УДК 621.941:216.01 DOI: 10.18324/2077-5415-2018-1-29-35

Возможные пути снижения влияния факторов износа шлифовального инструмента при обработке древесины и древесных материалов

А.В. Сергеевичев[1 a], Ар.А. Федяев[1 b], В.В. Сергеевичев[1 c], А.А. Федяев[2 d], А.В. Семенов[1 e]

[1]Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер. 5, Санкт-Петербург, Россия
[2]Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия
[a]alexander910@yandex.ru, [b]art_fedyaev@mail.ru, [c]910sav@gmail.com, [d]vends1@mail.ru, [e] alexander910@yandex.ru
[a]https://orcid.org/ 0000-0003-3655-207X, [b]https://orcid.org/ 0000-0001-8036-7432,
[c]https://orcid.org/0000-0002-8067-5635, [d]https://orcid.org/ 0000-0001-6233-3757, [e]https://orcid.org/ 0000-0001-5547-6928
Статья поступила 23.01.2018, принята 3.02.2018

Операции шлифования могут быть представлены калиброванием или черновым и чистовым шлифованием. Эффективность операций шлифования зависит от свойств режущего инструмента и режима обработки, которые определяют производительность процесса шлифования. По современным представлениям, основной причиной снижения работоспособности и износостойкости шлифовальных шкурок при обработке древесины является засаливание, которое происходит вследствие защемления сошлифованных частиц древесины в межзерновом пространстве, прилипания частиц шлифовальной пыли к поверхности шкурки, что обусловлено липкостью смазки и выделением смолистых веществ древесины при нагреве, накоплением на шкурке электростатического заряда, недостаточным объемом свободного межзернового пространства. Для выяснения связи между износостойкостью шлифовальной ленты и факторами, влияющими на продолжительность работы, рассмотрен процесс размещения сошлифованного объема стружки в межзерновом пространстве. Повышения износостойкости шлифовальных лент можно добиться либо путем уменьшения засаливания, т. е. уменьшением доли застревающей в межзерновом пространстве стружки от общего количества сошлифованного материала, либо изменением профиля абразивного слоя шкурки с целью увеличения ее свободного межзернового пространства. Результаты испытаний показали, что износостойкость абразивной ленты, оснащенной зернами с насыпкой в электростатическом поле по разработанной схеме (зерна располагаются рядами шириной три зерна, на расстоянии между ними в 15 размеров зерна), превышает износостойкость обычной шкурки на 30–35 %. Производительность процесса шлифования увеличилась в 1,25 раза.

Ключевые слова: шлифование; шлифовальная шкурка; износостойкость; производительность процесса шлифования.

Possible ways to reduce the wear factors of the grinding tool when processing wood and wood materials

A.V. Sergeevichev[1 a], Ar.A. Fedyaev[1 b], V.V. Sergeevichev[1 c], A.A. Fedyaev[2 d], A.V. Semenov[1 e]

[1]St. Petersburg State Forestry University under name S.M. Kirov; 5, Institutsky Per., St. Petersburg, Russia
[2]Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia
[a]alexander910@yandex.ru, [b]art_fedyaev@mail.ru, [c]910sav@gmail.com, [d]vends1@mail.ru, [e] alexander910@yandex.ru
[a]https://orcid.org/ 0000-0003-3655-207X, [b]https://orcid.org/ 0000-0001-8036-7432,
[c]https://orcid.org/0000-0002-8067-5635, [d]https://orcid.org/ 0000-0001-6233-3757, [e]https://orcid.org/ 0000-0001-5547-6928
Received 23.01.2018, accepted 3.02.2018

Operations of grinding can be presented by a calibration or draft grinding and fair grinding. The effectiveness of grinding operations depends on the properties of the cutting tool and the processing mode, which determine the productivity of the grinding process. According to modern ideas, the main reason for the decrease in efficiency and wear resistance of grinding skins in the processing of wood is salting, which occurs as a result of pinching of ground particles of wood in intergranular space, the adhesion of particles of grinding dust to the surface of the skin, which is caused by stickiness of grease and the release of tarry substances of wood with heating, accumulation on the skin of electrostatic charge, insufficient volume of free intergranular space. To clarify the relationship between the abrasion resistance of the grinding belt and the factors affecting the duration of work, the process of placing the ground volume of chips in intergranular space is considered. Increasing the wear resistance of grinding tapes can be achieved either by reducing staining, that is, by decreasing the proportion of chips stuck in the intergranular space from the total quantity of ground material, or by changing the profile of the abrasive layer of the skin to increase its free inter-grain space. The results of the tests showed that the wear resistance of an abrasive belt equipped with grains with an embankment in an electrostatic field according to the developed scheme (the grains are arranged in rows with a width of 3 grains at a distance between them of 15 grain sizes) exceeds the wear resistance of ordinary skins by 30-35%. The productivity of the grinding process increased by 1.25 times.

