

УДК 674.05:621.9

## ГАММА-ПРОЦЕНТНЫЙ ПЕРИОД СТОЙКОСТИ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПО КРИТЕРИЮ «ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ»

**Полякова Т.В., Новоселов В.Г.**

*Уральский государственный лесотехнический университет,  
Екатеринбург, e-mail: stanki-in@yandex.ru*

В статье рассмотрено влияние степени износа режущего инструмента на расположение поверхности обработки при продольном фрезеровании древесины, влияющее в свою очередь на точность получаемого размера детали. Приведены соответствующие расчетные зависимости положения поверхности обработки от величины радиуса округления режущей кромки лезвия инструмента. Определена величина наработки до отказа по критерию качества продукции «точность обработки». Предложены формулы для расчета гамма-процентного периода стойкости режущего инструмента по данному критерию. Показано, что период стойкости режущего инструмента зависит от вида и режимов обработки: толщины срезаемого слоя, скорости резания и допуска на размер детали. Данная методика определения периода стойкости может быть использована при расчетах в случае жестких требований по точности обработки деталей.

**Ключевые слова:** точность, износостойкость, фрезерование, инструмент, древесина

## GAMMA-INTEREST PERIOD OF WOODCUTTING TOOL PARAMETER «ACCURACY»

**Polyakova T.V., Novoselov V.G.**

*Uralsky State Forest Engineering University, Ekaterinburg, e-mail: stanki-in@yandex.ru*

In article influence of degree of wear of the cutting tool on a processing surface arrangement at longitudinal milling of wood is considered, influencing the accuracy of the received detail size. The corresponding settlement dependences of provision of a surface of processing on the size of radius of rounding of the cutting tool edge are given. Operating time to failure to the full by criterion of quality of production «the processing accuracy» is determined. Formulas for calculation of the gamma percent period of firmness of the cutting tool for this criterion are offered. It is shown that the period of firmness of the cutting tool depends on a way and the modes of processing: thickness of the cut-off layer, the cutting speed, and the admission on the detail size. This technique of definition of the period of firmness can be used at calculations in case of strict requirements for the accuracy of processing of details.

**Keywords:** exactness, wearproofness, milling, instrument, wood

Период стойкости режущего инструмента является важнейшим эксплуатационным показателем, влияющим на технико-экономическую эффективность производства. Он определяет расход инструмента, затраты на его подготовку и обслуживание, а также – качество обработки деталей. В современной технической литературе период стойкости дереворежущего инструмента назначается в зависимости от износостойкости его режущей части и свойств материала обрабатываемой детали [1, 2]. Он назначается без учета величины припуска (толщины срезаемого слоя), скорости резания и допустимого отклонения размеров обработанной детали. Например, стальным ножам цилиндрических сборных фрез для фрезерования массивной древесины период стойкости назначается от 8 до 10,4 часа.

**Основная часть.** Для получаемых продольным фрезерованием профильных деталей ГОСТ 8242-88 [3] определяет две группы требований к качеству изделий: требования по состоянию исходного мате-

риала (наличие пороков, влажность древесины) и требования по качеству обработки (геометрическая точность размеров и формы изделия и шероховатость обработанной поверхности).

В процессе механической обработки древесины происходит изнашивание режущего инструмента, которое определяется постепенным изменением начальной микрогеометрии резца, образованной в процессе заточки. Изнашивание может быть разных видов: механическое, абразивное, тепловое, окислительное, электрохимическое (коррозия), электрическое (эрозия) и причины, приводящие к изнашиванию контактных поверхностей резца. Происходит изменение структуры металла, которое приводит к уменьшению его прочности и твердости. Лезвие режущего инструмента затупляется, т.е. изменяется начальная микрогеометрия резца, за счет выкрашивания и сминания режущих кромок и стирания тех участков, которые соприкасаются с древесиной.

Во время работы реза от его тела в зоне, как передней, так и задней грани отрываюся частицы металла, в результате чего поперечное сечение реза плоскостью нормальной к режущей кромке представляет собой клин с округленной вершиной и изношенными до той или иной степени задней и передней гранями. Считаем кривую округления дугой окружности, радиус которой является показателем остроты реза  $\rho_0 = 4 \dots 10$  мкм.

При изнашивании в первую очередь теряется точность обработки. Основным, определяющим точность обработки, является фактическое положение плоскости резания. Считается, что она проходит через центр окружности, вписанной в фактическую режущую кромку лезвия (рис. 1).

