

УДК 674.055:621.914.1

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

Полякова Т.В., Новоселов В.Г.

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

Проведена оценка закономерно-переменных погрешностей обработки древесины двух факторов: износа инструмента и деформации системы СПИД. Упругие деформации обусловлены отжатиями основных узлов и отдельных элементов технологической системы, а также контактными деформациями и в общем случае могут достигать 20...40% от суммарной погрешности обработки. Исследования изменения размеров обработанных деталей в зависимости от износа инструмента проводили на действующем предприятии на четырехстороннем продольно-фрезерном станке. Для оценки влияния жесткости системы СПИД на точность обработки заготовок проводились исследования деформаций валов верхней и левой боковой ножевых головок четырехстороннего продольно-фрезерного станка «Beaver 523» в лаборатории кафедры станков и инструментов УГЛУ. Приводятся результаты исследований влияния износостойкости инструмента на конечный размер детали и результаты исследований жесткости системы СПИД при продольном цилиндрическом фрезеровании древесины. Сравниваются инструмент из инструментальной стали без упрочнения и с упрочнением ионными пучками.

**Ключевые слова:** точность, износостойкость, погрешность, фрезерование, технологическая система, инструмент, древесина

## INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON FORMATION OF ERRORS OF PROCESSING OF WOOD

Poljakova T.V., Novoselov V.G.

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

The estimate of appropriately-variable errors of treatment of wood of two factors is conducted: wear of instrument and deformation of the system AIDS. Resilient deformations are conditioned by wringing out of basic knots and separate elements of the technological system, also by pin deformations and in general case can arrive at 20–40% of total error of treatment. Researches of change of sizes of treat details depending on the wear of instrument conducted on an operating enterprise on quadrilateral longitudinally – milling machine. For the estimation of influence of inflexibility of the system AIDS on exactness of treatment of semi-finished product researches of deformations of billows were conducted by overhead and left lateral knife heads of четырехсторонне-go of slitter of «Beaver 523» in the laboratory of department of machine-tools and instruments of USFEU. Results over of researches of influence of wearproofness of instrument are brought on the eventual size of detail and results of researches of inflexibility of the system AIDS at the longitudinal cylindrical milling of wood.

**Keywords:** accuracy, durability, accuracy, milling, technological system, tool, wood

Точность является одним из основных показателей качества изготавливаемой продукции и с точки зрения надежности технологической системы по ГОСТ [1] принимается в качестве основного критерия ее работоспособности.

Точность машинной обработки характеризуется величиной фактической погрешности размеров и формы обработанной детали и зависит от многих факторов, участвующих в процессе ее изготовления. На погрешность обработки детали оказывают влияние все элементы технологической системы. Конечный размер детали можно рассматривать [2] как случайную величину, которая зависит от случайных и систематических погрешностей обработки, тогда общая погрешность примет вид:

$$\Delta_0 = \Delta_{сл} + \Delta_c. \quad (1)$$

Случайные погрешности изменяются в пределах как партии деталей, так и в каждой детали в отдельности. Появляются эти погрешности из-за неравномерности при-

пуска на обработку, нестабильности режима резания, ошибки измерений и др.

Систематическая погрешность постоянна в пределах обработки данной партии деталей или изменяется закономерно. Систематические погрешности разделяются на постоянные и закономерно-переменные, тогда полная систематическая погрешность выглядит таким образом:

$$\Delta_c = \Delta_{п} + \Delta_{зн}. \quad (2)$$

Постоянные погрешности появляются от геометрических погрешностей станка, режущего инструмента и приспособлений, а также от погрешностей размерной настройки станка. Закономерно-переменные погрешности возникают от затупления инструмента, температурных деформаций узлов станка. В течение длительного периода работы причиной появления систематических погрешностей является в первую очередь износ основных формообразующих элементов машины. Преобладающим фактором при обработке партии деталей явля-

ется затупление инструмента, выражающееся износом режца.

При обработке древесины резанием конечный размер детали определяется фактическим положением плоскости резания. Возникающие при резании силы воспринимаются инструментом и приспособлением, в котором инструмент закреплен, а также деталью и приспособлением, в котором она установлена и закреплена, благодаря чему образуется замкнутая силовая система «станок – приспособление – инструмент – деталь» (СПИД). Упругость системы СПИД приводит к деформациям ее элементов под действием сил резания и закрепления, инерционных и других сил и к образованию погрешностей форм и размеров обрабатываемой детали. Периодическое изменение силы резания обуславливает соответствующее периодическое изменение деформаций системы СПИД, то есть вибрацию. Упругие деформации обусловлены отжатыми основных узлов и отдельных элементов технологической системы, а также контактными деформациями и в общем случае могут достигать 20...40% от суммарной погрешности обработки.

