canter machine tools are described. The used various cutting tool not always meets the requirements of the consumer from the point of view of reception qualitative production and technological chips, and also economy of electric energy. Such requirements compel manufacturers of woodworking equipment and the tool to create or modernize existing models. The considered circuit of distribution of forces of cutting on compound double-blade cutter, the circuit of shaping surface a bar and technological chips, the allocated basic constants influencing process and variable factors, and also spent laboratory and industrial experiments on the available equipment allow to investigate with high accuracy power{force} processes of cutting on chiper-canter machine tools, receiving necessary quality of a surface production and technological chips.

**Введение.** Режущий инструмент фрезерно-брюсующих станков различных зарубежных и отечественных производителей, например фирм SAB, Mohringer, EWD (Германия), Storti, A.Costa righi (Италия), Soderhamn (Швеция), конструкция фрезы БГТУ и других, весьма разнообразен (рис. 1). Большинство из этих производителей, в том числе и отечественных, используют торцово-конические фрезы со спиральным расположением цельных двухлезвийных резцов. Говоря об энергетических затратах процесса резания на фрезерно-брюсующих станках (ФБС), в первую очередь подразумевают силовое взаимодействие резца (инструмента) с обрабатываемым материалом – древесиной.

**Основная часть.** Рассмотрим силовое взаимодействие составного двухлезвийного резца с древесиной при формировании элементов технологической щепы (рис. 2).

В процессе внедрения резца в древесину происходит постепенный рост напряжений. Напряженное состояние срезаемого резцом слоя древесины характеризуется напряжениями в зоне контакта передней грани резца с древесиной, а также касательными и нормальными напряжениями в плоскости  $Ob$ , параллельной волокнам. Напряжения, возникающие в плоскости, совпадающей с линией  $Ob$ , сле-

дует рассматривать в связи с тем, что предел прочности древесины при внедрении резца будет достигнут именно в этой плоскости, так как связь между волокнами древесины, перпендикулярными этой плоскости, наиболее слабая. В зоне контакта древесины с передней гранью резца на участке  $Oa$  напряженное состояние характеризуется средними напряжениями смятия.

По мере внедрения резцов в древесину какое-либо из напряжений достигает своего предела, в результате чего происходит разрушение древесины в сечении, где этот предел наступил.

В данном случае наиболее опасным сечением является плоскость, параллельная волокнам древесины. В результате разрушения древесины в этой плоскости происходит отделение элемента щепы. Таким образом, результатом взаимодействия режущего резца с древесиной является образование элементов щепы.

При внедрении резца в древесину вновь об разуемая поверхность ее скальвания (поверхность пласти бруса) испытывает давление со стороны задней грани ножа, а подрезанная часть стружки – со стороны передней. Сила  $F_3$ , перпендикулярная к направлению резца, не участвует в формировании элементов щепы, а только создает силы трения задней грани ножа о древесину.

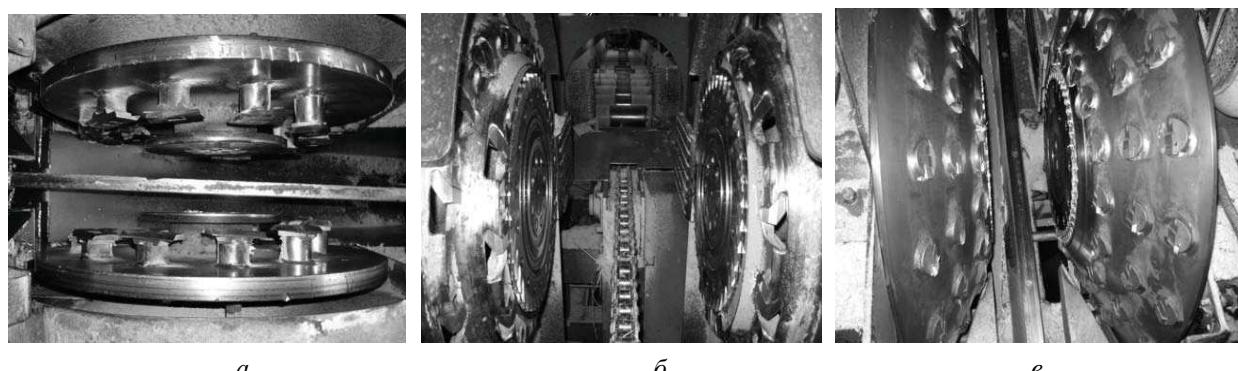


Рис. 1. Режущий инструмент ФБС:  
а – фреза конструкции БГТУ; б – фреза фирмы A. Costa righi; в – фреза фирмы SAB

