

## ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ОБРАБОТКИ ВНУТРЕННЕЙ РЕЗЬБЫ МЕРНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

В статье предложена методика определения рекомендуемых областей применения способа обработки различных типов внутренних резьб (метрической, дюймовой, трапецеидальной, упорной, круглой) мерным инструментом на фрезерных станках с ЧПУ. Проведено исследование по определению величины максимального отклонения в осевом сечении резьбы, а также установлены зависимости величины максимального отклонения от основных параметров профиля резьбы. Определен параметр профиля резьбы, который оказывает наибольшее влияние на величину максимального отклонения.

**Ключевые слова:** внутренняя резьба, мерный инструмент, максимальное отклонение, профиль резьбы, механическая обработка.

**Введение.** Известные способы обработки внутренней резьбы отличаются методом формообразования винтовой линии, типом используемого оборудования и инструмента, но большинство способов основано на методе копирования, при котором профиль инструмента соответствует профилю обрабатываемой резьбы. Способы, которые позволяют производить обработку за один рабочий ход, требуют использования специального дорогостоящего оборудования и инструмента.

**Анализ последних исследований и литературы.** Способ нарезания резьбовыми резцами является наиболее универсальным и позволяет обрабатывать внутренние резьбы на универсальном оборудовании и на оборудовании с ЧПУ при помощи резьбовых резцов [2-5]. Профиль получаемой резьбы соответствует профилю режущей кромки инструмента. Данный способ используется преимущественно в единичном или мелкосерийном производстве, но универсальность метода позволяет применять его и в крупносерийном типе производства при невозможности применения другого, более производительного метода [1]. При увеличении шага трудоемкость способа резко увеличивается. Внутренние резьбы определенного типа могут быть обработаны резьбовым резцом с соответствующим профилем режущей части. При обработке резьбовыми резцами значительно увеличивается основное время нарезания резьбы за счет съема припуска за несколько проходов [2-5]. Способ позволяет обрабатывать одно- и многозаходные резьбы, что не позволяет больше ни один из способов.

Способ формообразования резьбы гребенчатыми резьбовыми фрезами применяется для обработки внутренней резьбы, как правило, за один проход. При этом заготовка вращается вокруг своей оси, а инструмент поступательно движется и вращается вокруг своей оси [3]. Профиль режущей части инструмента соответствует профилю нарезаемой резьбы. Обработка резьбы производится стандартным профильным инструментом – гребенчатой

резьбовой фрезой с определенной длиной режущей части и определенным шагом на специальных резьбофрезерных станках, что является ограничивающим фактором для распространения на мелких предприятиях [1].

С увеличением шага обрабатываемой резьбы увеличиваются силы резания и вибрации, что приводит к ухудшению качественных показателей резьбовых поверхностей и к необходимости увеличения количества проходов. Качественные показатели обработки резьбовой поверхности данным методом ниже, чем у метода нарезания резьбы резцами [1].

Способ формообразования резьбы профильными дисковыми фрезами применяется для обработки внутренней резьбы большой длины и шага, как правило, за один проход. При этом заготовка вращается вокруг своей оси, создавая движение круговой подачи, а инструмент движется поступательно и вращается вокруг своей оси со скоростью главного движения резания. Установка инструмента производится под углом к оси заготовки, равным углу подъема винтовой линии нарезаемой резьбы. [1-4].

Обработка резьбы данным способом производится на резьбофрезерных станках с применением стандартного или специального профильного инструмента. Один инструмент может быть использован для обработки внутренней резьбы разной длины и шага. Ограничение в применении способа составляет размер отверстия в заготовке. Данный способ применяется в среднесерийном, крупносерийном и массовом типах производства. Качественные показатели обработки резьбы ниже, чем у метода нарезания резцами.

Способ нарезания резьбы самооткрывающимися винторезными головками применяется для обработки внутренней резьбы, как правило, за один проход в крупносерийном и массовом типах производства. Обработка данным методом производится на специальных станках-автоматах [1-4]. В процес-

се обработки заготовка медленно вращается вокруг своей оси, инструмент поступательно движется и вращается вокруг своей оси со скоростью главного движения резания. В конце процесса нарезания резьбы головки сходятся, что позволяет быстро вывести режущий инструмент из отверстия заготовки.

