

Глебов И.Т. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) GIT5@yandex.ru

ОСОБЕННОСТИ СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ И ПИЛЕНИИ ДРЕВЕСИНЫ

FEATURES CHIP FORMING AT MILLING AND SAWING WOOD

Зоны резания при продольном фрезеровании

По положению зуба фрезы относительно волокон древесины на дуге контакта при цилиндрическом фрезеровании можно выделить несколько зон. В каждой зоне условия фрезерования древесины разные, и это отражается на качестве обработанной поверхности и на величине сил резания [1].

Рассмотрим случай обработки паза цилиндрической фрезой (рис. 1). Боковые режущие кромки фрезы работают по принципу продольного цилиндрического фрезерования.

При врезании лезвия в древесину в точке *A* угол встречи, измеряемый под плоскостью резания между вектором скорости главного движения и волокнами древесины, $\varphi_в = 0$. Происходит продольное резание, которое затем переходит в продольно-торцовое резание.

На участке *AB* дуги контакта угол встречи $\varphi_в$ меньше угла резания лезвия δ . Эту зону назовем периферийной *II*. В периферийной зоне волокна древесины срезаемого слоя сначала упираются в переднюю поверхность, сжимаются и изгибаются ею, как консольно закрепленная балка. Затем изогнутые волокна встречаются с режущей кромкой, которая надрезает их. Таким образом, происходит сначала сжатие и изгиб волокон, а затем их надрезание. Передняя поверхность лезвия стремится оторвать срезаемый слой от плоскости волокон. Перед режущей кромкой может образоваться опережающая трещина, направленная в массив. Если подпор нижележащих слоев древесины недостаточен, то на обработанной поверхности образуются задиры.

В точке *B* дуги контакта $\varphi_в = \delta$, и передняя поверхность лезвия расположена параллельно волокнам древесины. Здесь резание переходит в центральную зону *III*.

В центральной зоне на участке дуги *BC* $\delta \leq \varphi_в \leq 90^\circ$. В этой зоне волокна древесины сначала перерезаются главной режущей кромкой, а затем передняя поверхность их начинает деформировать. Организация процесса резания стала более благоприятной. Однако в центральной зоне резание древесины приближается к торцовому и срезаемые слои толстые, что значительно затрудняет перерезание волокон. Сопротивление резанию увеличивается и достигает максимального значения в точке *C*. При затупившейся режущей кромке перерезать волокна древесины становится труднее, нежели оторвать их друг от друга в плоскости волокон. На обработанной поверхности образуются задиры, вырывы волокон.

На дуге *AC* происходит встречное фрезерование, $0^\circ \leq \varphi_в \leq 90^\circ$.

В точке *C* резание из центральной зоны переходит в центрально-периферийную ЦП (на дуге *CDE*). В этой зоне перерезание волокон режущей кромкой происходит при $\delta \leq \varphi_в \leq 180^\circ$. При подходе к точке *E* резание приближается от торцового к продольно-

му, силы резания уменьшаются. Условия резания становятся более благоприятными, однако, если на выходе лезвия отсутствует достаточный подпор волокон, то там образуются сколы.

