

6. ГОСТ 27.202-83. Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции. Введ. 1984–07–01. М.: Изд-во стандартов, 1984. 50 с.

7. ГОСТ 7228-75. Деревообрабатывающее оборудование. Станки рейсмусовые. Основные параметры. Нормы точности и жесткости. Введ. 1995–01–01. М.: Изд-во стандартов, 1995. 14 с.

УДК 674.055

**П.В. Рудак, Д.В. Куис, О.Г. Рудак**

(P.V. Rudak, D.V. Kuis, O.G. Rudak)

(БГТУ, г. Минск, РБ)

E-mail для связи с авторами: RudakPV@belstu.by

**МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ  
НА КОРРОЗИОННО-МЕХАНИЧЕСКОЕ ИЗНАШИВАНИЕ  
ОБРАЗЦОВ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ  
ДЛЯ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА  
С ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ**

**METHODOLOGY OF TEST FOR CORROSIVE-MECHANICAL WEARING  
OF SAMPLES FROM HIGH SPEED STEEL FOR WOODWORKING TOOLS  
WITH VACUUM-PLASMA COATINGS**

*Разработана методика испытаний образцов быстрорежущей стали с вакуумно-плазменными покрытиями на коррозионно-механическое изнашивание в среде продуктов сухой термодеструкции древесины. Методика основана на измерении диагоналей отпечатков, полученных на поверхности образцов с помощью пирамидального индентора. Диагонали отпечатков уменьшаются в результате истирающего механического воздействия в присутствии продуктов пиролиза древесины. В качестве тела, истирающего образцы, используется диск из тафты. Скорость относительного движения испытываемых образцов и диска, а также усилия их прижима назначаются исходя из требования имитации режима резания. Получены продукты сухой термодеструкции древесины лиственных и хвойных пород и определена их химическая композиция.*

*А technique for testing samples of high-speed steel with vacuum-plasma coatings for corrosion-mechanical wear in the environment of products of dry thermal destruction of wood has been developed. The technique is based on measuring the diagonals of prints obtained on the surface of samples using a pyramidal indenter. Diagonals of prints are reduced as a result of abrasive mechanical action in the presence of wood pyrolysis products. As a body abrading samples, a taffeta disk is used. The speed of the relative movement of the test specimens and the disc, as well as the forces of their clamping, are determined on the basis of the requirement for simulating the cutting regime. Products of dry thermal destruction of hardwood and coniferous wood were obtained and their chemical composition was determined.*

Процесс обработки древесины и древесных материалов резанием характеризуется большим количеством особенностей, отличающих его от процессов резания других материалов. Во многом это связано со специфическими характеристиками древесины как органического материала.

В процессе резания древесины лезвие режущего элемента нагревается до высоких температур, превышающих 300–400 °С. При этом происходит сухая термодеструкция древесного материала с выделением разнообразных химических соединений, обладающих высокой химической активностью и оказывающих существенное влияние на затупленные инструменты.

Результаты исследований химического и механического износа режущих элементов из быстрорежущей стали и твердого сплава при обработке древесины тропических пород представлены в работе [1]. Отмечается более высокая скорость протекания коррозии образцов из быстрорежущей стали по сравнению с образцами из твердого сплава. Исследования, представленные в работе [2], показывают, что дубильные вещества, содержащиеся в древесине, оказывают значительное влияние на коррозию инструмента из быстрорежущей стали. Параметры процесса отжига инструмента из быстрорежущей стали оказывают меньшее влияние на коррозионную стойкость в среде дубильных веществ древесины чем элементный состав и температура аустенизации.

В работе [3] приводятся зависимости концентрации дубильных веществ в коррозионной среде и ее pH на интенсивность протекания коррозии образцов из углеродистой стали. При этом известен успешный опыт применения дереворежущих инструментов с вакуумно-плазменными покрытиями различного состава и архитектуры при обработке древесины и древесных материалов [4–5].