При нарезании внутренней резьбы данным способом используется профильный инструмент [1-4]. Точность резьбы зависит от точности изготовления режущих элементов инструмента и кинематической точности оборудования. Показатели качества резьбы, обработанной винторезными головками, очень высокие, но из-за сложностей перенстройки на другой типоразмер резьбы данный способ имеет низкую степень универсальности.

Способ формообразования резьбы вихревыми головками характеризуется высокой производительностью, что объясняется его применением в крупносерийном и массовом типах производства. При нарезании резьбы данным способом также используется профильный инструмент.

Обработка резьбы осуществляется за один проход, при этом настройкой резцов в вихревой головке достигается равномерное распределение припуска на каждый резец, что существенно снижает силы резания [1, 4]. Показатели качества резьбы, обработанной вихревыми головками, очень высокие, как и у метода нарезания резьбовыми резцами, но данный метод имеет низкую степень универсальности.

Для повышения универсальности и производительности процесса обработки резьбы необходима разработка нового способа, который бы сочетал универсальность способа нарезания резьбы резьбовыми резцами и производительность способа формообразования резьбы вихревыми головками.

Новый способ фрезерования внутренней резьбы (с профилем ISO 10208 и DIN 20317) позволяет существенно сократить основное время на обработку путем съема припуска за один рабочий ход [6].

Обработка осуществляется на фрезерном станке с ЧПУ за счет использования мерной фрезы со стандартными режущими пластинами и специальной траектории движения формообразующей точки резьбы (рис. 1). Режущие пластины равномерно распределены по периферии фрезы и установлены симметрично относительно плоскости, перпендикулярной оси фрезы, и с углом при вершине равным  $35^\circ \div 90^\circ$ . Величина шага спирали по оси равна шагу резьбы  $p$ , а диаметр кругового движения равен сумме высоты профиля резьбы  $H_1$  и допуска  $T_{H_1}$  на высоту профиля. После обработки резьбы мерная фреза выводится из отверстия на ускоренной подаче по обратной траектории.

Фрезерование внутренней резьбы мерным инструментом позволяет сократить основное время на изготовление резьбы и снизить вибрации, что существенно увеличивает производительность обработки внутренних резьб. Качественные показатели обработки (точность размеров и шероховатость поверхности) выше, чем при обработке резьбовыми резцами.

Ограничением применения нового способа является величина угла профиля обрабатываемой резьбы, а именно отсутствие стандартных режущих пластин с углом при вершине менее  $35^\circ$ , а также большой диаметр обрабатываемых резьб, что требует изготовление массивных инструментов и наличия оборудования большой мощности.

**Целью** данной статьи является определение области возможного применения способа нарезания внутренней резьбы мерным инструментом на фрезерных станках с ЧПУ.

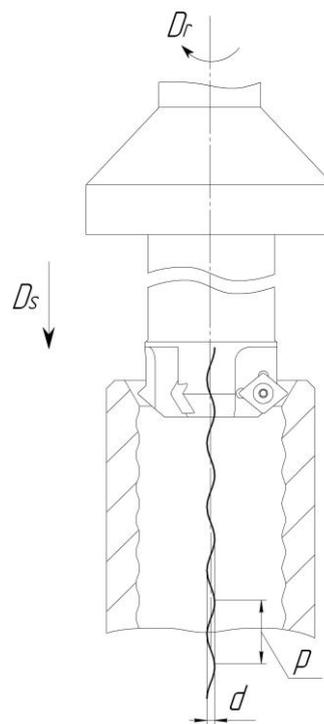


Рис. 1 – Схема процесса фрезерования круглой внутренней резьбы

**Постановка проблемы.** Известные способы обработки внутренних резьб предполагают нарезание резьбы за несколько проходов специальным дорогостоящим инструментом, что увеличивает основное время обработки. Применение мерного инструмента со стандартными режущими пластинами позволяет уменьшить основное время путем обработки резьбы за один рабочий ход инструмента и снизить стоимость инструмента.

**Материалы исследований.** Для выявления области возможного применения способа фрезерования внутренних резьб мерным инструментом на фрезерных станках с ЧПУ были рассмотрены наиболее распространенные стандартные типы резьб (метрическая, дюймовая, трапецеидальная, упорная, круглая).