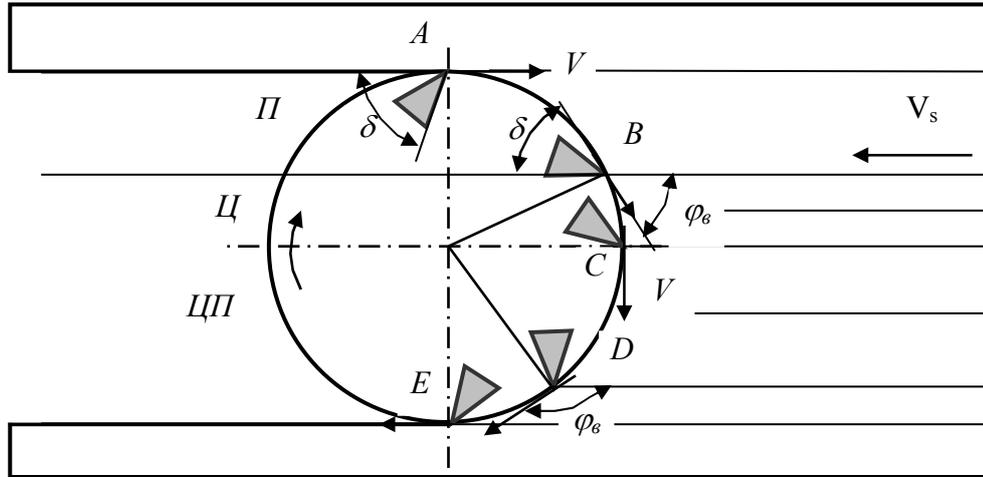


Рисунок 1 – Условия перерезания волокон по зонам (периферийной, центральной и попутного фрезерования)

Зоны резания при торцовом фрезеровании

Фрезерование цилиндрической фрезой по отношению к волокнам древесины может быть торцовым, когда ось вращения фрезы и направление подачи перпендикулярны направлению волокон древесины. Для изучения условий перерезания волокон древесины при торцовом фрезеровании рассмотрим обработку паза, продольная ось которого перпендикулярна волокнам (рис. 2).

Угол встречи лезвия с волокнами φ_e (угол перерезания волокон) в момент врезания режущей кромки в древесину (точка А) $\varphi_e = 90^\circ$, и угол резания $\delta < \varphi_e$. На участке АВС дуги контакта лезвия фрезы с древесиной угол перерезания волокон увеличивается от 90° до 180° , и резание переходит от торцового к продольному. На этом участке волокна древесины сначала перерезаются режущей кромкой, а затем деформируются передней поверхностью лезвия и скалываются. Условия стружкообразования соответствуют периферийно-центральной зоне ПЦ.

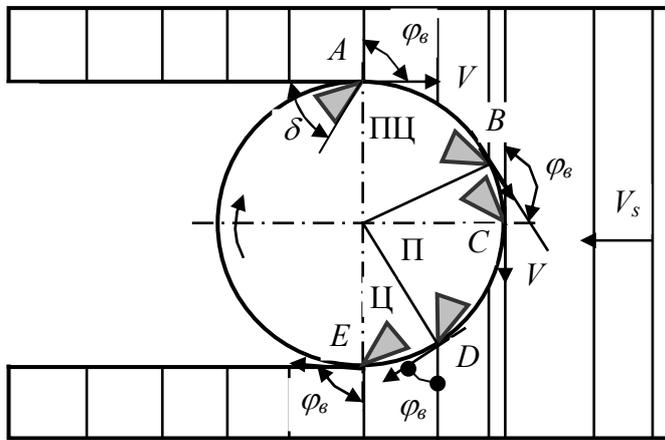


Рисунок 2 – Условия перерезания волокон при торцовом фрезеровании

В точке С дуги контакта угол встречи $\varphi_e = 180^\circ$ или можно считать $\varphi_e = 0^\circ$, что соответствует продольному резанию в периферийной зоне П. Далее резание постепенно переходит в продольно-торцовое и в точке Е становится торцовым.

На дуге CD угол встречи $\varphi_e < \delta$ (зона П). При резании волокна древесины сначала изгибаются и сжимаются передней

поверхностью лезвия и только затем надрезаются режущей кромкой. Это зона с неблагоприятными условиями перерезания волокон.

На дуге DE угол встречи $\varphi_e > \delta$ (зона Ц), и режущая кромка начинает выполнять основную работу резания – волокна древесины сначала перерезаются, а затем стружка скалывается передней поверхностью лезвия в плоскости волокон. При торцовом фрезеровании порядок зон изменился.