На основании ранее проведенных исследований можно сделать вывод о том, что в процессе резания древесины и древесных материалов преобладающим является коррозионно-механический вид изнашивания (трибокоррозия) [6]. Трибокоррозия представляет собой процесс поверхностного разрушения материалов при совместном действии механических нагрузок и химических реакций с внешней средой.

В ходе выполнения работы были получены продукты сухой термодеструкции древесины лиственных и хвойных пород различной средней влажности и определены составы конденсатов (жизки). Результаты анализа составов конденсатов представлены в таблице.

Результаты анализа состава полученной жизни из образцов древесины лиственных и хвойных пород различной влажности

Компоненты	Береза, влажность 8,2 %	Ольха, влажность 33,8 %	Ель, влажность 7,9 %	Сосна, влажность 33,4 %
Всплывные масла	1,0	0,7	1,8	1,2
Кислоты (уксусная)	9,8	5,6	6,4	2,9
Спирты (метанол)	4,0	2,3	2,6	1,0
Сложные эфиры (метилацетат)	4,0	3,6	3,2	2,1
Альдегиды (ацетальдегид)	0,9	0,6	0,5	0,2
Кетоны (ацетон)	1,9	1,1	1,2	0,8
Смола:				
отстойная	16,5	6,7	20,4	5,6
растворимая	17,1	4,2	12,5	5,0
Другие органические соединения	0,3	0,2	0,2	0,1
Вода (по разности)	44,5	75,0	51,2	81,1

Установлено, что в надсмольной воде содержатся (в порядке убывания):

- 1) кислоты (уксусная, муравьиная, пропионовая, масляная, валериановая и др.);
- 2) спирты (метилловый, пропиловый, амиловый, кротилловый, фуриловый и др.);

- 3) кетоны (ацетон, метилэтилкетон, метилпропилкетон и др.);
- 4) альдегиды (ацетальдегид, формальдегид, фурфурол и др.);
- 5) метиловые эфиры уксусной, муравьиной, пропионовой и др. кислот;
- 6) фенолы;
- 7) метиловые эфиры фенолов;
- 8) лактоны;
- 9) оксикислоты и многие другие соединения.

Установлено, что в конденсатах пиролиза древесины лиственных пород содержится значительно больше агрессивных по отношению к инструментальным сталям компонентов, по сравнению с продуктами пиролиза древесины хвойных пород.

Для проведения исследований механо-химического изнашивания образцы быстрорежущей стали с вакуумно-плазменными покрытиями различного состава (AT72, TK13, TK12) запрессовывались в термореактивную фенольную смолу MultiFast (Дания) с древесным наполнителем в цилиндры диаметром 30 мм.

Применялся автоматический электрогидравлический пресс для горячей запрессовки образцов CitoPress-1 производства компании Struers (Дания). Параметры режима горячей запрессовки:

- температура нагрева смолы – 180 °С;
- длительность нагрева смолы – 3,5 мин;
- давление прессования – 275 бар;
- длительность охлаждения запрессованного образца в прессе – 3,5 мин.

Режим выбран исходя из размеров и форм запрессовываемых образцов в соответствии с рекомендациями. Внешний вид запрессованных образцов представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Внешний вид запрессованных образцов (слева направо: без покрытия (БП), AT72, TK13, TK12)

Испытания на механо-химическое изнашивание образцов из быстрорежущей стали с многокомпонентными вакуумно-плазменными наноструктурными покрытиями в присутствии продуктов сухой термодеструкции древесины проводили на экспериментальной установке на базе шлифовально-полировального станка LaboPol-5 в комплекте с устройством сложного вращательного движения и дозирования нагрузки LaboForce-3. В качестве контртела выбран диск MD Mol Struers (рис. 2).