Keywords: grinding; grinding abrasive paper; wear resistance; grinding process productivity.

Введение

Шлифование древесины и древесных материалов отличается от других видов резания древесины и материалов на ее основе. Отличия заключаются не только в применяемом режущем инструменте — шлифовальной шкурке, но и в специфике возникающих в процессе резания физических явлений. Режущий инструмент является многорезцовым за счет большого количества абразивных зерен, при этом абразивные зерна в большинстве своем имеют отрицательные передние углы, неправильную геометрическую форму, неравномерно распределены по рабочей поверхности инструмента, не имеющей сплошной режущей поверхности, поэтому процесс шлифования дискретен. Сам процесс шлифования нельзя назвать просто резанием, это процесс микрорезания-царапания большой совокупностью абразивных зерен [1].

Шлифование — это процесс резания древесины и древесных материалов многолезвийным режущим инструментом, микрорезцы которого перемещаются с большой скоростью и находятся под действием касательных и нормальных составляющих силы резания.

Операции шлифования могут быть представлены калиброванием или черновым шлифованием и чистовым шлифованием. Эффективность операций шлифования зависит от свойств режущего инструмента и режима обработки, которые определяют производительность процесса шлифования.

По современным представлениям, основной причиной снижения работоспособности и износостойкости шлифовальных шкурок при обработке древесины является засаливание, которое происходит вследствие защемления сошлифованных частиц древесины в межзерновом пространстве, прилипания частиц шлифовальной пыли к поверхности шкурки, что обусловлено липкостью смазки и выделением смолистых веществ древесины при нагреве, накоплением на шкурке электростатического заряда и недостаточным объемом свободного межзернового пространства [2].

На продолжительность работы шлифовальной ленты до полного износа оказывают влияние следующие основные факторы процесса шлифования, которые можно разделить на две группы [3]:

1. Факторы, относящиеся к обрабатываемому материалу и режимам обработки. Интегральной характеристикой этих факторов является производительность шлифования.

2. Факторы, относящиеся к конструкции инструмента, а именно: вид используемого связующего, способ насыпки зерна, объем межзернового пространства шкурки, вид используемого абразивного материала.

Причем определяющим фактором во второй группе является объем межзернового пространства.

В отличие от обработки металлов, где износ и затупление шлифовального инструмента в основном определяются истиранием вершин режущих зерен, изломом зерен, вырыванием их из связки [4], при шлифовании древесины решающую роль в затуплении инструмента играет засаливание шкурок отходами шлифования.

Производительность процесса шлифования напрямую связана со временем работы режущего инструмента, она резко снижается в самом начале работы шлифовальной шкурки, затем принимает установившийся характер, однако также постепенно снижается. Подобное снижение производительности связано с характером износа и затуплением шлифующего инструмента [5].

Изучение процесса шлифования древесины и древесных материалов позволило установить, что основными факторами износа шлифовальной шкурки и снижения производительности режущего инструмента являются: осыпание абразивных зерен, плохо закрепленных в связке; затупление абразивных зерен в процессе резания-царапания; заполнение межзернового пространства отходами обработки — шлифовальной пылью, смолистыми веществами и др. [6].

На сегодняшний день большинство предприятий, выпускающих шлифованную продукцию из древесины, стремятся нарастить объемы производства, улучшить качество выпускаемой продукции, к которой предъявляются все более жесткие требования не только со стороны государственных и внутренних стандартов, но и со стороны потребителя.

Целью исследований явилось изучение возможных путей снижения факторов износа шлифовального инструмента при обработке древесины.

Методика исследования. Для выяснения связи между износостойкостью шлифовальной ленты и указанными выше факторами рассмотрим процесс размещения сошлифованного объема стружки в межзерновом пространстве.

При перемещении единицы площади шкурки относительно единицы площади древесины за один проход будет сошлифован объем материала, равный *a* (рис. 1). Этот объем древесины размещается в межзерновом пространстве в виде воздушно-пылевого облака плотностью:

$$\rho = \frac{a}{V_c}, \tag{1}$$

где V_c — объем свободного межзернового пространства на единице площади шкурки, $мм^3$.

