

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ВЛИЯНИЕ УГЛА АТАКИ НА СИЛУ И МОЩНОСТЬ ПРОЦЕССА ОТКРЫТОГО РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

The establishment of a corner of cutting at processing this or that wood material is limited to two major factors. On the one hand its reduction conducts to reduction of forces of cutting and decrease of expenses for processing. On the other hand - to reduction of the basic area of a cutter that increases probability of its breakage. For natural wood the corner of a point of a cutter changes from 30 up to 50 degrees, depending on breed and humidity. In the given work the technique of definition of an optimum corner of cutting for researched samples of wood is offered.

Введение. Использование стандартного инструмента при обработке неизвестного древесного материала может оказаться неэффективным, поскольку остается неизученным процесс взаимодействия режущего инструмента с таким материалом. Так, минимальные углы резания используют при обработке хвойных и мягколиственных пород древесины. Максимальные углы заострения – при обработке твердолиственных пород с низкой влажностью. Использование новых разработанных материалов в деревообрабатывающей промышленности, а также переработка экзотических пород древесины вынуждает искать новый инструмент и новые технологии для их обработки.

Появление новых материалов не всегда отвечает возможностям существующих методик для определения силовых характеристик процесса взаимодействия инструмент – материал.

Для определения сил резания при обработке древесины, с целью подбора инструмента, необходимо выполнить определенную экспериментальную работу, что требует больших временных и материальных затрат.

Тем не менее ведутся работы по нахождению связи между свойствами древесины и древесных материалов и силовыми характеристиками процесса резания. Так, в работе [1] для характеристики древесного материала принимаются коэффициенты крепости K , которые получены путем статических испытаний исследуемых образцов. Это обстоятельство вносит большую погрешность при использовании их при оценке динамического взаимодействия резца с обрабатываемым материалом. Так, в работе [2] указывается, что прочность при сжатии вдоль волокон и при изгибе увеличивается на 8% при каждом десятикратном увеличении скорости нагружения. При увеличении скорости нагружения в 10 000 раз предел прочности увеличивается на 31%. Предел прочности насыщенной влагой древесины при том же самом увеличении скорости возрастает на 44%.

Во многих источниках, например [3], в качестве характеристики древесины выступает средняя плотность. Однако в работе [4] пред-

ставляются опытные данные по изучению фрезерования тропических пород древесины, указывающие на отсутствие связи между средней плотностью древесины и удельной работой резания.

Взаимодействию дереворежущего инструмента с древесиной уделено большое внимание московской школой деревообработчиков. В данной части обратимся к работе [5], в которой была изложена большая часть работ по изучению взаимодействия резца и материала при обработке натурального древесного материала.

В частности, были поставлены опыты по фрезерованию древесины сосны и березы, на основании которых рассмотрена связь между характеристиками инструмента (материал, затупление, угол заострения) и режимами обработки (толщина стружки).

Большое внимание было уделено силовым процессам, происходящим при фрезеровании. Выделены три стадии врезания резца в древесину, которые отражаются на характере изменения составляющих силы резания. На первой стадии врезания преобладает трение задней поверхности резца по древесине. Для преодоления трения требуется небольшая сила.

На основании обобщения большого количества наблюдений, проведенных методом замораживания корня стружки, было установлена зависимость ширины контакта площадки от направления фрезерования и радиуса затупления.

Главным выводом может послужить то, что в результате восстановления древесины на заднюю поверхность резца при торцевом фрезеровании действуют большие силы, чем при продольном или поперечном фрезеровании.

На второй стадии врезания резца начинает образовываться тончайшая стружка. По мере накопления эта стружка воздействует на ту часть резца, которая лежит выше его вершины. Можно предположить, что чем острее резец и меньше угол резания, тем меньше эта составляющая силы резания.

На третьей стадии врезания задняя поверхность работает так же, как на первой и второй

стадиях. В данный период образуется устойчивая стружка и в работе стабильно участвует передняя поверхность резца.

