

УДК 674.055

Анализ режимов шлифования древесины и древесных материалов с позиции активных зерен

А.В. Сергеевичев^{1 a}, Ар.А. Федяев^{1 b}, А.А. Федяев^{2 c}

¹Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им С.М. Кирова, Институтский пер. 5, Санкт-Петербург, Россия

²Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

^aalexander910@yandex.ru, ^bart_fedyayev@mail.ru, ^cvends1@mail.ru

Статья получена 25.06.2015, принята 16.08.2015

Шлифование — это заключительная операция технологического процесса механической обработки при изготовлении изделий из древесины и древесных материалов. Шлифование выполняют с целью выравнивания поверхности после предыдущих операций и придания ей требуемой шероховатости, а также удаления слоя древесины или древесного материала для обеспечения заданного размера изделия. Резание древесины и древесных материалов при шлифовании осуществляется абразивными зёрнами. По форме абразивные зёрна могут быть изометричные, пластинчатые и мечевидные. Изометричные зёрна имеют округлую симметричную форму (приблизительно равные размеры по высоте, ширине и толщине), а пластинчатые и мечевидные зёрна — ярко выраженную несимметричную форму. Основной формой абразивных зёрен является изометричная. Число абразивных зёрен, одновременно взаимодействующих с обрабатываемой поверхностью, зависит от их размера (зернистости), степени затупления, площади контакта с обрабатываемым изделием и характеристик режима шлифования. Этими же параметрами в основном определяется величина шероховатости обработанной поверхности, производительность процесса и стойкость шлифовальной шкурки. На основании проведенного анализа можно определить направления дальнейших теоретических и практических исследований процесса шлифования древесины и древесных материалов, а также пути повышения производительности процесса шлифования.

Ключевые слова: шлифование древесины и древесных материалов; производительность процесса шлифования; активные и контактные абразивные зёрна.

Analysis of grinding modes for wood and wood materials from the position of active grains

A.V. Sergeevichev^{1 a}, Ar.A. Fedyayev^{1 b}, A.A. Fedyayev^{2 c}

¹Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov; 5, Institutskiy per., Saint Petersburg, Russia

²Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

^aalexander910@yandex.ru, ^bart_fedyayev@mail.ru, ^cvends1@mail.ru

Received 25.06.2015, accepted 16.08.2015

Grinding is a final operation in technological process of machining when producing products from wood and wood materials. Grinding is carried out for the purpose of smoothing a surface after previous operations and giving necessary roughness, as well as removing a layer of wood or wood material to provide a given size to a product. Cutting of wood and wood materials when grinding is carried out by abrasive grains. According to their form, abrasive grains can be isometric, platy and gladiated. Isometric grains are of round symmetrical shape (approximately of equal size in height, width and thickness), and platy and gladiated grains are of a distinct asymmetrical shape. The basic form of the abrasive grains is isometric. The number of the abrasive grains, interacted simultaneously with the processed surface, depends on their size (granularity), degree of their bluntness, contact area of the processed product and characteristics of the grinding mode. By applying the same parameters, the roughness size of the processed surface, productivity of the process and firmness of an abrasive cloth are generally defined. According to the analysis, it is possible to define the directions of further theoretical and practical research in the grinding process for wood and wood materials as well as ways of increasing productivity for the grinding process.

Key words: grinding of wood and wood materials; productivity for the grinding process; active and contact abrasive grains.

Введение. В процессе шлифования имеет место массовое царапание — резание поверхностного слоя древесины множеством абразивных зёрен, беспорядочно расположенных в шлифовальной шкурке. Шлифовальная шкурка представляет собой инструмент с прерывистой режущей кромкой, которой являются отдель-

ные абразивные зёрна. Значительная, основная часть абразивных зёрен имеет отрицательный угол резания.

Как показывают исследования, в процессе шлифования принимают участие не все зёрна, находящиеся на поверхности шлифовальной шкурки, а лишь какая-то их часть — контактные зёрна. Часть контактных зёрен

из-за малой глубины внедрения не будут принимать участия в работе шлифования [1; 3].

