

А. П. Клубков, А. И. Санкович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ  
ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ДРЕВЕСИНЫ ОСТРЫМ  
И ЗАТУПЛЕННЫМ ИНСТРУМЕНТОМ**

Фрезерование по своему технологическому назначению — процесс чистовой обработки, поэтому выбор оптимального режима резания должен обосновываться не мощностью привода, а показателями чистоты обработанной поверхности.

Шероховатость поверхности при фрезеровании зависит в первую очередь от жесткости системы станок—инструмент—деталь, а также от режимов и условий резания (степени заострения режущих кромок инструмента, подачи на резец, влажности древесины, скорости резания, направления резания по отношению к годовым слоям) и других факторов.

Влияние некоторых факторов на чистоту поверхности изучено достаточно полно [1, 2]. Менее изучено влияние степени затупления инструмента на шероховатость поверхности. Для установления воздействия основных технологических факторов на шероховатость обработанной поверхности при фрезеровании древесины с учетом затупления инструмента были проведены опыты при следующих условиях резания: скорость резания  $v=20-30-46$  м/сек (контрольная серия опытов была проведена при скорости резания, равной 5 м/сек); радиус затупления главной режущей кромки —  $\rho=5-10-20-30-40$  мкм; подача на резец —  $u_z=0,87-2,01-3,6$  мм; угол резания —  $\delta=55-65-75^\circ$ ; глубина фрезерования —  $h=2$  мм; диаметр окружности резания —  $D=180$  мм; число рабочих ножей —  $Z=1$ ; влажность древесины —  $W=8-10\%$  (контрольная серия опытов проведена при влажности древесины 12—15%, эта влажность соответствует строительным деталям). Направление резания по отношению к годовым слоям: вдоль волокон в радиальном, вдоль волокон в тангенциальном направлениях, вдоль волокон с углом радиальности  $\theta=45^\circ$ .

*Влияние степени затупления инструмента на шероховатость обработанной поверхности.* Существенное влияние на шероховатость поверхности при фрезеровании древесины оказывает степень заострения режущей кромки инструмента. Затупленный резец при взаимодействии с древесиной создает обширную зону деформации, что приводит к образованию дефектов обработки. Наиболее характерные из них — это ворсистость, мшистость, отщепы, упругое вос-

становление по годовым слоям и др. При больших радиусах затупления давление нижней грани реза и переходного участка (лезвия) на поверхность резания настолько велико, что в древесине возникают напряжения, превосходящие ее предел прочности на смятие. В этом случае деформированная поверхность древесины будет иметь вмятины, вырывы, ворс.

Результаты измерений высоты неровностей при фрезеровании сосны и дуба в зависимости от радиуса затупления инструмента представлены выборочными графиками на рис. 1.