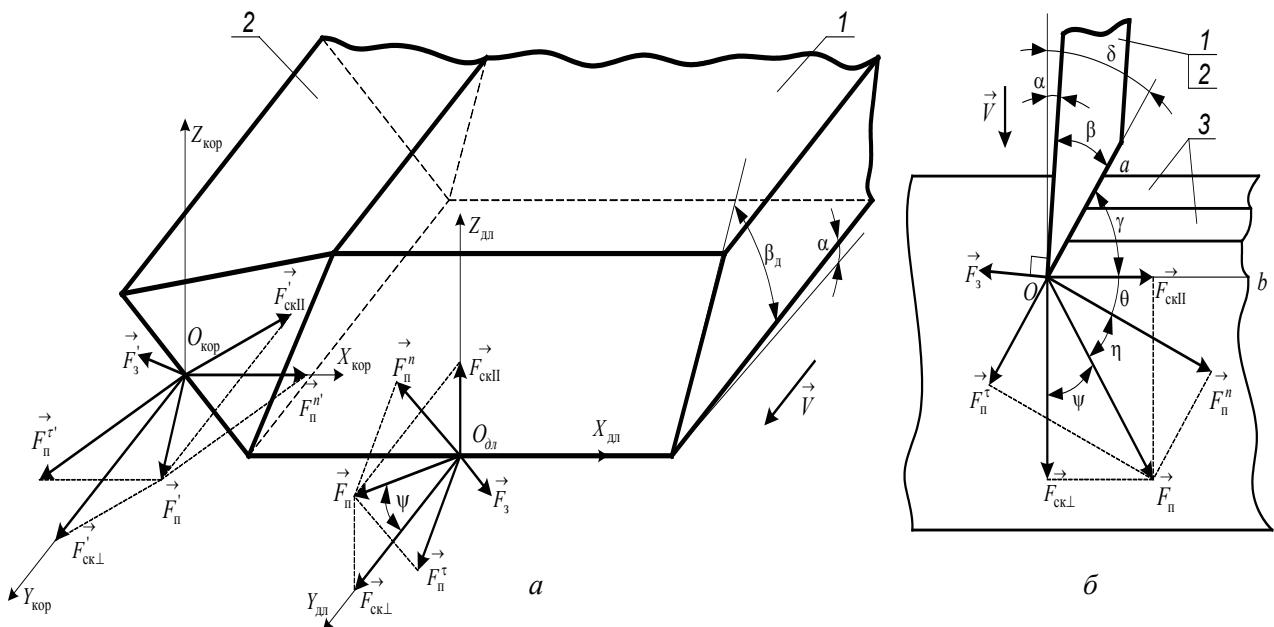


Рис. 2. Схема распределения сил резания на составном двухлезвийном резце при формировании технологической щепы:  
а – схема распределения сил резания на резцах; б – схема распределения сил резания на каждом из резцов, повернутых в плане; 1 – подчищающий длинный резец; 2 – подрезающий короткий резец;  
3 – элементы технологической щепы;  $V$  – вектор скорости резания

Суммарную силу  $F_n$  взаимодействия передней грани ножа с древесиной можно представить в виде двух составляющих  $F_n^n$  нормальной и  $F_n^t$  – касательной к передней грани резца. Кроме того, можно разложить силу  $F_n$  еще на две составляющие, одна из которых  $F_{ckII}$  действует в тангенциальном направлении волокон древесины, а вторая  $F_{ck\perp}$  перпендикулярна к ним (в радиальном направлении).

По мере внедрения ножа в древесину сила  $F_n$  возрастает до определенного значения, при котором ее составляющая  $F_{ckII}$  действует в тангенциальном направлении волокон древесины, достигает предела сопротивления древесины скальванию и вызывает скальвание (расщепление) ленточки технологической щепы на элементы по плоскости  $Ob$ . Таким образом, формируются элементы технологической щепы.

