

УДК 621.9.014

А.С. Ямников, О.А. Ямникова, Д.И. Троицкий

Тульский государственный университет, Россия

Тел./Факс: +7 910 941 30 11; E-mail: Yamnikovas@mail.ru, YamnikovaOA@mail.ru

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФРЕЗОТОЧЕНИЯ РЕЗЬБЫ

Предлагаемые схемы физического моделирования позволяют проводить экспериментальные исследования процесса фрезоточения без необходимости проектирования и изготовления сложного инструмента – червячных резьбовых фрез и модернизации станков, что значительно сокращает материальные и временные затраты на подготовку и проведение экспериментов.

Ключевые слова: фрезерование резьбы, моделирование, токарный станок, односточный инструмент, фрезоточение, фрезоточение.

A.S. Yamnikov, O.A. Yamnikova, D.I. Troitskiy

PHYSICAL MODELING OF CUTTER LATHE THREAD TURN MILLING THREAD

The paper covers a single cutter lathe thread turn milling simulation that significantly reduces physical testing costs. The turn milling process involves a synchronized tool (helical mill), and workpiece rotation with a radial oncoming feed through a mill and workpiece relative movement. The cutting rate occurs by the mill teeth movement over the workpiece. The machining depth in each pass varies from zero to the max value, a common milling process feature. The proposed approach simulates the process parameters through thread turning or incomplete circular groove turning of workpieces attached off-center to a lathe tooling.

Key words: thread turn milling, simulation, lathe, single-point tool, thread, off-center turning.

1. Введение

Способ нарезания резьбы винтовым инструментом при одновременном согласованном вращении инструмента и заготовки был описан в 1941 году Скухторовым С.И. и Хлуновым В.Н. в журнале «Машиностроитель» [1]. Ими была предложена схема высокопроизводительного способа формирования резьб режущим инструментом с винтовой производящей поверхностью. Сущность способа заключается в том, что заготовки и инструменту сообщают взаимосвязанные вращательные движения D_u и D_o вокруг параллельных осей соответственно инструмента и заготовки и движение сближения D_t при равных осевых шагах P_o инструмента и P формируемой поверхности и постоянном передаточном отношении k , равном единице. Резьбу формируют сразу по всей длине без осевого движения подачи, когда окружные скорости \vec{V} и \vec{V}_d соответственно точки инструмента и точки формируемой поверхности в месте контакта разнонаправлены (рис. 1).

В 1971 г. Лоцманенко В.В. предложил методику расчета параметров профиля производящей поверхности рассматриваемого инструмента при разнонаправленных движениях вращения D_H и D_o [2]. В 1978 г. - фирма «Traub» (ФРГ) оснастила свои токарно-револьверные станки специальным приспособлением для фрезоточения инструментом с винтовой производящей поверхностью наружных резьб по латуни и легкому сплаву. В 1987-1993 г.г. Воронов В.Н. развил способ нарезания резьбы винтовым инструментом [3-5]. Особенно много внимания было уделено практической реализации способа. В 1994 г. Серова Е.В. и Лашнев С.И. разработали геометрическую теорию профилирования инструмента для фрезоточения резьбы [6, 7]. В работах Солянкина Д.Ю. Ямникова А.С., Ямниковой О.А. [8-12] эти же вопросы рассмотрены с позиции

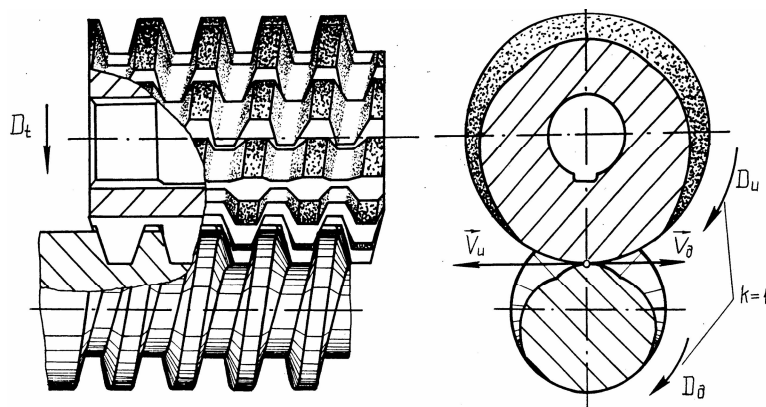


Рис. 1. Способ формирования резьб винтовым инструментом при синхронном вращении с заготовкой

имеющим все признаки групповой резьбовой фрезы. Отсюда же понятно, что применять зависимости для точения или фрезерования к фрезоточению не корректно. Некоторые вопросы требуют экспериментального исследования, например определения стойкостных и силовых зависимостей, в условиях приближенных к реальным. Как видно из предыдущего описания, инструмент для фрезоточения является многозубым, его стойкость по имеющимся данным очень высока и для отыскания эмпирических зависимостей требуется большое количество заготовок и времени. Дополнительную сложность представляет собой необходимость серьезной модернизации действующего или проектирования и изготовления специального оборудования. Для устранения организационных затруднений следует использовать физическое моделирование [14 - 17].