Плотность этого облака поддерживается постоянной в течение всего времени работы шкурки [7].

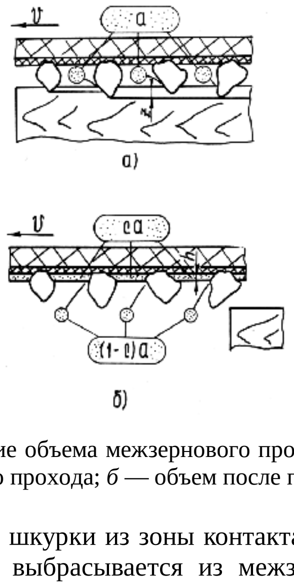

Рис. 1. Изменение объема межзернового пространства шкурки: *а* — объем до прохода; *б* — объем после прохода

При выходе шкурки из зоны контакта с древесиной часть стружки выбрасывается из межзернового пространства, другая часть остается там вследствие различных причин, как то: механическое застревание, адгезия стружки к связке, удерживание стружки силами статического электричества (рис. 1). Объем застрявшей части шлифовальной пыли:

$$dV_з = ca\,, \tag{2}$$

где $V_з$ — объем застрявшей части шлифовальной пыли, *мм*^{3}; *с* — доля застрявшей части стружки от общего объема сошлифованной древесины.

С учетом (2) объем свободного межзернового пространства уменьшится и примет значение:

$$V_c' = V_c - dV_з\,. \tag{3}$$

Следовательно, количество срезанной стружки *a* не сможет разместиться в объеме $V_c^/$ с плотностью ρ. Это приведет к вытеснению зерен из древесины и, следовательно, к уменьшению количества срезаемой стружки от *a* до $a^/$ так, чтобы сохранить плотность воздушно-пылевого облака постоянной, т. е.

$$\rho = \frac{a'}{V_c'} = \frac{a}{V_c} = \text{const}\,. \tag{4}$$

Изменение производительности шлифования во времени соответствует зависимости [8]:

$$a = a_o \cdot e^{-\lambda\tau}\,, \tag{5}$$

где *a*, a_0 — текущее и начальное значение удельной производительности шлифования, т. е. количество материала, сошлифованное $1{\cdot}10^{-4}$ м^2 шкурки с $1{\cdot}10^{-4}$ м^2 площади древесины за один проход; τ — время шлифования, *с*; λ — коэффициент.

С учетом этого объема стружки, застрявшей в межзерновом пространстве:

$$dV_з = ca_o \cdot e^{-\lambda\tau}\,, \tag{6}$$

Общее количество застрявшей древесины в межзерновом пространстве за время *τ*:

$$V_з = \int_0^{\tau} ca_0 \cdot e^{-\lambda\tau} d\tau = \frac{ca_0}{\lambda}(1 - e^{-\lambda\tau})\,. \tag{7}$$

Согласно принятому критерию износостойкости шлифовальной шкурки, лента считается изношенной при снижении ее производительности вдвое от начальной, т. е. при:

$$\frac{a_0}{a} = 2\,. \tag{8}$$

Из формулы (5) видно, что: $\frac{a_0}{a} = e^{\lambda\tau}$.

Прологарифмировав данное выражение, получим:

$$\frac{\ln a_0}{a} = \lambda\tau\,. \tag{9}$$

Подставив значение отношения производительностей, соответствующее моменту времени *T* (моменту износа шкурки), получим:

$$\lambda\tau = \ln 2\,. \tag{10}$$

В данных условиях общее количество застрявшей в межзерновом пространстве древесины за время *T*:

$$V_з = ca_0 \frac{T}{ln2}(1 - e^{-ln2})$$

или:

$$V_з = \frac{ca_0 T}{2\ln 2}\,. \tag{11}$$

С течением времени глубина внедрения зерен в древесину уменьшается из-за засаливания от Z_0 до *Z*. Следовательно, уменьшается объем, учитывающий изменение объема свободного межзернового пространства при внедрении зерен в древесину:

$$V_z = z \cdot S_1\,, \tag{12}$$

где S_1 — площадь единицы поверхности шкурки (в данном случае = $1{\cdot}10^{-4}$ м^2).

Согласно данным, приведенным в работе [9], удельная производительность прямо пропорциональна прилагаемому усилию прижима, т. е.:

$$a = k \cdot Q, \tag{13}$$

где *k* — коэффициент пропорциональности; *Q* — сила прижима, *Н*.

