

А. Ю. Песков¹✉, В. И. Ковынев¹, Е. Ю. Кутенкова¹

Анализ операций резьбонарезания

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: alexpeskov68@gmail.com

Аннотация. Резьбонарезание – одна из важнейших технологических операций в машиностроении и приборостроении, обеспечивающая создание надежных и точных резьбовых соединений. Несмотря на широкое применение, процесс сопряжен с рядом проблем: высокая энергоемкость, износ инструмента, вибрации, сложность обработки прерывистых профилей и необходимость оптимизации режимов резания. Цель исследования – комплексный анализ современных методов резьбонарезания, выявление их преимуществ и ограничений, а также разработка рекомендаций по оптимизации технологических параметров для повышения качества и производительности. В работе рассмотрены основные методы получения резьбы: нарезание метчиками и плашками, токарное точение резьбы резцами, резьбофрезерование, накатывание и шлифование, а также инновационные подходы, включая вихревое резьбонарезание. Проведен сравнительный анализ с учетом особенностей инструментов и оборудования, включая станки с числовым программным управлением (ЧПУ). Результаты показывают, что выбор метода зависит от типа резьбы, материала и объема производства, а применение специализированных режущих инструментов и смазочно-охлаждающих жидкостей снижает износ и повышает качество. Выводы подчеркивают необходимость комплексного подхода к выбору технологии резьбонарезания для оптимизации производственного процесса и снижения себестоимости.

Ключевые слова: резьбонарезание, режущий инструмент, смазочно-охлаждающие жидкости

A. Yu. Peskov¹✉, V. I. Kovynev¹, E. Yu. Kutenkova¹

Analysis of thread cutting operations

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: alexpeskov68@gmail.com

Abstract. Thread cutting is one of the most important technological operations in mechanical engineering and instrument making, ensuring the creation of reliable and precise threaded connections. Despite its widespread use, the process is associated with a number of problems: high energy consumption, tool wear, vibration, difficulty in processing intermittent profiles and the need to optimize cutting modes. The purpose of the study is a comprehensive analysis of modern thread cutting methods, identifying their advantages and limitations, and developing recommendations for optimizing process parameters to improve quality and productivity. The paper considers the main methods of thread production: tapping and dies, turning threads with cutters, thread milling, rolling and grinding, as well as innovative approaches, including whirlwind thread cutting. A comparative analysis is carried out taking into account the features of tools and equipment, including numerically controlled (CNC) machines. The results show that the choice of method depends on the thread type, material and production volume, and the use of specialized cutting tools and cutting fluids reduces wear and improves quality. The findings highlight the need for an integrated approach to thread cutting technology selection to optimize the production process and reduce costs.

Keywords: thread cutting, cutting tool, cutting fluids

Введение

Резьбонарезание – одна из наиболее распространенных операций в машиностроении, которая обеспечивает создание резьбовых соединений, применяемых практически во всех отраслях промышленности. Традиционные методы нарезания резьбы, такие как использование метчиков и плашек, широко применяются благодаря простоте и универсальности. Однако с развитием технологий и ростом требований к качеству изделий производительности обработки возникла необходимость в использовании более эффективных и точных методов, таких как токарное точение резьбы резцами, резьбофрезерование и накатывание [1–4].

Известные исследования (Батюшкин В. А., 1990; Васильев А. Б., 2015) подчеркивают, что несмотря на длительную историю, многие вопросы, связанные с оптимизацией режимов обработки резьбы, снижением износа инструмента и управлением вибрациями, остаются актуальными. В частности, проблемы вибраций и контроля качества особенно остро стоят при нарезании резьбы в отверстиях малого диаметра и на труднообрабатываемых материалах.

Цель работы – провести систематический анализ существующих методов резьбонарезания, выявить их технологические особенности, преимущества и недостатки, а также определить оптимальные режимы и инструменты для повышения качества и производительности.

Задачи исследования включают:

- классификацию и сравнение методов резьбонарезания;
- анализ причин возникновения дефектов и износа инструмента;
- экспериментальную оценку влияния режущих инструментов и смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) на процесс;
- разработку рекомендаций по оптимизации технологических параметров.

Теоретическая значимость работы заключается в систематизации современных знаний о обработке резьбы, практическая – в разработке рекомендаций для промышленного применения и повышения эффективности производства.

Методы и материалы

Для анализа применялись следующие методы:

- теоретический анализ технологических процессов резьбонарезания, включая токарное точение резьбы резцами, нарезание метчиками и плашками, резьбофрезерование, накатывание и шлифование;
- экспериментальные исследования с использованием твердосплавных резьбонарезных пластин, традиционных метчиков и плашек, а также различных типов СОЖ (СН-Ц, Эмбол-2, МР-11);
- измерение технологических параметров: момента резания, износ инструмента, качества резьбы (по ГОСТ 17587-72), вибрации и стабильности процесса;
- использование станков с ЧПУ для оценки влияния параметров программного управления на качество и производительность.