2. Основное содержание и результаты работы

На рис. 2 изображена схема фрезоточения наружной резьбы. Фреза диаметром D_f и заготовка диаметром D_d вращаются с одинаковой частотой ($n_d = n_f$) и сближаются со скоростью радиальной подачи S_r . За один оборот заготовки и фрезы каждый зуб фрезы работает один раз, следовательно, при фрезоточении подача на зуб будет равна подаче на оборот $S_z = S_{po}$, соответственно глубина резания также $t_i = S_{po}$.

Для обоснования принятой методики моделирования рассмотрим кинематику резания в процессе фрезоточения. Анализ кинематики резания фрезоточения наружной резьбы показал [3-6], что траекторией относительного движения вершины единичного зуба фрезы является окружность радиусом R_{TP} , причем $R_{TP} = R_f + R_d$. За каждый оборот заготовки (и фрезы) единичный зуб срезает слой металла определенной длины и толщины.

Для обработки полной глубины профиля резьбы - H фрезе (заготовки) необходимо сделать k оборотов:

$$k = \frac{H}{S_{po}}. \quad (1)$$

Для ускорения и удешевления испытаний применялся метод моделирования путем имитации процесса фрезоточения на токарном станке единичным резьбовым резцом. Эксперименты проводились физическим имитационным моделированием, для чего процесс фрезоточения заменялся процессом точения эксцентрично закрепленной заготовки (рис. 3).

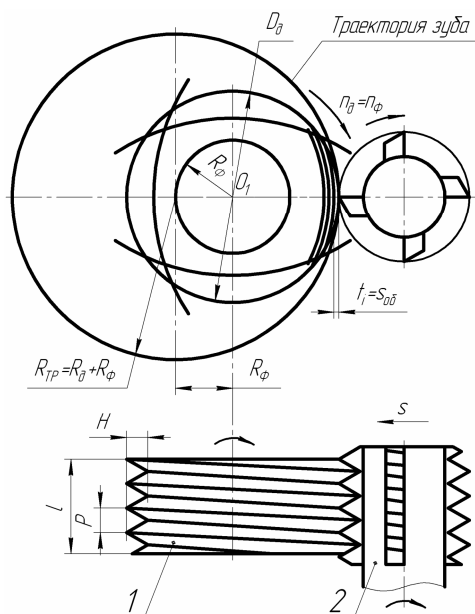


Рис. 2. Схема фрезоточения наружной резьбы

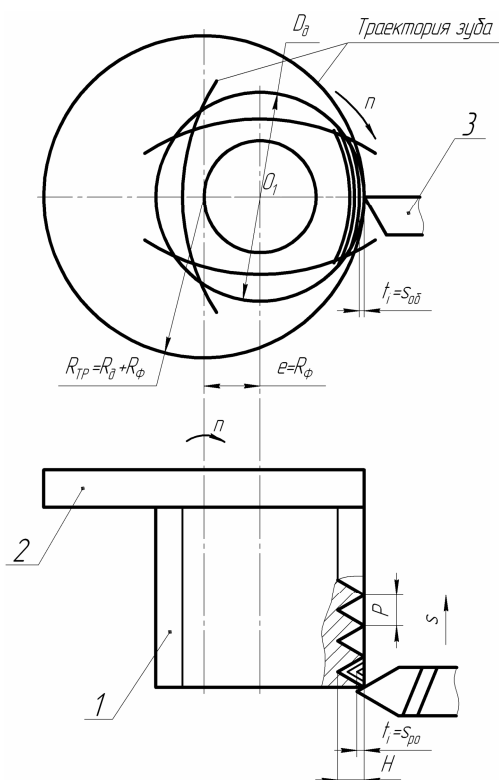


Рис. 3. Схема моделирования фрезоточения наружной резьбы

ка и сообщают ему подачу.

То есть, на токарном станке создаются те же условия, та же кинематика резания,

Заготовку - 1 с центром в точке O_1 закрепляют на планшайбе - 2 неподвижно, а планшайбу с заготовкой вращают вокруг центра O . Единичный резьбовой резец - 3 закрепляют в суппорте токарного станка и сообщают ему подачу.