Условия резания при поперечном фрезеровании

При поперечном цилиндрическом фрезеровании ось вращения фрезы параллельна, а направление подачи перпендикулярно направлению волокон (рис. 3).

При поперечном фрезеровании во всех точках дуги контакта происходит чистое поперечное резание. Если режущая кромка лезвия будет параллельна волокнам древесины, то силу резания будут воспринимать ограниченное количество волокон и произойдет их вырыв. Для получения гладкой обработанной поверхности режущие кромки должны быть винтовыми. В этом случае сила резания распределяется на большое количество волокон и вырыв их становится маловероятен.

Продольное встречное фрезерование

Продольное встречное цилиндрическое фрезерование древесины осуществляется на станках фуговальных, рейсмусовых, четырехсторонних продольно-фрезерных и других, на которых глубина фрезерования не превосходит 6 мм или, по крайней мере, не более радиуса фрезы. При таком фрезеровании на всей дуге контакта происходит продольно-торцовое резание против слоя, когда возможные опережающие трещины распространяются в массив древесины.

Процесс стружкообразования можно поделить на несколько этапов.

Скольжение режущей кромки по поверхности резания. На первом этапе резания происходит врезание лезвия в древесину, когда режущая кромка деформирует (вальцует) поверхность резания.

При встречном фрезеровании толщина срезаемого слоя изменяется от нуля, когда лезвие начинает контактировать с поверхностью резания, и до максимального значения при выходе его из древесины. При этом срезание слоя начинается тогда, когда

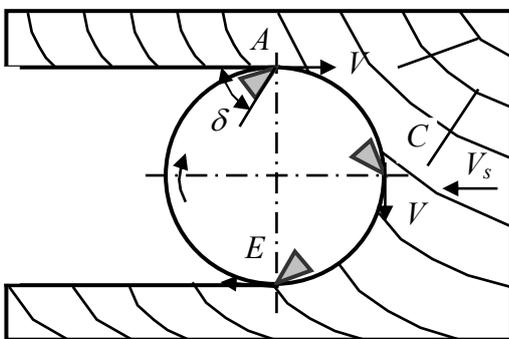


Рисунок 3 – Поперечное фрезерование

толщина его достигнет некоторой критической величины $a_{кр} = c\rho$.

На первом этапе резания основную работу выполняет задняя поверхность лезвия и примыкающая к ней часть режущей кромки. На лезвие действуют сила трения по задней грани и сила отжима. Это силы вредного сопротивления. Полезная работа по формированию новой поверхности не выполняется. Режущая кромка бесполезно изнашивается, на задней поверхности лезвия образуется фаска.

С началом стружкообразования в периферийной зоне волокна древесины контактируют с передней поверхностью лезвия, которая сжимает их, изгибает и стремится оторвать от массива. Если срезаемый слой тонкий, то изогнутые волокна встречаются затем с главной режущей кромкой, которая надрезает их. Происходит непрерывный изгиб и подрезание волокон. Подпор слоев древесины при тонком срезаемом слое обеспечивает установившийся режим резания с образованием гладких фрезерованных поверхностей. С увеличением толщины срезаемого слоя перед главной режущей кромкой может образоваться опережающая трещина, распространяющаяся в плоскости волокон в массив.

Глубина опережающей трещины ограничивается толщиной среза и величиной подпора сжатой древесины над передней поверхностью. Если величина подпора достаточна, то режущая кромка лезвия может приблизиться к изогнутым волокнам древесины и перерезать их. Перерезанные волокна скалываются, образуя элемент стружки, скользящий по передней поверхности лезвия. Если величина подпора недостаточна для перерезания волокон, то передняя грань поднимает неперерезанный слой, глубина трещины увеличивается, и в конце ее слой ломается. Срезание слоя заканчивается отщепом.