Результаты

Сравнительный анализ методов нарезания резьбы приводится в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ методов резьбонарезания

Метод	Преимущества	Недостатки	Область применения
Изготовление при использовании метчиков и плашек	Простота, универсальность, низкая стоимость	Ограниченный диапазон размеров, износ, сложность удаления стружки и обломков	Внутренние и наружные резьбы малого и среднего диаметра
Токарное точение резьбы	Высокая точность, гибкость, экономичность	Вибрации, сложность при изготовлении мелких резьб	Наружные и внутренние резьбы, получаемые на токарных станках
Резьбофрезерование	Возможность нарезания нестандартных резьб, легкое удаление обломков	Сложность програмирования, низкая производительность	Внутренние и наружные резьбы, сложные профили
Накатывание	Повышенная прочность резьбы, низкая энергоемкость	Ограничения по форме и материалу	Массовое производство крепежа, прочные резьбы
Шлифование	Высокая точность и качество поверхности	Высокая стоимость, низкая производительность	Точные ходовые винты, закаленные материалы

Экспериментальные данные:

– при нарезании резьбы М45×3 в стали 45 с использованием СОЖ СН-Ц момент резания снизился с 220 Н·м до 160 Н·м (на 27 %), что уменьшило износ инструмента и энергозатраты;

– использование резьбонарезных пластин на станке с ЧПУ при скорости резания 400 об/мин и подаче 2,5 мм сократило время обработки одной детали с 8 мин 4 с (метчиком на универсальном станке) до 6 мин 6 с, при этом качество резьбы оставалось стабильным до 98 деталей;

– регулировка угла установки резца на 1,5° снизила амплитуду вибраций в 1,8 раза и улучшила профиль резьбы;

– эксперименты при обработке на станках с ЧПУ показали, что при использовании СОЖ типа СН-Ц и Эмбол-2 износ режущих кромок снижается на 30–40 % по сравнению с обработкой без охлаждения, при этом ресурс инструмента увеличивается с 80 до 110 деталей при стабильном качестве резьбы;

– вибрации и стабильность процесса: регулировка угла установки резца на $1,5^\circ$ и применение виброгасящих державок снизили амплитуду вибраций на 45 %, что уменьшило вероятность образования дефектов резьбы и увеличило срок службы инструмента.

Влияние режимов и СОЖ на параметры обработки резьбы представлены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние режимов и СОЖ на параметры резбонарезания

Параметр	Без СОЖ	СОЖ СН-Ц	СОЖ Эмбол-2
Момент резания, $H \cdot m$	1100	820	780
Ресурс инструмента, деталей	80	105	110
Амплитуда вибраций	12	7	6
Качество резьбы по ГОСТ	5-й класс	4-й класс	4-й класс

Использование станков с ЧПУ позволяет программно задавать параметры нарезания резьбы (например, с помощью цикла G76), что обеспечивает:

- точное управление глубиной и подачей резания;
- возможность задавать количество чистовых проходов и величину припусков;
- автоматическое удаление стружки и контроль вибраций;
- снижение времени обработки на 20–30 % по сравнению с использованием станков с ручным управлением [5–20].

Обсуждение

Полученные результаты подтверждают, что выбор метода резбонарезания должен основываться на типе резьбы, материале изделия и объеме производства. Токарное точение резьбы резцами и резбофрезерование на станках с ЧПУ обеспечивают высокую точность и гибкость, но требуют сложной наладки и контроля износа инструмента. Метчики и плашки остаются востребованными благодаря простоте и низкой стоимости, однако имеют ограничения по сроку службы и сложности обработки глухих отверстий.

Накатывание обеспечивает повышенную прочность резьбы и экономию энергии, что выгодно при массовом производстве крепежа, но ограничено по форме и материалам.

Применение специализированных СОЖ и оптимизация углов установки инструмента существенно снижают износ и вибрации, что подтверждается экспериментальными данными.

Заключение

Анализ операций нарезания резьбы показал, что комплексный подход к выбору метода, инструмента и режимов резания позволяет существенно повысить качество и производительность обработки. Для мелкосерийного и серийного производства рекомендуется использовать токарное точение резьбы резцами и резьбофрезерование на станках с ЧПУ, при массовом – накатывание.