Непостоянство сил резания в процессе обработки детали, обусловленное изменением сечения срезаемой стружки, изменением механических свойств материала, износом и затуплением режущего инструмента, колебаниями снимаемого припуска материала, различной жесткости детали ввиду неоднородности физико-механических свойств древесины, вызывает и неравномерность упругих деформаций системы СПИД, что влияет на точность обработки заготовки.

Возникает задача оценки вклада в формирование закономерно-переменных погрешностей обработки древесины двух факторов: износа инструмента и деформации системы СПИД, чему и посвящена данная работа.

### Материал и методы исследования

Исследования изменения размеров обработанных деталей в зависимости от износа инструмента проводили на действующем предприятии ООО «НИК» в г. Сысерть Свердловской области на четырехстороннем продольно-фрезерном станке С25-4А, со скоростью подачи 14 м/мин, при частоте вращения ножевых головок: нижней – 3043 мин<sup>-1</sup>, правой и левой – 6076 мин<sup>-1</sup>, верхней – 5898 мин<sup>-1</sup>. Обработывали пиломатериал с влажностью 12%, порода сосна, номинальная ширина 115 мм; толщина 30 мм; длина 2 м. Ножи на фрезях были поставлены к началу исследований плоские из инструментальной стали марки 8Х6НФТ: на верхней и нижней ножевой головке упрочненные с использованием концентрированных

потоков высокой энергии (пучков ионов азота); на левой и правой – без упрочнения. Во время исследования станок не поднастраивался.

Опытные доски брали из одного места поставок в выборочном порядке. Выборка включала в себя 50 досок без гнили, косослоя, трещин и других недопустимых дефектов.

Станок настраивали на изготовление деталей номинальной толщиной 27 мм, шириной 111 мм. Определение точности обработки производили в соответствии с ГОСТ 7315-92 [3]. Через каждые 30 минут работы станка выбирались по 5 опытных досок, каждый образец измеряли до фрезерования и после фрезерования по ширине и толщине в трех сечениях: по середине и на расстоянии 50 мм от торцов. Измерения проводили с помощью электронного штангенциркуля с ценой деления 0,01 мм. Для каждой выборки определяли среднее значение каждого размера.

Для оценки влияния жесткости системы СПИД на точность обработки заготовок проводились исследования деформаций валов верхней и левой боковой ножевых головок четырехстороннего продольно-фрезерного станка «Beaver 523» в лаборатории кафедры станков и инструментов УГЛТУ. Нагружение валов производилось с помощью настроечных механизмов станка, сила определялась динамометром сжатия ДОСМ-3-1, для измерения деформации использовалась стойка с индикатором часового типа (рис. 1).

Сила прикладывалась к валу в средней части ножевой головки, и в этом же сечении определялась величина деформации (рис. 2).

Измерения проводились при нагружении и разгрузке трехкратно и по усредненным значениям строились графики зависимости силы и деформации.

### Результаты исследования и их обсуждение

Полученное в результате проведенных исследований изменение размера изделий в процессе обработки показано на рис. 3.

Как видно, с течением времени работы конечный размер детали увеличивается. Увеличение толщины изделия описывается уравнением вида

$$h = 0,0009t + 26,941 \pm \Delta_1, \quad (3)$$

конечный размер по ширине детали, обрабатывавшийся не упрочненными ножами, изменяется более интенсивно, а уравнение для увеличения ширины изделия имеет вид

$$b = 0,0021t + 111,19 \pm \Delta_2, \quad (4)$$

где  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$  – суммарная случайная погрешность обработки, соответственно по толщине и по ширине детали.

Учитывая, что в соответствии с нормами точности по ГОСТ [3] отклонения размера при данном виде обработки не должно превышать 0,2 мм, размер детали после фрезерования по толщине выйдет за пределы допуска через 222 минуты ( $0,2/0,0009 = 222$ ), а по ширине – через 95 минут ( $0,2/0,0021 = 95$ ).

