



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.023

Л.Т. Свиридов, А.В. Ивановский, В.П. Ивановский

Свиридов Леонид Тимофеевич родился в 1948 г., окончил в 1975 г. Воронежский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин, проректор по научной работе Воронежской государственной лесотехнической академии, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный изобретатель РФ, академик РАЕН. Имеет более 440 научных работ в области механизации лесохозяйственных работ, технологии лесовосстановления, обработки лесосеменного материала, рационального использования лесных ресурсов, малоотходной и безотходной обработки древесины.

E-mail: nis@vglta.vrn.ru, moc@vglta.vrn.ru



Ивановский Александр Владимирович родился в 1987 г., окончил в 2009 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, аспирант кафедры механизации лесного хозяйства ВГЛТА. Имеет около 20 научных работ в области древесиноведения и деревообработки.

E-mail: ivanovsky@bk.ru



Ивановский Владимир Павлович родился в 1956 г., окончил в 1979 г. Воронежский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры древесиноведения Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет более 100 научных работ в области деревообработки.

E-mail: ivanovsky@bk.ru



ОБРАБАТЫВАЕМОСТЬ РЕЗАНИЕМ ДРЕВЕСИНЫ РАЗЛИЧНЫХ ПОРОД

Рассмотрено распределение основных составляющих сил резания в зоне контакта реза и древесины при стружкообразовании, а также некоторые факторы, оказывающие доминирующее влияние на обрабатываемость резанием древесины различных пород. Установлена трудная обрабатываемость резанием древесины мягких листовых пород.

Ключевые слова: плотность древесины, режим работы, алгоритм, работа резания, обрабатываемость древесины.

Процесс резания древесины связан с затратами на преодоление сил сопротивления, возникающих в зоне контакта реза и древесины. Силы сопротивления резанию можно разделить на три группы: силы деформирования (затрачиваемые на упруго-пластические деформации отделяемой стружки и некоторой зоны под поверхностью резания); силы трения (на поверхностях контакта граней реза со стружкой и поверхностью резания); молекулярные силы, возникающие при разделении молекулярных слоев древесины [2].

Целью данной работы является численное определение сил механической работы на разрушение связей между волокнами различных пород древесины с определением коэффициента ее обрабатываемости резанием.

Соотношение вышеперечисленных групп сил, действующих в зоне резания, не остается постоянным при изменении внешних условий. Так, величина сил деформирования зависит от степени концентрации напряжений на режущей кромке, т. е. от ее остроты. Значительно изменяются силы деформирования и от направления, в котором отделяется стружка. При отделении стружки вдоль направления волокон древесины названные силы в некоторые периоды могут вообще не воздействовать на режущую кромку, когда образуется опережающая трещина. При отделении же стружки по плоскости, перпендикулярной волокнам образца, эти силы достигают максимума. Силы деформирования стружки зависят, в основном, от размеров и формы ее поперечного сечения, вида и направления ее преимущественного деформирования (т. е. от геометрии резца и направления резания) и механических свойств древесины с учетом эффекта ее анизотропии.

Силы сопротивления от трения граней резца по обрабатываемым поверхностям зависят от нормального давления на грань в зоне контакта и коэффициента трения. Нормальное давление на грани определяется вышеперечисленными факторами. Коэффициент трения между гранями резца и образованными поверхностями зависит от качества и состояния контактирующих поверхностей, а также от продолжительности взаимодействия, поскольку такое состояние поверхности сохраняется в очень малом интервале времени. Система сил, действующих на резец, обрабатываемый материал и стружку в процессе резания, оказывается весьма многофакторной и сложной, зависящей от взаимоотношения многих параметров. Это обстоятельство усложняет аналитический расчет отдельных составляющих и всей системы сил сопротивления в целом. Даже экспериментальное измерение и изучение сил сопротивления, действующих, например, по граням резца, связаны со значительными трудностями и необходимостью учета парных взаимодействий. С одной стороны, общую картину истинного силового взаимодействия резца, древесины и стружки пока можно представить лишь теоретически и, главным образом, с качественной стороны, с другой – картина силового взаимодействия резца и древесины определяет расход энергии на осуществление процесса резания в направлениях движений резания и подачи. Решение этой задачи, важной с технологической точки зрения, облегчается тем, что в этом случае нет необходимости знать истинную картину силового взаимодействия с качественным разделением его составляющих. Достаточно иметь суммарную проекцию всех возникающих сил сопротивления резанию.

