



## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 674.059

### ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПЕРИФЕРИЙНОГО СЕГМЕНТА

© *А.А. Фомин, канд. техн. наук, доц.*

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, д. 87, ул. Горького, г. Владимир, Россия, 600026  
E-mail: fomin1@mail.ru

В результате параболического распила бревна образуются крупные отходы лесопиления в виде периферийных сегментов, реек и др., которые состоят в основном из наиболее качественных волокон древесины. Поэтому крупные отходы лесопиления целесообразно использовать не для производства топливных гранул, а для изготовления изделий прямого назначения: элементов мебели, изделий для внутренней отделки помещений, строительства современных домов и пр.

Механическая обработка крупных отходов лесопиления и выпуск на их основе качественной древесной продукции позволит сократить нерациональное использование древесины, сэкономить материальные и энергетические ресурсы, стабилизировать и улучшить экологическую ситуацию путем сохранения природных лесных массивов как основы регенерации кислорода воздуха.

Однако крупные отходы лесопиления с позиции механической обработки представляют собой крайне нетехнологичные заготовки, поскольку они характеризуются непредсказуемой формой и размерами, неоднородностью свойств обрабатываемого материала, стохастическим расположением сучков и отсутствием развитых технологических баз. Это вызывает серьезные трудности при механической обработке. В этих условиях обеспечение высокой производительности механической обработки, получение точной готовой продукции из отходов лесопиления проблематично.

Цель работы – определение элементов режима профильного фрезерования крупных отходов лесопиления, энергетических параметров процесса, являющихся основой для проектирования оборудования и процесса механической обработки периферийных сегментов. Для достижения поставленной цели проведены теоретические и экспериментальные исследования процесса профильного фрезерования отходов лесопиления.

Проанализированы альтернативные схемы скользящего базирования заготовки, встречного и попутного профильного фрезерования, а также возможные дополнительные опоры заготовки в зоне резания. На основании этого обоснована схема профильного фрезерования крупных отходов лесопиления, реализованная в реальной модели станка для их механической обработки. Получены технологические параметры процесса обработки периферийного сегмента и мощности резания, представляющие собой исходную информацию для качественной разработки оборудования и процесса профильного фрезерования периферийных сегментов.

*Ключевые слова:* периферийный сегмент, профильное фрезерование, механическая обработка, устойчивое базирование, мощность резания, режим резания.

В настоящее время проводятся исследования, целью которых является разработка средств технологического оснащения для глубокой переработки леса. В частности, проанализированы альтернативные технологические схемы механической обработки крупных отходов лесопиления, созданы и совершенствуются образцы станков для реализации рациональных схем, оптимизируются режимы фрезерования и т. п.

Создание эффективного оборудования для обработки периферийного сегмента – наиболее сложного представителя крупных отходов лесопиления, возможно на основе заданных параметров процесса резания древесины, существенно отличающейся неоднородностью показателей физико-механических свойств по сравнению с обычной стволовой древесиной. Значительная нестабильность твердости обрабатываемого материала, стохастичность распределения снимаемого припуска в продольном и поперечном сечениях заготовки, встречающиеся сучки и др. приводят при обработке к переменным динамическим нагрузкам, возникающим в системе «станок – приспособление – инструмент – заготовка», к переходным процессам, оказывающим негативное влияние на выходные параметры обработанного изделия.

Для создания виброустойчивого оборудования, обеспечения требуемой геометрической точности обработанных поверхностей необходимо располагать исходными параметрами процесса механической обработки периферийного сегмента, в соответствии с которыми реализуется процедура проектирования оборудования. Для качественного проектирования оборудования и технологии механической обработки периферийного сегмента, кроме информации, содержащейся в нормативных документах, необходимо располагать также дополнительной информацией, полученной в результате выполненных научных исследований. Дополнительная исходная информация включает следующие схемы [4, 5]:

схема скользящего базирования заготовки, при которой установочная технологическая база представляет собой плоскость пласти периферийного сегмента, образованную в результате распила бревна; направляющая технологическая база сочетает в себе неокоренную и фрезерованную поверхности периферийного сегмента, а опорная база представляет собой боковую поверхность зубьев древесины, сформированную приводными вальцами цепи подачи заготовки;

схема встречного фрезерования, обеспечивающая спокойную работу технологической системы, несмотря на дискретный (ударный) характер работы режущего инструмента;

схема, при которой в качестве дополнительной опоры заготовки в зоне резания используется опорная пластина, ограничивающая предельные упругие деформации периферийного сегмента при обработке.