Количество древесины, срезанной за один проход с $1{\cdot}10^{-4}$ м^2 обрабатываемой поверхности, можно представить как слой площадью S_1 и высотой H_c, которая прямо пропорциональна давлению прижима и, с некоторым допущением, глубине внедрения зерен в древесину *z*.

С учетом этого, согласно формуле (5), следует:

$$Z = Z_0 \cdot e^{-\lambda\tau}\,, \tag{14}$$

где *z*, z_0 — текущее и начальное значение глубины внедрения зерна, *мм*.

Отсюда:

$$V_z = V_{z0} \cdot e^{-\lambda\tau}\,. \tag{15}$$

Объем свободного межзернового пространства можно представить в виде:

$$V_c = V_0 - V_з - V_z\,, \tag{16}$$

где V_c — объем свободного межзернового пространства при шлифовании, *мм*^{3}; V_0 — объем межзернового пространства шкурки, *мм*^{3}; $V_з$ — объем древесины, застрявшей в межзерновом пространстве к моменту времени τ, *мм*^{3}; V_z — объем, на который свободное межзерновое пространство уменьшается при внедрении зерен в древесину, *мм*^{3}.

Согласно выражениям (1) и (4) имеем:

$$\rho = \frac{a}{V_c} = \frac{a_0}{V_{c0}}, \tag{17}$$

где V_{c0} — начальный объем свободного межзернового пространства, *мм*^{3}:

$$V_{c0} = V_0 - V_{z0}\,. \tag{18}$$

Учитывая (5) и (17), получим:

$$\frac{a_0 \cdot e^{-\lambda\tau}}{V_c} = \rho$$

или:

$$V_c = \frac{a_0}{\rho} e^{-\lambda\tau}.$$

Т. е. имеем:

$$V_c = V_{c0} \cdot e^{-\lambda\tau}. \quad (19)$$

Подставив (7), (15), (19) в (18), получим:

$$\left(V_0 - V_{z0}\right) \cdot e^{-\lambda\tau} = V_0 - \frac{ca_0}{\lambda}\left(1 - e^{-\lambda\tau}\right) - V_{z0} \cdot e^{-\lambda\tau}$$

В результате преобразований данное выражение запишем в виде:

$$V_0 = \frac{ca_0}{\lambda}. \quad (20)$$

К моменту износа, согласно (10):

$$\lambda = \frac{ln\,2}{T}.$$

Отсюда:

$$T = \frac{V_0\, ln\,2}{ca_0}$$

или:

$$T = \frac{0{,}69з V_0}{ca_0}. \quad (21)$$

Данная формула устанавливает зависимость между износостойкостью шлифовальной ленты и основными показателями процесса шлифования: режимами шлифования, характеристикой которых является удельная производительность шлифования a_0; конструкцией шкурки, характеризуемой геометрическим объемом свободного межзернового пространства V_0, и коэффициентом c. Износостойкость инструмента, подсчитанная по формуле (21), измеряется в количестве проходов (оборотов) шкурки относительно $1{\cdot}10^{-4}$ м^2 обрабатываемой поверхности. Тогда, с учетом времени, необходимого на один проход, и длины контакта, формула (21) примет вид:

$$T = \frac{0{,}693 \cdot V_0 \cdot l_{шл}}{c \cdot a_0 \cdot \upsilon \cdot L}, \quad (22)$$

где T — износостойкость шлифовальной ленты, c; V_0 — объем межзернового пространства на $1{\cdot}10^{-4}$ м^2 площади поверхности шкурки, *м*^{3}; $l_{шл}$ — длина шлифовальной ленты, *м*; c — доля застрявшей в межзерновом пространстве стружки от общего объема сошлифованной древесины; a_0 — начальная удельная производительность шлифования на заданном режиме, *м*^{3}; v — скорость резания, *м/с*; L — длина контакта шкурки с древесиной, выраженная в количестве участков длиной $1{\cdot}10^{-2}$ м.

Возможное снижение износостойкости шкурки из-за выпадения зерен из связки учитывается коэффициентом C_z:

$$T = \frac{0{,}693 \cdot V_0 \cdot l_{шл}}{C_z c \cdot a_0 \cdot \upsilon \cdot L}, \quad (23)$$

где C_z — коэффициент, учитывающий выпадение зерен, C_z = 1,00 при обработке мягких пород древесины, C_z = 1,25 при обработке твердых пород древесины.