Таким образом, наиболее существенное влияние на процесс резания оказывают степень затупления резца, угол заострения и шероховатость поверхности режущих граней резца.

Процесс разрушения связей между частицами древесины связан с концентрацией напряжений в зоне контакта режущей кромки резца и заготовки. Характер и величина возникающих напряжений определяются формой и состоянием режущей кромки резца. Существенное влияние на характер разрушения обрабатываемого материала оказывают также анизотропия древесины и ее волокнисто-слоистое строение. Во всех случаях разрушение древесины в значительной мере зависит от направления волокон. При движении резца его передняя грань, располагающаяся наклонно к плоскости резания, отгибает стружку, деформируя ее в различных направлениях. Характер отгиба стружки зависит от угла наклона передней грани к плоскости резания, шероховатости передней грани резца, направления волокон и слоев древесины. Виды и характер образования стружек в зависимости от сопутствующих условиям резания можно проследить по отдельным стадиям самого процесса стружкообразования [3, 4].

Первая фаза стружкообразования одинакова для всех видов резания и не зависит от анизотропии древесины. Для этой фазы начального внедрения резца в древесину характерно упруго-пластическое ее деформирование (см. рисунок *a*). В этой фазе напряжений в заготовке от воздействия резца еще нет.

Вторая фаза характеризуется появлением нормальных напряжений сжатия и растяжения и вызванных этими напряжениями упругих деформаций. Развитие упругих деформаций происходит до тех пор, пока не будет пройден предел упругости как в направлении вектора скорости, так и в направлении, перпендикулярном ему. Эта фаза завершается достижением предела упругости древесины. Касательные напряжения являются функцией нормальных напряжений. Следовательно, имея эпюру нормальных напряжений, можно установить картину распределения касательных напряжений.

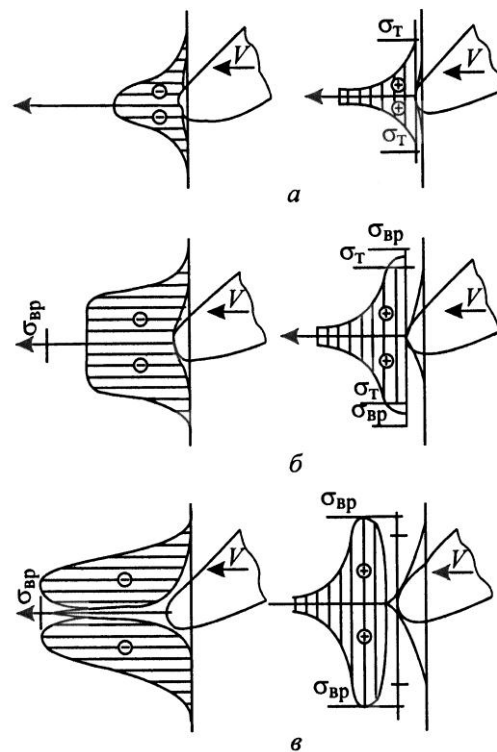


Диаграмма нормальных напряжений отдельных фаз внедрения резца в древесину: *a* – упругое деформирование; *б* – упруго-пластическое деформирование; *в* – разрушение поверхностного слоя древесины

Третья фаза – фаза развития упруго-пластических деформаций. Появляются они, когда фактические напряжения в древесине превысят предел упругости. Для этой фазы характерно появление площадок пластичности (рисунок б), которые увеличиваются в размерах с ростом напряжений в древесине. Это явление объясняется тем, что происходит перераспределение напряжений и деформаций; уменьшается доля упругих и возрастает доля пластических деформаций. Однако разрушения в материале образца еще не происходят, поскольку напряжения в нем не достигают предела прочности древесины. Как только напряжения достигнут предела прочности, произойдет разрушение частиц древесины. В древесине перед резцом появляется трещина. Опережающая трещина возникает в некоторой точке (рисунок в), в которой прежде всего превышен предел прочности. Появление трещины перед режущей кромкой является завершающим этапом развития напряжений в древесине. Опережающая трещина появляется при любом направлении волокон древесины. Направление ее развития определяется направлением волокон древесины. Трещина сама является чрезвычайно сильным концентратором напряжений. Далее трещина может развиваться выше, ниже или пойти вообще произвольно в зависимости от направления волокон и слоев древесины. Развитие трещины наблюдается до тех пор, пока суммарные напряжения в точке ее образования не станут меньше предела прочности. Скорость разрушения материала древесины при образовании опережающей трещины сравнима со скоростью распространения упругой деформации.