Анализ условий работы двухлезвийных резцов и процесса стружкообразования показывает, что в силу различного воздействия резцов на волокна древесины получаются и различные результаты этого воздействия по силовым, а следовательно, энергетическим показателям.

Для исследования процессов резания древесины на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов создана специальная установка. Составляющие сил резания, которые могут быть зарегистрированы при помощи силоизмерительной системы установки, представлены на рис. 3.

Из схемы рис. 3 суммарную силу резания  $F_\Sigma$ , а также ее направление можно определить по формулам (1) или (2):

$$\vec{F}_\Sigma = \vec{F}_x + \vec{F}_y + \vec{F}_z; \quad (1)$$

$$F_\Sigma = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}, \quad (2)$$

где  $F_x$  – составляющая силы резания вдоль оси  $X$ ,  $H$ ;  $F_y$  – составляющая силы резания вдоль оси  $Y$ ,  $H$ ;  $F_z$  – составляющая силы резания вдоль оси  $Z$ ,  $H$ .

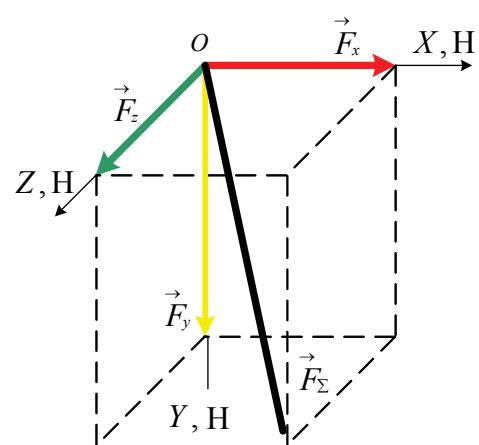


Рис. 3. Схема распределения составляющих сил резания

В силу своей направленности эти составляющие сил резания оказывают различное воздействие на экспериментальную систему. Составляющая  $F_x$  вдоль оси  $X$  совпадает с на-

правлением вектора скорости подачи и способствует подаче древесины в зону резания. Составляющая  $F_z$  перпендикулярна направлению  $F_x$ , вызывает возникновение силы трения, отжима по задней грани резца, а также упруго и пластически деформирует слой древесины обработанной поверхности. Обработанная поверхность, после упругого восстановления, кроме кинематических неровностей, приобретает дополнительную шероховатость в виде вырывов, трещин, вмятин и т. д., что неблагоприятно отражается на качестве пласти бруса. Но эту составляющую сил резания вдоль оси  $Z$  воспринимают и крепежные элементы (винты) двухлезвийного резца, снижая неблагоприятное ее воздействие на обработанную поверхность. Составляющая сил резания  $F_y$  вдоль оси  $Y$  определяет энергетические затраты процесса резания, т. к. имеет направление, совпадающее с направлением вектора скорости резания. На характер распределения, величину и направление каждой из составляющих сил резания в наибольшей степени влияют угловые и линейные параметры резцов, среди которых выделяются следующие: углы заточки  $\beta$ , задние углы  $\alpha$ , углы скоса  $\xi$  режущих кромок, а также их смещение относительно нейтральной линии. Изменяя эти параметры, можно определить их такое сочетание, при котором составляющая  $F_y$ , определяющая энергозатраты процесса резания, будет минимальна, составляющую  $F_z$  воспримут более прочные и жесткие крепежные эле-

менты резцов, а составляющая  $F_x$  будет способствовать подаче материала в зону резания.

Образование элементов технологической щепы и пласти бруса 4 происходит двумя режущими кромками составного двухлезвийного резца: длинной 1 и короткой 2, имеющих задний угол  $\alpha$  (рис. 4) и закрепленных на колонкерезцодержателе фрезерного диска 3. В процессе движения составного двухлезвийного резца по дуге контакта с древесиной происходит трансформация кинематического угла встречи  $\theta$  и изменение угла перерезания волокон  $\psi$ . Изменение этих параметров может как благоприятно (повышать качество получаемых технологической щепы и пласти бруса, снижать энергетические затраты, увеличивать стойкость режущего инструмента), так и негативно сказываться на процессе резания древесины.