На рис. 4 изображена схема фрезоточения внутренней резьбы. Воронов В.Н. получил уравнение траектории зуба фрезы в параметрическом виде [3-6]:

$$\begin{cases} X_1 = (R - r)\cos\alpha + r\cos 2\alpha, \\ Y_1 = (R - r)\sin\alpha + r\sin 2\alpha. \end{cases} \quad (2)$$

Сравнивая это выражение с уравнением кривой «улитка Паскаля» [12] Воронов В.Н. принял, что они тождественны. Следовательно, траектория относительного движения зуба фрезы при обработке по рассматриваемой схеме (см. рис. 3) должна являться кривой «улитка Паскаля», уравнение которой в параметрическом виде приведено (2). В неявной форме:

$$[(x_1 + r)^2 + y_1^2 - 2r(x_1 + r)]^2 = (R - r)^2 [(x_1 + r)^2 + y_1^2] \quad (3)$$

Для моделирования процесса фрезоточения внутренней резьбы на токарном станке (рис. 5) заготовку - 1 закрепляют в трехкулачковом патроне с эксцентриситетом относительно оси вращения патрона:

$$e = R_d - \rho, \quad (4)$$

где ρ - радиус кривизны улитки Паскаля в точке наибольшего заглабления зуба фрезы в тело заготовки; R_d - радиус нарезаемой резьбы, $R_d = 0,5D_d$.

Для этого под одну из губок патрона подкладывают пластину толщиной:

$$b = 1,5e \left(1 + \frac{e}{2D_{\phi}} \right), \quad (5)$$

где D_{ϕ} - диаметр базы (наружный диаметр заготовки).

Подбором эксцентриситета добивались необходимой длины дуги контакта зуба инструмента с заготовкой. Таким образом, заготовка будет вращаться вокруг центра O . Единичный резьбовой резец - 3 закрепляют в суппорте станка

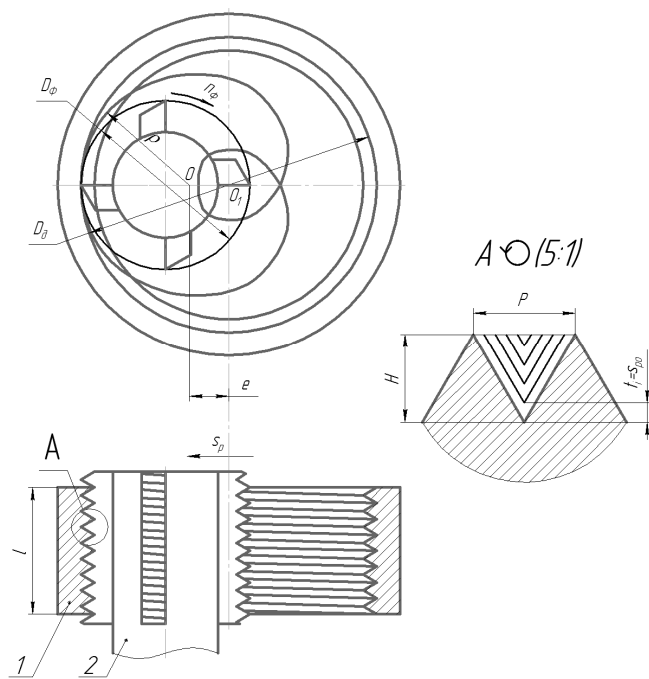


Рис. 4. Схема фрезоточения внутренней резьбы

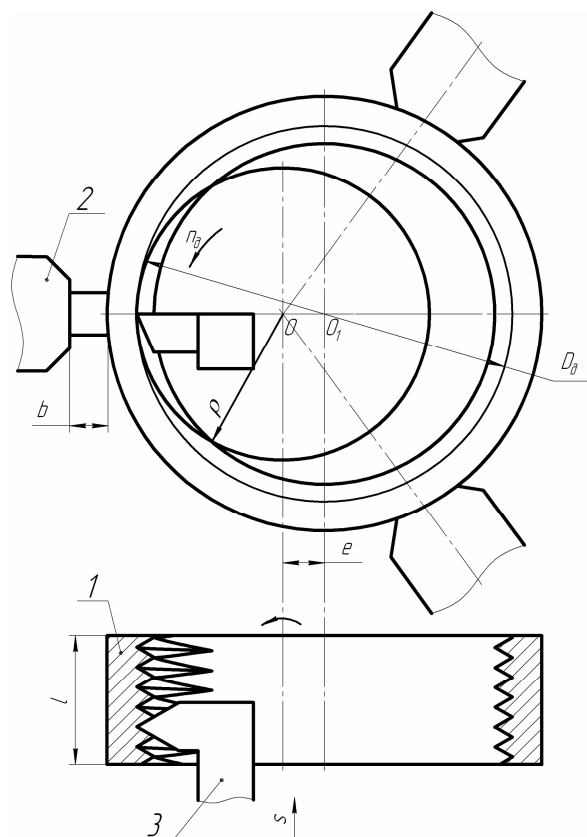


Рис. 5. Схема моделирования процесса фрезоточения внутренней резьбы; z - количество обработанных секторов, равное числу зубьев фрезы.