Стадия внедрения резца в древесину завершается появлением опережающей трещины. При дальнейшем движении резца стружка изгибается. К отгибу ее принуждает передняя грань резца. Отгиб стружки сопровождается приложением к ней соответствующей силы – суммы сил нормального давления и сил трения по передней поверхности резца. Составляющие сил трения, совпадающие с направлением движения стружки, вызывают напряжения, сжимающие стружку в продольном и других направлениях. Вследствие сложного напряженного состояния в стружке неизбежно появляются касательные напряжения, действующие преимущественно в направлении движения резца и нормально к плоскости резания. Касательные напряжения зависят от угла отгиба стружки, равного углу резания, толщины стружки, структурной характеристики древесины.

В ГОУ ВПО ВГЛТА проводятся обширные исследования по установлению, уточнению физико-механических свойств древесины и обрабатываемости ее резанием в традиционных процессах, а также в процессах бесстружечного деления древесины (разрезание, штампование). На обрабатываемость резанием древесины различных пород, кроме свойств самой древесины, особое влияние оказывают следующие факторы: кинематика резания (силовое взаимодействие резца и древесины), геометрия и износостойкие характеристики резца, острота главной и вспомогательных режущих кромок резцов, особенности стружкообразования при резании и нагрев контактирующих объектов при этом. Нагрев лезвия вызывает дополнительные

термические напряжения, которые суммируются с механическими от сил резания; нагрев выше некоторой критической температуры, может привести к отказу инструмента [1]. Нагрев древесины вызывает ее деструкцию, выделение агрессивных по отношению к инструментальным материалам веществ и, возможно, к окислительному и другим видам химического изнашивания.

Для описания процессов резания необходимы дополнительные методы испытаний, результаты которых могли бы более точно отразить специфику разрушения древесины резцом. Неоднородность структуры древесины, свойства различных слоев зависят от временных факторов, вносят определенные сложности в решение вопросов обработки древесины резанием.

Для исследования физико-механических свойств древесины по ГОСТ 16483.11–72 [4] изготавливали образцы размерами 20×20×30 мм (последний размер – вдоль волокон), годовые слои которых параллельны соответствующей паре граней. Для измерения влажности использовали влагомер ЭВ8-100 с погрешностью измерений до 1 %. Исходную влажность всех образцов доводили до 8 % в сушильном шкафу с естественной циркуляцией воздуха по ГОСТ 215234–77 [4]. Аналогичным стандартом оценивали количество, точность изготовления и шероховатость поверхности образцов. Статистическую обработку опытных данных проводили по ГОСТ 16483.0–80 с использованием ЭВМ.

Установлено, что методики расчета С.П. Разуваева, В.Г. Санаева, Г.А. Зотова [3] весьма точны. В таблице представлены основные экспериментальные показатели. В целом можно согласиться с выводом вышеназванных исследователей, что по мере убывания коэффициента обрабатываемости $K_{об}$ увеличивается плотность древесины. Выбранный авторами коэффициент обрабатываемости – комплексный критерий, оценивающий относительные энергозатраты на процесс резания и стойкость режущего инструмента. В первом приближении оценим обрабатываемость древесины с помощью этого коэффициента:

$$K_{об} = (F_{эт} / F)(T / T_{эт}), \quad (1)$$

где $F, F_{эт}$ – касательные силы при резании оцениваемой и эталонной древесины, Н;

$T, T_{эт}$ – периоды стойкости инструмента при резании оцениваемой и эталонной древесины, ч.

Стойкость круглых пил и режущих дисков определяли с использованием станка КС-2 при изменении качества обработанных поверхностей выше 200 мкм. За эталонную принимали древесину сосны влажностью 8...12 %. Силы резания и периоды стойкости инструментов (на примере круглых пил с ТСП и режущих дисков) определяли экспериментально [3].

