

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ ПРИВОДА ПОДАЧИ СТАНКА С ЧПУ С УЧЕТОМ СИЛ ТРЕНИЯ

© 2016 В.Л. Зубенко, Н.В. Емельянов

Самарский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 20.09.2016

В статье приведены результаты аналитических и экспериментальных исследований жесткости ПП и ЗНПР токарных станков с ЧПУ. Даны рекомендации, направленные на повышение показателей точности приводов подачи.

Ключевые слова: суппорт, станина, перекосяк, накладные направляющие виртуальная лаборатория, CAE технологии, затяжка клина.

Высокое качество обработки на станках с ЧПУ определяется их эксплуатационными показателями и техническим уровнем, определяемым в частности конструктивным исполнением, технологичностью конструкции, надежностью и долговечностью.

Современные технологические системы для выполнения своих рабочих функций имеют подвижные узлы и элементы, образующие подвижные и неподвижные соединения станка.

Смещение элементов относительно друг друга (например, суппорта станка относительно направляющих станины) происходит как на холостых и вспомогательных движениях, так и непосредственно при выполнении рабочего процесса.

Отклонение от номинального расположения элементов, образующих подвижное соединение с поступательным прямолинейным движением, происходит из-за:

- погрешностей изготовления и сборки и (или) при эксплуатации (износ, температурные изменения);

- пространственного действия силовых факторов, проявляющихся в виде несовпадения направления силы, вызывающей смещение, и результирующей сил трения и сил, связанных с выполнением полезной работы (силы резания, силы зажима и др.).

При этом точность обработки снижается за счет погрешностей из-за перекосяка суппорта, наличия зоны нечувствительности при реверсе и возникновению нежелательных фрикционных колебаний [1, 2], во многом зависящих от технических условий сборки изделия (суппортной группы).

Станки с ЧПУ отличаются как по компоновке, так и конструктивным исполнением ее элементов:

Зубенко Виктор Леонтьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные станочные и инструментальные системы».

E-mail: ask@samgtu.ru

Емельянов Николай Владимирович, старший преподаватель кафедры «Инженерная графика».

E-mail: ask@samgtu.ru

детали и узлы станков типа 16Б16Т1, 16Б16Ф3, 16К20Ф3, 16К20Т1 и др. имеют «традиционную» компоновку - горизонтальные направляющие станины с вертикально расположенной нормалью к плоскости обрабатываемой поверхности.

У станков типа 1716ПФ3, 1716ВФ3, 1716ПФ4 и др. - плоскость направляющих станины расположена под углом до 30° к вертикали и нормаль к обрабатываемой поверхности в зоне резания параллельна плоскости направляющих. Станина устанавливается на плитах на жесткое сварное основание.

Несущая система станков типа 1720ПФ3, 1720ПФ30 и др. - с вертикальной плоскостью направляющих и горизонтально расположенной нормалью к обрабатываемой поверхности в зоне резания, со сплошной станиной опирающейся на фундамент по всей длине.

Обобщенная схема возможных вариантов компоновок токарных станков среднего типоразмера с числом вариантов Z описывается структурной формулой вида

$$Z = \Gamma \begin{vmatrix} 1 \\ 1.4 \\ 1.4 \end{vmatrix} + B \begin{vmatrix} 1 \\ 1.4 \\ 6 \\ 6.3 \end{vmatrix} + H \begin{vmatrix} 1 \\ 1.4 \\ 5 \\ 5.2 \end{vmatrix},$$

где H, B, Γ - наклонное, вертикальное и горизонтальное расположение станины, 1 - 6 - угловое расположение инструментальной головки.

Процесс проектирования и конструирования привода подачи, как правило, интерактивный и предполагает перебор нескольких вариантов построения и решения модели будущего изделия. Одним из широко распространенных методов решения этой задачи является параметрическое проектирование (параметризация), основанное на моделировании деталей и изделий с использованием параметров элементов модели и соотношений между этими параметрами. Параметризация позволяет за короткое время перебрать с помощью изменения параметров или

геометрических отношений различные конструктивные схемы, выбрать оптимальные решения и избежать принципиальных ошибок.