К технологическим параметрам процесса обработки периферийного сегмента относятся элементы режима резания: скорость резания, минутная скорость рабочей подачи, подача на оборот, подача на зуб, кинематический угол встречи инструмента и заготовки, ширина пропила и толщина снимаемого слоя (высота пропила). Эти параметры связаны между собой.

Базовая скорость рабочей подачи заготовки определяется требуемой производительностью обработки периферийного сегмента среднестатистических размерных характеристик. Производительность станка рассчитываем по объему периферийного сегмента, подлежащего механической обработке в течение заданного промежутка времени:

$$\Pi = \frac{q}{T},$$

где  $q$  – объем обрабатываемого периферийного сегмента, м<sup>3</sup>;

$T$  – время обработки, ч.

Объем механической обработки периферийного сегмента

$$q = \frac{2}{3}bhl,$$

где  $b$  – среднестатистическая ширина периферийного сегмента, м;

$h$  – среднестатистическая толщина периферийного сегмента, м;

$l$  – длина периферийного сегмента, м.

Скорость рабочей подачи определяется длиной обработанной поверхности заготовок в единицу времени:

$$S = \frac{l}{T} = \frac{q}{40bhT}.$$

В результате анализа габаритных размеров периферийного сегмента определены его среднестатистические размерные характеристики: толщина – 30 мм; ширина – 120 мм. Максимальная базовая скорость рабочей подачи – 30 м/мин. Скорости резания для деревообрабатывающих станков фрезерной группы – 40...50 м/с.

На основании этих данных выбраны следующие скорости резания: при фасонном и цилиндрическом фрезеровании неокоренной криволинейной поверхности периферийного сегмента – 45 м/с; при обрезании боковых кромок дисковыми пилами – 35 м/с.

При расчете показателей процессов механической обработки древесины используют методы, основанные на экспериментальных данных. При этом изменяющиеся условия обработки (порода древесины, ее влажность, угол резания, затупление режущего инструмента и др.) учитываются поправочными коэффициентами.

Распространение получили методы расчета, использующие «объемную» формулу мощности резания; «табличную» силу; степенные формулы; методику проф. А.Л. Бершадского; уравнения регрессии.

Применение этих методов при расчете главной составляющей силы и мощности резания приводит практически к одинаковым результатам.

Мощность приводов главного движения в станке для механической обработки периферийного сегмента (привода фрезерной и пильной головок), а также мощность привода рабочей подачи заготовки определяем по объемной формуле мощности резания и табличной силе.

Мощность резания на операциях пиления и фрезерования [1]

$$N_p = \frac{K_r a_{\text{попр}} b_k t S}{60 \cdot 1000},$$

где  $K_r$  – удельная работа, Дж/см<sup>3</sup>;

$a_{\text{попр}}$  – поправочный коэффициент, учитывающий специфику обработки;

$b_k$  – ширина контакта режущего инструмента с заготовкой, мм;

$t$  – глубина резания, которая при однопроходной обработке равна толщине снимаемого припуска, мм;

$S$  – скорость рабочей подачи заготовки, м/мин.

Удельную работу определяем по средней толщине срезаемого слоя  $a_{\text{ср}}$  с учетом угла встречи, для этого воспользуемся табличными данными. Средняя толщина срезаемого слоя

$$a_{\text{ср}} = S_z \sin \varphi_{\text{ср}},$$

где  $S_z = S_0/z$  – подача на зуб, мм/зуб;

$S_0$  – подача на оборот фрезы, мм/об;

$z$  – число зубьев в инструменте;

$\varphi_{\text{ср}}$  – средний угол контакта зуба фрезы с заготовкой.

Подача на оборот фрезы

$$S_0 = 1000S/n,$$

где  $S$  – скорость рабочей подачи, м/мин;

$n$  – частота вращения инструмента, мин<sup>-1</sup>,

$$n = 60 \cdot 1000 v/(\pi D),$$

$v$  – скорость резания, м/с;

$D$  – диаметр инструмента, мм.