Установлено, что абразивные зерна имеют значительную разновысотность и несут неравномерную нагрузку в период шлифования древесины.

Экспериментальные исследования показали, что активные зерна в процессе шлифования частично выкрашиваются, а частично подвержены излому [4; 5]. Такое выкрашивание или разрушение зерен приводит к непрерывному изменению количества зерен, участвующих в работе, что существенным образом влияет на производительность шлифовального инструмента. Несомненно, что понятие «количество зерен активных» (ЗА) на единице площади шлифовальной шкурки рассматривается применительно к какому-то определенному промежутку времени, и в период длительной работы инструмента их число будет неизменно меняться.

Таким образом, экспериментальные исследования показали, что количество активных зерен на единицу площади шлифовальной шкурки зависит от разновысотности зерен, номера зернистости шлифовальной шкурки, давления в зоне шлифования (q), породы обрабатываемой древесины. Чем больше разброс размера h — высоты вершин абразивных зерен, тем меньше число активных зерен при том же давлении в зоне шлифования и наоборот, чем меньше номер зернистости шлифовальной шкурки, тем больше количество активных зерен на единицу площади. Чем больше давление в зоне шлифования при прочих равных условиях, тем больше число активных зерен на единицу площади. Чем мягче древесина, тем больше будет число активных зерен [6–8].

Основными показателями процесса шлифования являются производительность и чистота обрабатываемой поверхности.

Исследование цилиндрического шлифования древесины проводилось для жесткой и эластичной постели: жесткое цилиндрическое шлифование и эластичное цилиндрическое шлифование. Сравнительный анализ производительности указанных методов шлифования древесины выполнен на основе произведенных теоретических расчетов и полученных опытных данных на экспериментальных установках.

Одновременно сделаны выводы о чистоте обрабатываемой поверхности как факторе, характеризующем процесс шлифования древесины.

Исходными данными к расчету являются:

P — нагрузка на 1 м длины шлифовального цилиндра, $H/м$;

b_k — ширина контактной площадки шлифовального цилиндра с обрабатываемым объектом, $м$.

Значение величины b_k определяется экспериментальным путем.

Зная величины P и b_k , можно определить максимальное давление в зоне контакта шлифовального цилиндра, $МПа$:

$$q_{max} = \frac{P}{b_k}, \quad (1)$$

Так как давление в зоне контакта цилиндра распределено неравномерно (рис. 1), значение среднего дав-

ления можно вычислить графически, если изобразить в масштабе распределение давления в виде полуцилиндра с ординатой по оси цилиндра:

$$q_m = \frac{b_k}{2}. \quad (2)$$

Приравнивая значения объема полуцилиндра к объему параллелепипеда, построенного по длине контакта b_k как на основании и имеющего высоту q_{cp} , получим:

$$\frac{\pi b_k^2}{8} = b_k \cdot q_{cp} \quad \text{или} \quad q_{cp} = \frac{\pi b_k}{8};$$

$$b_k = \frac{8q_{cp}}{\pi}. \quad (3)$$

Зависимость линейных размеров соответствует отношению указанных давлений в зоне шлифования древесины. Подставляя выражение (3) в (2), получим:

$$q_{cp} = \frac{q_m}{1.27}, \quad (4)$$

где q_{cp} — среднее давление в зоне шлифования, $МПа$.