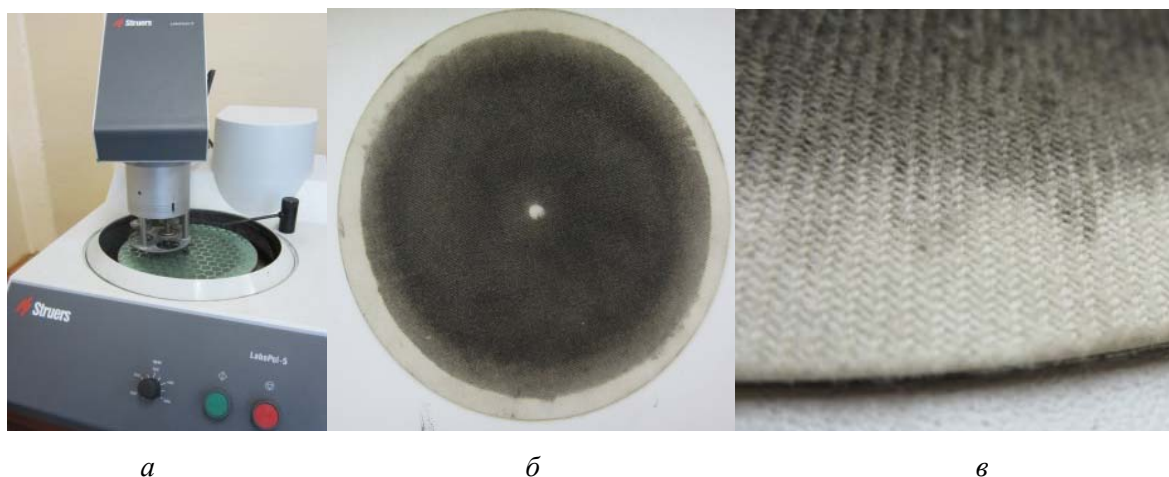


Рис. 2. Внешний вид шлифовально-полировального станка LaboPol-5 (а) в комплекте с устройством сложного вращательного движения и дозирования нагрузки LaboForce-3, а также контртела, применяемое в испытаниях на механо-химическое изнашивание образцов: внешний вид диска (б), фотография поверхности (в)

Диск изготовлен из тканой тафты (100 % шерсть), обладает высокой упругостью и низкой твердостью. Его применение позволяет воспроизвести в экспериментах условия, близкие к воздействию на поверхности образцов древесных волокон. Кроме этого, экспериментально установлено, что поверхность выбранного диска хорошо впитывает и удерживает наносимые на диск продукты пиролиза древесины.

Для дереворежущего сверла диаметром  $\varnothing 20$  мм из быстрорежущей стали производитель рекомендует частоту вращения около  $2\,500\text{ мин}^{-1}$ , что соответствует скорости резания  $2,6\text{ м/с}$ . Скорость подачи при этом может достигать  $1,1\text{ м/мин}$ , что соответствует подаче на зуб  $S_z = 0,22\text{ мм}$ .

Частота вращения контртела при испытаниях образцов назначена исходя из расчета для воспроизведения линейной скорости перемещения точек лезвия дереворежущего сверла относительно обрабатываемого материала.

На экспериментальной установке на базе шлифовально-полировального станка LaboPol-5 применяются диски диаметром  $\varnothing 200$  мм, при этом контактирование с контртелами происходит на диаметре  $\varnothing 180$  мм. Устройство сложного вращательного движения и дозирования нагрузки LaboForce-3 осуществляет дополнительное вращение образцов по окружности диаметром  $90\text{ мм}$  с частотой  $250\text{ мин}^{-1}$ .

Таким образом, для обеспечения в ходе испытаний скорости относительного движения испытываемых образцов относительно контртела, соответствующей скорости взаимодействия лезвия указанного сверла с обрабатываемым материалом, необходимо обеспечить частоту вращения контртела  $150\text{ мин}^{-1}$ .

Для определения усилия, оказываемого держателем на образцы в процессе испытаний, исходим из величины среднего нормального давления на режущей кромке дереворежущего инструмента  $500\text{ МПа}$  и возможности вписывания в поперечное сечение лезвия окружности, радиус которой характеризует степень затупления режущей кромки. Принимаем усилие  $10\text{ Н}$ , оказываемое держателем на один испытываемый образец.

В качестве параметра механо-химического износа выбрана длина диагонали отпечатка, нанесенного индентором на поверхность образца.