В случае параметрического проектирования создается по сути математическая модель объектов с параметрами, при изменении которых происходят изменения конфигурации и размеров деталей, их взаимного расположения в сборках и т. п.

Использование технологии параметрического конструирования позволяет, при необходимости, легко изменять форму модели, в результате чего пользователь имеет возможность быстро и эффективно получать альтернативные конструкции или пересмотреть концепцию изделия в целом [1].

Современные технологические системы (станки моделей 16Б16Ф3, 16Б16Т1, 1716ПФ3, 1716ВФ4 и др.) для выполнения своих рабочих функций имеют различную компоновку элементов несущей системы [1, 2], в которых основной причиной перекоса суппорта является несовпадение вектора равнодействующей сил трения $F_{тр}$ в направляющих с осью жесткости упругой системы перемещающегося исполнительного органа.

Эксплуатационные характеристики приводов подач во многом определяются параметрами точности изготовления его деталей и сборкой всего узла. Суммарная погрешность привода подачи складывается из погрешностей системы ЧПУ, электрической части привода и механической системы, каждая из которых в свою очередь состоит из целого ряда погрешностей [1].

Вопросы исследования жесткости механической системы с дифференцированным учетом сил трения в элементах кинематической цепи, переориентации суппорта при реверсе играют значительную роль в формировании величины погрешности обработки и точности позиционирования.

Наибольшие погрешности имеют место при малых скоростях перемещения исполнительного органа, когда наблюдаются фрикционные колебания в механической системе.

Токарные станки с ЧПУ широко используются при обработке деталей сложного контура, требующих многократного изменения направления перемещения исполнительного органа. При изменении направления движения суппорта происходит в той или иной степени потеря информации за счет наличия зоны нечувствительности при реверсе в цепи привода подач и за счет изменения положения суппорта в пространстве.

В общем случае величина зоны нечувствительности при реверсе – ЗНПР может быть определена по формуле [1,2]

$$d_{знпр} = D_s + 2F/C,$$

где: F - полная сила трения; C - жесткость цепи привода; D_s - суммарный зазор в цепи привода.

Деформация определяется как разность угла поворота входного вала механической системы ϕ_1 , приведенного к конечному звену, совершающему

теоретически заданное поступательное перемещение d_1 и действительного перемещения суппорта d_2 ,

$$\delta = d_1 - d_2,$$

где $\delta_1 = \phi_1 \cdot t / 2\pi$; здесь t – шаг ходового винта.

Величина перекоса суппорта зависит от ряда технологических и конструктивных факторов. При реверсе исполнительного органа как на холостом ходу, так и в процессе обработки должно сохраняться давление на одних и тех же гранях направляющих. В противном случае возможна (увеличенная за счет зазоров между планками) переориентация суппорта в пространстве и возрастание составляющей погрешности обработки.

Кроме того, нестабильность момента трения в системе, вызванная «затяжкой» клина и погрешностями шага ходового винта может привести к увеличению нестабильности позиционирования.

Нестабильность момента сил трения вызывает случайную составляющую погрешности позиционирования. Это необходимо учитывать в станках высокой точности, где момент сил трения составляет основную часть внешней нагрузки.

Расчетная модель (рис. 1) перекоса суппорта при реверсе позволяет решить поставленную задачу исследования жесткости привода с учетом сил трения [1, 2].