На граничном участке между периферийной и центральной зонами волокна древесины параллельны передней поверхности лезвия. Срезаемый слой сжимается в поперечном направлении, изгибается, а затем режущая кромка перерезает волокна древесины. При этом толщина срезаемого слоя в данном месте дуги контакта, а следовательно, и сила резания, достигают большой величины. Передняя грань лезвия стремится поднять срезаемый слой и оторвать его от массива. Перед режущей кромкой образуется опережающая трещина. Если подпор вышележащих слоев древесины недостаточен для перерезания волокон, то на выходе лезвия из заготовки образуется отщеп.

При резании в центральной зоне главная режущая кромка встречается с волокнами древесины раньше, чем передняя поверхность. Волокна сначала перерезаются, а затем поступают на переднюю грань, которая подрезанный слой сжимает и изгибает. При этом касательные напряжения в плоскости волокон могут достичь предела прочности, и элементы стружки скалываются. Если режущая кромка острая и может легко перерезать волокна древесины, а подпор еще неперерезанных волокон достаточен, то опережающие трещины не образуются. На выходе лезвий из заготовки, если не создан прижимами станка необходимый подпор, образуется отщеп.

Толщина срезаемого слоя в центральной зоне близка по величине к максимальному значению. Поэтому, несмотря на более благоприятные условия перерезания волокон древесины, перед режущей кромкой, особенно затупленной, всегда образуется опережающая трещина, и фрезерованная поверхность получается более шероховатой, чем в периферийной зоне.

Особенности стружкообразования при попутном фрезеровании

При продольном попутном фрезеровании угол резания δ лезвия всегда меньше угла встречи с волокнами $\varphi_в$. Во всех точках траектории резания $\varphi_в \geq 90^\circ$. На дуге контакта происходит резание по слою.

Толщина срезаемого слоя при попутном фрезеровании изменяется от максимального значения при входе лезвия в древесину до нуля при выходе. Силы резания тоже изменяются от максимального значения при входе в срезаемый слой до нуля при выходе. При входе лезвия в древесину происходит удар, что вызывает вибрацию заготовки и выкрашивание режущей кромки. Наблюдения показывают, что при попутном фрезеровании режущая кромка лезвия затупляется в 3 – 6 раз быстрее, чем при встречном фрезеровании. Силы резания при попутном фрезеровании больше в 1,5 ... 2 раза, чем при встречном фрезеровании [2, 3].

Основную работу при попутном фрезеровании выполняет главная режущая кромка. Она перерезает волокна. Опережающие трещины в данном случае не образуются. Отсутствие опережающих трещин позволяет получить более гладкие поверхности, однако для этого необходимо соблюдать условия, чтобы подача на зуб была не более 0,15...0,25 мм, а радиус закругления режущей кромки был бы не более 10...15 мкм.

Удары лезвий в момент врезания и направления сил резания при попутном фрезеровании создают условия для самоподачи заготовки, в результате чего фактическая подача на зуб может быть больше расчетной. Этого допускать нельзя.

Таким образом, при попутном фрезеровании в связи с отсутствием опережающих трещин расходуется энергии больше, но можно получить поверхности с меньшей шероховатостью.

Попутное и встречное пиление древесины круглыми пилами

Определение углов подачи и встречи. Обычно считают, что при продольном фрезеровании и пилении угол подачи μ количественно равен углу встречи $\varphi_в$.

Углом подачи μ по ГОСТ 25762-83 называется угол в рабочей плоскости между направлениями скоростей движения подачи и главного движения резания. При этом скорости обеих движений должны быть приложены к зубу режущего инструмента в точке на дуге контакта.

Встречное и попутное пиление. В настоящее время четких определений этих понятий нет. Обычно считают, что при встречном пилении проекции векторов скоростей главного движения и подачи на направление подачи направлены навстречу, а при попутном пилении – в одну сторону (по пути). Но это справедливо только в случае, когда главное движение резания совершается пилой, а движение подачи – заготовкой. Как же быть, когда оба рабочих движения приложены к пиле? Например, в торцовочных или форматных станках заготовка неподвижна и оба рабочих движения выполняются режущим инструментом. Принятое определение здесь не подходит.