Отпечатки получали индентором в виде правильной четырехгранной алмазной пирамиды с углом  $136^\circ$  между противоположными гранями. Индентирование осуществлялось на микротвердомере Duramin (Япония).

Для апробации методики испытаний проведен предварительный эксперимент. На поверхность образца с покрытием АТ72 на основе алюминия и титана нанесены четыре отпечатка. Время экспозиции индентора составило 10 с, а различные усилия индентирования – 19,614 Н; 4,903 Н; 1,961 Н; 490,3 мН. Далее образец подвергался механо-химическому изнашиванию при добавлении каждые 10 мин в зону трения 20 мл продуктов пиролиза. При этом каждые 10 мин выполнялся контроль уменьшения длин диагоналей отпечатков под микроскопом. На рисунке 3 представлены фотографии образца с покрытием АТ72 до эксперимента (а) и после 60 мин механо-химического испытания (б).

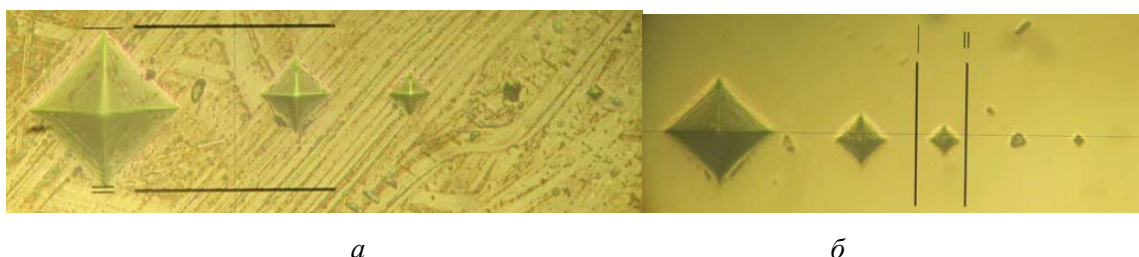


Рис. 3. Фотографии образца с покрытием АТ72 до эксперимента (а) и после 60 мин механо-химического воздействия (б)

Установлено, что отпечатки в процессе истирания поверхности сохраняют форму, их диагонали при этом уменьшаются. Величины диагоналей отпечатков позволяют определять толщину материала, потерянного в результате механо-химического износа. Наиболее приемлемы для анализа крупные отпечатки, полученные при усилии 4,903 Н. При этом установлено, что средняя глубина индентирования на данном режиме равна 4,47 мкм.

Интерес представляет также нанесение отпечатков на глубину меньше толщины покрытия. С этой точки зрения наиболее приемлемы отпечатки, полученные при усиллии 490,3 мН (средняя глубина индентирования составляет 1,10 мкм).

Отпечатки при большем и меньшем усиллиях индентирования обладают соответственно избыточными или недостаточными размерами для анализа.

На поверхности образцов из быстрорежущей стали с покрытиями и без покрытий наносилась сетка из чередующихся отпечатков с усиллиями индентирования 4,903 Н и 490,3 мН на расстоянии 0,1 мм друг от друга (рис. 4).