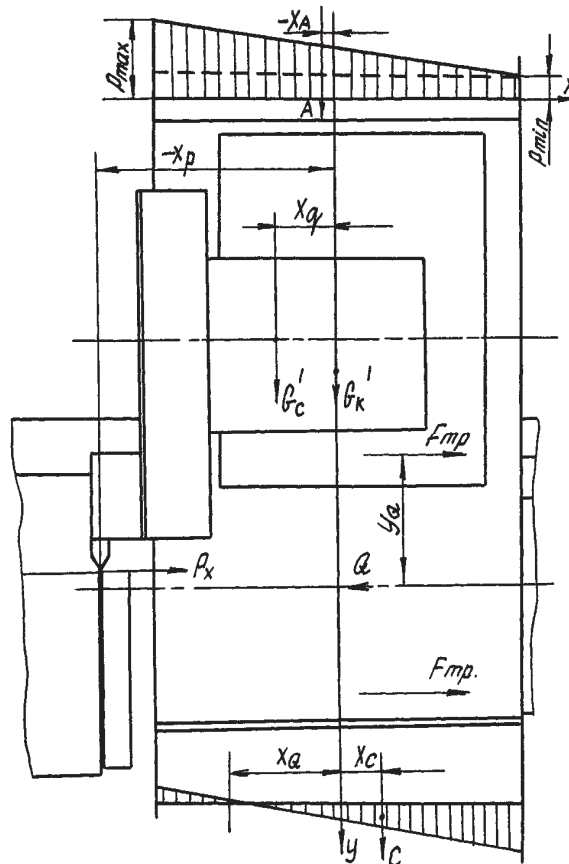


Рис. 1. Силовые факторы, действующие на суппорт станка в плоскости XY

Методика теоретических и экспериментальных исследований включает многовариантный

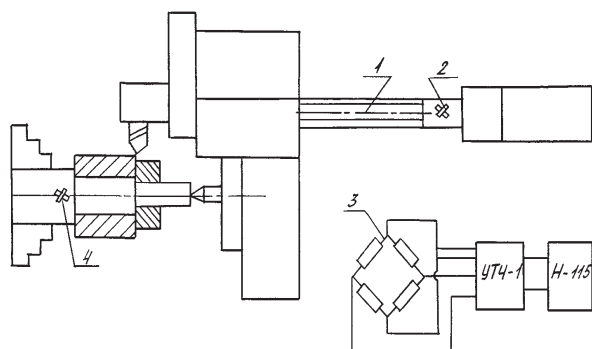


Рис. 2. Структурная блок-схема установки для измерения крутильных колебаний Мкр при резании и Мтр – на холостом ходу

анализ, выполняемый путем многократного моделирования исследуемой системы при различных значениях варьируемых параметров. Что позволяет выявить влияние значимых факторов на получаемый расчетный результат и дать практические рекомендации (с учетом экспериментальных исследований (рис.1 - 9)) для получения оптимального (рационального) варианта конструкции и его сборки.

Экспериментальное изучение характера переориентации суппорта в зависимости от его условий сборки и определение величины момента трения в направляющих проводилось на станке модели 1716ПФ3 в 3-х положениях суппорта по

длине направляющих станины: у шпинделя станка, в среднем положении станины и около задней бабки при различной регулировке («затяжке») клина. Одновременно с этим фиксировалась величина момента трения в системе с помощью тензометрических датчиков 2, установленных на ходовом винте 1 по мостовой схеме 3 [1].

В процессе сборки регулировка подсистемы «направляющие - суппорт» с помощью «затяжки» клина осуществлялась изменением величин a и b (рис. 3)

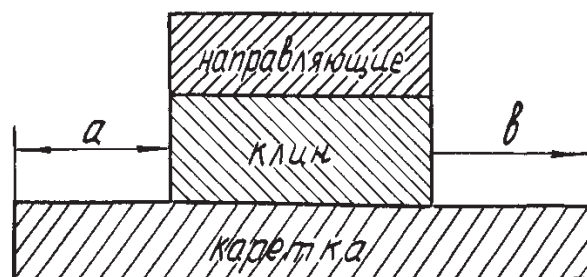


Рис. 3. Регулировка подсистемы «направляющие - суппорт» с помощью «затяжки» клина

На графиках рис. 5 - 9 приведены результаты экспериментального определения жесткости привода подачи станка при различной затяжке клина:

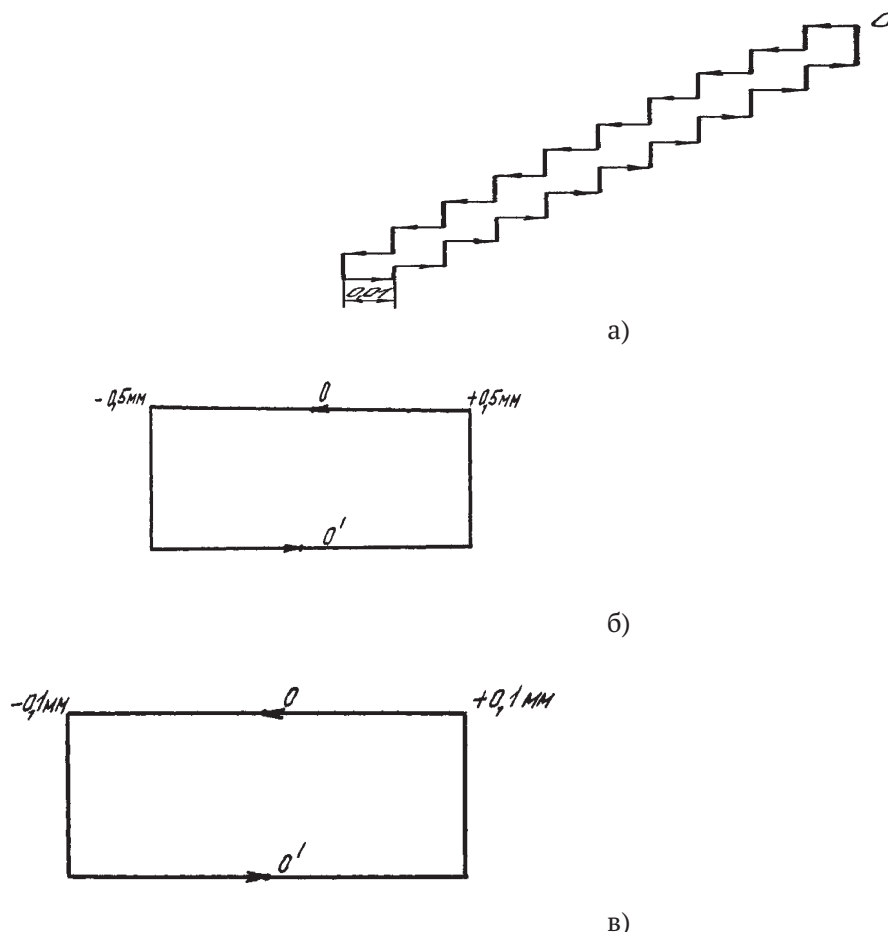


Рис. 4. Циклограммы работы привода подачи по замкнутому циклу а), б), в)