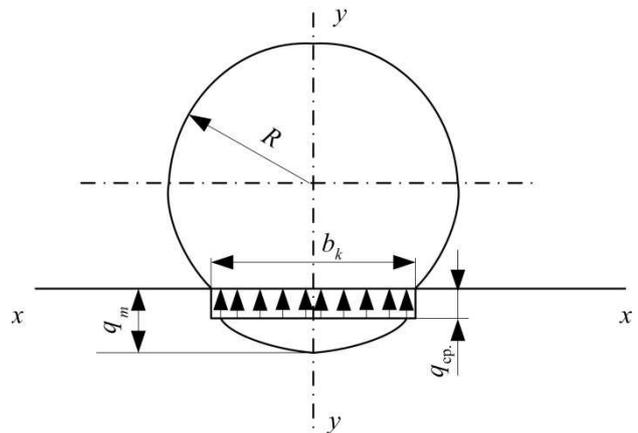


Рис. 1. Схема распределения давления в зоне контакта цилиндра с деталью

На основании q_{cp} и графика $ЗК = f(q)$ [15] определяем количество зерен контактных (ЗК) на единицу площади шлифовальной шкурки.

Далее определяется средняя нагрузка на единичное зерно на площади 1 см^2 :

$$Q_{cp} = \frac{q}{ЗК}. \quad (5)$$

По графику $\eta = f(Q)$ (η — глубина внедрения единичного абразивного зерна, $мкм$) [15] определяем среднюю глубину внедрения единичного зерна в исследуемую породу древесины.

Теоретическая форма сечения среза состоит из двух участков: сегментального, в соответствии с округлением вершин абразивного зерна ρ , и трапециевидного, на прямолинейном участке образующей абразивного зерна [9].

На основании проведенных исследований геометрии абразивных зерен известно, что зерно Э5 № 40 имеет средний радиус округления вершин $\rho = 32\text{ мкм}$, а угол при вершине $\varepsilon = 92^\circ 30'$ [10; 11]. Абразивное зерно Э5 № 25 имеет соответственно $\rho = 24\text{ мкм}$, а $\varepsilon = 87^\circ 32'$ (рис. 2).

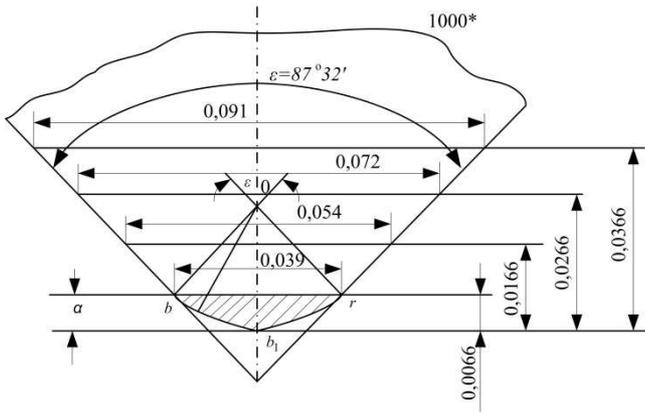


Рис. 2. Профиль теоретического сечения зерна Э5 № 25

Далее по глубине внедрения единичного абразивного зерна и соответствующему профилю теоретического сечения зерна вычисляется площадь поперечного сечения стружки снимаемой единичным зерном F_1 .

Для данных режимов работы известно число контактных зерен на единице площади шлифовальной шкурки, соответственно можно определить теоретическую общую площадь удаленной древесины группой контактных зерен, расположенных на единице площади шлифовальной шкурки [12]:

$$F_{\text{общ}} = 3K \cdot F_1, \quad (6)$$

где $F_{\text{общ}}$ — общая площадь сечения удаленной древесины, мм^2 ; F_1 — теоретическая площадь сечения снимаемой стружки одним контактным зерном, мм^2 .

Время контакта заготовки на длине контактной площадки со шлифовальной шкуркой определяется:

$$t = \frac{b_k}{u}, \quad (7)$$

где b_k — ширина контактной площадки, м ; u — скорость подачи древесины, м/с .

Общую длину шлифовальной ленты, контактирующей с обрабатываемой древесиной за время t , или число циклов шлифования 1см^2 шлифовальной шкурки на ширине контактной площадки, определим по формуле:

$$L = t \cdot V, \quad (8)$$

где t — время контакта, с ; V — линейная окружная скорость шлифования, м/с .