Угол перерезания волокон  $\psi_{\text{вх}}$  на входе в древесину и на выходе  $\psi_{\text{вых}}$  из древесины определяется по формулам (3) и (4):

$$\psi_{\text{вх}} = \arcsin\left(\frac{a}{R_0}\right) + \xi; \quad (3)$$

$$\psi_{\text{вых}} = \arcsin\left(\frac{a+H}{R_0}\right) + \xi, \quad (4)$$

где  $a$  – расстояние от оси фрезерного диска до поверхности обрабатываемого материала;  $R_0$  – радиус резания до точки пересечения длинной и короткой режущих кромок;  $\xi$  – угол скоса режущей кромки;  $H$  – высота пласти бруса.

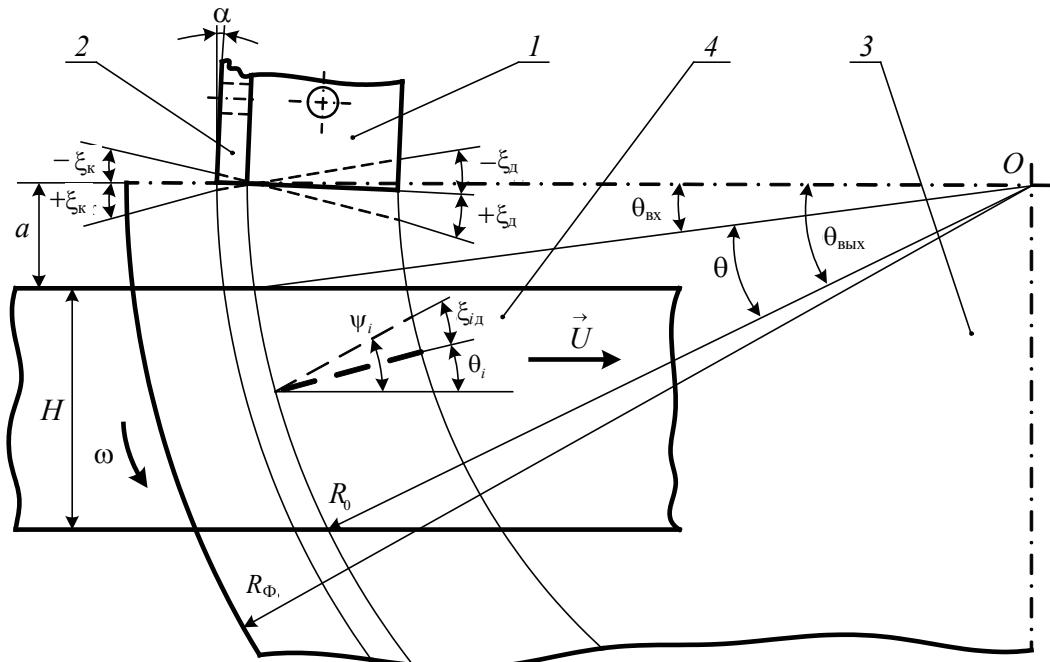


Рис. 4. Схема формообразования пласти бруса и элементов технологической составным двухлезвийным резцом:  
1 – длинный резец; 2 – короткий резец; 3 – фрезерный диск с закрепленным составным двухлезвийным резцом; 4 – обрабатываемый материал (древесина);  
 $\omega$  – угловая скорость фрезерного диска;  $U$  – скорость подачи древесины

Формирование качественной пласти бруса требует определенных режимов, а формирование технологической щепы, которое происходит послойно, – других режимов, отличающихся от первых. Рассмотрим некоторые требования, предъявляемые к технологической щепе.

В работах, посвященных процессу образования технологической щепы при резании торцово-коническими фрезами, рассматривается в основном разработка режимов, обеспечивающих качественные характеристики поверхности пласти бруса [1]. Теоретически щепа, вырабатываемая на станках, оснащенных спиральными торцово-коническими фрезами, должна характеризоваться стабильными размерами и не значительной поврежденностью, особенно внутренней. Однако опыт эксплуатации показывает, что нередко и фракционный состав и поврежденность такой щепы не отвечают требованиям ГОСТ 15815–83, предъявляемым как к щепе для целлюлозно-бумажного и гидролизного производства, так и для изготовления древесностружечных и древесноволокнистых плит.