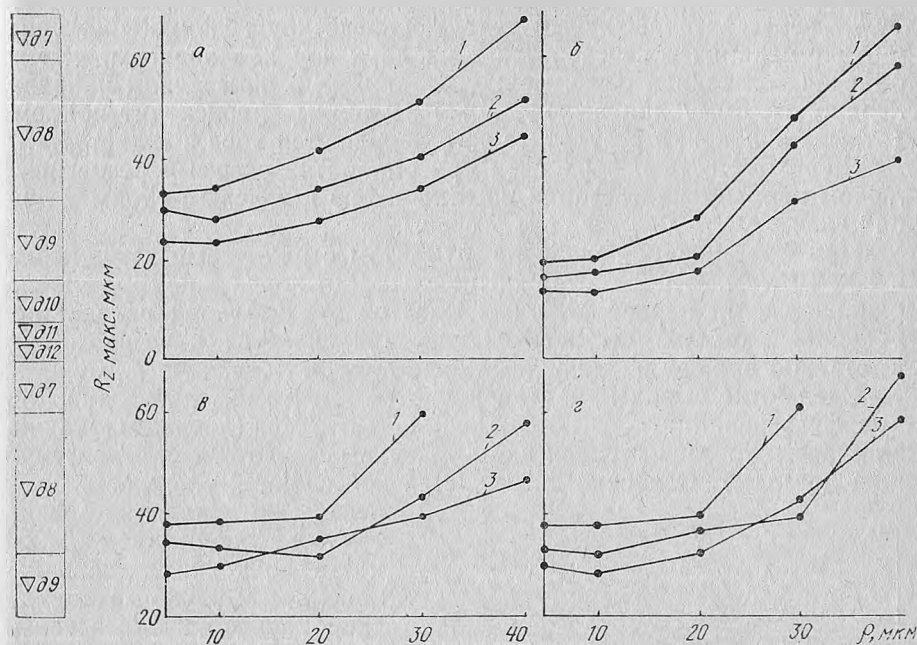


Рис. 1. Влияние радиуса затупления на шероховатость поверхности при фрезеровании (слева — классы шероховатости):

а, б — радиальное и тангенциальное направление соответственно,  $v=20$  м/сек,  $\delta=75^\circ$ , порода — дуб; в, г — радиальное и тангенциальное направления соответственно,  $v=30$  м/сек,  $\delta=75^\circ$ , порода — сосна; 1 —  $U_z=3,6$ ; 2 —  $U_z=2,01$ ; 3 —  $U_z=0,87$ .

Анализ графиков показывает, что высота неровностей с увеличением радиуса затупления непрерывно возрастает. Наибольший рост высоты неровностей наблюдается при радиусах затупления в 30—40 мкм. При фрезеровании сосны и дуба оптимальный радиус затупления инструмента 5—20 мкм. Работа инструментом, имеющим такие радиусы затупления, позволит получить хорошее качество обработанной поверхности, не снижая производительности станка.

При радиусах затупления 5—20 мкм направление резания по отношению к годовым слоям не оказывает существенного влияния на шероховатость обработанной поверхности.

При фрезеровании сосны вдоль волокон в тангенциальной плоскости затупленным инструментом ( $\rho=30\text{--}40$  мкм) наблюдается увеличение высоты неровностей. В этом случае резания на обработанной поверхности появляется ворс, в некоторых случаях поверхность становится мшистой. Ухудшение качества обработанной поверхности можно объяснить структурными особенностями тангенциального среза древесины, так как в этом случае плоскость раздела, по которой деформируется будущая обработанная поверхность, будет пересекать рыхлую и твердую древесину годовичного кольца. Физико-механические свойства этих двух зон неодинаковы, чем и объясняется слабая связь между волокнами в поперечном направлении. Поэтому при выходе ножа из волны происходит подъем (отрыв) волокон, в результате чего появляются ворс и мшистость.

Шероховатость поверхности при обработке острыми резцами в любом направлении резания по отношению к годовым слоям у дуба\* значительно меньше, чем у сосны.

При фрезеровании дуба инструментом с радиусами затупления в 30—40 мкм на обработанной поверхности ворса не образуется, однако высота неровностей оказывается значительной вследствие больших вырывов. Физико-механические свойства древесины существенно влияют на качество обработанной поверхности.

Сделанные выводы подтверждаются опытами, проведенными при фрезеровании сосны влажностью 12—15% (древесина такой влажности согласно техническим условиям соответствует строительным деталям). Особенно сказывается повышенная влажность древесины на появлении ворса,

так как с увеличением влажности до точки насыщения волокна физико-механические свойства древесины снижаются.

Высота неровностей при фрезеровании строительных деталей значительно больше, чем при фрезеровании древесины с влажностью 8—10% (рис. 2).

У влажной древесины ворс начинает образовываться при радиусе затуп-

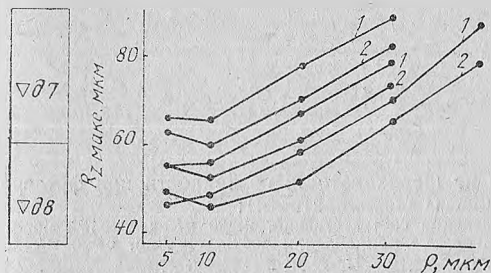


Рис. 2. Влияние радиуса затупления на шероховатость поверхности при фрезеровании строительных деталей:

1 — тангенциальное направление; 2 — радиальное направление,  $\delta=65\%$ ,  $W=12\text{--}15\%$ ,  $V=30$  м/сек,  $U_z=3,6; 2,01; 0,87$  для 1, 2 и 3-й пары соответственно.