Общая теоретическая поперечная площадь древесины, снимаемая шлифовальной шкуркой за полный цикл шлифования, определяется по формуле, мм^2 :

$$\sum F = L \cdot F_{\text{общ}}. \quad (9)$$

Подставляя в формулу 8 значения (6) и (7), получим окончательное выражение:

$$\sum F = t \cdot V \cdot 3K \cdot F_1. \quad (10)$$

Тогда общая теоретическая толщина снимаемого слоя S'_T , мм :

$$S'_T = \frac{\sum F}{l}, \quad (11)$$

где l — длина реплики, равная $10 \cdot 10^3$ мкм .

Известно, что действительное сечение абразивного зерна значительно отличается от принятого среднего теоретического сечения и имеет различные формы, что непосредственно влияет на площадь поперечного сечения снимаемой части древесины [13; 14]. Кроме того, при повторном проходе по ранее сделанной царапине при той же нормальной силе внедрения царапина углубляется лишь на 12-15 % от глубины первого следа. Часть контактных зерен вообще не участвует в срезании древесины из-за малой глубины внедрения по отношению к радиусу закругления их вершин. Поэтому в расчет теоретической производительности процесса шлифования вводится поправочный коэффициент:

$$c_{\text{обш}} = \frac{S_3}{S'_T}, \quad (12)$$

где S_3 — толщина снимаемого слоя древесины при экспериментальном исследовании, мм .

Общий коэффициент, выведенный на основании проведенных исследований, можно представить как состоящий из произведения отдельных коэффициентов [15–17]:

$$c_{\text{обш}} = c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot c_4, \quad (13)$$

где c_1 — коэффициент отношения ЗА/ЗК при данных режимах работы; c_2 — коэффициент, учитывающий соотношение размера (по высоте) удаленной древесины в стружке по сравнению с глубиной царапины; c_3 — коэффициент формы резца; c_4 — коэффициент, учитывающий возможность попадания зерен, расположенных на одной линии с первым зерном, оставляющим глубокую царапину, но по высоте меньших первого и, следовательно, не образующих стружек.

Далее необходимо определить поправочные коэффициенты к расчету теоретической производительности процесса шлифования древесины.

Определение коэффициента c_1 .

Коэффициент c_1 характеризуется отношением:

$$c_1 = \frac{3A}{3K} \quad (14)$$

при данных режимах работы.

Поправочный коэффициент c_2 учитывает соотношение размера (по высоте) удаленной древесины в стружке по сравнению с глубиной царапины.

Коэффициент характеризуется отношением:

$$c_2 = \frac{F_a}{F_{\text{ср}}}, \quad (15)$$

где F_a — площадь ($abrd$) трапециевидальной части теоретического резца, мм^2 ; $F_{\text{ср}}$ — площадь (abb_1rd) сечения теоретического резца, мм^2 , на средней глубине внедрения η .

На рис. 3 видно, что значение $F_{\text{ср}}$ определяется как сумма:

$$F_{\text{ср}} = F_a + F_{\text{сег}}, \quad (16)$$

где

$$F_{\text{сег}} = \frac{\rho^2}{2} \left(\frac{\pi}{180} \cdot \phi - \sin \phi \right) \quad (17)$$

$$F_a = \frac{x_1 + x_2}{2} \cdot y \quad (18)$$

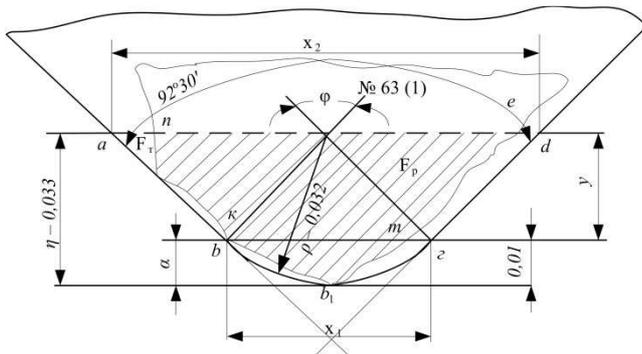


Рис. 3. Совмещенный профиль теоретического и реального резцов

Поправочный коэффициент формы зерна представлен как отношение площадей:

$$c_3 = \frac{F_p}{F_T}, \quad (19)$$

где F_p — площадь ($nfk b_1 m e$) реального резца на глубине η для данных режимов обработки; F_T — площадь ($abbrg$) теоретического сечения зерна на той же глубине внедрения.