Для расчетов по формуле (23) необходимо знать значения a_0, v_0, c. Начальная удельная производительность может определяться по формуле [10].

$$a_0 = a_z \cdot a_н \frac{101{,}8Q}{10^6 \gamma \sqrt{z}}, \quad (24)$$

где a_z — коэффициент, учитывающий материал абразивных зерен; $a_н$ — коэффициент, учитывающий способ насыпки зерен; Q — сила прижима, Н; γ — удельный вес древесины, $1{\cdot}10^4$ Н/м^3; z — номер зернистости шкурки.

Коэффициент c находится из формулы (7):

$$V_з = \frac{ca_0}{\lambda}\left(1 - e^{-\lambda\tau}\right) = cA$$

или:

$$c = \frac{V_з}{A}, \quad (25)$$

где V_3 — количество древесины, застрявшей к моменту износа, *м*^{3}; A — количество древесины, сошлифованной к моменту износа, *м*^{3}.

Основные мероприятия по повышению износостойкости шлифовальных лент направлены на снижение засаливания путем устранения влияния того или иного фактора.

Повышения износостойкости шлифовальных лент можно добиться либо путем уменьшения засаливания, т. е. уменьшением доли застревающей в межзерновом пространстве стружки от общего количества сошлифованного материала, либо изменением профиля абразивного слоя шкурки с целью увеличения ее свободного межзернового пространства [11].

Уменьшения засаливания можно достичь путем снятия электростатического заряда, уменьшения адгезии частиц пыли к шкурке и их механического защемления. Для этого используются специальные антиадгезионные пленки, различные токопроводящие составы, устройства для вибрации шлифовальных лент, обдува, реверсивного шлифования, ультразвуковой очистки [12].

Увеличение межзернового пространства достигается изменением профиля рабочего слоя шлифовальной ленты или совершенствованием технологии ее изготовления. Примерами могут служить шлифовальные ленты с прерывистой поверхностью и введение электростатической насыпки зерен, приводящей к их выгодной ориентации, вместо гравитационной [13]. Это позволяет в обоих случаях увеличить износостойкость шлифовальных лент.

Результаты исследований. При проведении исследований процесса шлифования березы установлено, что удельная производительность зависит от зернистости и метода нанесения зерен на основу [14].

Существенное влияние на производительность абразивного инструмента оказывает продолжительность его работы. С течением времени производительность падает, причем особенно резко — в начале работы шкурки, затем более полòго, что обусловлено особенностями износа и затупления инструмента. Снижение производительности во время шлифования обусловлено двумя причинами: частичной потерей зерен и засаливанием шкурки. Наибольшая потеря зерен наблюдается в начале работы шкурки и уменьшается по мере ее засаливания [14]. Также отмечается, что при шлифовании древесины поперек волокон шкурка почти не засаливается, однако потеря зерен в 1,5–2 раза больше, чем при продольном шлифовании.

При изучении влияния различных технических характеристик абразивного инструмента на процесс шлифования древесины установлено, что снижение режущей способности шлифовальных шкурок может происходить по трем основным причинам: выкрашивание абразивного зерна или отделение его основы вместе с клеем, заполнение промежутков между зернами сошлифованным материалом, затупление зерна [15].

Затупление шлифовальных лент при обработке древесины является результатом истирания зерен, осыпания их и засаливания рабочей поверхности шкурки. Анализ ранее выполненных работ и проведенные исследования позволили установить, что первые два фактора затупления — истирание и осыпание зерен — оказывают незначительное влияние на износостойкость шлифовальных лент. Основную роль в снижении производительности шлифования играет засаливание. На первом этапе работы шкурки происходит интенсивное осыпание слабо закрепленных зерен, производительность шлифования максимальная. Именно в этот период происходит наиболее интенсивное забивание межзернового пространства, приводящее к вытеснению зерен из обрабатываемого материала и довольно резкому снижению производительности. В дальнейшем процесс стабилизируется. Количество поступающей стружки в межзерновое пространство снижается, уменьшается скорость вытеснения зерен из древесины, а также скорость снижения производительности, о чем говорит характер кривых на рис. 2 [16].