Общим во всех случаях является величина угла подачи (рис. 4). Учитывая сложившиеся традиции можно считать: *при встречном резании угол подачи $\mu \leq 90^\circ$, при попутном резании $\mu \geq 90^\circ$.*

Особенности пиления. Поднимая-опуская заготовку относительно центра пилы, можно изменять величину угла подачи μ , количественно равную величине угла встречи $\varphi_в$.

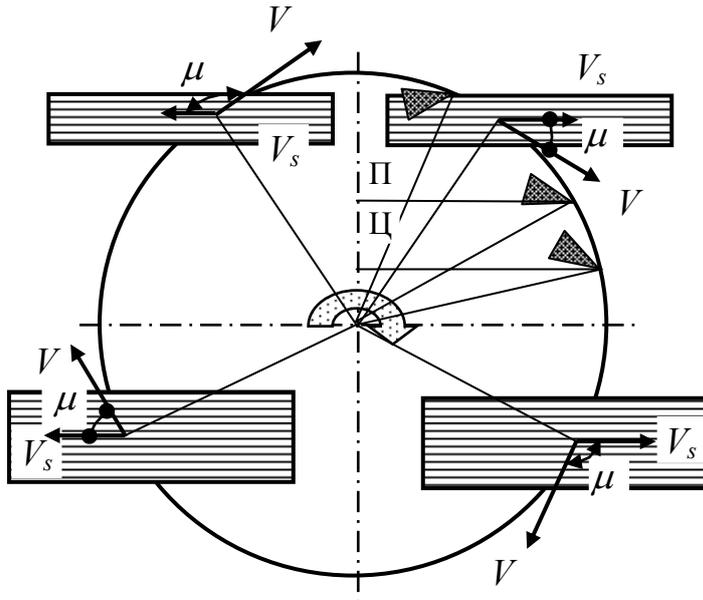


Рисунок 4 – Пиление попутное и встречное

Из рисунка следует, что при встречном пилении угол подачи $0 \leq \mu \leq 90^\circ$, при попутном пилении $90 \leq \mu \leq 180^\circ$. При вращении пилы по часовой стрелке встречное пиление возможно при взаимодействии заготовки в первой и третьей четвертях, а попутное во второй и четвертой четвертях диска пилы.

При пилении также можно выделить три зоны резания: периферийную П, центральную Ц и центрально-периферийную ЦП. В периферийной зоне П угол резания зуба δ больше угла μ . Стружкообразование в этой зоне неблагоприятное, т.к. срезаемый слой сначала изгибается передней гранью зуба, а затем надрезается режущей кромкой.

В центральной зоне Ц и зоне ЦП $\delta < \mu$. Стружкообразование в этих зонах благоприятное, т.к. волокна древесины сначала перерезаются режущей кромкой зуба, а затем сжимаются, сдвигаются, скалываются.

Энергетика и качество обработанной поверхности

При продольном фрезеровании и пилении круглыми пилами с увеличением угла встречи от 0° до 90° наблюдается *встречное* резание в зонах П и Ц. Характер стружкообразования в зоне Ц благоприятный, но срезаемые слои толстые. С ростом угла встречи удельная сила резания увеличивается, достигая максимальной величины при $\varphi_e = 90 \dots 100^\circ$ [2]. Толщина срезаемого слоя на дуге контакта увеличивается от минимальной величины при врезании до максимальной на выходе. Процесс резания сравнительно плавный.

При углах встречи $90^\circ < \varphi_e < 180^\circ$ резание стремится от торцового к продольному и пиление переходит в попутное, удельная сила резания убывает. Стружкообразование благоприятное в зоне ЦП, качество обработанной поверхности улучшается. Толщина срезаемого слоя на дуге контакта уменьшается от максимального до минимального значений. Резание сопровождается вибрациями, выкрашиванием, затуплением режущей кромки.