В программе КОМПАС 3D были построены 3D-модели внутренних резьб в отверстии детали согласно размерам по соответствующим стандартам. Путем автоматизированного создания проекции детали из 3D-модели были получены профили резьб в осевом сечении (рис. 2). Этот полученный

профиль представляет собой замкнутый контур, состоящий из совокупности кривых 2-го и 4-го порядков. Кривые 2-го порядка являются частями окружностей, диаметр которых равен диаметру впадин внутренней резьбы, а кривые 4-го порядка – проекции частей витка резьбы в осевом сечении детали.

Полученный профиль в осевом сечении является достаточно сложным и трудоемким для получения, требующий использования специального инструмента, оборудования и сложной управляющей программы. Причем кривые 4-го порядка будут разбиваться на множество элементарных кривых 2-го и 1-го порядков, движение вдоль которых может быть запрограммировано. Причем для возможности создания управляющей программы кривые 4-го порядка будут разбиваться на множество элементарных кривых 2-го и 1-го порядков.

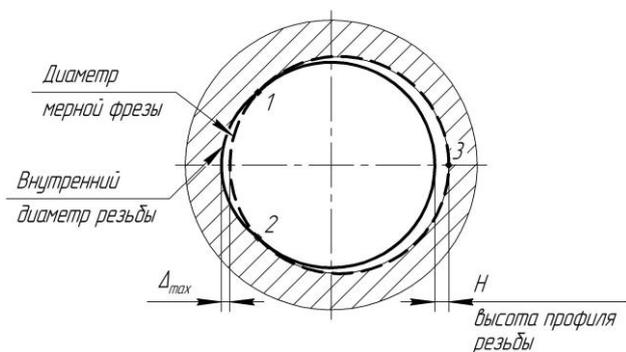


Рис. 2 – Схематический профиль резьбы в осевом сечении детали

Мерная фреза для обработки внутренней резьбы представляет собой инструмент постоянного диаметра, который при вращении вокруг своей оси и движении по спиральной траектории [6] в конкретный момент времени образует окружность, диаметр которой равен диаметру фрезы (без учета погрешностей, возникающих в процессе резания). Для упрощения управляющей программы (УП) необходимо определить окружность, максимально приближенную к требуемому профилю резьбы в осевом сечении, которая будет образовываться при вращении фрезы в конкретный момент времени.

Максимально приближенная окружность при этом и будет являться номинальным диаметром мерной фрезы. Построение диаметра окружности мерной фрезы производится по базовым точкам (рис. 2), которые находятся в местах пересечения проекции осевого сечения вершины с осевым сечением впадины резьбы (точки 1, 2) и точке 3, максимально отдаленной от оси резьбы, находящейся на максимальном диаметре впадины резьбы.

В результате построения обнаруживается несопадение максимально приближенной окружности и осевого сечения резьбы, которое возможно определить максимальным расстоянием (отклонением) между осевым сечением профиля и диаметром мерной фрезы. Максимальное расстояние между требуемым осевым сечением профиля резьбы и

проведенным диаметром мерной фрезы является отклонением  $\Delta_{\max}$ , которое будет являться основным критерием влияния на точность изготовления резьбы.

Максимальное отклонение  $\Delta_{\max}$  является основным критерием влияния на точность изготовления резьбы, а именно - его величина не должна превышать допускаемого отклонения среднего диаметра согласно стандарту.

Обработка резьбы конкретного типоразмера возможна, если максимальная величина отклонения диаметра мерной фрезы от требуемого профиля резьбы меньше допускаемого отклонения диаметра резьбы по стандарту:

$$\Delta_{\max} < T_{D2}$$

Если условие не выполняется, то данный способ обработки для конкретной резьбы неприемлем. Алгебраическая разница между допуском на изготовление резьбы и величиной максимального отклонения, является резервом для назначения допуска на изготовление мерной фрезы.

**Результаты исследований.** Для выявления области возможного применения способа фрезерования внутренних резьб мерным инструментом на фрезерных станках с ЧПУ были рассмотрены метрическая, дюймовая, трапецеидальная, упорная и круглая резьбы.