Средний угол контакта зуба фрезы с заготовкой

$$\varphi_{\text{ср}} = \varphi_{\text{вых}}/2,$$

где  $\varphi_{\text{вых}}$  – угол выхода режущего лезвия из древесины,

$$\varphi_{\text{вых}} = \arccos(R - t/R).$$

Здесь  $R$  – радиус режущего инструмента, мм;

$t$  – глубина резания, мм.

Факторы, влияющие на процесс резания, учитываются в расчете поправочными коэффициентами на условия обработки:

$$a_{\text{попр}} = a_n a_w a_v a_\delta a_p a_t a_\varphi,$$

где  $a_n$  – на породу древесины;

$a_w$  – на влажность древесины;

$a_v$  – на скорость главного движения;

$a_{\delta}$  – на угол резания;

$a_p$  – на затупление режущего инструмента;

$a_t$  – на глубину обработки для процессов закрытого резания (только для пиления);

$a_{\phi}$  – на угол встречи режущего лезвия с волокнами древесины (только для пиления).

Главная составляющая силы резания

$$P_z = \frac{60 \cdot 1020 N_p}{v}$$

Условно постоянная радиальная составляющая силы резания

$$P_y = m P_z,$$

где  $m$  – коэффициент трения-резания.

В расчетах использованы условия, характерные для обработки основной массы периферийного сегмента. Это сосна влажностью 50...70 %, шириной 100...200 мм и толщиной 20...50 мм.

Для обрезки кромок выбраны дисковые пилы диаметром 300 мм, толщиной 3,5 мм. Число режущих зубьев 80, передний угол  $6^\circ$ , задний угол  $18^\circ$ .

Диаметр пилы определен с учетом максимальной глубины пиления, расстояния от установочной базовой поверхности заготовки до близко расположенных деталей крепления пилы на шпинделе, а также заданного требованиями стандарта расстояния выхода пилы из заготовки.

Размеры фасонной фрезы для обработки неокоренной поверхности периферийного сегмента определены по каталогу режущего инструмента. Выбрана фасонная фреза диаметром 180 мм, высотой 120 мм, имеющая 4 профильных ножа дугообразной формы с длиной режущего лезвия 127 мм и углом контакта фрезы с заготовкой в продольном ее сечении  $60^\circ$ .

Расчет мощности и силы резания при фрезеровании периферийного сегмента выполнен при базовой скорости подачи 30 м/мин, ширине фрезерования 127 мм и глубине резания 12 мм, которая равна среднестатистическому припуску на обработку периферийного сегмента.

Проведенные предварительные экспериментальные исследования процесса механической обработки периферийного сегмента показали, что для стабилизации резания заготовки с анизотропными свойствами, устранения аварийных ситуаций и обеспечения требуемой шероховатости обработанных поверхностей необходимо предусмотреть в станке систему автоматического управления рабочей подачей заготовки, позволяющую фрезеровать периферийный сегмент с постоянной мощностью резания.

При регулировании скорости рабочей подачи по нагрузке на фрезу сила резания остается постоянной, сила резания при пилении растет с увеличением скорости подачи. При расчете мощности и силы резания в процессе обрезания боковых кромок выбран наиболее нагруженный режим работы, который соответствует пилению периферийного сегмента с максимальной скоростью подачи.

Максимальная скорость рабочей подачи определена по расчетной мощности резания для базовой скорости и минимальной глубины фрезерования, обеспечивающей качественную обработку материала.

Удельное табличное значение силы резания связано с мощностью резания следующей формулой:

$$P_{\text{зт}} = \frac{60 \cdot 1000 N_p \sin \varphi_{\text{ср}}}{a_{\text{п}} b_{\text{к}} t n z}$$

По силе  $P_{\text{зт}}$  определяем среднюю толщину срезаемого слоя.

Подачу на зуб рассчитываем по формуле

$$S_z = a_{\text{ср}} / \sin \varphi_{\text{ср}}$$

Определяем допускаемую скорость подачи по мощности резания:

$$[S] = S_z n z / 1000.$$

Диапазон регулирования скорости подачи зависит от мощности привода главного движения. Чем больше установленная мощность привода, тем больший диапазон скоростей требуется для обеспечения обработки с постоянной силой резания.