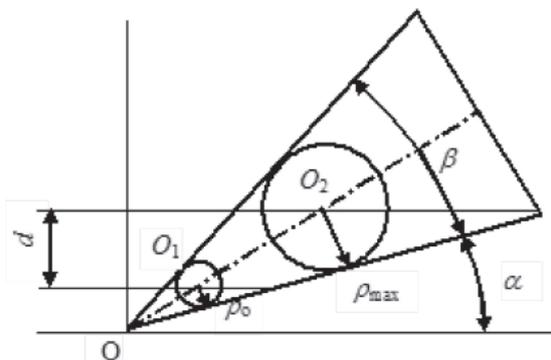


Рис. 1. Схема к расчету положения плоскости резания

В процессе фрезерования деревянных заготовок лезвия монотонно изнашиваются, затупляются, укорачиваются по биссектрисе угла заточки лезвий  $\beta$ . В результате радиус вписанной окружности увеличивается до  $\rho_{\max} = 30 \dots 60$  мкм и более, а ее центр перемещается по биссектрисе угла заточки.

Соответственно смещается на величину  $d$  и поверхность обработки.

Оценим точность обработки коэффициентом запаса точности по ГОСТ 27.202-83 [4].

$$K_3(t) = 0,5 - K_C(t) - 0,5K_p(t), \quad (1)$$

где  $K_C(t)$  – коэффициент смещения;  $K_p(t)$  – коэффициент мгновенного рассеяния.

$$K_C = \frac{|\bar{X}(t) - X_0|}{\delta}, \quad (2)$$

где  $\bar{X}(t)$  – среднее значение контролируемого параметра в момент времени  $t$ ;  $X_0$  – значение параметра, соответствующее середине поля допуска.

$$K_p(t) = \frac{\omega(t)}{\delta}, \quad (3)$$

где  $\omega(t)$  – поле рассеяния контролируемого параметра в момент времени  $t$ ;  $\delta$  – допуск на контролируемый параметр.

В соответствии с ГОСТ 27.202-83 должно выполняться условие

$$K_3(t) > 0. \quad (4)$$

В предельном случае отказа по точности примем, что коэффициент запаса точности  $K_3(t) = 0$ , исходя из начальной настройки станка на совмещение среднего значения размера детали с серединой поля допуска и принимая поле рассеяния размера детали не более половины поля допуска, получим

$$d = \bar{X}(t) - X_0 = 0,25\delta \quad (5)$$

Нормы точности на станки для продольного фрезерования древесины [5, 6] допускают разноразмерность обработанных деталей в пределах  $0,1 \dots 0,2$  мм, следовательно, смещение  $d$  не должно превышать  $25 \dots 50$  мкм при односторонней обработке и  $12,5 \dots 25$  мкм – при двухсторонней.

Обработанная поверхность древесины расположена ниже плоскости резания на величину остаточной деформации

$$\delta_{\text{ост}} = \rho \varepsilon_{\text{ост}} \quad (6)$$

где  $\varepsilon_{\text{ост}}$  – относительная остаточная деформация под поверхностью резания древесины.

Из рис. 1 найдем

$$d_0 = \frac{\rho_0 \sin(\alpha + \beta / 2)}{\sin(\beta / 2)}; \quad (7)$$

$$d_{\max} = \frac{\rho_{\max} \sin(\alpha + \beta / 2)}{\sin(\beta / 2)}, \quad (8)$$

где  $\beta$  – угол заострения;  $\alpha$  – задний угол лезвия.

Обозначим

$$e = \frac{\sin(\alpha + \beta / 2)}{\sin(\beta / 2)}. \quad (9)$$

Обработанная поверхность при увеличении радиуса закругления от  $\rho_0$  до  $\rho_{\max}$  отклонится от первоначального положения на величину

$$d = (d_{\max} - \varepsilon_0 \rho_{\max}) - (d_0 - \varepsilon_0 \rho_0) = (\rho_{\max} - \rho_0)(e - \varepsilon_0). \quad (10)$$

После приведения подобных получим

$$\rho_{\max} = \rho_0 + \frac{d}{e - \varepsilon_0} = \rho_0 + \Delta_p, \quad (11)$$

где  $\Delta_p$  – величина прироста радиуса округления;  $\rho_0$  – радиус округления режущей кромки остро заточенного инструмента;  $e$  – вспомогательная величина.