При обработке резанием большинства пород древесины различие свойств между годовыми слоями и в пределах одного слоя влияет как на силы резания, так и на качество получаемой поверхности. Число годовых

слоев в заболони различается от 1 до 80 у разных пород. Древесина ядра обычно темнее древесины заболони. Принято считать, что при одной и той

же влажности прочность древесины ядра и заболони отличается незначительно. С точки зрения обрабатываемости резанием наиболее существенное различие между свежесрубленной древесиной заболони и ядра состоит в том, что влажность заболони намного выше. Различия условий произрастания, расположения образца по длине и радиусу ствола и другие причины определяют значительный разброс свойств в пределах одной породы, оцениваемый коэффициентом вариации v . Показатели механических свойств, полученные по стандартным методикам испытаний, характеризуют древесину как хороший конструкционный материал [3, 4]. В таблице приведены усредненные численные значения параметров наиболее распространенных древесных пород. По мере убывания $K_{об}$ древесные породы можно расположить в следующей последовательности: липа, осина, ель, сосна, береза, бук, дуб, ясень. Это свидетельствует о том, что мягколиственная древесина наиболее труднообрабатываема и имеет уникальные упруго-пластические свойства. Однако дереворежущие инструменты, адаптированные конструктивно-технологическими параметрами к механической обработке такой древесины, отсутствуют. С технологической и практической сторон для каждого из процессов резания целесообразно выбирать инструменты с особыми линейными и угловыми параметрами. Созданию новых инструментов с энергосберегающими характеристиками для древесины различной плотности должно предшествовать точное определение реологических коэффициентов этой древесины, так как разброс значений по различным литературным источникам достигает 30 % [4]. Свойства древесины при динамических нагрузках до последнего времени практически не исследованы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ивановский В.П.* Напряженное состояние дереворежущего диска // Лесн. журн. – 2006. – № 4. – С. 69–72. – (Изв. высш. учеб. заведений).
2. *Свиридов Л.Т., Ивановский А.В., Ивановский В.П.* Основы назначения силовых параметров деления древесины // Лесн. журн. – 2008. – № 6. – С. 138–145. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Свиридов Л.Т., Ивановский В.П.* Резание древесины различной плотности. – Воронеж: ВГУ, 2005. – 200 с.
4. *Уголев Б.Н.* Древесиноведение с основами лесного товароведения. – М.: МГУЛ, 2001. – 340 с.

L.T. Sviridov, A.V. Ivanovsky, V.P. Ivanovsky

Cutting Workability for Wood of Different Species

The distribution of the main components of cutting forces in the blade and wood contact zone under chip formation is considered, as well as some factors exerting the dominant effect on the cutting workability for wood of different species. The complicated cutting workability is established for wood of soft deciduous species.

Keywords: wood density, mode of operation, algorithm, cutting operation, wood workability.



Параметры, влияющие на обрабатываемость резанием древесины различных пород

Параметр	Коэффициент вариации v , %	Сосна	Ель	Дуб	Клен	Ясень	Бук	Береза	Липа	Осина
Плотность ρ , кг/м ³	30	500	450	690	690	680	670	630	420	440
Модуль упругости, МПа:										
E_i	20	1240,0	1480,0	1470,0	–	–	–	1640,0	–	1420,0
E_o	20	70,0	67,0	135,0	–	–	–	68,0	–	61,0
Предел прочности, МПа:										
σ_{pi}	21	101,0	101,0	–	–	145,0	123,0	168,0	121,0	–
σ_{po}	20	5,4	5,0	8,0	13,3	9,0	12,5	11,1	–	–
$\sigma_{ски}$	14	49,5	44,5	57,5	59,5	59,0	55,5	55,0	45,5	–
$\sigma_{сжо}$	13	5,2	–	–	–	–	6,2	–	4,4	4,2
$\sigma_{ски}$	–	7,5	7,9	10,2	12,4	13,9	11,8	9,3	6,3	6,1
$\sigma_{ск.о}$	–	3,1	–	4,3	–	–	–	3,9	–	–
Твердость, МПа:										
радиальная H_p	17	23,5	17,7	54,9	54,5	57,9	42,7	36,3	16,7	16,9
торцевая H_t	17	28,0	26,0	64,2	74,6	78,5	59,8	45,6	25,5	27,3
Микротвердость зоны										
H_{μ} , МПа:										
ранней	–	20,7	18,0	53,4	–	–	57,0	–	–	16,1
поздней	–	113,0	111,0	93,0	–	–	–	–	–	71,0
Коэффициент:										
породы A_p	–	1,00	0,90	1,55	1,50	1,75	1,40	1,30	0,60	0,70
обрабатываемости $K_{об}$	–	1,00	1,14	0,58	–	–	0,70	0,74	1,22	1,19