Исходя из этого следует, что параметр, характеризующий древесину любой породы с различными физико-механическими свойствами как обрабатываемый материал, должен быть получен путем динамических испытаний. К одним из видов таких испытаний можно отнести внедрение резца в образец при его свободном падении. Достоинством такого испытания является возможность определить работу на внедрение резца A , Дж, приравняв потенциальную энергию падения к работе на внедрение:

$$A = mgh, \quad (1)$$

где m – масса падающего тела, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; h – высота падения, м.

Теоретические исследования. В настоящей работе предлагается методика, позволяющая в обычных условиях установить оптимальный угол резания из условия обеспечения минимальных средних напряжений в резце за небольшой промежуток времени.

На рис. 1 показана схема взаимодействия резца с обрабатываемой древесиной.

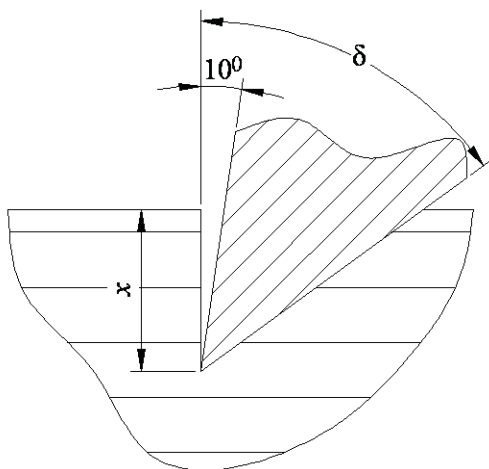


Рис. 1. Взаимодействие резца с материалом при внедрении

Средняя касательная сила противодействия внедрению \bar{F} , Н/мм, определяется по формуле

$$\bar{F} = \frac{A}{x \cdot b}, \quad (2)$$

где x – глубина внедрения резца, мм; b – ширина заготовки, м.

Среднее напряжение в резце $\bar{\sigma}$, МПа, возникающее при внедрении инструмента в исследуемый материал, вычисляется по формуле

$$\bar{\sigma} = \frac{\bar{F}}{x \cdot (\operatorname{tg} \delta - \operatorname{tg} 10)}. \quad (3)$$

Древесина – материал анизотропный. В зависимости от направления к волокнам существуют три основных направления резания древесины: торцевое, поперечное и продольное. Максимальные силы резания возникают при торцевом резании, а минимальные – при продольном резании. С учетом этого, с целью установления диапазона углов резания для исследуемой породы древесины, испытывались образцы по двум направлениям: торцевом и продольном.

Для изучаемой породы были проведены два типа опытов, в результате которых велась работа на внедрение резца в торцевом и продольном направлениях. Резец для каждого опыта имеет угол атаки от 65 до 25° (на рис. 1, угол δ), в результате чего для каждой породы были получены пять точек. Данный диапазон обусловлен использованием резца с углами заострения от 15°, что позволяет не учитывать влияние сил по задней грани, поскольку на основании изучения литературы [5], при заднем угле выше 10° силы, действующие по задней грани, не оказывают существенного влияния на суммарную силу резания древесины с влажностью ниже 30%.

С целью оценки результатов опытов исследования проводились для трех пород древесины, которые широко используются отечественными деревообрабатывающими (дуб, береза и сосна) на установке, схема которой изображена на рис. 2.