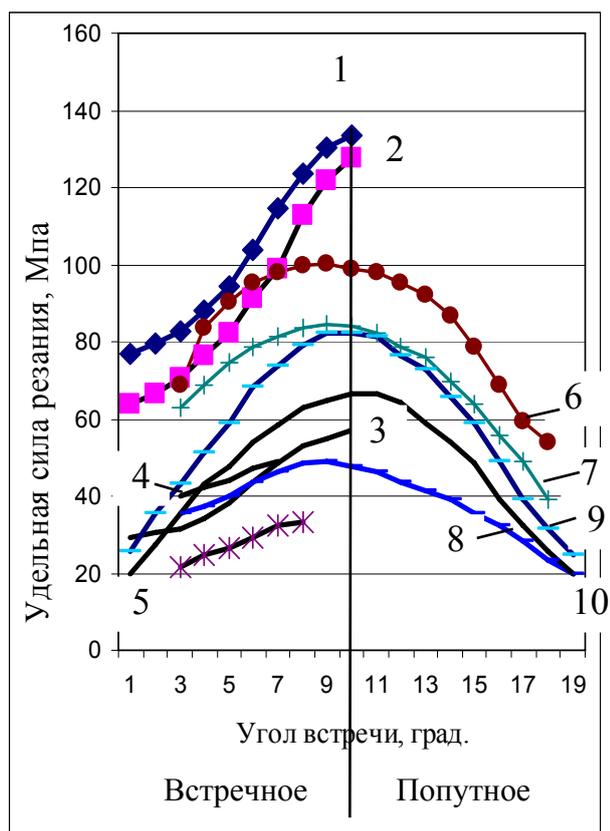


Рисунок 5 – Влияние угла встречи на удельную силу резания

На рис. 5 приведены результаты исследований различных авторов (табл. 1). На оси абсцисс отложены значения угла встречи $\varphi_в$ от 0° до 180° с интервалом 10° .

Из рисунка следует, что кривые графиков можно принять симметричными, близкими к синусоидальным. Рост кривых при встречном резании происходит симметрично падению кривых при попутном резании. Поэтому расчет режимов резания при встречном и попутном видах резания можно выполнять по одним формулам.

Таблица 1 – Условия исследований зависимости удельной силы резания от $\varphi_в$ [2]

Автор, год	Номер кривой	Условия опыта					
		Порода	$W, \%$	$V, \text{ м/с}$	$t, \text{ мм}$	$a, \text{ мм}$	$\delta, \text{ град}$
А.А. Смирнов, 1958	1	Лиственница	48	-	-	0,31	-
	2	Сосна	15	-	-	0,023	-
	3	Сосна	15	-	-	0,176	-
Н.И. Давыдова	4	Сосна	14...18	59,4	30	0,204	45
	5	Сосна	14...18	59,4	30	1,0	-
М.М. Козел, 1956	6	Сосна	14	38	2	0,042	-
	7	Сосна	14	89	2	0,248	-
	8	Сосна	14	38	2	0,248	-
	9	Дуб	-	48,9	-	-	51,5
И.С. Кугель	10	Береза	-	48,9	-	-	51,5

Библиографический список

1. Глебов, И.Т. Улучшение качественных параметров круглопильных станков [Текст] И.Т. Глебов/Технология качества жизни. Т. 5. №1, с. 53-60, Екатеринбург, 2005.
2. Ивановский, Е.Г. Фрезерование и пиление древесины и древесных материалов [Текст] Е.Г. Ивановский, П.В. Василевская, Э.М. Лаутнер / Лесн. пром-сть, 1971. 96 с.
3. Кряжев, Н.А. Преимущества попутной подачи при фрезеровании древесины в торец [Текст] Н.А. Кряжев // Деревообрабатывающая промышленность. 1971. №4. С.10-11.