

УДК 621.99

# Экспериментальное исследование фрезерования упорной резьбы инструментом общего положения

**О.В. Мальков, И.Д. Лагойский**

МГТУ им. Н.Э. Баумана

## Experimental research of the buttress thread milling with a general position tool

**O.V. Malkov, I.D. Lagoyskiy**

Bauman Moscow State Technical University

Упорную резьбу невозможно или крайне затруднительно изготовить резьбофрезерованием по кинематической схеме с параллельными осями инструмента и резьбы. Приведены кинематические схемы для формообразования упорной резьбы со скрещивающимися осями инструмента и резьбы, на основе которых разработана экспериментальная установка для фрезерования упорных резьб по предложенной планетарной кинематической схеме на модернизированном трехкоординатном координатно-расточном станке с ЧПУ. Изготовлена однозубая однодисковая сборная резьбовая фреза. Описана последовательность настройки требуемого взаимного расположения инструмента и заготовки. Проведены эксперименты по моделированию фрезерования упорной резьбы S42·7 (ГОСТ 10177–82) на заготовках из алюминиевого сплава АМг6. По результатам эксперимента установлена возможность изготовления профиля этой резьбы в соответствии с 9-й степенью точности по ГОСТ 25096–82. Показано, что увеличение точности изготовления инструмента повышает точность фрезерования упорной резьбы, что существенно расширяет технологические возможности процесса.

**EDN:** NVUNYE, <https://elibrary/nvunye>**Ключевые слова:** упорная резьба, резьбофрезерование, формообразование резьбы, точность фрезерования резьбы, экспериментальная установка

It is impossible or extremely difficult to produce thrust threads by thread milling using a kinematic scheme with parallel axes of the tool and thread. The paper presents kinematic schemes for the thrust threads shaping with intersecting axes of the tool and thread. These schemes provide a basis for design and development of an experimental bench for the thrust thread milling according to the proposed planetary kinematic scheme on a CNC three-coordinate modernized coordinate-boring machine. A single-tooth single-disk assembly thread milling cutter was manufactured. The paper describes the sequence of setting the required mutual arrangement of the tool and the workpiece. Experiments were conducted to simulate the S42·7 (GOST 10177–82) buttress thread milling with workpieces made of the AMg6 aluminum alloy. The experiment results establish a possibility to manufacture this thread profile in accordance with the 9th degree of accuracy according to GOST 25096–82. The paper shows that an increase in the tool manufacture accuracy raises the buttress thread milling accuracy significantly expanding the process technological possibilities.

**EDN:** NVUNYE, <https://elibrary/nvunye>**Keywords:** buttress thread, thread milling, thread shaping, thread milling accuracy, experimental installation

Резьбофрезерование активно используют при нарезании резьбы в корпусных деталях на станках с ЧПУ, что обусловлено многими достоинствами процесса, основными из которых являются универсальность, надежность и качество обработки [1, 2]. Это позволяет повысить эффективность обработки резьбы, уменьшить номенклатуру применяемых инструментов, инструментальных наладок и количество позиций в магазинах станков с ЧПУ.

Резьбовые фрезы чаще всего используют для нарезания метрической резьбы, реже для дюймовой, трубной и трапецеидальной и в очень ограниченном объеме для изготовления упорной резьбы (УР) [3, 4]. Обычно УР нарезают в деталях, испытывающих большую осевую нагрузку, в изделиях нефтегазодобычи (обсадных трубах и их муфтах), насосно-компрессорного оборудования (насосно-компрессорных трубах и их муфтах, блоках клапанов плунжерных насосов) и медицинской техники (винтах для остеосинтеза), в прессах и домкратах.

Анализ каталогов производителей резьбовых фрез показал, что ограниченно выпускаются инструменты для фрезерования УР с углами боковых сторон 7 и 45° [5] и отсутствуют инструменты для обработки УР с углами наклона боковых сторон 3 и 30° (45°). Вследствие несовпадения траектории движения зубьев резьбовой фрезы и направления винтовой линии формообразуемой резьбы при использовании кинематической схемы с параллельными осями УР и инструмента образуется геометрическая погрешность профиля УР, которая может привести к несоответствию принятой степени точности [5–12]. В результате указанные УР невозможно или крайне затруднительно (при определенном сочетании параметров УР и инструмента) изготовить резьбофрезерованием с использованием указанной кинематической схемы обработки [4, 5, 8–11].

Разработаны новые схемы формообразования УР с малыми углами боковых сторон, которые существенно расширяют их область применения при фрезеровании УР в корпусных деталях [13]. Выполнен анализ технологической и кинематической возможностей использования предложенных кинематических схем для формообразования УР инструментом общего положения [4]. Проведены теоретические исследования по моделированию их формообразования [14].

Предложено техническое решение по компоновке экспериментального стенда, позволяющего реализовать формообразование УР на станке с ЧПУ с применением новых кинематических схем формообразования [15].

Под инструментом общего положения будем понимать такую фрезу, главное движение резания которой осуществляется вокруг своей оси, а ось является прямой общего вида по отношению к плоскостям проекций в системе координат станка.

Цель работы — экспериментальное подтверждение теоретических исследований о возможности формообразования УР с использованием кинематической схемы с инструментом общего положения и апробация технического решения по компоновке экспериментального стенда для реализации предложенной кинематической схемы на фрезерном станке с ЧПУ, что позволит расширить область резьбофрезерования.

**Технологическое обеспечение фрезерования УР инструментом общего положения.** Кинематические схемы формообразования УР со скрещивающимися осями однодискового инструмента и УР приведены на рис. 1, а–в. Главное движение резания  $D_r$  осуществляется вокруг оси инструмента 4, который представляет собой формообразующий диск с хвостовиком (см. рис. 1, а и б) или охватывающий диск с формообразующей частью (см. рис. 1, в).