Из уравнения (11) получим

$$\Delta_p = \frac{d}{e - \varepsilon_0}. \quad (12)$$

С другой стороны,

$$\Delta_p = \gamma_\Delta L, \quad (13)$$

где  $\gamma_\Delta$  – интенсивность изнашивания – величина затупления режущей кромки (мкм/м);  $L$  – путь резца в заготовке (м) за наработку  $t$ .

Путь резца в заготовке определяется [2]:

$$L = \frac{60nlt}{1000}, \quad (14)$$

где  $n$  – частота вращения инструмента ( $\text{мин}^{-1}$ );  $l$  – длина дуги контакта лезвия с древесиной (мм);  $t$  – время работы инструмента (ч).

$$l = \sqrt{\Pi D}, \quad (15)$$

где  $\Pi$  – припуск на обработку или толщина срезаемого слоя (мм);  $D$  – диаметр окружности резания (мм).

После соответствующих преобразований, подставляя в полученное выражение значения всех параметров, получим выражение для наработки до степени затупления инструмента, соответствующей значению  $\Delta_p$  [7]:

$$t = \frac{1000\Delta_p}{60\gamma_\Delta nl} \approx \frac{16,7\Delta_p}{\gamma_\Delta nl}. \quad (16)$$

Подставляя (12) в (16), получим

$$t \approx \frac{16,7d}{\gamma_\Delta nl(e - \varepsilon_0)}. \quad (17)$$

При средних значениях параметров, входящих в формулу (17), получим среднюю наработку до отказа по параметру качества продукции «точность»  $T_1$  или средний период стойкости инструмента по данному критерию:

$$T_1 \approx \frac{16,7\bar{d}}{\gamma_\Delta \bar{nl}(\bar{e} - \bar{\varepsilon}_0)}. \quad (18)$$

Как показали результаты проведенного нами численного эксперимента [8], наибольшее влияние на наработку до отказа оказы-

вают такие факторы, как величина припуска, снимаемого за один проход  $\Pi$ , и интенсивность изнашивания  $\gamma_\Delta$ . Зависимость наработки до отказа от этих параметров, полученная при допустимой величине смещения поверхности обработки 0,025 мм и приведенная на графике (рис. 2), носит обратно-пропорциональный характер.

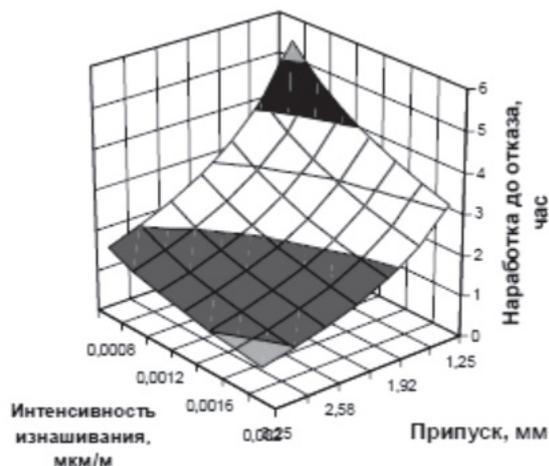


Рис. 2. Зависимость наработки до отказа от величины припуска и интенсивности изнашивания инструмента

Результаты расчетов средней наработки до отказа по формуле (18) для станков различного назначения при интенсивности изнашивания материала инструмента  $\gamma_\Delta = 0,001$  мкм/м (инструментальная сталь), заднем угле  $\alpha = 20^\circ$ , угле заточки  $\beta = 60^\circ$ , частоте вращения фрезы  $n = 6000 \text{ мин}^{-1}$  приведены в табл. 1 для указанных исходных данных.

Как видно, рекомендуемому периоду стойкости инструмента [1, 2] удовлетворяет средняя наработка до отказа по критерию «точность» только при фрезеровании на рейсмусовом станке. Учитывая, что средняя наработка до отказа достигается с вероятностью около 0,5, можно предположить, что примерно половина всех изготовленных за это время деталей будет иметь размеры, не соответствующие конструкторской документации.

