

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИЗУЧЕНИЮ ВЛИЯНИЯ ОСНОВНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА МОЩНОСТЬ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ ОБЛИЦОВАННЫХ ПЛИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Theoretical researches in the field of machining of wood and influence of corners of cutting on force and capacity of milling are resulted. The technique of carrying out of experiment by definition of force and capacity of milling of the revetted wood materials is described. Results of the spent experiments are presented. The comparative analysis theoretical and experimental data is carried out.

**Введение.** В условиях возрастающей сложности технологий по выпуску изделий с одновременным ростом производительности оборудования и повышением качества продукции появились дополнительные требования кардинального решения по управлению производственными процессами.

Известно, что эффективность работы производства в значительной мере зависит от используемого оборудования, оснащённости его инструментом с применением рациональных режимов обработки материалов, из которых изготавливаются изделия. Данные условия работы производств, обеспечивающих выпуск конкурентной продукции, вызвали необходимость оснащения механических участков и цехов в целом современным оборудованием.

В настоящее время в деревообрабатывающей промышленности широко используются обрабатывающие центры и современное высокопроизводительное оборудование и на их основе автоматические и поточные линии. Однако эффективность их использования в производстве сравнительно низкая. Повышение эффективности возможно за счет усовершенствования основ теории резания древесных материалов.

Наука о резании древесины и древесных композиций основывается на экспериментальных исследованиях. Результаты этих исследований обобщены в закономерности протекания процесса взаимодействия режущего элемента с объемом обработки в виде эмпирических зависимостей. Достоверность используемых формул находится в пределах изменения переменных факторов, при которых выполнены экспериментальные измерения.

Анализ основ теории резания показывает, что при разработке расчетных методов по установлению рациональных режимов механической обработки принята натуральная древесина. Рекомендации по их использованию для обработки плитных материалов, таких как древесностружечные плиты, неприменимы, поскольку имеет место значительное различие не только по физико-механическим свойствам, но и по структуре (строению).

Следует также отметить, что технические данные современного оборудования значитель-

но выше ранее выпускаемого по таким основным показателям, как скоростные режимы резания и точность обработанных деталей, за счет базирования заготовок и жесткости использованных механизмов.

Отмеченное направление по повышению эффективности современного оборудования вызывает необходимость проведения дополнительных экспериментальных исследований в области резания плитных материалов.

**Цель исследований.** Исследования выполнены с целью получения математической модели влияния основных переменных факторов на мощность цилиндрического фрезерования ламинированных древесностружечных плит.

Изложим теоретические основы механической обработки плитных материалов.

При обработке натуральной древесины, согласно теоретическим основам резания древесины, разработанным профессором А. Л. Бершадским, можно силы резания разделить на составляющее (рис. 1):

$$F_k = F_n + F_3 + F_6,$$

где  $F_k$  – касательная сила резания, Н;  $F_n$  – сила резания по передней грани, Н;  $F_3$  – сила резания по задней грани, Н;  $F_6$  – сила резания по боковым граням, Н.

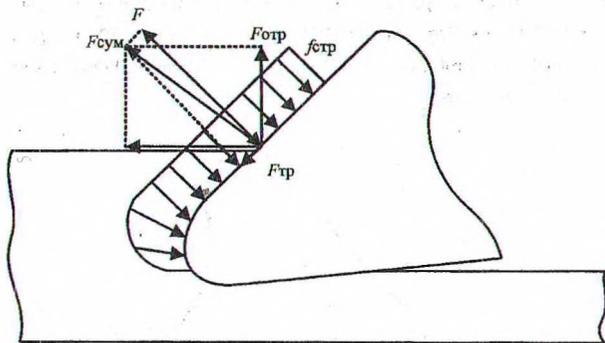


Рис. 1. Силы резания по передней поверхности реза

При открытом резании сила резания по боковым граням равна нулю. В то же время сила резания по передней грани (условно принята) зависит от средней толщины стружки, а сила

резания по задней – от состояния главной режущей кромки. Данные предпосылки приемлемы при обработке натуральной древесины. Рассмотрим основные отличия образования сил резания при обработке натуральной древесины и древесностружечных плит.