Для реализации пространственной винтовой траектории движения инструмента 3, заготовке 2 придают кинематически связанные движение окружной подачи  $D_{S1}$  (вращение заготовки вокруг своей оси) и прямолинейное движение заготовки  $D_{S2}$  вдоль образующей предварительно подготовленного отверстия (см. рис. 1, а) или образующей вала (см. рис. 1, б и в). Инструмент совершает столько планетарных оборотов вдоль винтовой траектории, сколько витков УР требуется для получения необходимой длины УР.

Пространственное взаимное расположение инструмента и УР задается эксцентриситетом  $e$ , который равен расстоянию от начала системы координат заготовки  $O$  до точки  $O_b$ , лежащей на оси инструмента. Наклон инструмента осуществляется последовательным вращением вокруг двух осей — сначала в системе координат УР  $xyz$  вокруг оси  $Ox$  на угол  $\varphi_x$  в направлении угла подъема винтовой линии, в результате по-

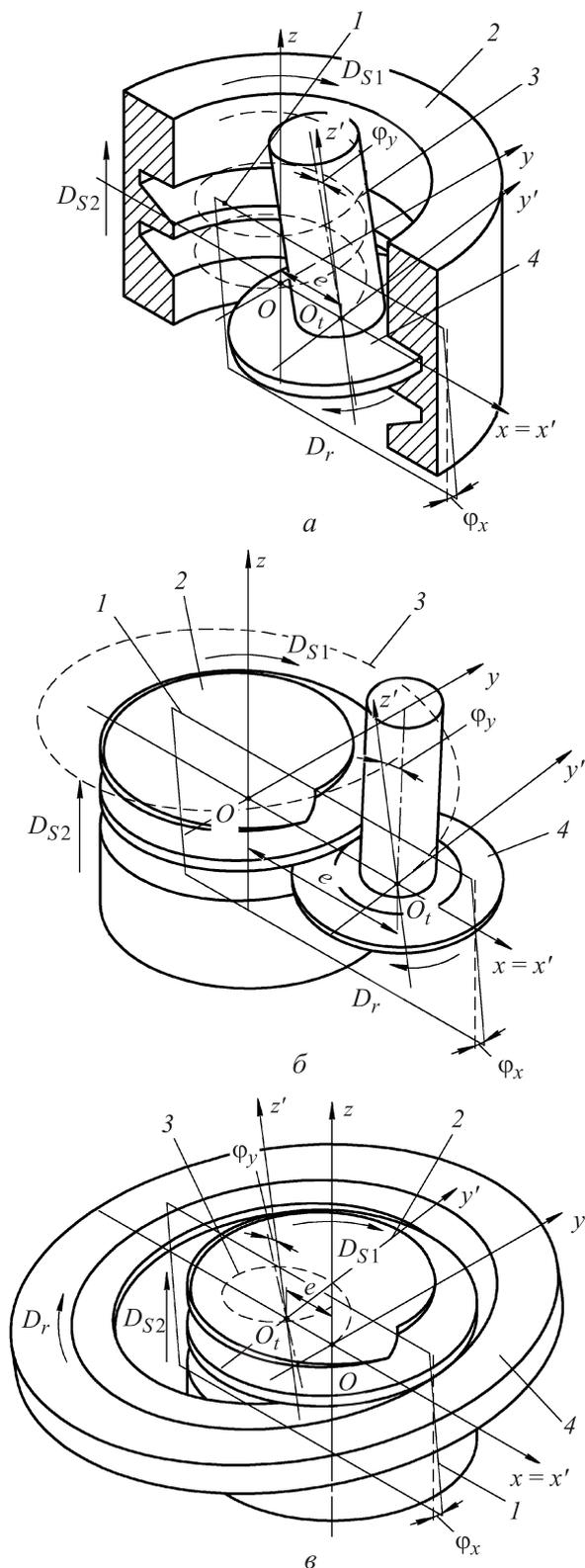


Рис. 1. Кинематические схемы формообразования УР со скрещивающимися осями инструмента и УР: а и б — для внутренней и наружной резьбы; в — для наружной резьбы охватываемым инструментом

лучая осевую плоскость инструмента 1, затем в системе координат инструмента  $x'y'z'$  (которая

повернута вокруг оси  $Ox$  на угол  $\varphi_x$  и смещена на величину  $e$  (см. рис. 1, а)) вокруг оси  $O_t y'$  на угол  $\varphi_y$  в сторону большего угла боковой стороны УР. На рис. 1 показана только система координат инструмента  $x'y'z'$  после поворота вокруг оси  $Ox$ .

Линейное перемещение на величину  $e$  и комбинирование наклонов инструмента можно осуществлять в любом порядке при выполнении условия эквивалентности его результирующего положения. Соответственно, значения углов  $\varphi_x$  и  $\varphi_y$  будут зависеть от реализации этих наклонов на конкретном оборудовании и отличаться от приведенных далее при выборе другой последовательности.

За  $\varphi_x$  принят угол, соответствующий наклону инструмента в направлении наклона винтовой линии УР, а за  $\varphi_y$  — угол наклона инструмента, соответствующий наклону по профилю УР в сторону с большим углом независимо от обозначения оси, вокруг которой осуществляется наклон.

По кинематическим схемам со скрещивающимися осями инструмента и УР можно обрабатывать внутреннюю, наружную, одно- и многозаходную резьбу различных диаметров и шагов (в случае выбора однодискового инструмента).