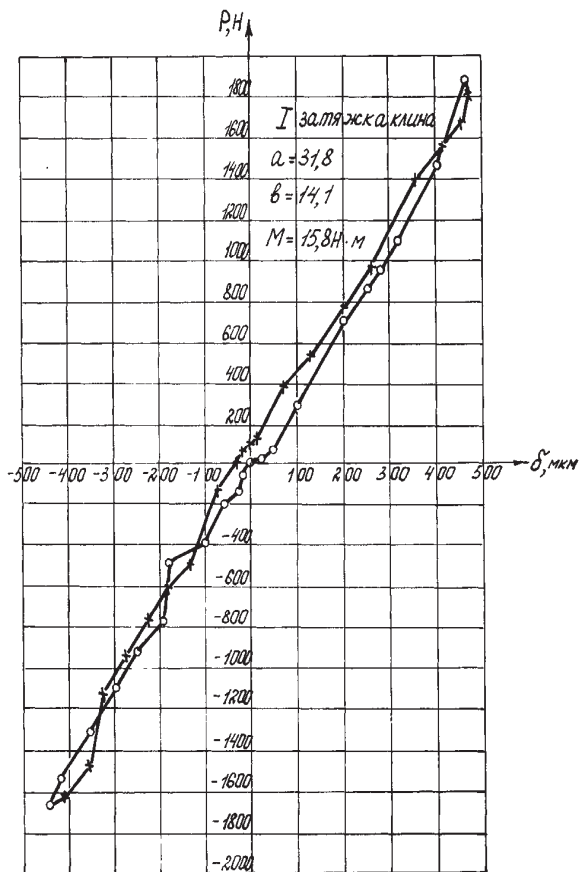


Рис. 5. Жесткость привода подачи станка при различной затяжке клина

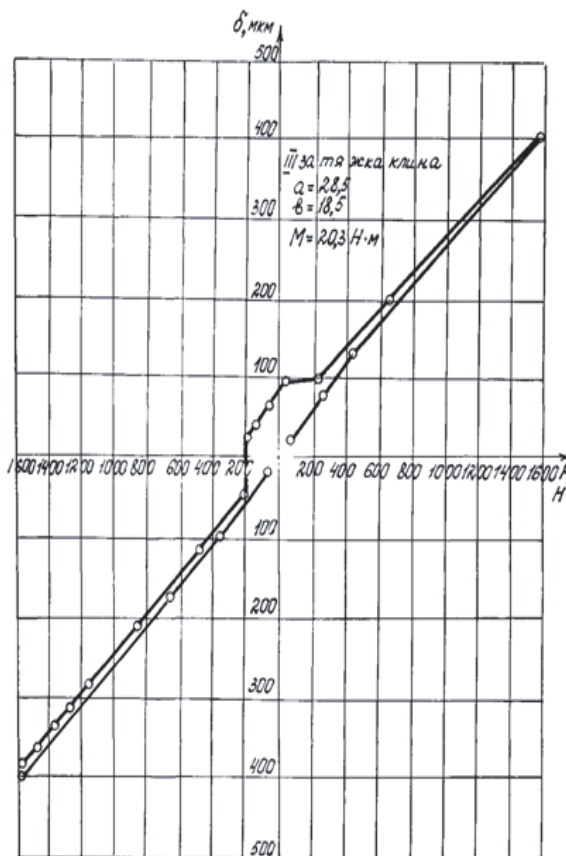


Рис. 6. Жесткость привода подачи станка при различной затяжке клина

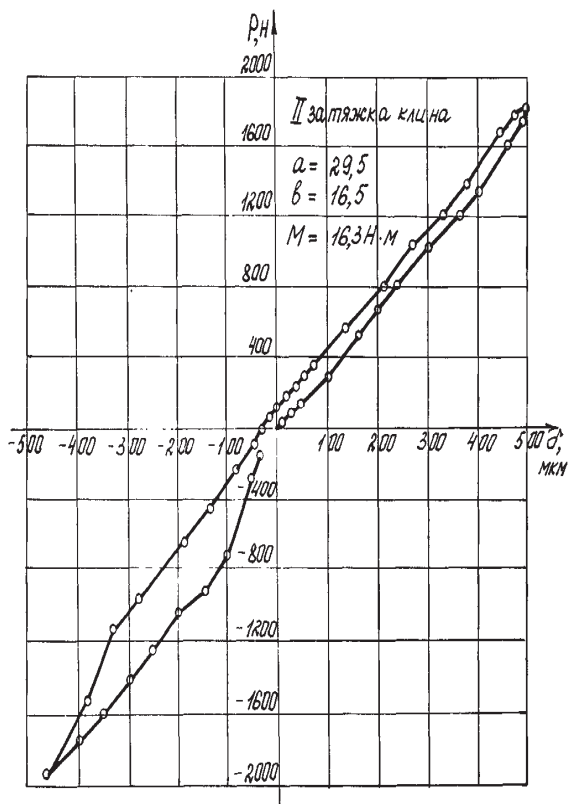


Рис. 7. Жесткость привода подачи станка при различной затяжке клина

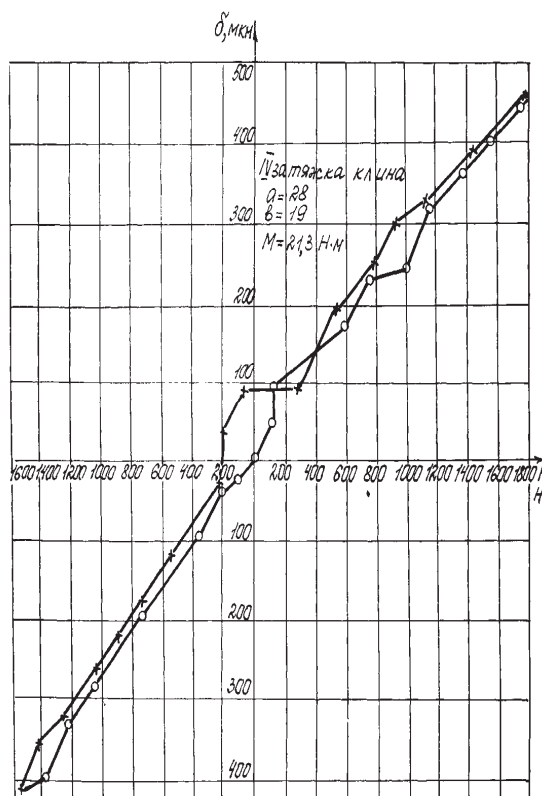


Рис. 8. Жесткость привода подачи станка при различной затяжке клина

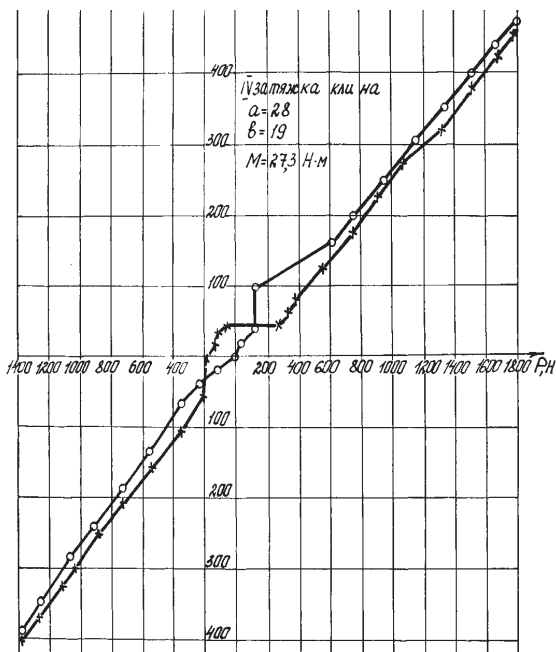


Рис. 9. Жесткость привода подачи станка при различной затяжке клина

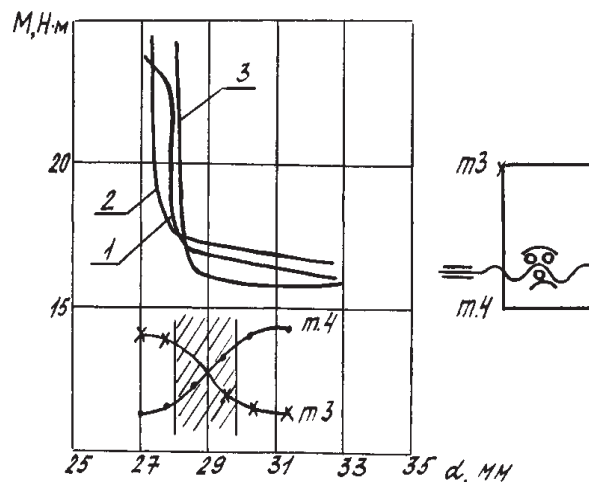


Рис. 10. Зависимость упругой деформации суппорта и момента трения от регулировки клина

контура при изменении направления движения на противоположное рабочие органы некоторое время не начинают движения в новом направлении, что может явиться причиной возникновения контурной погрешности обработки.

В результате исследований установлено, что в процессе сборки станка существует рациональная область «затяжки» клина (рис. 10), обеспечивающая более высокие динамические и точностные показатели работы привода станка, что полностью соответствует результатам аналитических исследований [2].