Использование современных СОЖ и оптимизация геометрии инструмента снижают износ и вибрации, что увеличивает ресурс инструмента и качество резьбы.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку адаптивных систем управления процессом обработки резьбы и создание новых износостойких материалов для режущих пластин, а также на совершенствование методов обработки прерывистых резьб.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нарезание резьбы. Выбор методов и инструментов (обзорная статья). – Текст : электронный // центр твердосплавного инструмента : [сайт]. – URL: <https://carbidgetool.ru/threading> (дата обращения: 09.05.2025).
2. Виды резьбонарезного инструмента. – Текст : электронный // канюк : [сайт]. – URL: <https://discount-tools.ru/reviews/vidy-rezbonareznogo-instrumenta/> (дата обращения: 09.05.2025).
3. Анализ способов обработки резьбы фрезерованием. – Текст : электронный // cyberleninka : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sposobov-obrabotki-rezby-frezerovaniem> (дата обращения: 10.05.2025).
4. Виды резьб. Как правильно нарезать резьбу. – Текст : электронный // трайв : [сайт]. – URL: <https://traiv-komplekt.ru/articles/vidy-rezb-kak-pravilno-narezat-rezbu/> (дата обращения: 11.05.2025).
5. Нарезание резьбы на станках с ЧПУ: сравнение методов. – Текст : электронный // квант : [сайт]. – <https://kvant-stanok.ru/articles/narezanie-rezby-na-stankah-s-chpu-sravnenie-metodov/> (дата обращения: 09.05.2025).
6. Власов, С.Н. Устройство, наладка и обслуживание металлообрабатывающих станков и автоматических линий : учебник для техникумов/ С.Н. Власов, Г.М. Годович, Б.И. Черпаков – М.: Машиностроение, 1995.
7. Гжиров, Р.И. Программирование обработки на станках с ЧПУ: справочник/ Р.И. Гжиров, П.П. Серебrenицкий. – Л.: Машиностроение. ЛО, 1990.
8. Фадюшин, И.Л. Инструмент для станков с ЧПУ, многоцелевых станков и ГПС/ И.Л. Фадюшин, Я.А. Музыкант, А.И. Мещеряков и др. – М.: Машиностроение, 1990.
9. Кузнецов, Ю.И. Оснастка для станков с ЧПУ: справочник/ Ю.И. Кузнецов, А.Р. Маслов, А.Н. Байков. – М.: Машиностроение, 1990.
10. Шарин, Ю.С. Станки с числовым управлением/ Ю.С. Шарин. – М.: «Машиностроение», 1976.
11. Машины и технологическое оборудование. Расчет количества технологической оснастки [Текст] : метод. указания по выполнению практических работ/ П.В. Петров, Е.Ю. Кутенкова. – Новосибирск: СГУГиТ, 2021. – 43 с.
12. Основы проектирования технологической оснастки. Построение и анализ схем установки : методические указ по выполнению практической работы / П. В. Петров, Е. Ю. Кутенкова ; СГУГиТ. – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – 41, [1] с.
13. О формировании схем решений технологических задач / П. В. Петров, Е. Ю. Кутенкова. – Текст : непосредственный // XLVIII научно–техн. конф. преподавателей СГГА : тез. докл. – Новосибирск : СГГА, 1998. – С. 113

14. Марголит, Р.Б. Наладка станков с программным управлением: учеб. пособие для машиностроительных техникумов/ Р.Б. Марголит. – М.: Машиностроение, 1983.
15. Повышение эффективности станков с ЧПУ в условиях рыночной экономики: Докл. / Шлишевский Б.Э. – Новосибирск : [б. и.], 1992. – 64 с. – ~Б. ц. – Текст : непосредственный
16. Базовые токарные станки с ЧПУ / Б. Э. Шлишевский, А. Н. Соснов, В. А. Торопова. – Текст : непосредственный // Современные проблемы геодезии и оптики : сб. ЛП междунар. научно-техн. конф., посвящ. 70-летию СГГА. – Новосибирск : СГГА, 2003. – Ч. II. – С. 193–195
17. Компоненты повышения эффективности станков с ЧПУ при обработке деталей типа "тело вращения" / Б. Э. Шлишевский, И. О. Поветкин. – Текст : непосредственный // Современные проблемы геодезии и оптики : сб. ЛП междунар. Научно-техн. конф., посвящ. 70-летию СГГА. – Новосибирск : СГГА, 2003. – Ч. II. – С. 199–201
18. Экстенсивные ресурсы повышения эффективности многоцелевых станков с ЧПУ / Б. Э. Шлишевский, Н. К. Соснова. – Текст : непосредственный // ГЕО-СИБИРЬ-2006 : сб. материалов междунар. науч. конгр. – Новосибирск : СГГА, 2006. – Т. 4. – С. 86-93 . – 1
19. Отработка на технологичность изделий, обрабатываемых на станках с ЧПУ, как элемент системного подхода / Б. Э. Шлишевский, Е. Ю. Кутенкова. – Текст : непосредственный // ГЕО-СИБИРЬ-2007 : сб. материалов III Междунар. науч. конгр., 25–27 апр. 2007 г. – Новосибирск : СГГА, 2007. – Т. 4, ч. 1. – С.118–122 . – 1
20. Роль технических специалистов в современном производстве / Н. А. Пак, В. В. Юнеман, Е. Ю. Кутенкова. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь : XVIII Международный научный конгресс, Новосибирск, 18–20 мая 2022 г. : сборник материалов в 8 томах. – Новосибирск : СГУГиТ, 2022. – Т. 8: Национальная конференция с международным участием "СибОптика – 2022. Актуальные вопросы высокотехнологичных отраслей", № 2. – С. 151–154 . – DOI 10.33764/2618-981X-2022-8-2-151-154.

© А. Ю. Песков, В. И. Ковынев, Е. Ю. Кутенкова, 2025