Инструмент на рис. 2 представлен в виде исходной инструментальной поверхности (ИИП) без зубьев и стружечных канавок. ИИП получают посредством вращения формообразующего профиля с требуемыми геометрическими параметрами вокруг своей оси. В общем виде профиль инструмента для формообразования УР задают тремя прямыми, имеющими разный угол наклона к оси инструмента  $\gamma_p$ ,  $\varepsilon_p$ ,  $\beta_p$ , а также следующими параметрами: длиной вершины фрезы  $a$ , диаметром хвостовика  $d_x$ , диаметрами торцов у сторон с меньшим  $d_{T1}$ ,  $d_{T2}$  и большим углами профиля  $D_{T1}$ ,  $D_{T2}$ ; диаметрами фрезы  $d_p$ ,  $D_p$  и наружным диаметром охватываемого инструмента  $d_n$ .

С использованием параметров инструмента, показанного на рис. 2, а, разработана однодисковая однозубая резьбовая фреза (рис. 3). Она является сборной и состоит из твердосплавной вставки с требуемым профилем 1 и установочного винта 2, который фиксирует вставку в державке 3. Передний ( $\gamma_T = 0^\circ$ ) и задний ( $\alpha_T = 10^\circ$ ) углы инструмента заданы в его торцевом сечении. Значение переднего угла приняли из необходимости исключения профили-

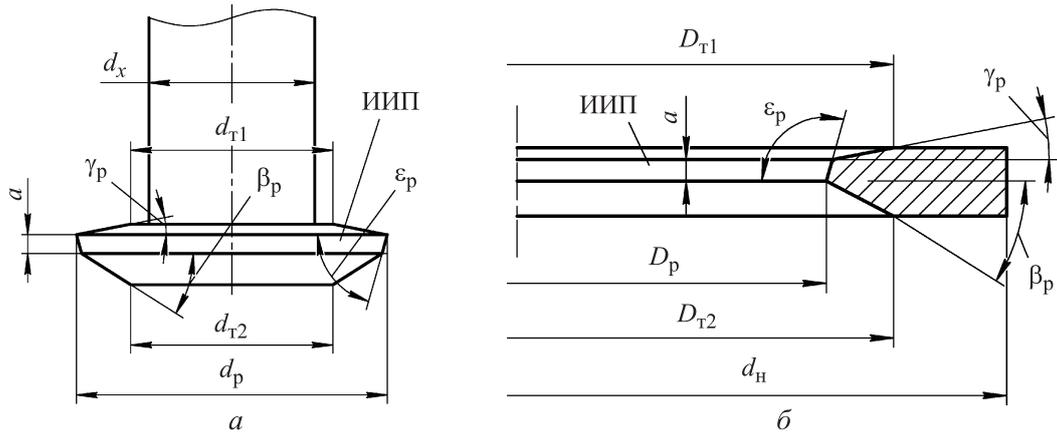


Рис. 2. Схемы профилей хвостового (а) и охватывающего (б) инструментов

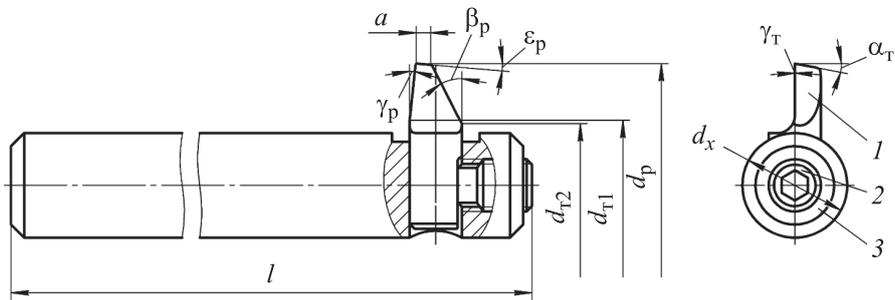


Рис. 3. Конструктивная схема однодисковой однозубой резьбовой фрезы

рования вставки на требуемый угол УР, а задний угол — с учетом получения положительного значения заднего угла на стороне профиля вставки с меньшим углом.

На рис. 4 приведена схема фрезерования УР по планетарной кинематической схеме, показанной на рис. 1, а, с использованием инструмента, изображенного на рис. 3. Пространственное положение фрезы 2 относительно заготовки 3 задают с помощью поворотной фрезерной

головки 1, которую наклоняют на требуемые углы  $\varphi_x$  (рис. 4, а) и  $\varphi_y$  (рис. 4, б) в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Планетарное движение инструмента относительно заготовки осуществляется как комбинация двух простых движений — прямолинейного движения  $D_{S2}$  вдоль образующей предварительно подготовленного отверстия и окружного движения подачи  $D_{S1}$ , выполняемой вращением заготовки в поворотном при-