Для повышения точности отработки в приводах подач станков с ЧПУ нужно иметь минимальный момент холостого хода и наивысшую жесткость при оптимальном выборе величины предварительного натяга в соединениях, так как увеличение предварительного натяга повышает осевую жесткость узла шарикового винта, но одновременно также увеличивает момент холостого хода. Кроме того, чрезмерный предварительный натяг может снизить долговечность пары винт-гайка качения потому, что для одной из гаек в зависимости от направления движения сила предварительного натяга суммируется с осевой рабочей нагрузкой.

При обработке траектория реза вначале смещается из-за погрешностей станка, а затем - по мере износа реза. Задача управления — не допустить выхода реза из установленной зоны износа $d_{и}$ и появления брака. Для чего необходимо вводить подналадочные импульсы с помощью системы ЧПУ в направлении «к детали» при износе задней грани.

Величина износа реза по задней грани $h_з$, соответствующей величине $d_{и}$ в соответствии с рис. 2, б (задний угол α):

$$h_з = d_{и} / \text{tg}\alpha .$$

Количество подналадок N равно [1]:

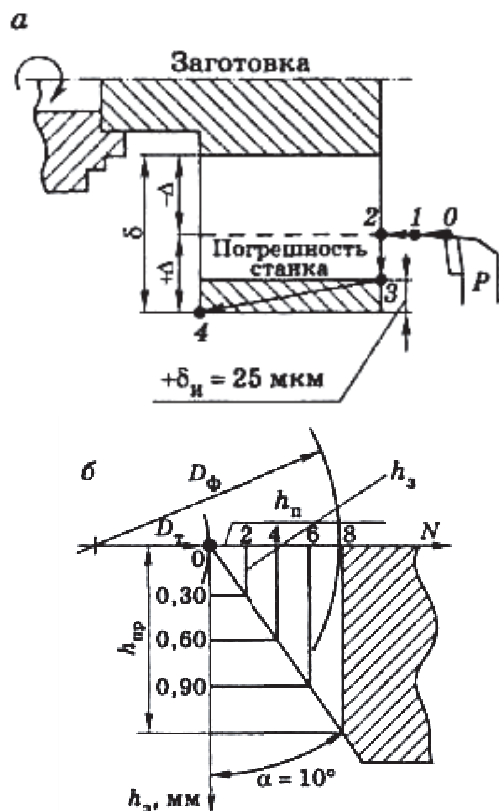


Рис. 11. Схема расчета размерного износа реза и ресурса его работоспособности:

а — схема обтачивания заготовки;

б — схема износа реза по задней и передней грани

Важнейшим условием достижения высоких точностей является учет жесткости и зоны нечувствительности при перемещениях рабочих органов станка. Зона нечувствительности проявляется в том, что при обработке деталей сложного

$$N = h_{пр}/h_3.$$

Введение подналадочных импульсов приводит к увеличению «запаса по точности» на износ резца $d_{и}$ (за счет общего поля допуска d), т.е. к увеличению ресурса работоспособности и повышению уровня технологической (параметрической) надежности.

Разработанное программное обеспечение и практические рекомендации переданы СВСЗ,

которые нашли применение при проектировании новых моделей станков [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зубенко В.Л. Емельянов Н.В.* Приводы станков с ЧПУ. Монография. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2012. 325 с.
2. *Зубенко В.Л.* CAD/CAE технологии станков с ЧПУ. Учебное пособие. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2014. 243 с.

RESEARCH OF RIGIDITY OF THE DRIVE OF GIVING OF THE NUMERICALLY CONTROLLED MACHINE TOOL TAKING INTO ACCOUNT FORCES OF THE FRICTION

© 2016 V.L. Zubenko, N.V. Yemelyanov

Samara State Technical University

The article shows the results of analytical and experimental researches of rigidity of Numerically Controlled Machine Tool. The recommendations directed on increase of indicators of accuracy of drives of giving are made.

Keywords: support, bed, warp, waybills directing virtual laboratory, CAE technologies, a wedge inhaling.