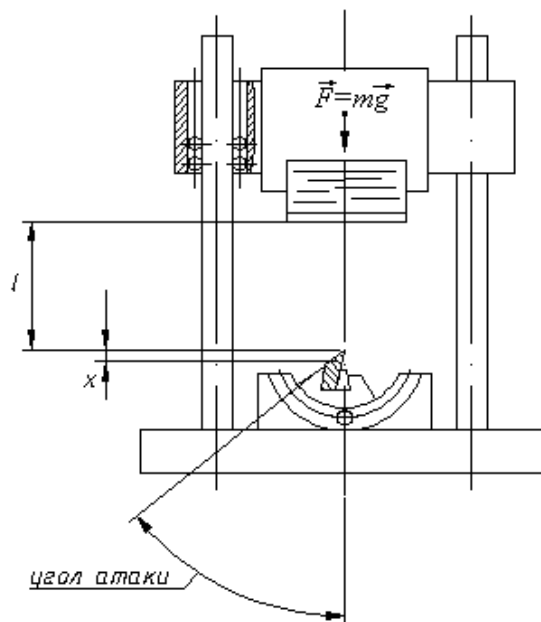


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

В результате полнофакторного эксперимента были проведены опыты. Переменными факторами в них выступили угол атаки, направление резца к волокнам и порода древесины. Исходя из методики определения силы резания, были выбраны два направления внедрения резца к волокнам – продольное ($\psi = 0$) и торцевое ($\psi = 90$).

Экспериментальные данные

Заданные факторы					Полученные данные			
Порода	Направление к волокнам ψ , град	l , мм	Ширина заготовки b , мм	Угол атаки δ , град	x , мм	Работа на внедрение A , Дж	$\bar{F} = \frac{A}{x \cdot b}$, Н/мм	$\frac{\bar{F}}{x \cdot (\text{tg}\delta - \text{tg}10)}$, Н/мм ²
Сосна	0	36,2	14,2	25	2,65	1,34001	35,610	46,369
				35	1,8	1,31069	51,279	54,418
				45	1,06	1,28517	85,382	97,876
				55	0,64	1,27068	139,820	174,71
				65	0,21	1,25585	421,144	1020,6
	90	36,2	14,0	25	1,75	1,30897	53,427	105,35
				35	1,56	1,30242	59,634	73,021
				45	1,36	1,29552	68,042	60,793
				55	1,07	1,28552	85,815	64,139
				65	0,68	1,27206	133,620	99,997
Береза	0	36,2	12,5	25	3,87	1,38209	28,570	25,474
				35	2,28	1,32725	46,570	39,016
				45	0,99	1,28276	103,657	127,227
				55	0,55	1,26758	184,375	268,089
				65	0,2	1,25551	502,203	1277,834
	90	36,2	1	25	1,64	1,30518	62,664	131,849
			35	1,23	1,29103	82,647	128,351	
			45	0,87	1,27862	115,722	161,628	
			55	0,41	1,26275	242,510	473,026	
			65	0,21	1,25585	470,886	1141,094	
Дуб	0	36,2	10,2	25	4,45	1,40210	30,890	23,953
				35	3,16	1,35760	42,120	25,461
				45	2,22	1,32518	58,522	32,032
				55	1,29	1,29310	98,275	60,925
				65	0,82	1,27689	152,665	94,744
	90	36,2	9,0	25	1,92	1,31483	76,090	136,749
				35	1,73	1,30828	84,026	92,777
				45	1,45	1,29862	99,511	83,391
				55	0,98	1,28241	145,398	118,651
				65	0,55	1,26758	256,077	236,937

Постоянными факторами выступили влажность испытуемых образцов и радиус заострения резца. Полученные экспериментальные данные занесены в таблицу.

На основании расчетных формул (2) и (3) строим графики зависимостей среднего напряжения внедрения (отношение средней силы противодействия внедрению к площади опорной поверхности резца) от угла внедрения δ .

Как видно из графиков на рис. 3–5, минимум среднего напряжения наблюдается при внедрении резца в продольном направлении.

Причем для поперечного резания увеличение угла атаки приводит только к увеличению среднего напряжения в резце (не рассматривая исследуемую сосну). А при продольном резании увеличение угла атаки сначала приводит к уменьшению среднего напряжения, а затем к

его увеличению. Это объясняется тем, что при уменьшении угла атаки резец больше внедряется в древесину, при этом увеличивается площадь срезаемой древесины. При увеличении угла атаки резец внедряется на меньшую величину и площадь срезаемой древесины уменьшается.