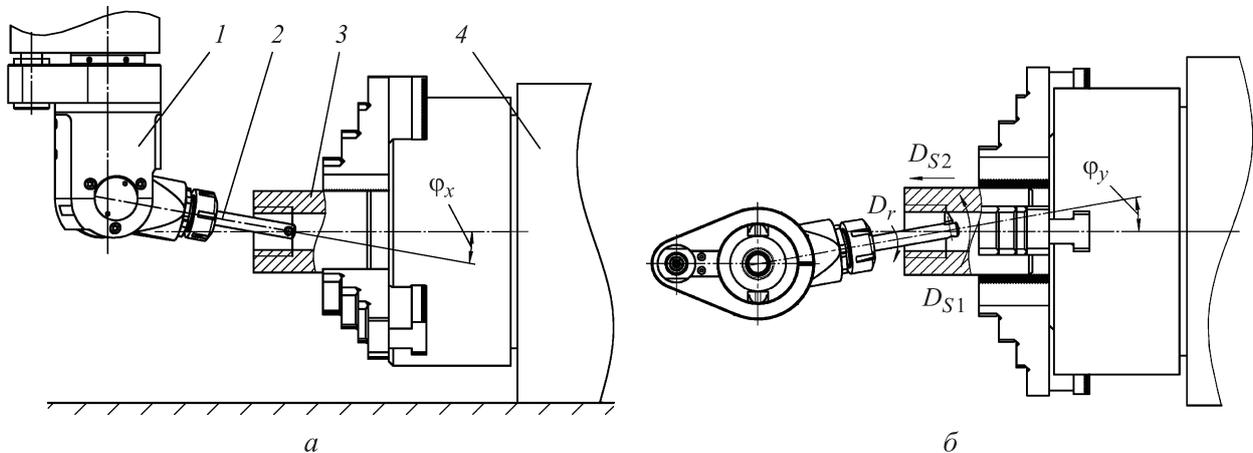


Рис. 4. Схемы фрезерования УР инструментом общего положения:  
а — вид спереди; б — вид сверху

способлении 4. Главное движение резания  $D_r$  обеспечивается вращением фрезы, установленной в цанговом патроне поворотной фрезерной головки и передающей вращение от шпинделя станка.

На основе предложенной схемы фрезерования УР разработана и реализована конструкция экспериментальной установки для фрезерования УР по планетарной кинематической схеме со скрещивающимися осями инструмента и УР (рис. 5, а). Экспериментальная установка включает в себя модернизированный трехкоординатный координатно-расточной станок с ЧПУ модели 24К40СФ4 и приспособления к нему: поворотную фрезерную головку Alberti TCUcn-1,5 1 и универсальную делительную головку (УДГ) модели УДГ-Д-320 5.

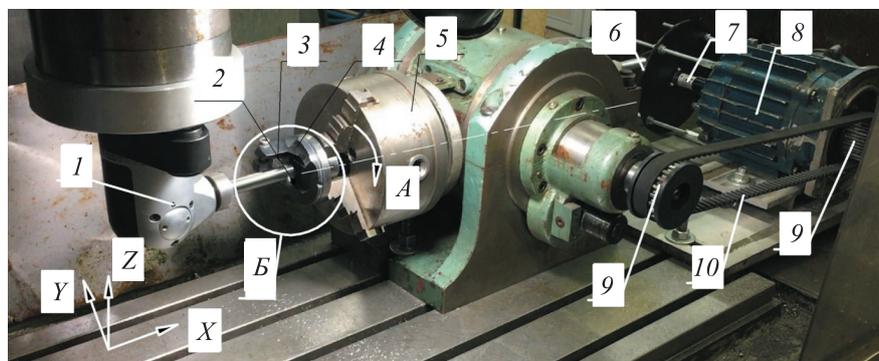
Модернизация координатно-расточного станка с ЧПУ заключалась в добавлении в конструкцию станка двухпозиционного переключателя, с помощью которого можно выбирать управляемую посредством ЧПУ ось Z станка или новую поворотную ось УДГ (см. рис. 5, а, поворот А). Вращение УДГ осуществлялось с помощью асинхронного электродвигателя 8 мощностью 1,2 кВт, передающего вращение с

выходного вала через зубчатый шкив 9 и ременную передачу 10 на входной вал УДГ также со шкивом.

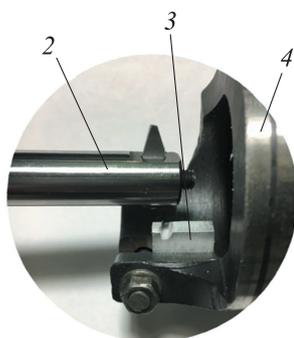
Отслеживание углового положения УДГ реализовано с помощью энкодера 6, соединенного с валом электродвигателя посредством муфты 7. Благодаря этому стала доступна либо полноценная трехкоординатная обработка XYZ, либо обработка с двумя прямолинейными координатами (X и Y) и управляемой поворотной осью.

Задание требуемого пространственного положения оси инструмента 2 относительно оси приспособления 4 осуществлялось наладкой фрезерной головки Alberti с закрепленным на ней инструментом в двух взаимно перпендикулярных плоскостях — в направлении угла подъема винтовой линии УР на угол  $\varphi_x$  и по профилю УР на угол  $\varphi_y$ .

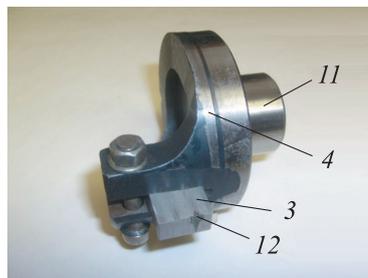
Фрезерование УР заменяли моделированием резьбофрезерования с изготовлением профиля УР S42.7 и последующим его измерением и определением соответствия точности согласно ГОСТ 25096–82. Фрезеровали фрагмент УР 12 с помощью приспособления, показанного на рис. 5, в [7], которое закрепляли за шлифованную базовую цилиндрическую часть 11 в трех-



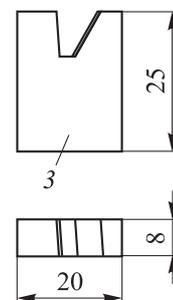
а



б



в



г

Рис. 5. Экспериментальная установка для фрезерования УР фрезой общего положения а — внешний вид; б — выноска Б; в — приспособление для закрепления заготовок при фрезеровании УР; г — размеры заготовки