\* Впадины, образованные полостями перерезанных клеток, отдельные неровности, явно выпадающие из ряда значений  $H_{\max}$  и вызванные местными пороками древесины, не учитывались. ГОСТ 7016—68. Древесина. Классы шероховатости и обозначения.

ления 30 мкм и подаче на резец 2,01 мм. Хорошее качество поверхности при обработке строительных деталей можно получить, поддерживая радиус заострения режущего инструмента в пределах 5—20 мкм и подачи на резец 0,87—2,01 мм. В этом случае получается восьмой класс шероховатости поверхности.

*Влияние подачи на резец ( $u_z$ ) на шероховатость поверхности.* Влияние подачи на шероховатость поверхности представляет значительный практический интерес по той причине, что величина  $u_z$  при прочих равных условиях определяет толщину срезаемой стружки, от численного значения которой зависит характер стружкообразования и, следовательно, шероховатость поверхности. Величина подачи на резец влияет не только на высоту неровностей, но и на волнообразование, ворсообразование. Кроме того, от величины  $u_z$  зависит производительность оборудования.

Известно, что шероховатость поверхности с увеличением подачи на резец ухудшается. Однако нет количественных данных, которые отражали бы влияние степени затупления инструмента и подачи на резец на шероховатость поверхности и образование ворса.

Результаты измерений высоты неровностей в зависимости от подачи на резец при различных радиусах затупления инструмента представлены выборочными графиками на рис. 3.

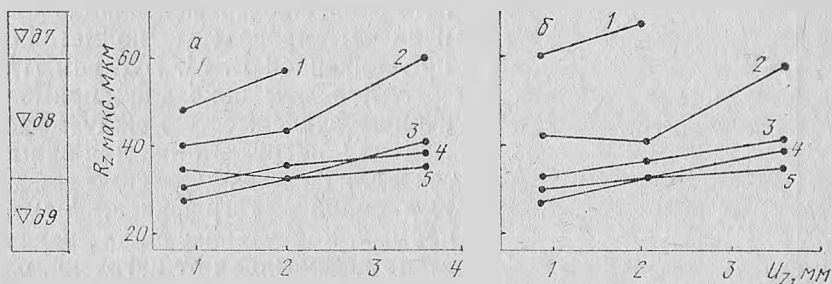


Рис. 3. Влияние подачи на шероховатость поверхности при фрезеровании: а — радиальное направление, б — тангенциальное направление;  $V=30$  м/сек,  $\phi=75^\circ$ ; 1, 2, 3, 4, 5 —  $\rho=40, 30, 20, 10, 5$  соответственно.

Анализ графиков показывает, что с увеличением подачи на резец высота неровностей незначительно увеличивается при радиусах затупления 5—20 мкм, наиболее интенсивное увеличение  $R_z \text{ макс}$  наблюдается при радиусах затупления в 30—40 мкм.

Опыты показали, что при фрезеровании древесины с влажностью 8—10% при радиусе затупления инструмента 40 мкм и подаче на резец  $u_z=3,6$  мм на обработанной поверхности образуется ворс.

Для древесины, влажность которой соответствует строительным деталям, ворс образуется при радиусе заострения 30 мкм и подаче на резец  $u_z=2,01$  мм.

Кроме того, визуально установлено, что ворс образуется не на всей обработанной поверхности при резании вдоль волокон в радиальном направлении, а лишь на ранней (рыхлой) древесине годичного слоя, на участке выхода ножа из волны, т. е. на том участке поверхности резания, где усилие деформации принимает максимальное значение [3]. При резании вдоль волокон в тангенциальной плоскости ворс может образовываться и на всей поверхности, если плоскость раздела проходит по рыхлой древесине, но опять-таки при выходе ножа из волны. Если же плоскость раздела проходит через позднюю зону, то ворса не наблюдается.