При взаимодействии резца на переднюю поверхность оказывает давление стружка  $f$  (рис. 1) в виде равномерно распределенной нагрузки  $f_{стр}$ . Для срезания элемента стружки необходимо приложить силу  $F_1$ , которая для простоты представлена в виде сосредоточенной. В то же время при перемещении стружки по поверхности образуются силы трения  $f_{тр}$ . Силы  $F$  и  $F_{тр}$  составляют суммарную силу  $f_{сум}$ , которая раскладывается на две: горизонтальную параллельную скорости резания и вертикальную нормальную горизонтальной. Первая сила резания названа силой резания по передней грани  $F_{п}$ , а вторая – силой отрыва стружки от поверхности резца, и при установившемся процессе резания стружка образуется сливной.

При резании древесных композиций вследствие технологии получения плитного материала стружка образуется в виде мелких фракций. Поэтому закономерность стружкообразования нарушается и, как следствие, силы трения практически отсутствуют. Силу резания по передней грани вызывают напряжения, вызванные контактом скругленной части главной режущей кромки с объектом обработки.

Образование сил по задней грани поверхности происходит от давления на резец деформированной древесины (рис. 2).

При движении резца точечным контактом резца древесина подпрессовывается по плоскости I-I, а затем восстанавливается по плоскости II-II.

Наблюдением установлено, что плоскость II-II может быть как выше нахождения центра скругления, так и ниже. Это зависит с основным от плотности древесины и ее влажности. Силы давления резца на объект обработки раскладываются на две составляющие – горизонтальные и вертикальные.

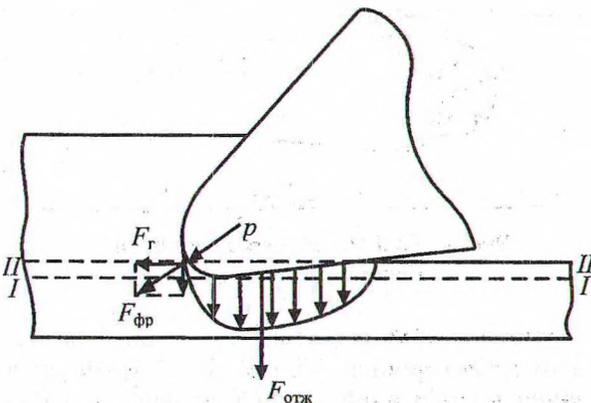


Рис. 2. Силы резания по задней поверхности резца

Поскольку горизонтальные составляющие направлены как по вектору скорости резания, так и против, то они примерно сокращаются.

Вертикальная составляющая образует силу резания по задней поверхности, т. к.  $F_з = F_{отж} / f$  (где  $f$  – коэффициент трения стали по древесине) и нормальную к ней  $F_{отж}$ .

При обработке плитных материалов, в связи с быстрым абразивным истиранием контакта скругления лезвия, эти условия нарушаются, так как образуется фаска на задней поверхности.

Как видно из представленного, необходимо выполнить комплекс исследовательских работ, позволяющих выявить закономерности силовых показателей процесса фрезерования плитных материалов.

**Методика проведения исследований.** Экспериментальные исследования многих ученых по выявлению влияния переменных факторов при фрезеровании древесностружечных плит на силовые показатели показывают, что наибольший количественный вклад на выходные величины вносит средняя толщина стружки ( $a_{ср}$ ), угол резания ( $\delta$ ), высота срезаемого припуска ( $h$ ) и состояние режущей кромки ( $\rho$ ).

В то же время скорость резания при проведении исследований находится на малом уровне, так как были ограничения в используемой аппаратуре регистрации выходных показателей. Учитывая современные методы фиксации мощности резания параметр скорости резания необходимо принять в качестве изменяемого.

Как видно из произведенного количества переменных факторов, исследования необходимо проводить с использованием математического метода планирования эксперимента.

В настоящее время доказано, что для исследований процесса резания древесных материалов наиболее эффективен В-оптимальный план. В то же время рекомендуется использовать данный план для количества переменных, не превышающих четырех. При наличии большого количества переменных следует выполнить отсеивающие эксперименты.

