

УДК 621.923.4 : 621.921.34 : 674-41

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА СТРУКТУРНЫЕ
ПРЕВРАЩЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ И ЗАСАЛИВАНИЕ
АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА**

*А. В. АЛФИМОВ, В. Г. МАЛОГОЛОВЕЦ, В. В. ОГОРОДНИК,
Л. А. ФЕДОСЕЕВ*

Институт сверхтвердых материалов АН УССР

Одной из причин ухудшения работоспособности шлифовального инструмента, а в ряде случаев полной потери режущих свойств при шлифовании древесных материалов является засаливание абразивосодержащего слоя инструмента продуктами обработки.

Известно, что необходимая предпосылка для нормальной работоспособности шлифовального инструмента — свободное размещение срезаемой стружки в межзерновом пространстве, которое обеспечивается следующим условием [3]:

$$k_v = \frac{Q_{\text{стр}}}{Q_{\text{м.з}}} < 1, \tag{1}$$

где k_v — коэффициент заполнения межзернового пространства;
 $Q_{\text{стр}}$ — объем стружки, снятой инструментом за один оборот

$$Q_{\text{стр}} = \frac{\pi D u S t}{v}; \tag{а}$$

$Q_{\text{м.з}}$ — объем пространства между зернами алмазоносного слоя инструмента

$$Q_{\text{м.з}} = \pi D S h_v - N q_v. \tag{б}$$

В формулах (а) и (б) обозначено:

D — диаметр инструмента;

u — скорость продольной подачи;

v — скорость резания;

S — ширина обработки;

t — глубина резания;

h_v — средняя величина выступания алмазных зерен над связкой, в данном случае ее принимали равной половине средневзвешенного кубического размера алмазного зерна $0,5 d_{\text{с.п}}$ (для зернистостей 800/630, 630/500 и 400/315 значения $d_{\text{с.п}}$ соответственно равны 0,715, 0,561 и 0,354 мм [9]);

q_v — объем алмазного зерна, выступающего над связкой; в данном случае $q_v = 0,5 q$ — объема алмазного зерна [1], его рассчитанные значения приведены в таблице;

N — число зерен данной зернистости на площади рабочей поверхности инструмента.

$$N = \frac{\pi D S n \xi}{100}.$$

Здесь n — число алмазных зерен на единице площади рабочей поверхности инструмента — 100 мм²;

**Коэффициент заполнения межзернового пространства стружкой
и температура в зоне резания при шлифовании древесностружечных плит
(ДСП)**

Зерни- стость алмазного порошка a	Режимы обработки			n , шт.	q_B , мм ³	k_v	θ , К ξ
	v , м/с	u , м/с	t , мм				
800/630	50	0,4	1,8	125	0,083	0,046	506
	50	0,26	1,2			0,020	491
	50	0,13	0,6			0,005	479
	30	0,4	1,8			0,077	529
	30	0,26	1,2			0,033	507
	30	0,13	0,6			0,008	499
	10	0,4	1,8			0,231	627
	10	0,26	1,2			0,100	603
	10	0,13	0,6			0,025	577
	630/500	50	0,4			1,8	206
50		0,26	1,2	0,026	541		
50		0,13	0,6	0,007	515		
30		0,4	1,8	0,100	549		
30		0,26	1,2	0,043	521		
30		0,13	0,6	0,011	505		
10		0,4	1,8	0,300	669		
10		0,26	1,2	0,130	659		
10		0,13	0,6	0,032	633		
400/315		50	0,4	1,8	287	0,012	
	50	0,26	1,2	0,038			545
	50	0,13	0,6	0,010			529
	30	0,4	1,8	0,148			569
	30	0,26	1,2	0,064			545
	30	0,13	0,6	0,016			529
	10	0,4	1,8	0,444			679
	10	0,26	1,2	0,192			649
	10	0,13	0,6	0,048			631

ξ — отношение площади алмазонасных площадок к общей площади рабочей поверхности (для алмазного инструмента с прерывистой поверхностью алмазонасного слоя для обработки древесных материалов величина ξ составляет 0,4... 0,5 [6]).