При малых углах атаки резец проходит относительно большой путь в материале, однако это происходит за счет снижения опорной площади инструмента, что вызывает его поломку при работе. В продольном направлении на смятие материала расходуется меньшая часть энергии, поэтому снижение угла резания в меньшей мере сказывается на увеличении напряжения в теле резца.

Работа, затраченная на внедрение резца в материал, состоит из суммы работ на образова-

ние поверхностей раздела и на смятие образца. При уменьшении угла атаки снижаются затраты энергии реза на смятие материала, что позволяет инструменту увеличить работу на образовании поверхностей раздела.

Средняя сила разделения материала в данных экспериментах зависит только от направления внедрения и от породы, и не зависит от угла атаки. Увеличение угла δ приводит к возрастанию, с одной стороны, сил смятия материала, а с другой – площади опорной поверхности реза. Отношение суммарной средней силы сопротивления внедрению к опорной площади инструмента характеризует среднее напряжение в резце, и изменяется оно не по линейному закону.

Таким образом, из рис. 3–5 следует, что возникает ситуация, когда увеличение угла атаки приводит к возникновению минимального среднего напряжения в резце, вычисленной по формуле (3), что является важной характеристикой обрабатываемого материала.

В реальных процессах резания к процессу внедрения реза в материал добавляется еще и процесс стружкообразования. На практике при фрезеровании или пилении на смятие расходуется меньше работы, поскольку стружка, получаемая в процессе, деформируется и освобождается частично от взаимодействия с резцом. Этим можно объяснить тот факт, что при увеличении скорости резания работа на разделение материала увеличивается не только из-за увеличения сил инерции, но и по причине того, что стружка не успевает деформироваться.

Из рис. 3–5 следует, что для испытуемых образцов оптимальными углами внедрения реза являются: сосна – $\delta = 38,3^\circ$, береза – $\delta = 34,8^\circ$, дуб – $\delta = 40,7^\circ$.

На практике, использование таких углов резания возможно только при оптимальных режимах работы инструмента, поскольку резец испытывает большие нагрузки при фрезе-

ровании или пилении, чем при простом внедрении. Кроме того, непрямолинейность процесса взаимодействия реза и инерционные нагрузки при обработке древесины разных пород значительно ухудшают условия работы инструмента.

С целью снижения влияния выше представленных факторов автором статьи разработана конструкция специального инструмента, которая позволяет использовать режущие элементы с меньшими углами заострения и добиться меньших затрат энергии при обработке древесины. Конструкция такого инструмента, в виде сборной насадной фрезы позволяет при контакте с материалом инструменту «подстраиваться» таким образом, чтобы снизить влияние изгибающих сил на его лезвие. Резец работает на сжатие на протяжении всего своего взаимодействия с обрабатываемым материалом. Таким образом, процесс фрезерования приближается к процессу простого внедрения инструмента.

Возможность широкого использования оптимальных углов заострения при обработке различных древесных материалов позволит снизить силовые характеристики процесса взаимодействия в системе инструмент – материал и тем самым сделать обработку менее энергозатратным процессом.

Выводы. На основании выполненных экспериментов можно утверждать, что для исследуемых пород найдены рациональные углы резания из условия обеспечения прочности реза и минимальности затрат энергии на внедрение. С целью выбора угла заострения инструмента для резания любого материала достаточно поставить серию опытов на внедрение реза в поперечном и продольном направлении с нахождением минимума напряжения в теле инструмента или нахождением точки пересечения кривых напряжения (например, внедрение реза в испытуемую сосну).