На основе общеизвестной базовой исходной информации [4, 5], необходимой для проектирования деревообрабатывающих и металлорежущих станков, а также полученной в данной работе дополнительной исходной информации спроектирован станок для механической обработки крупнокусковых отходов лесопиления [2, 3], который изготовлен и прошел сертификационные испытания в аккредитованной лаборатории. По результатам испытаний получен сертификат соответствия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Любченко В.И. Резание древесины и древесных материалов: учеб. для вузов. 3-е изд. М.: МГУЛ, 2004. 310 с.
2. Пат. 95589 РФ, МПК В 27 С 1/00. Станок для первичной обработки горбыля / Фомин А.А., Гусев В.Г. Заявл. 11.03.10; опубл. 10.07.2010, Бюл. № 19.
3. Пат. 2443547 РФ, МПК В 27 С 1/00. Способ первичной обработки горбыля / Фомин А.А., Гусев В.Г. Заявл. 11.03.10; опубл. 27.02.2012, Бюл. № 6.
4. Фомин А.А., Гусев В.Г. Механическая обработка отходов древесины // Избр. тр. Всерос. конф. по проблемам науки и технологий. М.: РАН, 2011. 128 с.
5. Фомин А.А. Оборудование и технология механической обработки отходов лесопиления: моногр. М.: Машиностроение, 2013. 206 с.

Поступила 18.12.12

#### Justification of Peripheral Segment Machining Parameters

*A.A. Fomin, Candidate of Engineering, Associate Professor*  
Vladimir State University, Gorkogo, 87, 600026 Vladimir, Russia  
E-mail: fomin1@mail.ru

Parabolic cutting of logs produces large lumber waste (peripheral segments, laths, etc.) which mainly consist of high quality wood fiber. Therefore, large lumber waste is not appropriate to use for the production of fuel pellets, but rather for direct application products: furniture items, products for interior finish of rooms, construction of modern houses, etc.

Machining of large lumber waste and further manufacturing of quality wood products will enhance sustainable use of wood, save material and energy resources, stabilize and improve the environmental situation through the conservation of natural forests, crucial for oxygen regeneration.

At the same time, large lumber waste in terms of machining is a very low-tech harvesting due to unpredictable shape and size and heterogeneous properties of the material, stochastic arrangement of knots and lack of developed technological bases. This causes serious problems at machining. Such instability makes high machining performance and accurate finished products from lumber waste problematic. The paper aimed to determine the elements of profile cutting of large lumber waste and energy parameters which form the basis for designing equipment and the process of peripheral segment machining. To achieve this aim we have carried out theoretical and experimental researches of lumber waste profile cutting.

We have analyzed alternative schemes of blank sliding location, of profile up-cutting and down-cutting, as well as possible additional work rests in the cutting zone. This analysis helped substantiate a scheme of profile cutting of large lumber waste, which was implemented in an actual machine model for large lumber waste machining. The obtained process variables for peripheral segment treatment and cutting power are the background information required to develop quality equipment and profile cutting of peripheral segments.

*Keywords:* peripheral segment, profile cutting, machining, fixed location, cutting power, cutting mode.

#### REFERENCES

1. Lyubchenko V.I. *Rezanie drevesiny i drevesnykh materialov* [Cutting of Wood and Wood Materials]. 3rd ed. Moscow, 2004. 310 p.
2. Fomin A.A., Gusev V.G. *Stanok dlya pervichnoy obrabotki gorbylya* [Machine for Primary Treatment of Slab]. Patent RF no. 95589.
3. Fomin A.A., Gusev V.G. *Sposob pervichnoy obrabotki gorbylya* [Method of Primary Treatment of Slab]. Patent RF no. 2443547.
4. Fomin A.A., Gusev V.G. *Mekhanicheskaya obrabotka otkhodov drevesiny* [Wood Waste Machining]. *Izbr. tr. Vseros. konf. po problemam nauki i tekhnologii* [Selected Works of the All-Russian Conference on Science and Technology]. Moscow. 2011. 128 p.
5. Fomin A.A. *Oborudovanie i tekhnologiya mekhanicheskoy obrabotki otkhodov lesopileniya* [Equipment and Technology of Lumber Waste Machining]. Moscow, 2013. 206 p.