Подставив в уравнение (1) выражения (а) и (б), получим:

$$k_v = \frac{ut}{v(h_B - 10^{-2} n \xi q_B)} \quad (2)$$

Исследование степени заполнения межзернового пространства и ее влияние на за-саливание абразивосодержащей поверхности проводили при шлифовании кругами, рабочая поверхность которых оснащена синтетическими алмазами марки АС15 зерни-стостью a — 800/630, 630/500 и 400/315, закрепленными в один слой электроосажден-ным никелем на 0,5 размера зерна, на следующих режимах резания: v — 10, 30 и 50 м/с; u — 0,13, 0,26 и 0,4 м/с; t — 0,6, 1,2 и 1,8 мм. Обрабатываемым материалом служили образцы ДСП П-2Т (ГОСТ 10632—77), березы и сосны шириной 30 мм.

Полученные по уравнению (2) величины k_v для различных режи-мов обработки ДСП приведены в таблице. Из данных таблицы следу-ет, что условие $k_v < 1$ выполняется для всех исследуемых режимов обра-ботки. Заполнение межзернового пространства стружкой в среднем не превышает 10 %, а для режимов обработки ($v = 10$ м/с; $u = 0,4$ м/с; $t = 1,8$ мм) коэффициент k_v для круга зернистостью 800/630 достига-ет 0,23, для круга зернистостью 630/500 $k_v = 0,30$ и для 400/315 — $k_v = 0,44$.

Из параметров режима обработки наибольшее влияние на коэффи-циент заполнения межзернового пространства оказывает скорость ре-зания.

Однако несмотря на то, что условие $Q_{\text{стр}} < Q_{\text{м.з}}$ выполняется, при определенных режимах резания наблюдается засаливание алмазного слоя режущих элементов рабочей поверхности инструмента. Для выявления причин засаливания одновременно с анализом степени заполнения пространства между зернами срезаемой стружкой исследовали влияние температуры, экспериментальные значения которой, измеренные методом двух встроенных электродов, также приведены в таблице.

Полученные экспериментальные данные показали, что температура в зоне резания определяется, в основном, величиной зернистости алмазных зерен, скоростью и глубиной резания и, как правило, не превышает 520...540 К, но при режимах обработки, когда k_v достигает 0,3...0,4, повышается в зоне резания до 670...680 К. При $\theta \leq 510...520$ К явление засаливания инструмента не наблюдается. Засаливание происходит при повышении температуры до 570 К и больше.

Следовательно, можно ожидать, что причиной засаливания алмазно-абразивного инструмента при обработке древесных материалов являются обусловленные повышением температуры в зоне резания структурные превращения в поверхностном слое обрабатываемого материала и в стружке, заполняемой межзерновое пространство.

Для подтверждения этого предложения были проведены исследования структурно-чувствительными методами (дифференциально-термический анализ (ДТА), инфракрасная спектроскопия) образцов сосны, березы и ДСП и продуктов засаливания (ПЗ) инструмента.

Исследования методом ДТА выполнены на дериватографе Q-1500Д по общепринятой методике на образцах в виде порошков, полученных при измельчении стружки исходных древесных материалов и механически удаленных из межзернового пространства круга ПЗ, образующихся при режимах обработки с температурой в зоне резания больше 570 К.

Результаты приведены на рис. 1. Кривые ДТА образцов исходных древесных материалов характеризуются двумя экзотермическими эффектами в температурных интервалах 430...630 К и 630...760 К.

Первый экзотермический эффект соответствует температурам, при которых уже возможно засаливание инструмента. В случае исходного обрабатываемого материала (рис. 1, а) он может быть обусловлен двумя процессами. Во-первых, в этом температурном интервале происходит разложение нецеллюлозных полисахаридов и экстрактивных веществ. Кроме того, при температуре ~ 500 К уже возможна деструкция целлюлозы [11]. Основными продуктами этих процессов являются вода (до 28 %), летучие газы (CO_2 , CO) и углеводороды (10 %), а также смолы (~ 13 %). Во-вторых, при температуре ~ 470 К происходит размягчение лигнина [7].

Второй экзотермический эффект на кривых ДТА может быть обусловлен окислительной и термической деструкцией лигнина, выражающейся в отщеплении метоксильных групп с образованием ароматических карбонильных соединений и карбоновых кислот. Дублетность второго пика на кривой ДТА березы (660 и 680 К) связана, по-видимому, с тем, что лиственный лигнин содержит метоксильные группы ($-\text{OCH}_3$) преимущественно сирингильного типа, тогда как в хвойном лигнине осуществляется, в основном, гваяцильный тип связи.