Таблица 1

Тип станка	Обработка	Допуск, мм	Максимальная толщина срезаемого слоя, мм	Диаметр окружности резания, мм	Допускаемое смещение поверхности обработки, мм	Средняя наработка до отказа, час
Рейсмусовый	Односторонняя	0,15	3,0	130	0,075	12,11
Строгальный четырехсторонний	Двухсторонняя	0,20	1,5	130	0,025	5,71

Использование таких деталей может привести к повышенным перепадам толщин ламелей в собранном и склеенном «на гладкую фугу» мебельном шите, либо к превышению натяга в соединениях типа «шип – паз» или «шпунт – гребень», приводящему к невозможности сборки или к растрескиванию сопряженных деталей. Исправление бракованных деталей потребует увеличения материальных и стоимостных затрат на изготовление годных деталей, что в свою очередь чревато отказом технологической системы по параметру «затраты».

Для снижения процента брака и предотвращения необходимости исправления деталей необходимо использовать в качестве уста-

новленного периода стойкости инструмента не среднюю, а гамма-процентную наработку до отказа, например 80-процентную, которая в предположении нормального закона распределения определяется по формуле

$$t_{0,8} = T_1 - 0,841\sigma_t, \quad (19)$$

где  $\sigma_t$  – среднее квадратическое отклонение наработки до отказа.

В общем виде среднее квадратическое отклонение наработки до отказа определяется в предположении независимости действующих факторов через дисперсию  $D\{t\}$ , как для функции случайных величин из следующего соотношения

$$\begin{aligned} \sigma_t^2 = D\{t\} = & \left(\frac{\partial t}{\partial d}\right)^2 D\{d\} + \left(\frac{\partial t}{\partial \gamma_\Delta}\right)^2 D\{\gamma_\Delta\} + \\ & + \left(\frac{\partial t}{\partial n}\right)^2 D\{n\} + \left(\frac{\partial t}{\partial l}\right)^2 D\{l\} + \\ & + \left(\frac{\partial t}{\partial e}\right)^2 D\{e\} + \left(\frac{\partial t}{\partial \varepsilon_0}\right)^2 D\{\varepsilon_0\}, \end{aligned} \quad (20)$$

где  $D\{d\} \dots D\{\varepsilon_0\}$  – дисперсии соответствующих факторов.

Принимая для упрощения нормальное распределение наработки до отказа, а также, что весь диапазон возможных значений наработки до отказа теоретически равен удвоенному среднему значению и что верна гипотеза «трех сигм», получим значения 80-процентной наработки до отказа для деталей различного назначения, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Тип станка	80-процентная наработка до отказа, час
Рейсмусовый	8,71
Строгальный четырехсторонний	4,11

Расчеты по приведенным формулам дают результаты, близкие к значениям, полученным в ходе экспериментальных исследований [9], в то время как рекомендуемые в литературе периоды стойкости [1, 2] могут быть завышены в 2 и более раз, что может приводить к браку продукции по критерию «точность».

### Вывод

Гамма-процентный период стойкости дереворежущего инструмента по крите-

рию «точность» зависит от вида, режимов обработки: толщины срезаемого слоя, скорости резания и допуска на размер детали. Эти факторы необходимо учитывать при планировании мероприятий по техническому обслуживанию деревообрабатывающего оборудования, в частности, данная методика определения периода стойкости может быть использована при расчетах в случае жестких требований по точности обработки деталей.

### Список литературы

1. Справочное пособие по деревообработке / В.В. Кислый, П.П. Щеглов, Ю.И. Братенков и др. – Екатеринбург: БРИЗ, 1995. – 558 с.
2. Справочник по дереворежущему инструменту / И.Т. Глебов, Д.В. Неустров. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. акад., 2000. – 253 с.
3. ГОСТ 8242-88 Детали профильные из древесины и древесных материалов для строительства. Технические условия. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 11 с.
4. 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.
5. ГОСТ 7315-83. Деревообрабатывающее оборудование. Станки строгальные четырехсторонние. Нормы точности. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 9 с.
6. ГОСТ 7228-75. Деревообрабатывающее оборудование. Станки рейсмусовые. Нормы точности. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 7 с.
7. Новоселов В.Г. Физический метод расчета надежности технологической системы деревообработки по параметру качества продукции «точность» / В.Г. Новоселов,

И.Т. Глебов // Надежность и качество: материалы международного симпозиума, Пенза, 25–31 мая 2006 г. / Пензенский гос. техн. ун-т. – Пенза, 2006. – С. 276–278.