что и в процессе фрезоточения (тот же радиус траектории относительного движения; такой же прерывистый процесс резания с тем же циклом; та же длина пути резания единичного резца, тот же угол контакта). Режимы и условия резания (скорость, подача, глубина резания, охлаждение) назначают такие же, как и при фрезоточении.

При фрезоточении каждый зуб фрезы представляет собой резьбовую гребенку. В процессе обработки одной заготовки каждый единичный резьбовой резец гребенки обрабатывает одну впадину резьбы на соответствующем секторе резьбовой поверхности. Следовательно, обработка одной впадины резьбы на соответствующем секторе заготовки при моделировании будет соответствовать (по пути резания и по износу единичного резьбового резца) фрезоточению одной заготовки. Таким образом, для сокращения количества заготовок и времени испытаний целесообразно на каждой заготовке нарезать как можно больше резьбовых впадин. Это может быть достигнуто путем многопроходного точения резьбы с продольной подачей. При этом за каждый проход глубина резания t_i должна быть равна подаче на оборот при фрезоточении - S_{po} . После многопроходной обработки одного сектора резьбовой поверхности заготовку поворачивают вокруг ее оси на угол, равный угловому шагу зубьев фрезы и обрабатывают следующий сектор и т.д. Таким образом, обработка одной заготовки будет соответствовать (по износу единичного резьбового резца) фрезоточению N заготовок:

$$N = \frac{zl}{P}, \quad (6)$$

где l - длина резьбы; P - шаг резьбы.

Предлагаемые схемы физического моделирования позволяют проводить экспериментальные исследования процесса фрезоточения без необходимости проектирования и изготовления сложного инструмента – червячных резьбовых фрез и модернизации станков, что значительно сокращает материальные и временные затраты на подготовку и проведение экспериментов.

Список литературы:

1. Скухторов С.И., Хлунов В.Н. Фрезерование резьбы по методу обката. //Машиностроитель, 1941, № 2. С. 6-9.
2. А.С. 380409 (СССР). Способ нарезания резьбы. //Лощманенко В.В. - Оpubл. в БИ, 1973, № 15.
3. Воронов В.Н. Изготовление резьб винтовым инструментом. //Станки и инструмент. 1991, № 10. С. 14-16.
4. Воронов В.Н., Ямников А.С., Протасьев В.Б. Автоматизация обработки ниппелей отопительных радиаторов. //Механизация и автоматизация механосборочных работ: тез. докл. регион, конф. Ижевск, ДНТП, 1990. С. 21-22.
5. Воронов В.Н., Ямников А.С., Протасьев В.Б. Инструменты для фрезоточения резьбы в роторной линии. //Инструментальное обеспечение автоматических систем механообработки: тез. докл. регион, конф. - Иркутск, АН СССР, НЦСО. 1990. С. 12-13.
6. Воронов В.Н., Серова Е.В. Формообразований резьбы винтовым инструментом с радиальной подачи. //Технология механической обработки и сборки: Тула: ТулГТУ, 1993. С. 87-95.
7. Лашнев С.И., Серова Е.В. Расчет параметров производящей поверхности фрезы - протяжки для обработки круглых резьб //Автоматизированные станочные системы и роботизация производства: Сб. науч. тр. Тула: ТулГТУ, 1993. С. 87-92.
8. Солянкин Д.Ю., Ямников А.С. Относительная производительность фрезоточения резьб // Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии». №6(284) 2010. С. 109-114.
9. Солянкин Д.Ю. Ямников А.С., Ямникова О.А. Методика определения параметров срезаемых слоев и огранки при фрезоточении резьб // Известия ТулГУ. Серия «Технические науки», 2011, 3 вып., часть 1. С. 272-278.
10. Ямников А.С., Ямникова О.А., Солянкин Д.Ю. Имитационное моделирование фрезоточения резьбы // Научно-технические технологии в машиностроении. 2011, №6. С. 15-20.
11. Солянкин Д.Ю. Ямников А.С., Ямникова О.А. Фрезоточение резьб. Обоснование технологии и конструкций инструмента. Монография, Изд-во Ламберт, ФРГ. 2012. 176 с.
12. Ямникова О.А., Ямников А.С. Имитационное моделирование компонентов технологических систем: учеб. пособие. Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. 191 с.
13. Компас-3D V15, система трехмерного моделирования. Артикул: ASCON_00-0014661. Платформа: Windows XP/Vista/7/8.
14. Гухман А.А. Введение в теорию подобия. Издательство: ЛКИ. 2010. 296 с.
15. Силин С.С. Метод подобия при резании материалов. М.: Машиностроение, 1979. 152 с.
16. Замятина О. М. Моделирование систем: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2009. 204 с.
17. Финаев В.И. Моделирование систем: учебное пособие. Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2013. 181 с.

Поступила в редколлегию 24.05.2015