Анализ кривых ДТА ПЗ (рис. 1, б) в рамках выполненной интерпретации приводит к следующему выводу. ПЗ (как для сосны, так и для березы) состоит, в основном, из лигнина (интенсивный экзотермический эффект при 670 К). Количество исходной древесины в ПЗ незначительно (слабая структура в интервале 500...600 К). Особенности кривых ДТА ПЗ при $\theta > 700$ К можно объяснить дальнейшей карбонизацией лигнина и переходом образцов в коксообразное состояние. В слу-

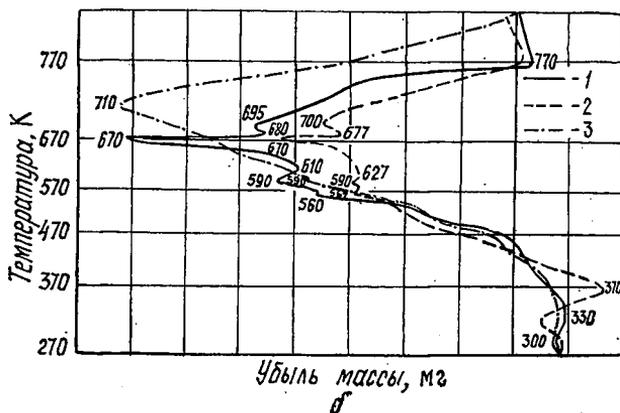
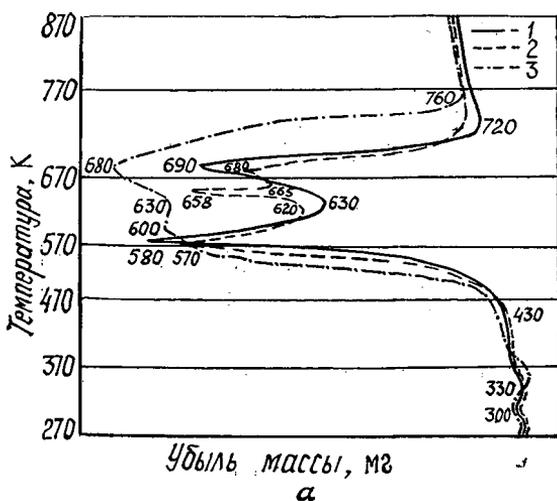


Рис. 1. Кривые ДТА исходного материала (а) и продукта засаливания (б): 1 — сосны; 2 — березы; 3 — ДСП

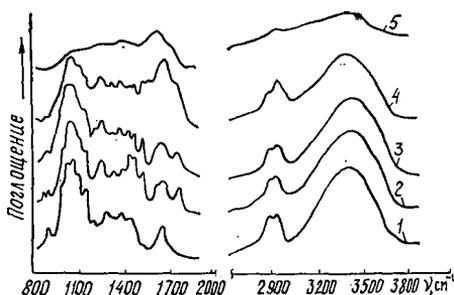
чае ДСП кривые ДТА менее контрастны, что связано со сложным составом ДСП по типу древесных пород и особенностями технологии изготовления плит.

ИК-спектроскопические исследования были выполнены на спектрофотометре UR-20 на порошковой методике КВг-таблеток (1 мг исследуемого вещества на 300 мг КВг). Порошки исходных материалов в виде мелких опилок и ПЗ, выделенных с инструмента и предварительно раздробленных, сушили в сушильном шкафу (300 К, 2 ч) и затем измельчали в идентичных условиях в электровибрационной шаровой мельнице до требуемой зернистости.

Спектры ИК-поглощения образцов березы, сосны и продуктов засаливания круга при обработке ДСП для двух режимов приведены на рис. 2. Для сравнения здесь показан также спектр чистой технической целлюлозы (спектр 1).

В структурном отношении целлюлоза (один из основных компонентов древесины) насыщена эфирными связями, что обуславливает интенсивное поглощение в спектральном районе $1\ 000 \dots 1\ 200\ \text{см}^{-1}$ [4]. Чистая целлюлоза практически не содержит карбонильных и карбоксильных групп [4, 8], поэтому в спектре отсутствует поглощение при $\nu > 1\ 700\ \text{см}^{-1}$. Полоса при $1\ 640\ \text{см}^{-1}$ обусловлена деформацион-

Рис. 2. Спектры ИК-поглощения: 1 — целлюлозы; 2 — березы; 3 — сосны; 4 — продукта засаливания ДСП; 5 — продуктов засаливания ДСП при интенсивных прижогах на рабочей поверхности инструмента и обрабатываемой поверхности материала



ными колебаниями ОН-групп адсорбированной влаги. Полосы при 1330, 1380 и 1440 см^{-1} связаны с различного типа деформационными колебаниями О—Н и С—Н [4].