Как правило, для конкретного типоразмера резьбы, существует основной шаг (крупный) и множество «мелких» шагов, которые всегда меньше основного, что в свою очередь, влияет на величину максимального отклонения  $\Delta_{\max}$ . Поэтому необходимо выявить зависимость величины максимального отклонения  $\Delta_{\max}$  при постоянном диаметре и разных шагах резьбы, а также при постоянном шаге и разных диаметрах, чтобы определить какой параметр профиля оказывает наибольшее влияние на величину отклонения  $\Delta_{\max}$ .

Параметры профиля резьбы могут иметь значения, не зависящие друг от друга, но находящиеся в пределах установленных соответствующими стандартами, что при определении диапазонов типоразмеров резьб и выдаче соответствующих рекомендаций по применению нового способа требует установления степени влияния каждого параметра на величину максимального отклонения. Метрическая резьба (профиль и отклонения согласно ГОСТ 9150-81, ГОСТ 24705-81, ГОСТ 8724-81).

Для определения области применения способа обработки мерным инструментом были рассмотрены метрические резьбы различных типоразмеров класса точности 7, получены их осевые сечения и измерены максимальные отклонения  $\Delta_{\max}$  для каждого из типоразмеров. По результатам построений была установлена зависимость отклонения  $\Delta_{\max}$  от типоразмеров метрической резьбы (рис. 3), по которой можно определить область применения нового способа для ее обработки.

Если величина отклонения  $\Delta_{\max}$  не превышает допуск  $T_{D2}$ , то данный типоразмер резьбы возможно

обработать мерной фрезой. На рисунке 4 указана область применения способа фрезерования внутренних резьб мерным инструментом.

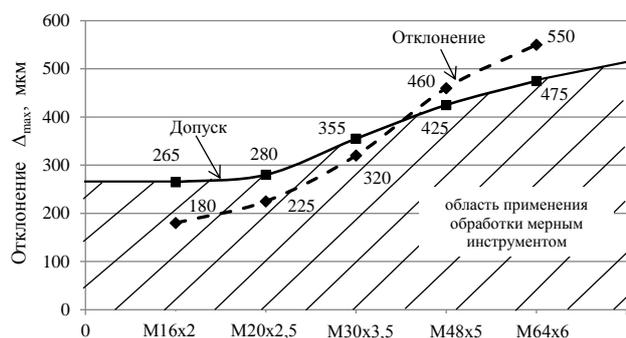


Рис. 3 – Влияние параметров резьбы на максимальное отклонение при обработке метрической резьбы

Для определения зависимости отклонения  $\Delta_{max}$  от диаметра резьбы  $D$  были рассмотрены профили резьб при постоянной величине шага  $p$  для нескольких диаметральных диапазонов.

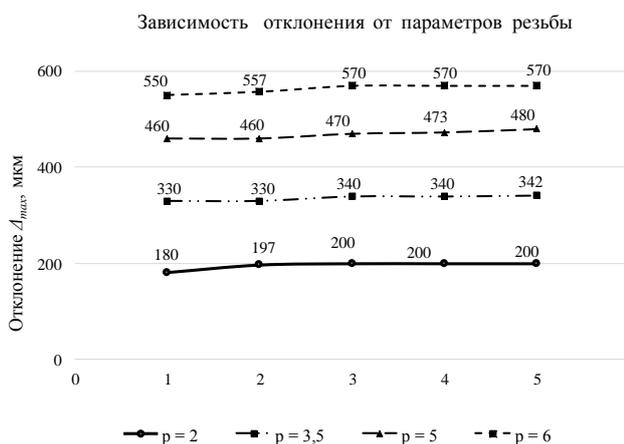


Рис. 4 – Зависимость величины отклонения  $\Delta_{max}$  от диаметра резьбы  $D$  и шага  $p$

Исходя из полученных значений величины максимального отклонения установлено, диаметр метрической резьбы  $D$  не влияет на величину отклонения  $\Delta_{max}$ , т.е. резьба M16x2 и M250x2 имеют практически одинаковые отклонения и их возможно обработать мерным инструментом, а M48x5 обработать невозможно, потому что отклонение больше допустимого. Кроме того, для других типов резьб диаметр также не оказывает влияние на величину отклонения. Исходя из полученных данных, область применения мерного инструмента для обработки метрической резьбы находится в диапазоне шагов  $p = 2\div 3,5$  мм. Диаметральный диапазон ограничивается лишь конструктивными размерами проектируемого мерного инструмента.