Коэффициент, учитывающий повторность работы абразивных зерен — c_4 , можно определить по формуле [18]:

$$c_4 = \frac{S_{\text{э}}}{S'_T \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3}. \quad (20)$$

Таким образом, подставляя в формулу (12) зависимости (7), (10) и (13), получим окончательное значение теоретической производительности процесса шлифования древесины с позиции активных зерен:

$$S'_T = \frac{bk}{u} \cdot V \cdot \mathcal{Z} K \cdot F_1 \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot c_4 \cdot 10^{-4}. \quad (21)$$

Заключение

Анализируя полученную зависимость, можно сделать следующие выводы:

1. Производительность процесса шлифования, выраженная толщиной снимаемого слоя древесины, зависит от скоростных режимов процесса (скорости резания и скорости подачи). С увеличением скорости резания производительность шлифования увеличивается, в то время как при увеличении скорости подачи — уменьшается.

2. На производительность шлифования, при всех равных условиях, влияет ширина контактной площадки в зоне резания. При увеличении ширины контактной площадки производительность процесса растет и наоборот.

3. Величина давления в зоне шлифования оказывает решающее значение на производительность процесса шлифования. С увеличением давления в зоне шлифования увеличивается количество контактных зерен на единице площади шлифовальной шкурки, и при всех равных условиях процесса производительность шлифования растет.

4. Производительность процесса шлифования зависит от номера зернистости инструментов, т. е. от общей площади сечения удаленной древесины одним см² шлифовальной шкурки.

Литература

1. Ваксер Д.Б. Пути повышения производительности абразивного инструмента при шлифовании. М.: Машиностроение, 1975. 245 с.
2. Федяев А.А. Технологии ресурсосбережения в теплоиспользующих установках при производстве строительных материалов. Труды Братского государственного университета. Сер. Естественные и инженерные науки. 2013. Т. 1. С. 78-83.
3. Маслов Е.Н. Основные вопросы высокопроизводительного шлифования. М.: Машгиз, 1960. С. 5-29.
4. Рыбин Б.М., Кириллов Д.В. Оценка фактического объема полостей неровностей на обработанной поверхности древесины // Вестн. МГУЛ: Лесной вестник. 2014. № 4. С. 131-137.
5. Сергеевичев А.В. Форма режущих кромок рабочей поверхности абразивного инструмента для шлифования древесины и древесных материалов // Изв. СПбЛТА. 2015. № 210. С. 169-180.
6. Хусу А.П., Витенберг Ю.Р., Пальков В.А. Шероховатость поверхностей: теоретико-вероятностный подход. М.: Наука, 1975. 344 с.
7. Амалицкий В.В., Санев В.И. Оборудование и инструмент деревообрабатывающих предприятий. М.: Экология, 1992. 480 с.
8. Зайцева М.А. Исследование влияния различных технических характеристик шлифовальных шкурок на процесс шлифования древесины: дис. ... канд. тех. наук. Л., 1966. 178 с.
9. Кащеев В.Н. Об остроте текущих углов абразивных зерен // Станки и инструменты. 1963. № 8. С. 27-28.
10. Miyoshi T. Estimation of grinding wheel surface by power spectrum pattern // Bulletin of the Japan Society of Precision Engineering. 1979. Т.13, № 1. P. 51-53.
11. Tanaka Y. Frictional properties of abrasive grains // Technol. Repts. Osaka Univ. 1967. №17. P. 523-531.
12. Matsui S., Tamaki I. Influence of the elastic displacement of grain cutting edges on grinding mechanism // Technology Reports. Tohoku Univ. 1976. № 41. P. 73-88.
13. Жуков Е.В. Исследование процесса шлифования древесины: дис. ... канд. тех. наук. М., 1961.
14. Торлин В.Н. Финишные операции в гибком автоматизированном производстве. К.: Техника, 1987. 208 с.
15. Королев А.В. Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке: моногр. Саратов: Саратовск. ун-т, 1975. 202 с.
16. Verkert I. Predictive measurement of the spark out roughness during plunge grinding operations // CIPD Ann. 1978. Т. 27, № 1. P. 227-231.
17. Лукин Л.Н. Расстояние между зернами на рабочей поверхности алмазных брусков // Сб. науч. тр. Барнаул, 1973. № 33 С. 30-41.
18. Назаренко И.Г. Исследование процесса шлифования древесины и древесных материалов новыми абразивными материалами и новыми методами шлифования: дис. ... канд. техн. наук. Л., 1969. 304 с.