Наличие в натуральной древесине, кроме целлюлозы, лигнина и экстрактивных веществ приводит к появлению в спектрах ИК-поглощения характерных особенностей, связанных с присутствием ароматических структур. Так, в спектрах 2 и 3 появляются полосы 1515 и 1610 см^{-1} , относящиеся к скелетным колебаниям бензольного кольца; полосы при 1660 и 1700 см^{-1} обусловлены валентными колебаниями карбонильных групп несопряженных кетонов и карбоксильных групп [2, 5, 7, 8]. Интенсивность отмеченных полос поглощения становится преобладающей в спектре ПЗ (спектр 4), что качественно согласуется с выводом ДТА об обогащении вещества, содержащегося в межзерновом пространстве инструмента, лигнином и ароматическими производными его деструкции. Спектр 5 на рис. 2 соответствует в значительной степени карбонизированному полимеру, содержащему большое количество сопряженных двойных углеродных связей (1620 см^{-1}) [5].

На основании данных, полученных методами ДТА и ИК-спектроскопии, процесс засаливания алмазно-абразивного инструмента при обработке древесных материалов можно представить следующей схемой. При достижении температуры в зоне резания 470...500 К начинается дегидратация мономерных полисахаридов, целлюлоз, разложение гемицеллюлозы и экстрактивных веществ на летучие и жидкие компоненты, происходит размягчение лигнина. Размягченный лигнин как всякий полимерный материал становится липким и склонным к ауто-

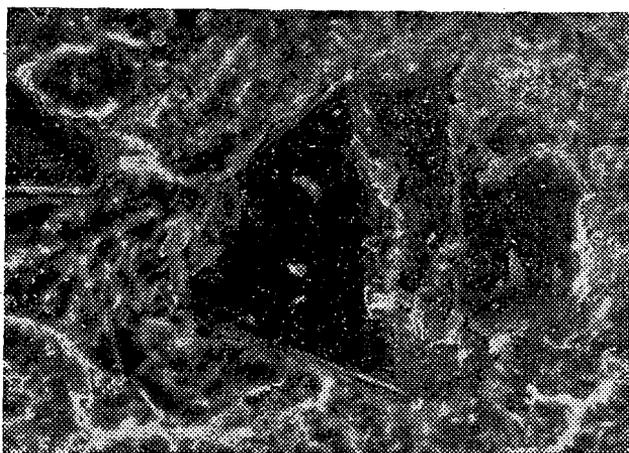


Рис. 3. Фрагмент засаленного участка алмазноносного слоя инструмента

адгезии [7]. Это приводит к тому, что срезанная стружка уже не удаляется из межзернового пространства.

Присутствие жидких компонентов продуктов разложения гемицеллюлозы, в частности воды, приводит к понижению пороговой температуры размягчения лигнина и относительному увеличению его адгезионной способности. Межзерновое пространство круга быстро заполняется желеобразным веществом в полурасплавленном состоянии, что подтверждается данными электронномикроскопических топограмм алмазосодержащих площадок рабочей поверхности инструмента (рис. 3).

На рис. 3 изображено алмазное зерно в окружении остывшей массы высокомолекулярного соединения, заполнившего межзерновое пространство. Наблюдающийся зазор между зерном и окружением объясняется сокращением объема полимерной матрицы при твердении в процессе охлаждения алмазного круга.

По мере увеличения степени заполнения межзернового пространства отходами обработки древесины трение в зоне обработки возрастает, что ведет к дальнейшему повышению температуры. При достижении температуры обработки 650 К начинается разложение вещества, заполняющего межзерновое пространство, образование ароматических структур с сопряженными двойными связями, полный разрыв одианрных С—О и С—С связей и зарождение микроструктуры карбонизированного полимера [10]. Обработка древесных материалов при таких высокотемпературных режимах сопровождается прижогами как на обрабатываемой поверхности, так и на рабочей поверхности самого инструмента.

Результаты исследований можно использовать при выборе оптимальных режимов обработки древесных материалов алмазно-абразивным инструментом, а также при разработке методов восстановления работоспособности инструмента от продуктов засаливания (очистка).