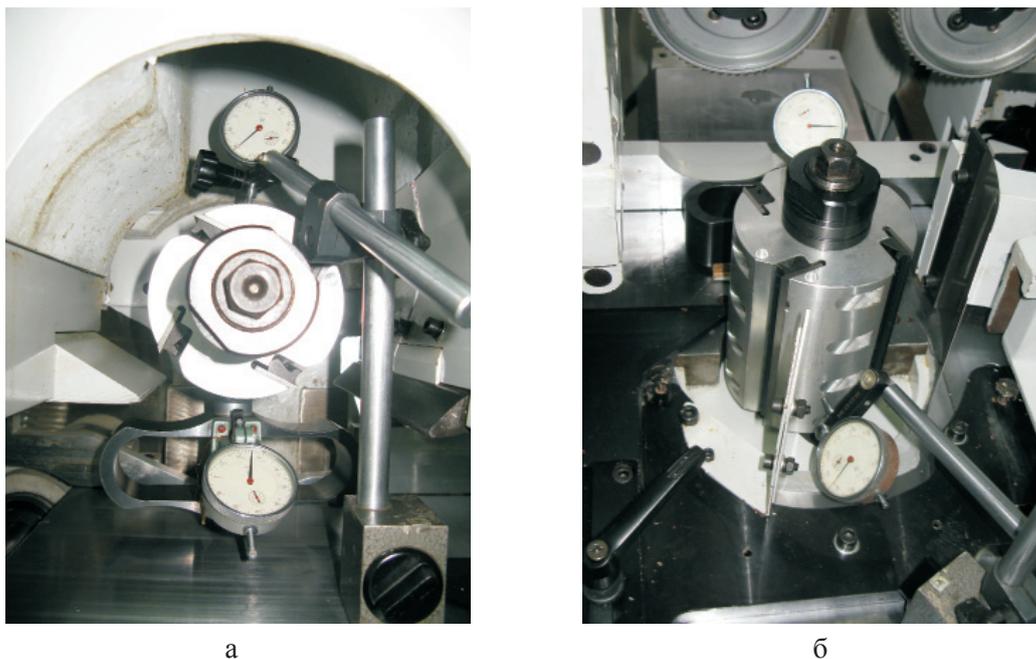


Рис. 1. Установка приборов для измерения сил и деформаций на верхней (а) и левой боковой (б) ножевых головках четырехстороннего продольно-фрезерного станка «Beaver 523»

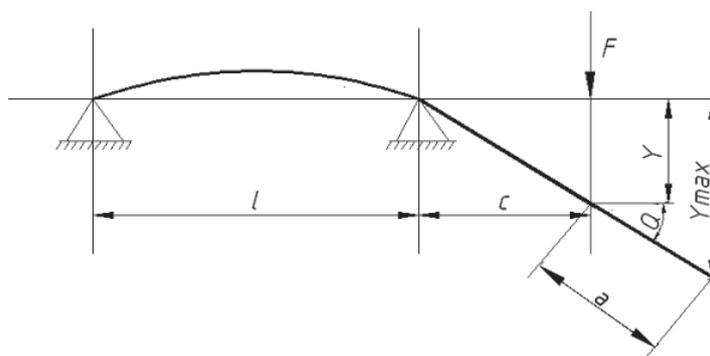


Рис. 2. Схема нагружения и измерения деформации валов ножевых головок четырехстороннего продольно-фрезерного станка «Beaver 523»

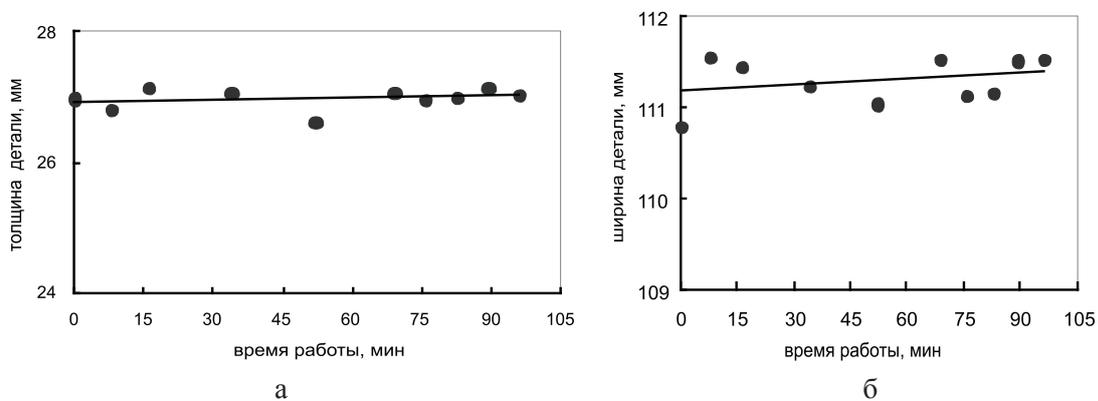


Рис. 3. Графики зависимости конечных размеров деталей от продолжительности работы инструмента

Результаты исследования зависимости сил и деформаций в системе СПИД представлены на рис. 4.