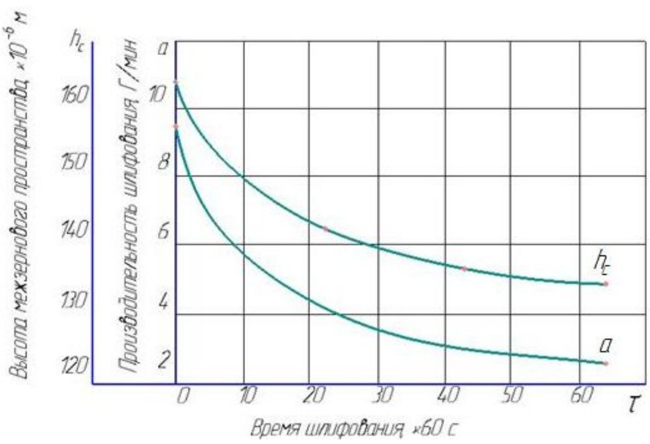

Рис. 2. Зависимость производительности шлифования и высоты межзернового пространства от времени шлифования

Засаливание, при заполнении межзернового пространства отходами шлифования, является результатом действия различных физико-механических и химических процессов.

При шлифовании в зоне контакта устанавливается средняя температура 40–70 °С, в то же время в зоне микрорезания единичным зерном температура достигает 160–200 °С. Этим обусловлено различие механизмов засаливания на разных участках шкурки. Так, в зоне резания активными зернами вследствие развивающихся высоких температур происходит опекание частиц пыли и связки с образованием наростов, которые имеют длину 8–10 размеров зерна. На остальной поверхности шкурки, где температура не очень высока, но достаточна для расплавления связки и смолистых веществ древесины, частицы пыли в основном удерживаются за счет молекулярных сил сцепления и механического защемления их в межзерновом пространстве.

Один из действующих при этом физических факторов, электростатический заряд, накапливающийся на ленте во время работы, способствует притяжению и удержанию частиц древесины на инструменте. Однако действие его значительно слабее, чем первых двух (механического защемления и адгезии пыли в шкурке) [17]. Частицы, удерживаемые только силами статического электричества, в процессе работы отрываются от поверхности шкурки вследствие больших прилагаемых усилий при взаимодействии шкурки с древесиной (явление самоочистки). В дальнейшем эти частицы могут вновь попасть в межзерновое пространство или быть выброшенными.

Анализ процессов, протекающих при шлифовании, показал, что основное влияние на засаливание, а также на степень заполнения межзернового пространства шлифовальных лент при обработке древесины оказывают, кроме режимных факторов, вид обрабатываемого материала, вид связующего и величина межзернового пространства, определяемая зернистостью инструмента и видом нанесения зерна на основу. Первые два фактора обуславливают адгезионные процессы, прилипание пыли к шкурке, а третий — способность механического защемления частиц древесины. В данном случае, чем меньше объем межзернового пространства, т. е. чем плотнее структура, тем легче волокна застревают между зернами, тем выше степень засаливания. В конечном счете, величина этого объема в значительной мере определяет износостойкость шлифовальных лент. В случае замены мездрового клея на синтетические термореактивные связки проблема повышения износостойкости за счет увеличения межзернового пространства остается открытой, т. е. необходимо, кроме увеличения объема указанного пространства, создание условий для меньшего застревания отходов шлифования [18].

При работе шлифовальной ленты в резании участвуют лишь 20–30 % зерен от общего количества. Остальные зерна только способствуют застреванию отходов шлифования в межзерновом пространстве. Поэтому удаление этой части зерен позволит снизить засаливание инструмента. Однако указанные зерна, кроме функции своеобразного сборника отходов шлифования, выполняют важную функцию «абразивной щетки», которая сама стружку не образует, но обеспечивает вынос из зоны шлифования стружки, срезанной активными зернами, тем самым способствуя нормальному течению шлифовального процесса. Поэтому просто хаотичное нанесение 20–30 % зерен на основу приведет к нарушению хода этого процесса, снижению производительности шлифования. Проблема может быть решена, если зерна располагать рядами шириной три зерна и расстояниями между ними в 15 размеров зерна, так, чтобы предотвратить образование наростов большой длины вследствие опекания пыли и связки. Шкурка с таким расположением зерен напоминает шлифовальную шкурку с прерывистой рабочей поверхностью (с программным нанесением зерен) [19]. Однако последняя имеет участки абразива шириной 2–3 мм, т. е. создаются условия для прилипания и механического защемления стружки. Спекание пыли вокруг активных зерен и наличие зерен за ними может способствовать образованию наростов. Шкурки с предлагаемым расположением зерен всего этого лишены, условия работы режущих зерен таких шлифовальных лент максимально приближены к условиям работы лезвийных инструментов, что способствует повышению ее режущей способности.