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Бакуль В. Н. Число зерен в одном карате — одна из важнейших характеристик алмазного порошка // Синтетические алмазы.—1976.— Вып. 4.— С. 22—27.
- [2]. Бранд Д., Эглинтон Г. Применение спектроскопии и органической химии.— М.: Наука, 1967.— 280 с. [3]. Гончар А. Л. Исследование процесса жесткого шлифования и некоторых структурных особенностей калибровально-шлифовальных станков для обработки деталей из древесины: Автореф. дис... канд. техн. наук.— Л., 1977.— 19 с. [4]. Кленкова Н. И. Структура и реакционная способность целлюлозы.— Л.: Наука, 1976.— 368 с. [5]. Когосов Л. П., Малоголовец В. Г. Отверждение связующего СФП-012А в условиях изготовления алмазно-абразивного инструмента на органической связке.— Киев, 1975.— 14 с.— Деп. в ВИНТИ 15.11.85. № 7943-6. [6]. Крупногабаритный алмазный инструмент для обработки древесно-полимерных материалов / Л. А. Федосеев, О. А. Диденко, В. К. Луцюк и др. // Сверхтвердые материалы.— 1987.— № 4.— С. 35—37. [7]. Лигнины / Под ред. К. В. Сарканена, К. Х. Людвиг.— М.: Лесн. пром-сть, 1975. [8]. Никитин В. М., Оболонская А. В., Щеголев В. П. Химия древесины и целлюлозы.— М.: Лесн. пром-сть, 1987.— 368 с. [9]. Справочник по алмазной обработке металлорежущего инструмента / В. Н. Бакуль, И. П. Захаренко, Я. А. Кунин, М. З. Мильштейн.— Киев: Техника, 1971.— 208 с. [10]. Структурная химия углерода и углей / Под ред. Касаточкина.— М.: Наука, 1969.— 307 с. [11]. Химия древесины / Под ред. Браунинга.— М.: Лесн. пром-сть, 1967.— 415 с.

Поступила 30 марта 1989 г.

УДК 630*812.71

ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА
ПРИ ИЗГИБЕ ДРЕВЕСИНЫ

В. Н. ВОЛЫНСКИЙ

Архангельский лесотехнический институт

Проблема влияния размеров образцов на их физико-механические показатели имеет важное значение в деле прочностной сортировки пиломатериалов, при расчете элементов деревянных конструкций, при нормировании показателей продукции.

Можно считать доказанным, что при растяжении и сжатии различных материалов, в том числе древесины, всегда проявляется основная особенность масштабного фактора — снижение прочности и модуля упругости образцов с увеличением их объема (или размера поперечного сечения). Например, при статическом нагружении металла снижение прочности зависит от его структуры и размеров образцов. При увеличении диаметра образца от 10 до 100 мм снижение прочности составляет: для легированной стали 10 %, для модифицированного чугуна — 25 %, для серого чугуна — 55 % [1]. Объясняется это тем, что вероятность дефектов в большом образце выше, чем в малом. Более прочные материалы менее чувствительны к масштабному фактору, чем материалы с дефектами строения на различных уровнях структуры.

Работы зарубежных и отечественных авторов, в частности Ю. С. Соболева [3] показали, что древесина также чувствительна к масштабному фактору, поскольку отличается большой неоднородностью строения. Зависимость пределов прочности от размеров поперечного сечения образца выражается уравнением Вейбулла

$$y = Ax^{-k}, \quad (1)$$

где A — показатель при площади поперечного сечения образца для $x = 1$;

k — коэффициент, учитывающий степень неоднородности материала.

В частности, при статическом изгибе предел прочности

$$\sigma_{\text{изг}} = 96,4 (bh)^{-0,12} \text{ Н/мм}^2, \quad (2)$$

а модуль упругости (при 4-точечной схеме нагружения)

$$E = 11,25 (bh)^{-0,0338} \text{ кН/мм}^2. \quad (3)$$

В формулах (2), (3) площадь поперечного сечения bh выражена в см^2 (b — ширина образца; h — толщина).

Из результатов, полученных в опытах при строгом соблюдении всех видов подобия, неясно, как влияет длина пролета l на показатели прочности и упругости древесины при изгибе. Зависимости (2), (3) получены при $l/h = 12$. С учетом сказанного важно изучить влияние всех трех размеров образца l , b , h на предел прочности и модуль упругости древесины при изгибе. При этом, на наш взгляд, следует исходить из следующих предположений.

1. При оценке масштабного фактора целесообразно учитывать не площадь поперечного сечения образца, а его объем.