Как видно нагрузочные и разгрузочные зависимости силы и деформации валов несколько различаются ввиду трения в соединениях

деталей и гистерезиса в их материалах. Однако с достаточной для решения поставленной задачи точностью можно принять средние коэффициенты пропорциональности силы и деформации валов ножевых головок: верхней 7589 Н/мм и левой боковой – 40303 Н/мм.

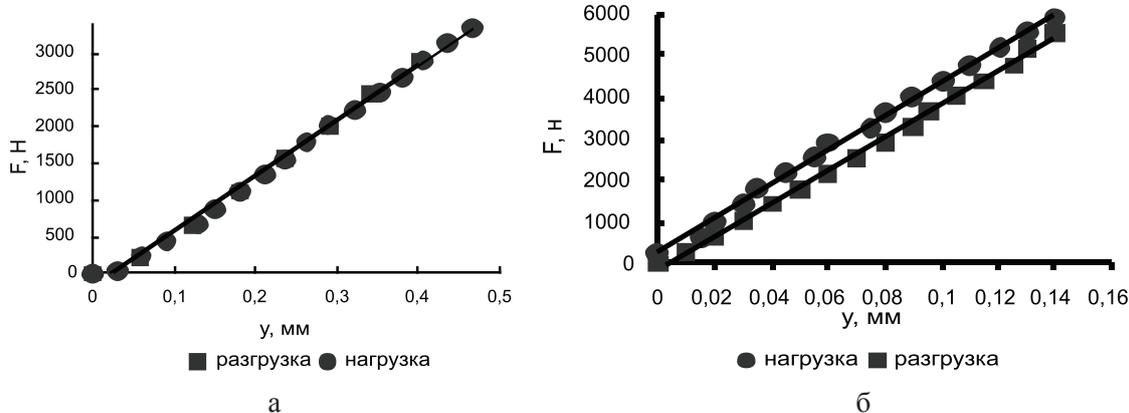


Рис. 4. Графики зависимости силы и деформации валов верхней (а) и левой боковой (б) ножевых головок четырехстороннего продольно-фрезерного станка «Beaver 523»

Из уравнения изогнутой оси двухопорной балки с нагруженной консолью [4]

$$y = \frac{F}{EJ} \frac{c^2(l+c)}{3}, \quad (5)$$

можно выразить приведенную к валу постоянного диаметра жесткость сечения  $EJ$ :

$$EJ = \frac{F}{y} \frac{c^2(l+c)}{3}, \quad (6)$$

где дробь  $F/y$  и есть определенный из опыта коэффициент пропорциональности. В таблице указаны значения размеров балок, коэффициентов пропорциональности и приведенной жесткости сечений валов верхней (а) и левой боковой (б) ножевых головок.

Расчет приведенной жесткости валов

Головка	$L$ , мм	$C$ , мм	$EJ$ , Нмм <sup>2</sup>
Верхняя	230	180	$3,360 \cdot 10^{10}$
Боковая	230	100	$4,433 \cdot 10^{10}$

Для определения деформации валов в процессе фрезерования выполним расчет сил резания на основе решения обратной задачи [5]. Окружная касательная сила резания средняя за оборот фрезы

$$F_{x0} = \frac{1000P\eta}{V}, \quad (7)$$

где  $P$  – мощность электродвигателя механизма резания, кВт;  $\eta$  – к.п.д. механизма резания;  $V$  – скорость резания, м/с.

Средняя сила резания на дуге контакта лезвий с древесиной, исходя из баланса работы сил:

$$F_{xзуб} = \frac{F_{x0}\pi D}{l_k z}, \quad (8)$$

где  $D$  – диаметр фрезы, мм;  $l_k$  – длина дуги контакта лезвия с древесиной, мм;  $z$  – количество лезвий фрезы. Длина дуги контакта лезвия с древесиной

$$l_k = \sqrt{tD}, \quad (9)$$

где  $t$  – глубина фрезерования, мм.

Для станка «Beaver 523» с частотой вращения шпинделей 6000 мин<sup>-1</sup>, диаметром фрез 125 мм, мощностью двигателя верхней головки 11 кВт, двигателя левой головки 5,5 кВт, считая к.п.д. пары подшипников качения 0,99, с количеством лезвий на фрезах 4, глубиной фрезерования 2 мм, получим для ножевых головок: верхней  $F_{x0} = 1722$  Н и левой боковой  $F_{xзуб} = 1174$  Н. Приблизительно, полагая, что мгновенная сила резания нарастает по закону треугольника, можно принять ее максимальное значение равным удвоенному среднему, тогда получим для ножевых головок: верхней  $F_{xmax} = 3444$  Н и левой боковой  $F_{xзуб} = 2348$  Н.