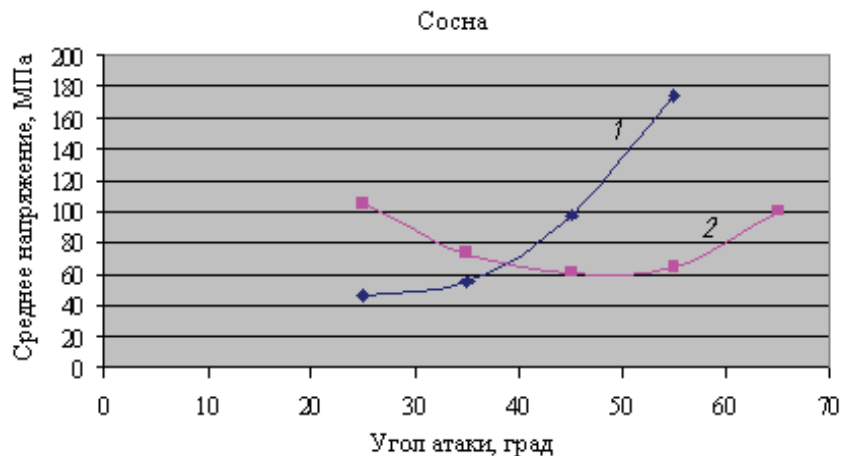


Рис. 3. Влияние угла атаки инструмента при внедрении в сосну на среднее напряжение сжатия в теле реза (1 – $\psi = 0$; 2 – $\psi = 90$)

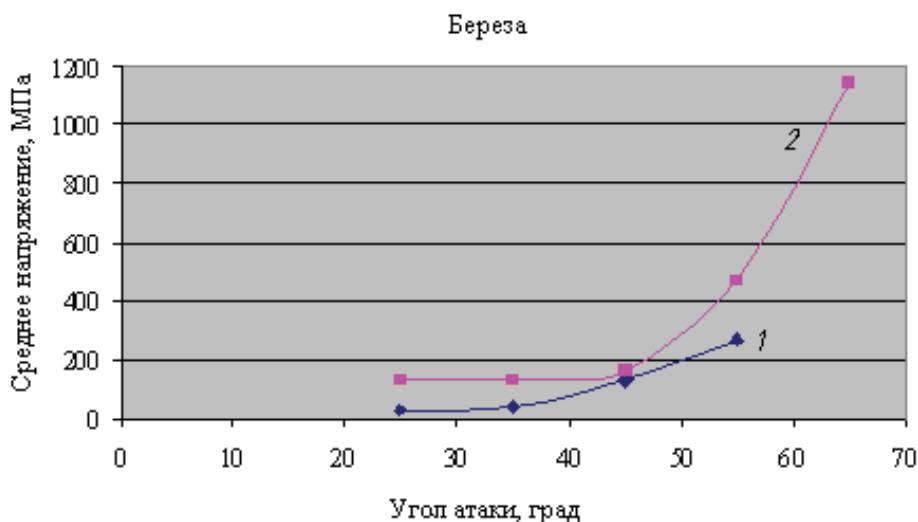


Рис. 4. Влияние угла атаки инструмента при внедрении в березу на среднее напряжение сжатия в теле резца (1 – $\psi = 0$; 2 – $\psi = 90$)