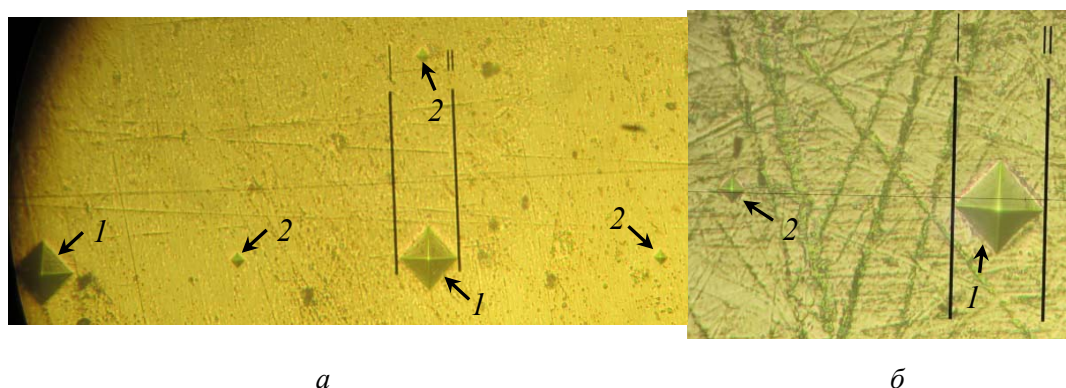


Рис. 4. Вид в окуляр микроскопа на фрагмент сетки следов индентирования с усиллиями 4,903 Н (1) и 490,3 мН (2) на поверхности образца с покрытием АТ12 (а) и на поверхности образца без покрытия (б)



Сетки следов индентирования наносились по 9 следов в 5 областях поверхности образца (рис. 5).

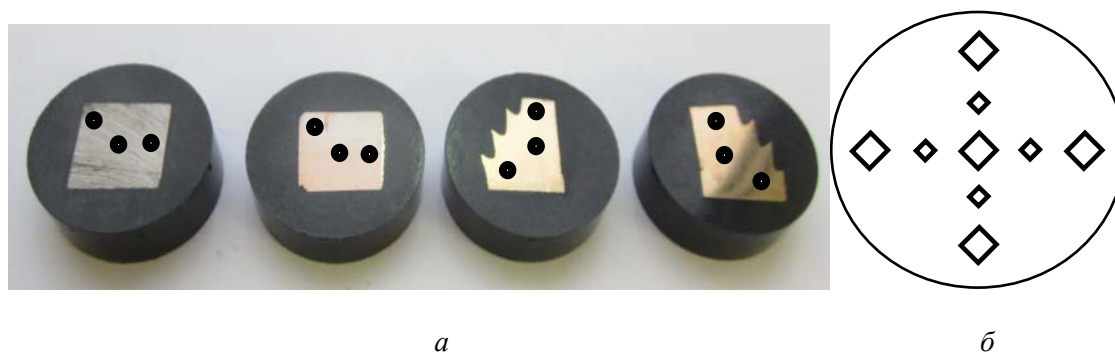


Рис. 5. Схема размещения сеток индентирования на образцах (а) и схема индентирования в пределах отдельной области (б)

На экспериментальной установке образцы испытывались индивидуально. В процессе эксперимента каждые 10 мин образцы снимали с экспериментальной установки, промывали водой и высушивали в сушильном шкафу. Далее выполняли измерения величин диагоналей отпечатков. В начале эксперимента и каждые последующие 10 мин на поверхность диска наносили по 20 мл продуктов пиролиза древесины.

### Библиографический список

1. Chemical and mechanical wearing of high speed steel and tungsten carbide tools by tropical woods // W. Darmawan, I.S. Rahayu, C. Tanaka, R. Marchal // Journal of Tropical Forest Science. 2006. V. 18. No. 4. Pp. 255–260.
2. Corrosion behavior of tool steels in tannic acids / H. Winkelmann, E. Badisch, S. Ilo, S. Eglsäer // Materials and Corrosion. 2009. V. 60. Issue 3. Pp. 192–198.
3. Zelinka S.L., Stone D.S. The effect of tannins and pH on the corrosion of steel in wood extracts // Materials and Corrosion. 2011. V. 62. Issue 8. Pp. 739–744.
4. Warcholinski B., Gilewicz A. Multilayer coatings on tools for woodworking // Wear. 2011. V. 271. Issues 11–12. Pp. 2812–2820.
5. Experimental researches tribological properties of hard-alloy blades with a vacuum-plasma coating in the chipboards milling process / P.V. Rudak, J. Kováč, D.V. Kuis, O.G. Rudak, Š. Barčík, J. Krilek, E.J. Razumov // Acta Univ. Agric. Silvic. Mendelianae Brun. 2015. V. 63. Issue 5. Pp. 1543–1547.
6. Моисеев А.В. Износостойкость дереворежущего инструмента. М.: Лесная промышленность, 1981. 112 с.