

УДК 621.91.01

Моделирование резьбофрезерования

Нещадим Сергей Владимирович

serg8122000@yandex.ru

SPIN-код: 2408-8458

Мальков Олег Вячеславович

malkov@bmstu.ru

SPIN-код: 5668-1367

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Представлены результаты экспериментов по моделированию процесса фрезерования резьбы путем фрезерования паза с профилем резьбы на плоском торце заготовки. Проведено сравнение силы резания при фрезеровании на плоскости и в отверстии в заготовке из полиоксиметилен сополимера POM-C. Проведено экспериментальное сравнение силы резания при использовании существующей стандартной (трехсторонней) схемы срезания припуска и предложенной шахматной (двухсторонней) схемы срезания припуска.

Ключевые слова: резьбофрезерование, резьбовая фреза, разделение припуска, моделирование срезаемого слоя

Thread milling modelling

Neschadim Sergey Vladimirovich

serg8122000@yandex.ru

SPIN-code: 2408-8458

Malkov Oleg Vyacheslavovich

malkov@bmstu.ru

SPIN-code: 5668-1367

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. The results of experiments on modeling the process of thread milling by milling a groove with a thread profile on the flat end of a workpiece are presented. A comparison of the cutting force during milling on a plane and in a hole in a workpiece made of polyoxymethylene copolymer POM-C was carried out. An experimental comparison of the cutting force was carried out using the existing standard (three-sided) allowance cutting scheme and the proposed two-sided allowance cutting scheme.

Keywords: thread milling, thread milling cutter, allowance separation, cut layer modelling

Введение. Резьбофрезерование является одним из способов обработки резьбы, который особенно актуален при обработке внутренних резьб в корпусных деталях на фрезерных станках с ЧПУ [1]. При изготовлении резьбы в деталях из труднообрабатываемых материалов присутствуют ухудшающие процесс резания факторы, такие как более интенсивный износ инструмента, ухудшение образования и отвода стружки, пониженное качество получаемых поверхностей, повышенная вероятность поломки инструмента [2]. В обработке металлов резанием одним из самых распространенных способов улучшения

условий протекания процесса резания является разделение припуска для уменьшения площади срезаемого слоя или ее перераспределения.

Целью данной работы является экспериментальное исследование шахматной схемы разделения припуска при резбифрезеровании, представленной в работе [3], которая заключается в смещении резбообразующих профилей инструмента на соседних зубьях вдоль его оси на величину Δ с целью исключения поочередно одной из боковых сторон профиля из процесса резания (далее двухстороннее резание), увеличивая тем самым вдвое толщину противоположной стороны срезаемого слоя. Схема такого разделения представлена на рис. 1, а сравнение срезаемых слоев при формировании профиля резьбы на рис. 2 (модель срезаемого слоя получена согласно методике, описанной в работе [4]), цифрами 1 и 2 обозначены четные и нечетные зубья инструмента соответственно.

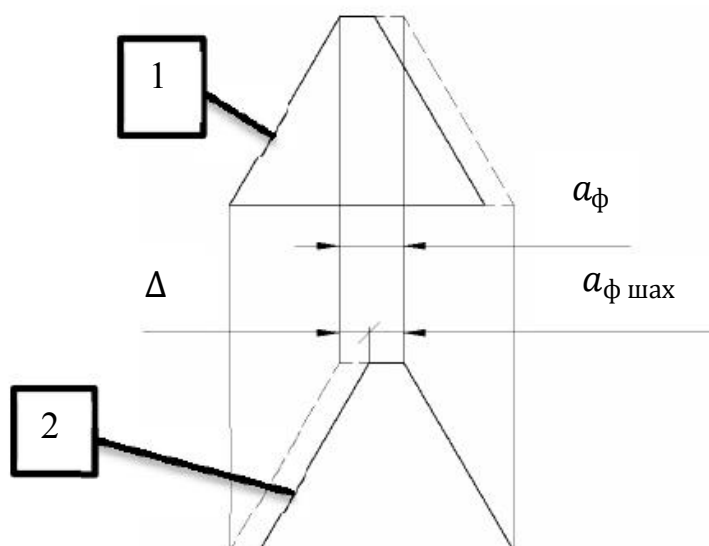


Рис. 1. Схема шахматного расположения профилей:

a_ϕ — суммарная ширина вершины резбообразующего профиля; $a_{\phi \text{ шах}}$ — ширина вершины одного профиля при шахматной схеме разделения припуска