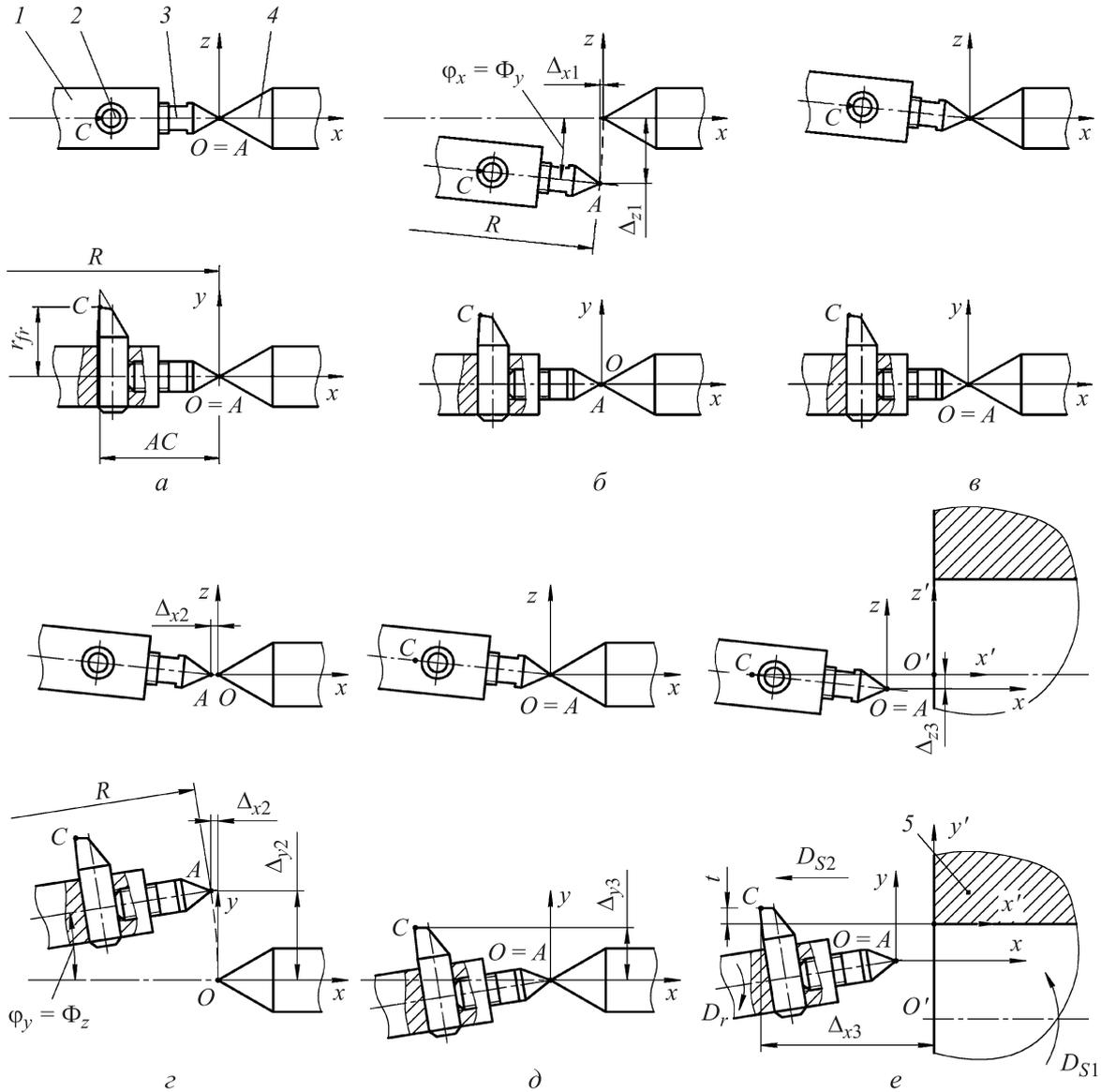


Рис. 6. Схемы последовательной настройки относительного расположения инструмента и заготовки: а — начальное положение; б — поворот на угол  $\Phi_y$ ; в — совмещение вершин конусов после поворота на  $\Phi_y$ ; г — поворот на угол  $\Phi_z$ ; д — совмещение вершин конусов после поворота на  $\Phi_z$ ; е — перенос системы координат станка, задание величин  $t$  и  $\Delta_{x3}$

кулачковый патрон УДГ. Заготовку 3 устанавливали в гнездо приспособления и фиксировали винтом.

Приспособление изготавливали так, чтобы рабочая плоскость установленной в нее заготовки, а значит, и плоскость, на которой будет сформирован резьбовой профиль, являлись осевыми. Благодаря этому исключена дополнительная операция разрезки отверстия с УР для измерения ее профиля.

Для реализации пространственного положения инструмента относительно заготовки на экспериментальной установке (см. рис. 5, а) разработана последовательность поворотов и

перемещений (рис. 6). В начальном положении (рис. 6, а) ось державки инструмента 1 установлена параллельно оси конуса 4, закрепленного в трехкулачковом патроне УДГ, а точки вершин конуса 4 и конуса установочного винта 3, который поджимает вставку 2, совмещены посредством визуального контроля по их касанию.

Примем это положение за начальное и зададим систему координат  $xuz$  в программе ЧПУ путем обнуления значений трех координат. Первый угол наклона инструмента  $\Phi_y$ , который эквивалентен показанному на рис. 1, а и рис. 4, а углу  $\Phi_x$ , реализуется посредством поворота

фрезерной головки с инструментом вокруг оси, параллельной оси  $Oy$  (рис. 6, б).

Зная требуемый угол  $\Phi_y = \varphi_x$  и радиус поворота  $R$ , рассчитываем значения линейных перемещений  $\Delta_{z1} = R \sin \Phi_y$  и  $\Delta_{x1} = R(1 - \cos \Phi_y)$ . Наклоняя инструмент на угол  $\Phi_y$  и смещая его на величины  $\Delta_{z1}$  и  $\Delta_{x1}$ , добиваемся совмещения двух вершин конусов (рис. 6, в). Выполняя аналогичную процедуру для угла наклона  $\Phi_z = \varphi_y$ , эквивалентного показанному на рис. 1, а и 4, б углу  $\varphi_y$  и смещая инструмент на величины  $\Delta_{y2} = -R \sin \Phi_z$  и  $\Delta_{x2} = R(1 - \cos \Phi_z)$  (рис. 6, г, д), получаем два требуемых угла наклона инструмента относительно заготовки.