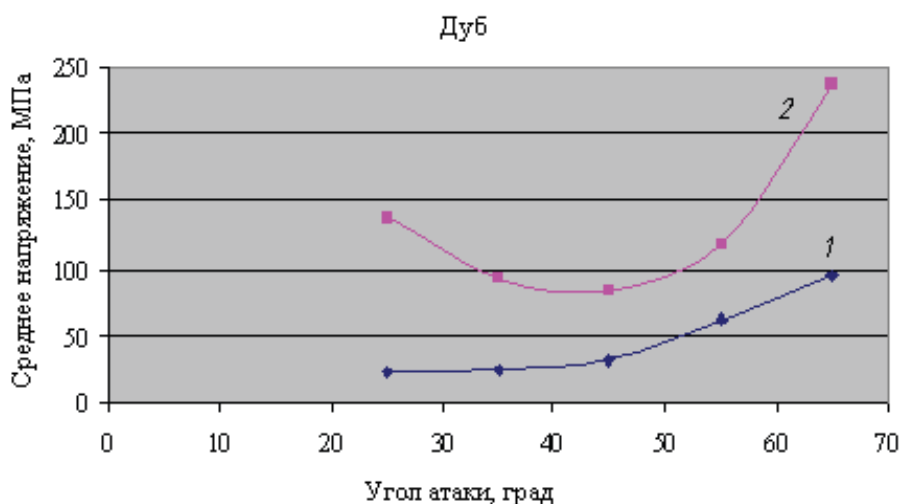


Рис. 5. Влияние угла атаки инструмента при внедрении в дуб на среднее напряжение сжатия в теле резца (1 – $\psi = 0$; 2 – $\psi = 90$)

Данное исследование дает возможность проводить анализ работы, затрачиваемой на разделение древесины при формировании поверхности резанием, что позволит оценить влияние затупления инструмента на среднюю силу резания.

Так, путем аппроксимации полученных точек можно найти расстояние x_0 , когда угол атаки равен нулю. На практике значение x_0 получить невозможно, поскольку не существует еще материалов, которые можно изготовить толщиной в несколько микрометров и внедрить в древесный материал. Воспользовавшись формулой (2) и разделив значение средней силы сопротивления внедрению на площади режущей кромки резца, получим напряжение, которое возникает у режущей кромки при разделении испытуемого образца.

Следует отметить, что весь фрезерный инструмент, который поступает на рынок Республики Беларусь для обработки древеси-

ны, имеет углы заострения не ниже $\beta = 30^\circ$. Этот параметр угла установлен фирмами-изготовителями на основании их многолетней работы.

При аналитическом исследовании теории резания древесины [7] с увеличением угла резания δ мощность и сила резания возрастают, поэтому на практике выбирается всегда оптимальный наименьший угол резания. Применение меньших углов резания ограничивается углом заострения резца. Однако минимально возможный угол заострения β ограничен физико-механическими свойствами резца, который зависит от условий резания и его материала.

При нахождении радиальной и тангенциальной составляющей силы резания при обработке различных пород древесины, подтверждает использование углов заострения для обработки древесины $\beta = 30^\circ$. Условия работы с указанными углами «вынуждают» работать ре-

зец на сжатие, что благоприятно влияет на использование для изготовления резцов материала, способного воспринимать большие сжимающие нагрузки при слабой стойкости к изгибающим нагрузкам. К таким материалам следует отнести композиционные материалы (ВК, ТК, ТТК и др), применение которых для фрезерования древесины весьма перспективное направление, поскольку их стойкость к износу на порядок выше лучших стальных сплавов, используемых в деревообработке для изготовления ножей и пластин к фрезерному, строгальному и фуговальному инструменту.

Литература

1. Кох, П. Процесс механической обработки древесины / Петер Кох; пер. с англ. В. Амалицкого. – М.: Лесная пром-сть, 1969. – 328 с.
2. Дешевой, М. А. Механическая технология дерева / М. А. Дешевой. – Л.: Гостехиздат, 1934. – 269 с.
3. Фридрих, А. П. Влияние технологических факторов на силовые и качественные показатели при цилиндрическом фрезеровании древесных материалов: автор ф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05 / А. П. Фридрих; Моск. лесотехн. ин-т. – М., 1985 – 26 с.
4. Нгуен, Х. Л. Разработка рациональных режимов обработки древесины тропических пород методом фрезерования: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05 / Х. Л. Нгуен; Белорус. технол. ун-т. им. С. М. Кирова. – Минск, 1991. – 36 с.
5. Моисеев, А. В. Износостойкость деревообрабатывающего инструмента / А. В. Моисеев. – М.: Лесная пром-сть, 1981. – 112 с.
6. Пижурич, А. А. Исследования процессов деревообработки / А. А. Пижурич, М. С. Розенблит. – М.: Лесная пром-сть, 1982. – 232 с.
7. Любченко, В. И. Резание древесины и древесных материалов: учеб. пособие для вузов. – М.: Лесная пром-сть, 1986. – 296 с.