Трапецидальная резьба (профиль и отклонения согласно ГОСТ 9484-81, ГОСТ 24737-81). Для определения области применения способа обработ-

ки мерным инструментом были рассмотрены трапецидальные резьбы различных типоразмеров класса точности 7. По результатам построений была установлена зависимость отклонения  $\Delta_{max}$  от типоразмеров трапецидальной резьбы (рис. 5).



Рис. 5 – Область применения мерного инструмента при обработке трапецидальной резьбы

Как и для метрической резьбы, диаметр трапецидальной резьбы практически не влияет на величину отклонения  $\Delta_{max}$ . Исходя из полученных данных область применения мерного инструмента: только резьбы с шагом  $p = 2$  мм.

Упорная резьба (профиль и отклонения согласно ГОСТ 10177-82). Для определения области применения способа обработки мерным инструментом были рассмотрены упорные резьбы различных типоразмеров. По результатам построений была установлена возможная область применения мерного инструмента при обработке упорной резьбы (рис. 6).

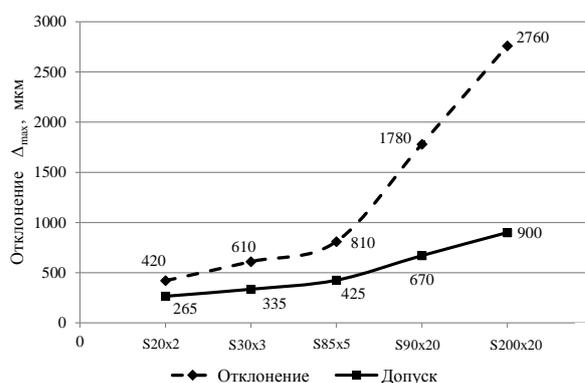


Рис. 6 – Область применения мерного инструмента при обработке упорной резьбы

Согласно данным значения  $\Delta_{max}$  при всех размерах упорных резьб превышает допустимые значения  $T_{D2}$ , поэтому данный тип резьб невозможно обработать мерной фрезой.

Дюймовая резьба (профиль и отклонения согласно ГОСТ 6111-52). Для определения области применения способа обработки мерным инструментом были рассмотрены дюймовые резьбы различных типора-

змеров класса точности А. По результатам построений была установлена зависимость отклонения  $\Delta_{\max}$  от типоразмеров дюймовой резьбы (рис. 7).

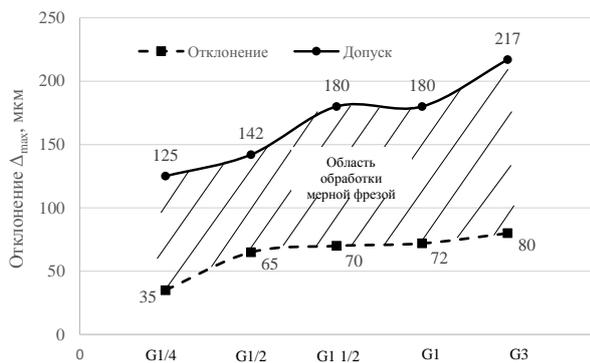


Рис. 7 – Область применения мерного инструмента при обработке дюймовой резьбы

Согласно данным значения  $\Delta_{\max}$  при всех размерах дюймовых резьб не превышает допуск  $T_{D2}$ , поэтому все дюймовые резьбы возможно обрабатывать мерной фрезой.

Круглая резьба (профиль и отклонения согласно ISO 10208, DIN 20317). Для определения области применения способа обработки мерным инструментом были рассмотрены круглые резьбы с шагом  $p = 12,7$  мм. По результатам построений была установлена зависимость отклонения  $\Delta_{\max}$  от типоразмеров круглой резьбы (рис. 8), по которой можно определить область применения нового способа для ее обработки.