Качество щепы от различных агрегатов различно. Наиболее высокие размерно-качественные характеристики имеет щепа, вырабатываемая во фрезерно-брюсующих агрегатах с многорезцовыми инструментом (расположенным по спирали на фрезе). Более подробно процесс формообразования технологической щепы и пласти бруса описан в статье [2].

Характер требований, предъявляемых к технологической щепе, зависит от вида производства, потребляющего щепу. Наиболее высокие требования к качеству и фракционному составу щепы предъявляет целлюлозно-бумажная промышленность (ЦБП). Щепа, удовлетворяющая требованиям целлюлозно-бумажной промышленности, пригодна для всех других производств.

На выход и качество конечной продукции из технологической щепы наибольшее влияние оказывают следующие показатели:

- размеры частиц;
- фракционный состав щепы;
- поврежденность щепы;
- наличие примесей;
- влажность щепы.

Размеры частиц. В соответствии с ГОСТ 15815–83 «Щепа технологическая», для целлюлозно-бумажного и гидролизного производства, изготовления ДСтП и ДВП длина частиц (по волокну) должна находиться в пределах от 5 до 60 мм, а толщина до 30 мм. Это вызвано тем, что поглощение варочного раствора происходит быстрее и легче по направлению сердцевинных лучей древесины, нежели в тангенциальном направлении годичных колец, поэтому для равномерной пропитки щепы во всех направлениях ее длина должна в несколько раз превышать толщину.

Оптимальная длина частиц щепы зависит от вида производства, потребляющего щепу: для ЦБП – 18–25 мм, ДВП – 25 мм, гидролизного – 20 мм.

Фракционный состав щепы. Наличие в варочном объеме щепы различных фракций снижает производительность варочных камер, ухудшает качественные показатели конечного продукта (мелкая фракция переваривается и снижаются физико-механические свойства, крупная – недоваривается, что также недопустимо).

Фракция стандартной щепы в зависимости от вида производства должна быть в пределах: для ЦБП – 81–94%, ДВП – 79%, гидролизного – не нормируется.

Влажность щепы. Относительная влажность щепы должна быть не менее 29% (40%абс.). Менее влажная щепа увеличивает время пропитки. Поэтому непосредственно перед загрузкой в варочные камеры щепу необходимо дополнительно увлажнять.

Поврежденность щепы. В ЦБП и производстве ДВП определенные требования предъявляются к качеству поверхности срезов щепы, которые должны быть ровными, без обмятых кромок и срезанными под углом 30–60°.

Количество щепы с ломанными и мятными срезами не должно превышать 30% общего ее объема, в противном случае это затрудняет равномерность пропитки объема щепы и влияет на экономические и качественные показатели продукции.

Между величиной продольного сжатия древесины и снижением прочности существует пропорциональная зависимость. Так, например, при сжатии канадской пихты вдоль волокон на 3,5% разрывная длина отливок целлюлозы уменьшается на 30%, фактор излома снижается на 18% по сравнению с целлюлозой, изготовленной из не деформированной древесины. Это объясняется тем, что при сжатии древесины вдоль волокон нарушается положение целлюлозных микрофибрилл в стенках древесных клеток. Нарушение стенок клеток вызывает повышенную восприимчивость к воздействию пара и кислот, что в конечном итоге приводит к ухудшению физико-механических характеристик продукта.

В конструкциях ФБС типа БРМ качество торцов среза щепы достаточно хорошее, угол среза обеспечивается конструкцией двухлезвийного резца и составляет 45°. Частичное смятие торцов щепы наблюдается при резании предельно затупленными резцами (рис. 5).

Здесь необходимо отметить, что условия резания в ФБС моделей БРМ обеспечивают отсутствие скрытой поврежденности щепы, т. к. практически отсутствует продольное сжатие волокон щепы.