Радиальная сила (сила отжима), влияющая на деформацию валов в направлении, нормальном к поверхности обработки в зависимости от касательной силы, определяется по формуле

$$F_z = (1 - \cos \phi) F_x / \sin \phi, \quad (10)$$

где  $\varphi$  – среднее значение угла, соответствующее середине угла контакта  $\varphi_k$ .

$$\varphi_k = \sqrt{\frac{t}{D}}. \quad (11)$$

Исходя из сделанных предположений, максимальная сила отжима составит для ножевых головок: верхней  $F_{\text{max}} = 109$  Н и левой боковой  $F_{\text{max}} = 74$  Н. Ввиду дорезонансного режима работы валов можно считать их прогибы пропорциональными нагрузке, тогда деформация в средней части лезвия ножа фрезы не превысит 0,014 мм для верхней головки и 0,002 мм – для боковой. Считая кривизну изогнутой оси вала малой, а также ввиду жесткости корпусов ножевых головок, примем, что деформация вала пропорциональна длине участка консоли. Тогда максимальный прогиб на конце верхней ножевой головки вала приближенно составит 0,023 мм, а у левой боковой – 0,003 мм. Эта величина прогибов валов на порядок меньше, чем отклонение размера детали 0,2 мм, обработанной на четырехстороннем продольно-фрезерном станке, допускаемое по нормам точности [3].

#### Выводы

1. Износ и затупление режущих кромок лезвий инструмента при продольном цилиндрическом фрезеровании вносит систематическую погрешность конечных размеров детали, приводя со временем к их увеличению.

2. Скорость изменения конечного размера детали, обрабатываемой ножами из инструментальной стали марки 8Х6НФТ, упрочненных с использованием концентрированных потоков высокой энергии (пучков ионов азота), в 2,33 раза ниже, чем у неупрочненных ножей этой же марки.

3. Жесткость системы СПИД оказывает влияние на деформации валов ножевых головок фрезерного станка под действием сил отжима.

4. Величина деформаций валов ножевых головок реального фрезерного станка «Beaver 523» на порядок меньше, чем отклонение размера детали допускаемое по

нормам точности для четырехсторонних продольно-фрезерных станков.

#### Список литературы

1. 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.
2. Глебов И.Т., Вдовин А.Ю. Технологическая точность деревообрабатывающих станков. – Екатеринбург, 2006. – 134 с.
3. ГОСТ 7315–92. Деревообрабатывающее оборудование. Станки строгальные четырехсторонние. Основные параметры. Нормы точности и жесткости. Взамен ГОСТ 6826-78, ГОСТ 7315–83, ГОСТ 19467–74. Введ. 1993-01-01. – М.: Госстандарт России: изд-во стандартов, 1992. – 23 с.
4. Любошиц М.И. Справочник по сопротивлению материалов / М.И. Любошиц, Г.М. Ицкович. – 2-е изд., испр. и доп. – Минск: Высшейш.школа, 1969. – 464 с.
5. Глебов И.Т. Обработка древесины методом фрезерования: учебное пособие. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2007. – 192 с.

#### References

1. GOST 27.202-83. Reliability in engineering. Technological systems. Methods for assessing the reliability of the parameters of quality of manufactured products. By entering. 07/01/1984. Moscow: Publishing House of Standards, 1984. 50 p.
2. Glebov I.T., Vdovin A. Technological precision wood-working machines / I.T. Glebov, A. Vdovin Ekaterinburg, 2006. 134 p.
3. GOST 7315-92. Woodworking equipment. Planing machines, four hundred-sided. The main parameters. Standards of accuracy and rigidity. Instead, GOST 6826-78, GOST 7315-83, GOST 19467-74. By entering. 01/01/1993. Moscow: Gosstandart of Russia: Publishing House of Standards, 1992. 23 p.
4. Lyuboshits M. I. Directory on resistance of materials / M.I. Lyuboshits, G.M. Itskovich / Prod. the 2nd исправл. and дополн. Minsk: Vysheysh.Shkola, 1969. 464 p.
5. Glebov I.T. Wood processing by a milling method: Manual. Yekaterinburg: Ural.Gos.Lesotekhn. un-t, 2007. 192 p.

#### Рецензенты:

Пашков В.К., д.т.н., профессор кафедры станков и инструментов, ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет» Минобрнауки России, г. Екатеринбург;

Уласовец В.Г., д.т.н., профессор кафедры механической обработки древесины ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет» Минобрнауки России, г. Екатеринбург.

Работа поступила в редакцию 07.03.2013.