Согласно перечисленным условиям были изготовлены шлифовальные ленты на бумажной основе длиной 8 м, шириной 0,2 м, зернистостью 25. Связующее — синтетическая смола. Абразив наносился рядами шириной в три зерна (0,6 мм) и интервалом между рядами 15 размеров зерна (9 мм). Угол наклона к направлению движения ленты 80º. Зерна по длине ряда наносились плотно, без интервалов, рис. 3.

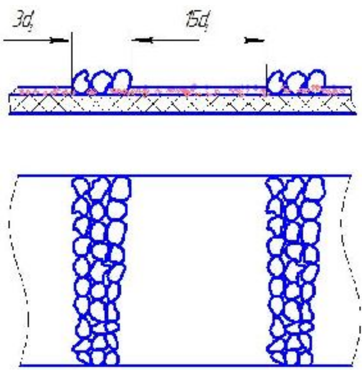

Рис. 3. Шлифовальная лента с размещением зерен на основе по специальной схеме

Шлифовались образцы из древесины березы. Скорость резания 20–30 м/с, давление прижима 2–4 кПа.

Заключение

Результаты испытаний показали, что износостойкость абразивной ленты, оснащенной зернами Э5 № 25 насыпкой в электростатическом поле по разработанной схеме, превышает износостойкость обычной шкурки на 30–35 %. Производительность процесса шлифования увеличилась в 1,25 раза. Признаков прилипания и механического защемления стружки не обнаружено. У некоторых активных зерен отмечено появление наростов опекшейся пыли, но их длина не достигает среднего ряда.

Литература

1. Рыбин Б.М. Санаев В.Г., Кириллов Д.В. К вопросу выбора параметров шероховатости для оценки неровности древесины // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2014. № 4. С. 131-137.

2. Taylor J.B. Quantification of process parameters in a wood sanding operation FPJ, 1999. Vol. 49 (5). P. 41-46.

3. Gahlin R., Jacobson S., The particle size effect in abrasion studied by controlled abrasive surfaces, 1999. Wear, vol. 224 (1), P. 118-125.

4. Кравчук В.И. Исследование и разработка методов повышения эффективности ленточного шлифования путем улучшения рельефа абразивного слоя: автореф. дис. .... канд. техн. наук. Киев, 1982. 20 с.

5. Гришкевич А.А., Костюк О.И. Увеличение периода эксплуатации шлифовального инструмента при обработке древесины // Машиностроение и машиноведение. 2015. № 3. С. 17-21.

6. Andres L. Carranoa, James B. Taylora Geometric Modeling of Engineered Abrasive Processes Journal of Manufacturing Processes, 2005. Vol. 7 (1). P. 17-27.

7. Сергеевичев А.В. Анализ разрушения абразивных зерен при шлифовании древесины и древесных материалов // Изв. выс. учеб. заведений. Лесной журнал, 2015. № 5. С. 7-15.

8. Переладов А.Б., Камкин И.П. Определение режима изнашивания инструмента при шлифовании // Изв. ВолгГТУ. 2015. № 5. С. 24-29.

9. Matsui S., Tamaki I. Influence of the elastic displacement of grain cutting edges on grinding mechanism // Technology Reports. Tohoky Univ, 1976. no. 41. pp. 73-88.

10. Калинин Е.П. Теория и практика управления производительностью абразивной обработки с учетом затупления инструмента: автореф. дис. …. д-ра техн. наук. СПб., 2006. 40 с.

11. Сергеевичев А.В. Формирование поверхности древесины и древесных материалов шлифованием: моногр. СПб.: СПбГЛТУ, 2015. 136 с.

12. Торлин В.Н. Финишные операции в гибком автоматизированном производстве. Киев: Техника, 1987. 208 с.

13. Сергеевичев А.В., Артеменков А.М. Аналитическое обоснование износостойкости шлифовальных лент с целью повышения их работоспособности // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2016. № 214. С. 190-203.

14. Новоселов Ю.К. Динамика формообразование поверхностей при абразивной обработке. Севастополь: СевНТУ. 2012. 304 с.

15. Рыбин Б.М. Санаев В.Г., Кириллов Д.В. Стандартизация шероховатости поверхности древесины и древесных материалов // Лесной Вестник / Forestry Bulletin, 2012. № 3 (86). С. 109-114.