8. Новоселов В.Г. Теоретическое исследование надежности технологической системы деревообработки по параметру качества продукции «точность» / В.Г. Новоселов, Т.В. Полякова // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент: материалы международного евразийского симпозиума, Екатеринбург, 20–21 сентября 2006 г. / Урал. гос. лесотехн. ун-т. – Екатеринбург, 2006. – С. 108–114.

9. Полякова Т.В. Влияние затупления инструмента на конечный размер детали при продольном цилиндрическом фрезеровании древесины / Т.В. Полякова, А.Р. Абдулов, В.Г. Новоселов // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент: Труды VI международного евразийского симпозиума, Екатеринбург, 17 по 20 мая 2011 г. / Урал. гос. лесотехн. ун-т. – Екатеринбург, 2011. – С. 294–296.

### References

1. Spravochnoe posobie po derevoobrabotke / Kislyj V.V., Shheglov P.P., Bratenkov Ju.I. i dr. Ekaterinburg: BRIZ, 1995. 558 p.

2. Spravochnik po derevozehushhemu instrumentu / Glebov I.T., Neustroev D.V. Ekaterinburg: Ural. gos. lesotehn. akad., 2000. 253 p. Spravochnik po derevozehushhemu instrumentu / Glebov I.T., Neustroev D.V. Ekaterinburg: Ural. gos. lesotehn. akad., 2000. 253 s. Spravochnoe posobie po derevoob-rabotke / Kislyj V.V., Shheglov P.P., Bra-tenkov Ju.I. i dr.

3. GOST 8242-88 Detali profil'nye iz drevesiny i drevesnyh materialov dlja stroitel'stva. Tehnicheskie uslovija. M.: IPK Izd-vo standartov, 2002. 11 p.

4. GOST 27.202-83. Nadezhnost' v tehnike. Tehnologicheskie sistemy. Metody ocenki nadezhnosti po parametram kachestva izgotovljaemoj produkcii. Vved. 1984-07-01. M.: Izd-vo standartov, 1984. 50 p.

5. GOST 7315-83. Derevoobrabatyvajushhee oborudovanie. Stanki strogal'nye chetyrehstoronnie. Normy tochnosti. M.: Izd-vo standartov, 1983. 9 p.

6. GOST 7228-75. Derevoobrabatyvajushhee oborudovanie. Stanki rejsmusovye. Normy tochnosti. M.: Izd-vo standartov, 1986. 7 p.

7. Novoselov V.G. Fizicheskij metod rascheta nadezhnosti tehnologicheskoy sistemy derevoobrabotki po parametru kachestva produkcii «tochnost'» / V.G. Novoselov, I.T. Glebov // Nadezhnost' i kachestvo: materialy mezhdunarodnogo simpoziuma, Penza, 25–31 maja 2006 g. / Penzenskij gos. tehn. un-t. Penza, 2006. pp. 276–278.

8. Novoselov V.G. Teoreticheskoe issledovanie nadezhnosti tehnologicheskoy sistemy derevoobrabotki po parametru kachestva produkcii «tochnost'» / V.G. Novoselov, T.V. Poljakova // Derevoobrabotka: tehnologii, oborudovanie, menedzhment: materialy mezhdunarodnogo evrazijskogo simpoziuma, Ekaterinburg, 20–21 sentjabrja 2006 g. / Ural. gos. lesotehn. un-t. Ekaterinburg, 2006. pp. 108–114.

9. Poljakova T.V. Vlijanie zatuplenija instrumenta na konechnyj razmer de-tali pri prodol'nom cilindricheskom frezerovanii drevesiny / T.V. Poljakova, A.R. Abdulov, V.G. Novoselov // Derevoobrabotka: tehnologii, oborudovanie, menedzhment: Trudy VI mezhdunarodnogo evrazijskogo simpoziuma, Ekaterinburg, 17–20 maja 2011 g. / Ural. gos. lesotehn. un-t. Ekaterinburg, 2011. pp. 294–296.

### Рецензенты:

Комиссаров А.П., д.т.н., профессор кафедры графики и деталей машин, ФГБОУ ВПО «Уральский государственный аграрный университет» Минобрнауки России, г. Екатеринбург;

Бетенеков Н.Д., д.х.н., профессор кафедры радиохимии и прикладной экологии, ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет» Минобрнауки России, г. Екатеринбург.

Работа поступила в редакцию 30.10.2014.