Заменяя в трехкулачковом патроне УДГ конус 4 на заготовку 5 (рис. 6, е), выполняем перенос системы координат станка  $xuz$  в новое положение  $x'y'z'$  перемещением инструмента на величину  $\Delta_{z3} = AC \cos \Phi_y$  вдоль оси  $Oz$ , чтобы обеспечить размещение вершины фрезы  $S$  в осевой плоскости заготовки, и перемещением инструмента вдоль осей  $Oy$  и  $Ox$  до касания вершины фрезы с торцом или цилиндрической частью заготовки с последующим обнулением соответствующей координаты в программе ЧПУ.

Размер  $AC$  измеряли на микроскопе УИМ-21 как расстояние от точки  $S$  до точки  $O$  на конусе установочного винта после его затяжки. Последним шагом перед обработкой задавали требуемые значения глубины резания  $t$  и осевого расстояния от точки  $S$  до торца заготовки  $\Delta_{x3}$  в новой системе координат.

Предложенная последовательность разработана для решения проблемы недостаточной точности позиционирования инструмента относительно заготовки. В итоге можно установить углы  $\Phi_y$  и  $\Phi_z$  посредством точных (0,001 мм) и известных (установленных в программе ЧПУ) линейных перемещений  $\Delta_i$ .

Показанный в качестве примера на рис. 6 визуальный контроль совмещения конусов можно заменить любым другим механизмом привязки, имеющимся на станке с ЧПУ (оптическим, механическим, электромагнитным). Также в качестве примера приведен конус установочного винта 3 на рис. 6, е и после настройки требуемого взаимного положения может быть заменен на обычный установочный винт, не мешающий процессу обработки.

**Экспериментальное исследование фрезерования УР.** С использованием предложенной ки-

нематической схемы и разработанной экспериментальной установки выполнена серия экспериментов по фрезерованию УР S42-7 (ГОСТ 10177-82). Используются следующие параметры УР, инструмента и их взаимного расположения: диаметры УР — наружный  $D = 42$  мм, внутренний  $D_1 = 31,5$  мм и средний  $D_2 = 36,75$  мм; шаг УР  $P = 7$  мм;  $d_p = 30$  мм;  $\varphi_x = 3,47^\circ$ ;  $\varphi_y = 9^\circ$ ;  $a = 1,5$  мм;  $\beta_p = 20^\circ$ ;  $\varepsilon_p = 79^\circ$ ;  $\gamma_p = 12^\circ$ ;  $D_{T1} = 7,8$  мм;  $D_{T2} = 6,1$  мм;  $t = 5,25$  мм.

Режимы обработки выбраны исходя из анализа каталогов производителей резбовых фрез, изготовленных из твердого сплава, и материала АМг6 заготовки с учетом отсутствия износостойкого покрытия на опытном образце инструмента: скорость резания  $v = 150$  м/мин (частота вращения  $n = 1592$  мин<sup>-1</sup>), подача на зуб  $S_z = 0,03$  мм/зуб (минутная подача  $S_{\text{мин}} = 47,76$  мм/мин или

$$S_{\text{мин.ц}} = S_{\text{мин}} \frac{(D - d_p)}{D} = 13,65 \text{ мм/мин}$$

в пересчете на ось фрезы).

Пластинки с изготовленным профилем УР S42-7 (рис. 7, а) установили на микроскоп УИМ-21 и определяли координаты двадцати точек резбового профиля. Накладывая поле допуска на средний диаметр по различным степеням точности на измеренные точки профиля и добиваясь того, чтобы все точки входили в поле допуска, можно установить по какой степени точности выполнена УР и определить геометрическую погрешность каждой точки  $\Delta_{ri}$  как расстояние от номинального профиля до измеренной точки в радиальном направлении и, соответственно, установить максимальную геометрическую погрешность профиля  $\Delta_{r\text{max}}$  как наибольшую из  $\Delta_{ri}$  [4, 14].

В результате эксперимента выявлено, что УР S42-7 можно изготовить по планетарной кинематической схеме инструментом общего положения с наклоном на углы  $\varphi_x = 3,47^\circ$ ,  $\varphi_y = 9^\circ$  и достичь 9-й степени точности по ГОСТ 25096-82. Максимальная геометрическая погрешность профиля  $\Delta_{r\text{max}} = 727$  мкм, что с учетом нижнего отклонения среднего диаметра резьбы ( $EI = 750$  мкм) составляет меньше половины поля допуска на средний диаметр

$$\Delta_{r\text{max}} - \frac{EI}{2} = 352 \text{ мкм} < \frac{T_{D2}}{2} = 375 \text{ мкм.}$$