16. Рыбин Б.М., Кириллов Д.В. Оценка фактического объема полостей неровностей на обработанной поверхности // Лесной Вестник / Forestry Bulletin, 2014. № 4 (103). С. 131-137.

17. Исаев С.П., Бегункова Н.О., Бегунков О.И. Влияние вида резания и зоны сечения кряжа на шероховатость строга-

ной поверхности древесины лиственницы // Системы. Методы. Технологии, 2014. № 3 (23). С. 139-145.

18. Сергеевичев А.В. Затупление шлифовальных лент при обработке древесины и древесных материалов // Леса России: материалы науч.-технической конф. СПб., 2016. Т. 2. С.111-113.

19. Сергеевичев А.В., Артеменков А.М. Определение объема межзернового пространства шлифовального инструмента при обработке древесины и древесных материалов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2017, № 219. С. 206-219.

References

1. Rybin B.M., Sanaev V.G., Kirillov D.V. To the question of the choice of roughness parameters for the estimation of woods roughnesses // Moscow state forest university bulletin - Lesnoy vestnik. 2012. № 4. P. 131-137.

2. Taylor J.B. Quantification of process parameters in a wood sanding operation FPJ, 1999. Vol. 49 (5). P. 41-46.

3. Gahlin R., Jacobson S. The particle size effect in abrasion studied by controlled abrasive surfaces, 1999. Wear, vol. 224 (1). P. 118-125.

4. Kravchuk V.I. Research and development of methods for increasing the efficiency of belt sanding of wood by improving the relief of the abrasive layer: avtoref. dis. .... kand. tekhn. nauk. Kiev, 1982. 20 p.

5. Grishkevich A.A., Kostyuk O.I. Increase the period of operation of the grinding tool for woodworking // Mashinostroenie i mashinovedenie, 2015. № 3. P. 17-21.

6. Andres L. Carranoa, James B. Taylora. Geometric Modeling of Engineered Abrasive Processes Journal of Manufacturing Processes, 2005. Vol. 7 (1). P. 17-27.

7. Sergeevichev A.V. The Analysis of Destruction of Abrasive Grains During the Grinding of Wood and Wood Materials // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal, 2015. № 5. P. 7-15.

8. Pereladov A.B., Kamkin I.P. Determination of the tool wear regime when grinding // Izvestia VSTU, 2015. № 5. P. 24-29.

9. Matsui S., Tamaki I. Influence of the elastic displacement of grain cutting edges on grinding mechanism // Technology Reports. Tohoky Univ, 1976. no. 41. P. 73-88.

10. Kalinin E.P. Theory and practice of controlling the productivity of abrasive processing, taking into account the blunt of the instrument: avtoref. dis. …. d-ra tekhn. nauk. SPb., 2006. 40 p.

11. Sergeevichev A.V. Formation of the surface of the wood and wooden materials by grinding: monogr. SPb.: SPbGLTU, 2015. 136 p.

12. Torlin V.N. Finishing operations in flexible automated production. Kiev: Tekhnika, 1987. 208 p.

13. Sergeevichev A.V., Artemenkov A.M. The analytical justification of wear resistance of sanding belts for the purpose of increase of their working capacity // Izvestia SPbLTA, 2016. № 214. P. 190-203.

14. Novoselov Yu.K. Dynamics of the formation of surfaces in abrasive processing. Sevastopol': SevNTU, 2012. 304 p.

15. Rybin B.M., Sanaev V.G., Kirillov D.V. Standardization of Woods and Wood Materials Roughness // Lesnoi Vestnik / Forestry Bulletin, 2012. № 3 (86). P. 109-114.

16. Rybin B.M., Kirillov D.V. Assessment of the Actual Volume of Cavities Irregularities on the Processed Surface of Wood // Forestry Bulletin, 2014. № 4 (103). P. 131-137.

17. Isaev S.P., Begunkova N.O., Begunkov O.I. The influence of cutting type and block cross-section zone on roughness of sliced surface of larch wood // Sistemy. Metody. Tekhnologii, 2014. № 3 (23). P. 139-145.

18. Sergeevichev A.V. Blunting of sanding belts when processing wood and wood materials // Lesa Rossii: materialy nauch.-tekhnicheskoi konf. SPb., 2016. T. 2. P. 111-113.

19. Sergeevichev A.V., Artemenkov A.M. Scoping of intergranular space of thegrinding tool when processing wood and wood materials // Izvestia SPbLTA, 2017. № 219. P. 206-219.