С учетом данных рекомендаций и наличии практически полной информации по износу и затуплению режущих элементов для проведения исследований приняты следующие переменные факторы и их уровни варьирования представлены в таблице.

Выбор угла заострения  $\delta$  в качестве переменного фактора вместо угла резания обоснован соображениями практического применения режущих инструментов. В настоящее время нашли широкое применение неперегниваемые пластины. Анализ конструкций указанных резцов показывает, что инструментальной промышленностью зарубежных фирм

освоен выпуск и реализуются пластины с углами заточки 45, 50 и 55°. Частота вращения фрезы принята так же в качестве переменной в связи с тем, что этот показатель более часто отражает интенсивность взаимодействия резца с древесным материалом.

При исследовании процесса резания ламинированных древесностружечных плит были приняты постоянными следующие показатели:

- обрабатываемый материал (ДСтП Польша);
- толщина обрабатываемого материала  $b = 16$  мм;
- радиус заострения главной режущей кромки  $r = 5-7$  мкм;
- диаметр окружности резания  $D = 82$  мм;
- число резцов  $Z = 1$ ;
- задний угол  $\alpha = 15^\circ$ .

**Экспериментальная установка.** Экспериментальная установка созданная на базе обрабатывающего центра Rover B 4.35 с числовым программным управлением (ЧПУ) (производства Италии, фирмы «BIESSE»).

Базовая машина является серийной, что позволяет воспроизвести промышленные режимы резания в широком диапазоне переменных факторов различными инструментами.

Принцип работы установки следующий: двигатель мощностью 7,5 кВт управляется посредством преобразователя Commander SE, который, в свою очередь, запараметризован выдавать на сервисные каналы текущую мощность на валу двигателя. Сигнал поступает на аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) и после преобразования записывается персональным компьютером.

Данные, поступающие в компьютер, регистрируются специальной программой, а затем анализируются в специализированных программах типа MathCad, Mathematica, Excell, которые строят графические и математические зависимости получаемых данных.

Каждый из проводимых экспериментов проходит многократное повторение, тем самым исключается возможность влияния случайных факторов на получаемые результаты.

Обрабатываемый материал также подготавливается специальным образом: вырезаются заготовки одинаковой длины, высоты и ширины из материала одной партии т. е. с макси-

мально одинаковыми физико-механическими характеристиками.

**Результаты исследований и их анализ.** В результате реализации методической сетки опытов вида В-оптимального плана для четырех переменных факторов получено адекватное уравнение регрессии в кодированном выражении:

$$y = 0,93 + 0,27x_1 + 0,29x_4 + 0,08x_1x_4 + 0,09x_2x_4 - 0,14x_1^2 + 0,07x_2^2 - 0,06x_4^2,$$

где  $y$  – мощность резания кВт.

Изучение влияния средней толщины стружки на мощность резания осуществлено путем набросания графической зависимости  $P = f(a)$ . Кривая зависимости выходного показателя построены с учетом принятых диапазонов переменных факторов при их значениях соответствующих верхнему основному и нижнему уровням.

Представленная теоретическая зависимость влияния средней толщины стружки на мощность резания (рис. 3) показывает. Что с увеличением данного фактора наблюдается некоторый рост мощности резания с незначительным падением. Рост мощности вызван увеличением неконтактного напряжения, а перемещением стружки с определенным на переднюю грань.

Влияние угла заострения режущего элемента показывает (рис. 4), что на легких режимах т. е. когда все переменные факторы на нижнем уровне наблюдается незначительное увеличение мощности. По мере увеличения частоты вращения наблюдается динамический удар, который производит более интенсивное размельчение стружки, что приводит к некоторому падению мощности резания.

Высота срезаемого припуска (рис. 5) практически не оказывает влияния на мощность резания.

Частота вращения, как и средняя толщина стружки, наиболее влияет на выходной показатель (рис. 6). С ростом частоты вращения возрастают динамические удары, что может привести к падению мощности, но в же время на переднюю поверхность воздействует срезанная стружка, что вызывает увеличением мощности.