Продольное сжатие волокон является следствием внедрения ножа в древесину в конст-

рукциях традиционных рубительных машин, связанных с разделением древесины по длине с помощью ножей при преобладании продольно-торцевого резания, а элементы щепы образуются путем скальвания древесины вдоль волокон. Устранить этот недостаток не представляется возможным.

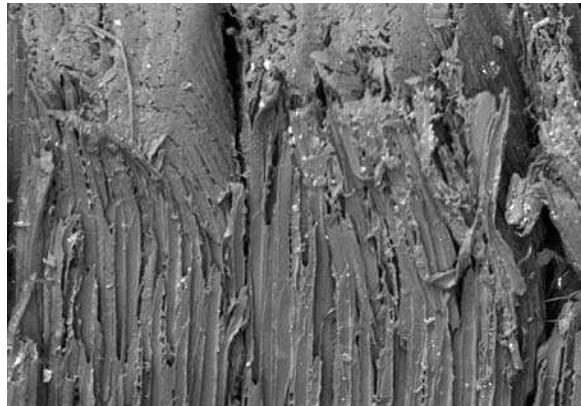


Рис. 5. Торец технологической щепы древесины сосны при 50-кратном увеличении

В ФБС моделей БРМ преобладает поперечное резание древесины с получением технологической щепы постоянной длины и толщины, определяемой конструкцией режущего инструмента. При таком способе резания отсутствует продольное сжатие волокон и скальвание частиц.

Кроме этого, из теории резания известно, что минимальные усилия имеют место при поперечном резании, переход от торцового резания к поперечному сопровождается снижением усилия резания в 3 раза, что уменьшает и энергозатраты на измельчение древесины.

Технологическая щепа, получаемая на ФБС, является попутным продуктом, измельчается периферийная, горбыльная часть бревен, наиболее вызревшая. Волокна в этой части наиболее длинные и качественные, поэтому и продукты, вырабатываемые из длинноволокнистой целлюлозы, имеют лучшие физико-механические показатели.

Анализ условий работы двухлезвийных резцов и процесса стружкообразования показывает, что в силу различного воздействия резцов на волокна древесины получаются и различные результаты этого воздействия как по силовым, так и по размерно-качественным показателям.

Например, наружный торец щепы будет ровнее и чище, чем внутренний, потому что резание их происходит не в одинаковых условиях. Внутренний торец будет расщеплен и отогнут к наружной пласти. На внутренней пласти щепы трещин будет больше. Элемент щепы шириной  $b$  образуется неопределенной ширины, в зависимости от структуры древесины, толщины щепы  $S_{\text{щ}}$  и угла резания  $\delta$  короткого резца. Особое значение имеет функция короткого резца. Если он имеет угол скоса  $\gamma_A < 90^\circ$ , то срез по наружному торцу будет чище, т. к. составляющая силы резания будет прижимать срезаемые волокна к массиву древесины. Если угол  $\gamma_A = 90^\circ$ , этого прижима не будет, и срез образуется неровным.

Качество поверхности вырабатываемого пиломатериала (брюса) определяется его назначением и характеризуется в основном высотой неровностей. Согласно ГОСТ 8486 «Пиломатериалы хвойных пород», высота неровностей для пиломатериалов 3-го сорта не должна превышать 1200 мкм.

**Заключение.** На основе известных конструкций фрез (ножей), предназначенных для агрегатной переработки тонкомерной древесины, установлено, что актуальной является задача усовершенствования спиральных многоножевых фрез, кинематические параметры которых и функциональная схема резания должны обеспечить высокий фракционный состав щепы и точность получаемой продукции.

Предлагаемая система распределения сил резания может являться основой для изучения влияния каждой из составляющей сил резания на качественные показатели процесса.

## Литература

1. Боровиков, Е. М. Лесопиление на агрегатном оборудовании / Е. М. Боровиков, Л. А. Фефилов, В. В. Шестаков. – М.: Лесная промышленность, 1985. – 216 с.
2. Раповец, В. В. Определение влияющих на силовые показатели основных параметров процесса резания на фрезерно-брюсующих станках / В. В. Раповец, Н. В. Бурносов // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды Евразийского симпозиума; под ред. И. И. Глебова. – Екатеринбург, 2006. – С. 211–217.