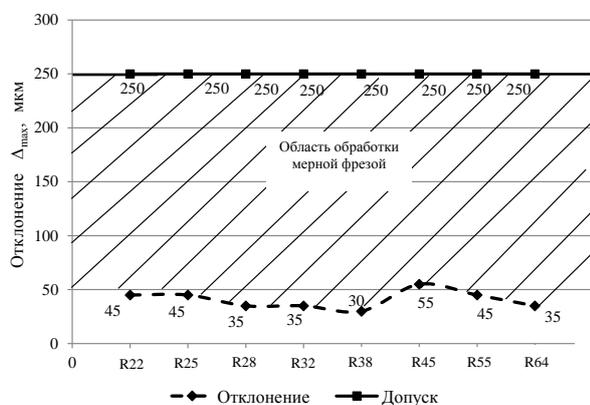


Рис. 8 – Область применения мерного инструмента при обработке круглой резьбы

**Нешта Анна Александровна** – аспирант кафедры технологии машиностроения, станков и инструментов Сумского государственного университета, e-mail: anna.neshta@i.ua;

**Криворучко Дмитрий Владимирович** – докт. техн. наук, доцент кафедры технологии машиностроения, станков и инструментов Сумского государственного университета.

Согласно данным значения  $\Delta_{\max}$  при всех размерах круглых резьб не превышает допуск  $T_{D2}$ , поэтому все типоразмеры круглых резьб возможно обрабатывать мерной фрезой.

**Выводы.** Разработана методика для выявления области возможного применения способа фрезерования внутренних резьб мерным инструментом на фрезерных станках с ЧПУ для наиболее распространенных стандартных типов резьб (метрическая, дюймовая, трапецидальная, упорная, круглая).

Установлено, что на величину максимального отклонения наибольшее влияние оказывает шаг резьбы. С увеличением шага происходит резкое возрастание максимального отклонения. Определены рекомендуемые области возможного применения нового способа: для метрической  $p = 2 \div 3,5$  мм, трапецидальной с шагом  $p = 2$  мм, все дюймовые и круглые резьбы. Установлено, что упорные резьбы по ГОСТ 10177-82 не могут быть обработаны мерным инструментом, т. к. максимальное отклонение, которое теоретически возникнет при обработке, существенно превышает допуск на изготовление резьбы.

**Список літератури:** 1. Якухин В. Г. Изготовление резьбы / В. Г. Якухин, В. А. Ставров. – М: Машиностроение, 1989. – 192 с. 2. Ткачев А. Г. Технология машиностроения / А. Г. Ткачев, И. Н. Шубин. – Тамбов: Тамбовский государственный университет, 2009. – 164 с. 3. Жуков Э. Л. Технология машиностроения / Э. Л. Жуков, И. И. Козарь, С. Л. Мурашкин. – М: Высшая школа, 2003. – 295 с. – (2). – (Производство деталей машин; т. 2). 4. Михайлов А. В. Основы проектирования технологических процессов машиностроительных производств / А. В. Михайлов, Д. А. Расторгуев, А. Г. Ширтладзе., 2010. – 336 с. – (Старый Оскол). 5. Колесов И. М. Основы технологии машиностроения / И. М. Колесов. – М: Высшая школа, 2001. – 591 с. – (3). 6. Пат. UA 103734. Спосіб обробки круглї внутрішньої різьби/ Некрасов С.С., Криворучко Д. В., Нешта А.О. МПК В23С 3/32 (2006.01), В23В 1/00. - No a201214037 заявл. 10.12.2012; 11.11.2013, бюл. No 21.

**Bibliography (transliterated):** 1. Jakuhin V. G., Stavrov V. A. *Izgotovlenie rez'by*, Moscow 1989. – 192 p. Print. 2. Tkachev A. G., Shubin I. N. *Tehnologija mashinostroenija*, Tambov, 2009. – 164 p. Print. 3. Zhukov Je. L., Kozar' I. I., Murashkin S. L. *Tehnologija mashinostroenija. Proizvodstvo detalej mashin*. Moscow 2003. – 295p. Print. 4. Mihajlov A. V., Rastorguev D. A., Shirtladze A. G. *Osnovy proektirovaniya tehnologicheskikh processov mashinostroitel'nyh proizvodstv*, 2010. – 336 p. Print. 5. Kolesov I. M. *Osnovy tehnologii mashinostroenija*, Moscow, 2001. – 591 p. Print. 6. Nekrasov S.S., Kryvoruchko D. V., Neshta A.O. Pat.UA 103734. *Sposib obrobky kruhloyi vnutrishn'oyi riz'by*, 2013. Print.

Надійшла (received) 26.03.2015