Таблица

Уровни варьирования переменных факторов при исследовании процесса фрезерования ламинированных древесно стружечных плит

Переменный фактор	Код	Уровни варьирования		
		нижний	основной	верхний
Средняя толщина стружки $a$ , мм	x1	0,05	0,20	0,35
Угол заострения режущей кромки $\delta$ , град	x2	45	50	55
Высота срезаемого припуска $h$ , мм	x3	1	3	5
Частота вращения фрезы $n$ , мин <sup>-1</sup>	x4	4000	6000	8000

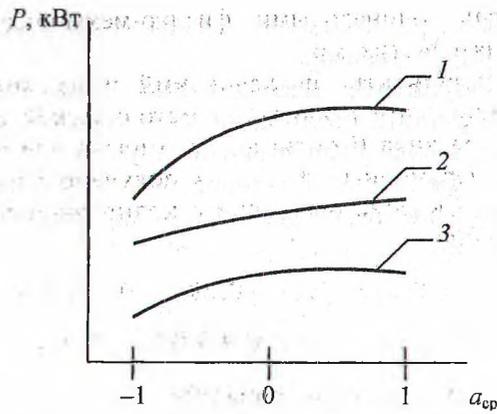


Рис. 3. Влияние средней толщины стружки на мощность резания

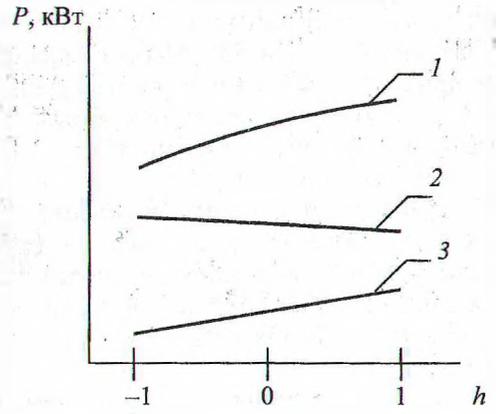


Рис. 5. Влияние высоты срезаемого слоя на мощность резания

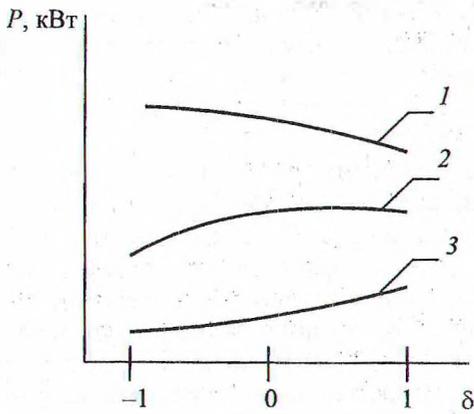


Рис. 4. Влияние угла заострения на мощность резания

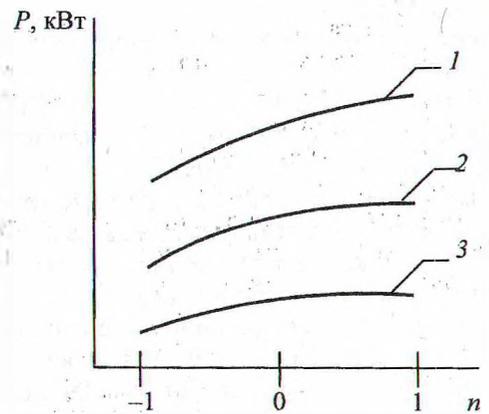


Рис. 6. Влияние частоты вращения инструмента на мощность резания

**Выводы.** По результатам исследований можно сделать следующие выводы.

1. Разработанное математическое описание влияния средней толщины стружки, угла заострения режущего элемента, высоты срезаемого слоя и частоты вращения инструмента на мощность, затрачиваемую при фрезеровании ламинированных древесностружечных плит, позволяющее установить режимы технологического процесса с наименьшими энергозатратами.

2. Анализ модели показывает, что наибольшее влияние на мощностной показатель оказывают средняя толщина стружки и частота вращения инструмента и практически незначительное влияние оказывают угол заострения резца и высота срезаемого слоя.

3. Рациональный режим работы оборудования можно устанавливать в сочетании с качественными показателями, которые позволяют выбирать среднюю толщину стружки и частоту вращения фрезерного инструмента.