Следовательно, появление ворса зависит от подачи на резец, диаметра ножевой головки, так как чем больше указанные выше параметры, тем больше угол выхода ножа из волны:

$$\alpha_{\text{вых}} = \arcsin \frac{u_z}{D}$$

Большое влияние на образование ворса при фрезеровании древесины оказывают неодинаковые физико-механические свойства ранней и поздней древесины. Для выявления количественных значений физико-механических различий проведены опыты по вдавлению шарика диаметром 1,5 мм в рыхлую и твердую зоны годичного слоя. Экспериментальная часть и опыты проведены по методике, предложенной Б. М. Буглаем [1].

Эти опыты показали прямолинейную зависимость между деформацией и нагрузкой как для ранней, так и для поздней древесины (рис. 4). Как видно из графиков, наклон прямых, характеризующих зависимость деформации от нагрузки, различный в зависимости от зоны годичного слоя. Угол наклона прямой, соответствующей деформации ранней зоны, значительно больше, чем для поздней зоны. Величина деформации (проникновение шарика в древесину под нагрузкой) для древесины с влажностью 12—15% несколько больше. Для поздней древесины разница незначительна, а для ранней древесины существенна.

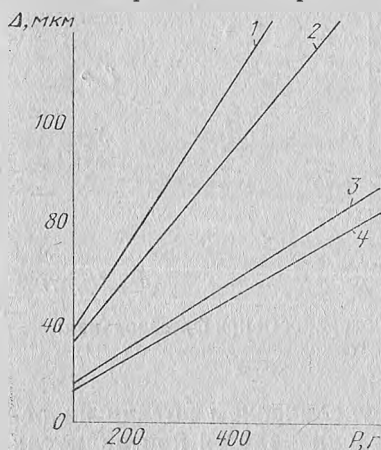


Рис. 4. Зависимость деформации от нагрузки:

- 1 — ранняя древесина,  $W=12-15\%$ ;
- 2 — ранняя древесина,  $W=8-10\%$ ;
- 3 — поздняя древесина,  $W=12-15\%$ ;
- 4 — поздняя древесина,  $W=8-10\%$ .

Численное значение глубины внедрения шарика в раннюю зону в 1,9—2 раза больше, чем в позднюю. Таким образом, на образование ворса и шероховатость поверхности влияют как режимы резания, так и физико-механические свойства древесины. На шерохо-

ватость поверхности оказывает влияние также состояние древесины, так как повышенная влажность влечет интенсивное образование ворса. Этот факт говорит о том, что в практике деревообрабатывающих предприятий наряду с улучшением качества подготовки режущего инструмента и применения соответствующих режимов резания следует особое внимание уделять гидротермической обработке древесины, высушивая ее до кондиционной влажности.

*Влияние скорости резания на шероховатость поверхности.* Влияние скорости резания как технологического фактора, действующего на силовые и качественные характеристики процесса фрезерования, в настоящее время точно не исследовано. Изменение усилий резания и мощности, расходуемой на резание, с увеличением скорости резания связано с появлением различных динамических факторов, действие которых на удельную работу резания и качество обработанной поверхности бывает различным.

С увеличением скорости резания проявляется действие инерционных сил на переднюю грань режущего инструмента со стороны срезаемой стружки. Масса стружки, находясь в статическом состоянии, мгновенно приобретает значительные ускорения при воздействии на нее режущего инструмента, движущегося с большой скоростью. Кроме того, с увеличением скорости резания (нагруженности) изменяются прочностные свойства древесины в зоне деформации, условия трения стружки о переднюю грань резца и условия контакта задней грани резца с обработанной поверхностью древесины. Все это влияет на шероховатость поверхности древесины.

Большинство исследователей считают, что скорость резания не оказывает влияния на шероховатость поверхности, обосновывая свои предположения такими практическими примерами, как строгание древесины ручным рубанком, резание травы косой и др. Эти утверждения будут справедливы в том случае, если резание осуществляется острыми резцами.