References

1. Vakser D.B. Ways of increasing the productivity of abrasive tools in grinding. M.: Mashinostroenie, 1975. 245 p.
2. Fedyaev A.A. Tehnologii resursosberejeniya v teploispolzuyuschih ustanovkakh pri proizvodstve stroitelnyih materialov. Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Estestvennyie i inženernyye nauki: 2013. Т. 1. S. 78-83.

3. Maslov E.N. The main issues of high-performance grinding. M.: Mashgiz, 1960. P. 5-29.
4. Rybin B.M., Kirillov D.V. Assessment of the actual volume of the cavities of the roughness on the treated surface of the wood // Vestn. MGUL: Lesnoi vestnik. 2014. № 4. P. 131-137.
5. Sergeevichev A.V. The shape of the cutting edges of the working surface of the abrasive tool for grinding wood and wood-en materials // Izv. SPbLTA. 2015. № 210. P. 169-180.
6. Khusu A.P., Vitenberg Yu.R., Palkov V.A. Surface roughness: theoretical and probabilistic approach. M.: Nauka, 1975. 344 p.
7. Amalitskii V.V., Sanev V.I. Equipment and tools of wood-working enterprises. M.: Ekologiya, 1992. 480 p.
8. Zaitseva M.A. Investigation of the effect of different specifications of grinding skins on the process of grinding wood: dis. ... kand. tekhn. nauk. L., 1966. 178 p.
9. Kashcheev V.N. Of the acuteness of the current angles of the abrasive grains // Stanki i instrumenty. 1963. № 8. P. 27-28.
10. Miyoshi T. Estimation of grinding wheel surface by power spectrum pattern // Bulletin of the Japan Society of Precision Engineering. 1979. T. 13, № 1. P. 51-53.
11. Tanaka Y. Frictional properties of abrasive grains // Technol. Repts. Osaka Univ. 1967. №. 17. P. 523-531.
12. Matsui S., Tamaki I. Influence of the elastic displacement of grain cutting edges on grinding mechanism // Technology Reports. Tohoku Univ. 1976. № 41. P. 73-88.
13. Zhukov E.V. Investigation of the process of grinding wood: dis. ... kand. tekhn. nauk. M., 1961.
14. Torlin V.N. Finishing operations in a flexible automated production. K.: Tekhnika, 1987. 208 p.
15. Korolev A.V. Research of processes of formation surfaces of the tool and workpiece during abrasive processing: monogr. Saratov: Saratovsk. un-t, 1975. 202 p.
16. Verkert I. Predictive measurement of the spark out roughness during plunge grinding operations // CIPD Ann. 1978. T. 27, № 1. P. 227-231.
17. Lukin L.N. The distance between the grains on the working surface of diamond bars // Sb. nauch. tr. Barnaul, 1973. № 33 P. 30-41.
18. Nazarenko I.G. Study of the process of grinding of wood and wood-based materials with new abrasive materials and new methods of grinding: dis. ... kand. tekhn. nauk. L., 1969. 304 p.