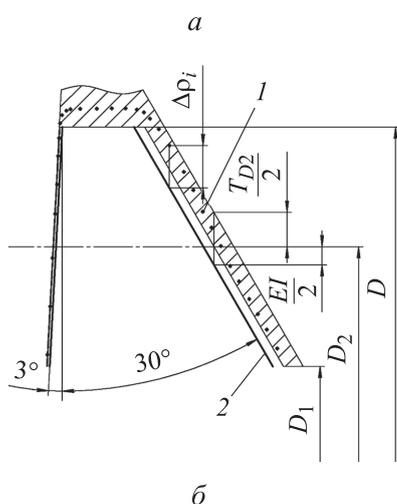
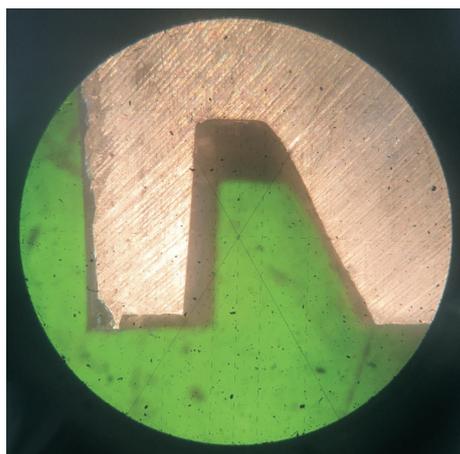


Рис. 7. Результаты экспериментального фрезерования УР:

- a* — пластинка из АМг6 с фрезерованным резьбовым профилем; *b* — измеренные точки профиля, наложенные на поле допуска на средний диаметр  $D_2$  УР по АЗ9 (ГОСТ 25096–82);  
 1 — измеренные точки профиля;  
 2 — номинальный профиль

Анализ рис. 7 позволяет заключить следующее:

- траектория вершины инструмента, связанная с особенностью кинематической схемы, приводит к образованию переходных кривых во впадине УР, которые необходимо учесть и вынести за пределы наружного диаметра резьбы, как это показано на рис. 7, *b*;
- целесообразно решить задачу профилирования и заточки инструмента для обеспечения

требуемого значения и точности большего угла боковой стороны УР, что даст дополнительный резерв для повышения точности; на рисунке видно, что профиль со стороны большего угла имеет угол меньше  $30^\circ$ ;

- сторона профиля с углом  $3^\circ$  имеет узкое поле допуска и является лимитирующей при изготовлении УР, поэтому при правильном выборе параметров инструмента система настройки экспериментальной установки должна быть ориентирована на обеспечение точности этой боковой стороны УР, а остальные элементы (впадина и другая боковая сторона) будут гарантированно укладываться в заданное поле допуска;

- для дальнейшего повышения геометрической точности УР требуется увеличить точность изготовления резьбообразующего инструмента, а также точность установки взаимного пространственного положения инструмента и заготовки.

## Выводы

1. На основе предложенной кинематической схемы разработана и апробирована установка, позволяющая на модернизированной базе трехкоординатного координатно-расточного станка с ЧПУ выполнять фрезерование УР со скрещенными осями инструмента и УР. Это дает возможность реализовать процесс на оборудовании с использованием меньшего числа управляемых координат.

2. Экспериментально подтверждено, что применение кинематической схемы формообразования УР инструментом общего положения позволяет изготовить профиль УР S42.7 согласно 9-й степени точности по ГОСТ 25096–82. Это показывает, что при обоснованной ранее [4] теоретической достижимости 4-й степени точности увеличением точности изготовления инструмента можно повысить точность изготовления УР, что существенно расширяет технологические возможности процесса резьбофрезерования и требует проведения дальнейших исследований.

## Литература

- [1] Мальков О.В. Анализ способов обработки резьбы фрезерованием. *Наука и образование: научное издание*, 2016, № 4. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/838440.html>

- [2] Мальков О.В. Основные направления исследования резьбофрезерования и проектирования резьбовых фрез. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2016, № 4, doi: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2016-4-1487>
- [3] Лагойский И.Д., Мальков О.В. Анализ способов резьбофрезерования. *Всероссийская науч.-метод. конф.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020, с. 60–64.
- [4] Мальков О.В., Лагойский И.Д. Анализ технологической и кинематической возможностей формообразования упорной резьбы фрезой общего положения. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2023, № 1, с. 21–32, doi: <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2023-1-21-32>
- [5] Fromentin G., Döbbeler B., Lung D. Computerized simulation of interference in thread milling of non-symmetric thread profiles. *Procedia CIRP*, 2015, vol. 31, pp. 496–501, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.03.018>
- [6] Guo B., Meng Q., Wu G. et al. Parallel axis precision grinding of micro-tooth internal thread with the coarse-grains CBN wheels. *J. Manuf. Process.*, 2022, vol. 74, pp. 474–485, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.12.042>
- [7] Мальков О.В. Разработка модели точности профиля наружной резьбы при резьбофрезеровании. *СТИН*, 2012, № 8, с. 27–32.
- [8] Malkov O.V., Malkova L.D. Improving thread accuracy in machining components for rocket and space technologies. *AIP Conf. Proc.*, 2019, vol. 2171, art. 200006, doi: <https://doi.org/10.1063/1.5133364>
- [9] Щуров И.А., Немытова Е.В. Новые инструменты и способ нарезания упорных резьб на фрезерных станках с ЧПУ. *Наука ЮУрГУ. Мат. 70-й науч. конф.* Челябинск, ЮУрГУ, 2018, с. 209–212.
- [10] Волков А.Э., Медведев В.И. Задачи синтеза и анализа профилирования инструмента для шлифования винтовых поверхностей. *Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова*, 2017, т. 20, № 2, с. 51–54, doi: <https://doi.org/10.22213/2413-1172-2017-2-51-54>
- [11] Shchurov I.A., Nemitova E.V., Shchurova A.V. et al. Metric buttress thread milling and turning on CNC machines. *Int. J. Automot. Mech. Eng.*, 2018, vol. 15, no. 2, pp. 5146–5160, doi: <https://doi.org/10.15282/ijame.15.2.2018.1.0398>
- [12] Fan Y., Ren J., Hu Z. et al. Machining error model for full machining process of thread milling. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 2022, vol. 123, no. 1–2, pp. 1–16, doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-022-10200-8>
- [13] Мальков О.В., Лагойский И.Д. *Способ формообразования резьб*. Патент RU 2749276. Заявл. 17.07.2020, опубл. 07.06.2021.
- [14] Malkov O.V., Lagoyskiy I.D. Modeling of the forming of thread using a general position mill. *AIP Conf. Proc.*, 2023, vol. 2833, art. 050001, doi: <https://doi.org/10.1063/5.0152488>
- [15] Волотов Д.И., Мальков О.В., Лагойский И.Д. Реализация способа фрезерования резьб с малым углом наклона боковой стороны. *Высокие технологии в машиностроении. Мат. XVIII всерос. науч.-тех. конф. с межд. участием.* Самара, СамГТУ, 2021, с. 157–160.