Будет ли влиять изменение скорости резания на шероховатость поверхности фрезерования древесины затупленным инструментом? Опыты, проведенные нами по фрезерованию сосны при скоростях резания от 5 до 46 м/сек, показали, что увеличение скорости резания не оказывает существенного влияния на шероховатость поверхности при радиусах затупления режущего инструмента до 20 мкм.

При обработке древесины затупленным инструментом при радиусах затупления выше 20 мкм чистота поверхности улучшается (незначительно) с увеличением скорости резания. Однако следует иметь в виду, что при больших радиусах затупления (30—40 мкм) и больших скоростях резания возникают большие вибрации в системе станок—инструмент—деталь, вследствие чего чистота поверхности может ухудшаться.

При малых скоростях резания  $v=5$  м/сек и радиусах затупления инструмента 30—40 мкм на обработанной поверхности появля-

ются ворс и неровности упругого восстановления по годовым слоям (табл. 1). Величина неровностей упругого восстановления по годовым слоям значительно превосходит (при указанных выше режимах) величину неровности разрушения.

Таблица 1

Численные значения высоты неровностей вследствие упругого восстановления по годовым слоям

Радиус затупления инструмента ( $\rho$ ), мкм	Подача на резец ( $v_2$ ), мм	Величина высоты неровностей ( $R_{z\max}$ ), мкм
30	0,87	70
»	2,01	»
»	3,6	ворс
40	0,87	74
»	2,01	ворс
»	3,6	ворс и вырывы

Физическое объяснение упругого восстановления по годовым слоям при малых скоростях резания следующее.

Исследование физико-механических свойств древесины показало, что ей присущи как упругие, так и вязкие (пластические) деформации; для восстановления последних необходим определенный промежуток времени. При нагружении древесины с определенной скоростью, упругая деформация возникает мгновенно (со скоростью распространения звука), а вязкая развивается во времени. Поэтому величина упругой деформации не зависит от скорости нагружения, вязкая же деформация зависит от скорости деформации. При больших скоростях нагружения вязкая деформация не успевает развиваться. Даже материалы с ярко выраженными вязкими свойствами (стеклопластики, пластмассы) работают при больших скоростях деформации как упругие. Сосна имеет раннюю и позднюю древесину. В ранней древесине вязкие свойства выражены более ярко, чем в поздней.

При больших скоростях резания и подачи и обработке материала затупленным инструментом в ранней и поздней древесине будут возникать только упругие деформации, восстанавливающиеся мгновенно после прохождения резца. На упругую деформацию при больших скоростях резания не будут существенно влиять различия в физико-механических свойствах ранней и поздней древесины.

При малых скоростях резания и малых подачах на резец успевают развиваться вязкие деформации, вследствие чего на обработанной поверхности будут появляться впадины и выступы, чем и ха-

рактрно упругое восстановление по годовым слоям. Древесина, имеющая повышенную влажность, наиболее предрасположена к таким видам неровностей.

Таким образом, из сказанного следует, что упругое восстановление по годовым слоям зависит от скорости резания и подачи, радиуса затупления инструмента, влажности древесины. Поэтому можно с уверенностью сказать, что обрабатывая древесину затупленными инструментами при малых скоростях резания чистота поверхности будет значительно ухудшаться.

Проделанная работа позволяет сделать следующие выводы.

1. Наиболее оптимальными радиусами затупления инструмента следует считать 5—20 мкм.

2. Радиус затупления инструмента в 40 мкм является крайним значением для фрезерных инструментов из-за интенсивного появления ворса.

3. Подачу на резец необходимо принимать для резцов, радиус затупления которых меньше 20 мкм, до 3 мм на резец, а для затупленных резцов при радиусе 30 мкм до 2 мм на резец.

4. Оптимальные скорости резания — 30—40 м/сек.

#### Литература

- [1] Б. М. Буглай. О деформации поверхности древесины под мерительным давлением. «Деревообработ. пром.», 1956, № 8. [2] Н. А. Кряжев. Фрезерование древесины. М., 1963. [3] А. П. Клубков. Влияние затупления инструмента на чистоту поверхности при фрезеровании. «Пром. Белоруссии, 1968», № 10.