## References

- [1] Malkov O.V. Analysis of the thread milling methods. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie* [Science and Education: Scientific Publication], 2016, no. 4. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/838440.html> (in Russ.).
- [2] Malkov O.V. The main directions of thread milling research and thread milling cutter design. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation], 2016, no. 4, doi: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2016-4-1487> (in Russ.).
- [3] Lagoyskiy I.D., Malkov O.V. [Analysis of thread milling methods]. *Vserossiyskaya nauch.-metod. конф.* [Russ. Sci.-Method. Conf.]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2020, pp. 60–64. (In Russ.).
- [4] Malkov O.V., Lagoyskiy I.D. Analysis of the technological and kinematic possibility in shaping buttress thread with the general position cutter. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie* [BMSTU Journal of Mechanical Engineering], 2023, no. 1, pp. 21–32, doi: <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2023-1-21-32> (in Russ.).

- [5] Fromentin G., Döbbeler B., Lung D. Computerized simulation of interference in thread milling of non-symmetric thread profiles. *Procedia CIRP*, 2015, vol. 31, pp. 496–501, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.03.018>
- [6] Guo B., Meng Q., Wu G. et al. Parallel axis precision grinding of micro-tooth internal thread with the coarse-grains CBN wheels. *J. Manuf. Process.*, 2022, vol. 74, pp. 474–485, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.12.042>
- [7] Malkov O.V. Development of a model for the accuracy of the external thread profile during thread milling. *STIN*, 2012, no. 8, pp. 27–32. (In Russ.).
- [8] Malkov O.V., Malkova L.D. Improving thread accuracy in machining components for rocket and space technologies. *AIP Conf. Proc.*, 2019, vol. 2171, art. 200006, doi: <https://doi.org/10.1063/1.5133364>
- [9] Shchurov I.A., Nemytova E.V. [New tools and method for cutting thrust threads on CNC milling machines]. *Nauka YuUrGU. Mat. 70-y nauch. konf. [Science of YuUrGU. Proc. 70<sup>th</sup> Sci. Conf.]*. Chelyabinsk, YuUrGU Publ., 2018, pp. 209–212. (In Russ.).
- [10] Volkov A.E., Medvedev V.I. Synthesis and analysis problems of profiling the tool for grinding helical surfaces. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2017, vol. 20, no. 2, pp. 51–54, doi: <https://doi.org/10.22213/2413-1172-2017-2-51-54> (in Russ.).
- [11] Shchurov I.A., Nemitova E.V., Shchurova A.V. et al. Metric buttress thread milling and turning on CNC machines. *Int. J. Automot. Mech. Eng.*, 2018, vol. 15, no. 2, pp. 5146–5160, doi: <https://doi.org/10.15282/ijame.15.2.2018.1.0398>
- [12] Fan Y., Ren J., Hu Z. et al. Machining error model for full machining process of thread milling. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 2022, vol. 123, no. 1–2, pp. 1–16, doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-022-10200-8>
- [13] Malkov O.V., Lagoyskiy I.D. *Sposob formoobrazovaniya rezb [Method of thread shaping]*. Patent RU 2749276. Appl. 17.07.2020, publ. 07.06.2021. (In Russ.).
- [14] Malkov O.V., Lagoyskiy I.D. Modeling of the forming of thread using a general position mill. *AIP Conf. Proc.*, 2023, vol. 2833, art. 050001, doi: <https://doi.org/10.1063/5.0152488>
- [15] Volotov D.I., Malkov O.V., Lagoyskiy I.D. [Realization of the method of milling threads with a small flank angle]. *Vysokie tekhnologii v mashinostroenii. Mat. XVIII vseros. nauch.-tekh. konf. s mezhd. uchastiem [High Technologies in Mechanical Engineering. Proc. XVIII Russ. Sci.-Tech. Conf. with Int. Participation.]*. Samara, SamGTU Publ., 2021, pp. 157–160. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 29.04.2024

## Информация об авторах

**МАЛЬКОВ Олег Вячеславович** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: [malkov@bmstu.ru](mailto:malkov@bmstu.ru)).

**ЛАГОЙСКИЙ Илья Дмитриевич** — аспирант кафедры «Инструментальная техника и технологии». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: [ilagoyskiy@gmail.com](mailto:ilagoyskiy@gmail.com)).

## Information about the authors

**MALKOV Oleg Vyacheslavovich** — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Tools and Tooling Technology. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: [malkov@bmstu.ru](mailto:malkov@bmstu.ru)).

**LAGOYSKIY Ilya Dmitrievich** — Postgraduate, Department of Tools and Tooling Technology. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: [ilagoyskiy@gmail.com](mailto:ilagoyskiy@gmail.com)).

### Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Мальков О.В., Лагойский И.Д. Экспериментальное исследование фрезерования упорной резьбы инструментом общего положения. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2024, № 10, с. 34–43.

### Please cite this article in English as:

Malkov O.V., Lagoyskiy I.D. Experimental research of the buttress thread milling with a general position tool. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2024, no. 10, pp. 34–43.