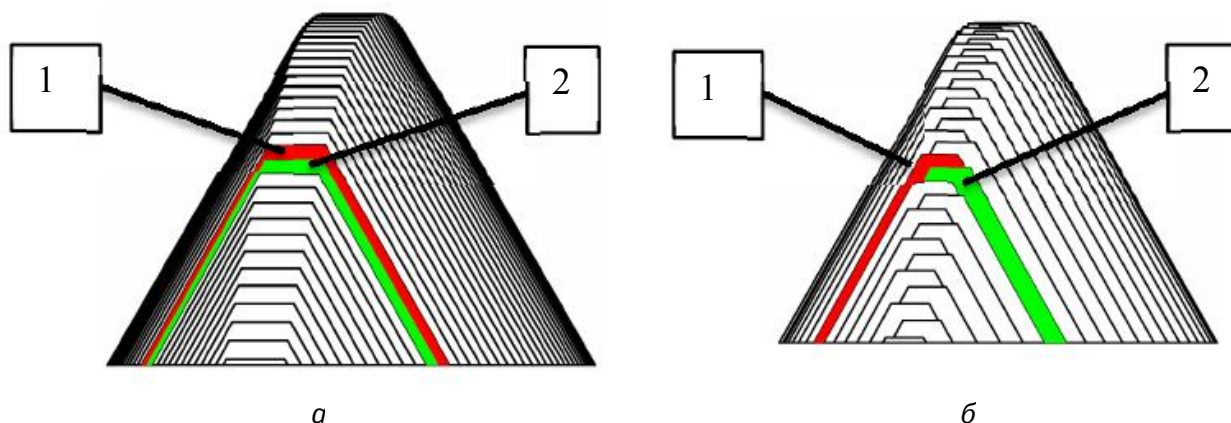


Рис. 2. Сравнение стандартной (а) и шахматной (б) схем срезания припуска

Из рис. 2 видно, что использование шахматной схемы разделения припуска позволяет перейти от трехсторонней к двухсторонней поочередной схеме срезания припуска с увеличением толщины срезаемого слоя.

Материалы и методы. Так как процесс фрезерования резьбы возможно с достаточной достоверностью моделировать фрезерованием на плоскости паза, расположенного под углом наклона винтовой линии резьбы и имеющего профиль, соответствующий профилю метрической резьбы [5, 6], проверка работоспособности шахматной схемы срезания припуска началась с моделирования процесса резьбофрезерования подобного паза на плоском торце призматической заготовки.

Экспериментальные исследования проводились в следующем порядке.

1. Фрезерование сборной фрезой на плоском торце заготовки паза, имеющего профиль резьбы в заготовке из полиоксиметилена сополимера POM-C.

2. Фрезерование резьбы M45x3 сборной фрезой в заготовке из полиоксиметилена сополимера POM-C, сравнение полученных результатов с фрезерованием паза.

3. Фрезерование цельными твердосплавными фрезами (описанными в работе [3]) резьбы M8x1 в заготовке из Д16Т.

Для определения влияния величины Δ на силу резания, был проведен эксперимент с использованием сборной двузубой однодисковой резьбовой фрезы с торцевым способом крепления пластин Sandvik CoroMill 328-039B25-13M, диаметром рабочей части $d_{\text{фр}} = 39$ мм, с пластинами Sandvik CoroMill 328R13-150 VM-TH 1025.

Торцевое крепление пластин позволяет использовать фольгу в качестве прокладки между пластиной и базовой поверхностью корпуса фрезы для создания и варьирования описанного смещения резьбообразующих профилей (Δ). Рабочая зона станка во время проведения эксперимента представлена на рис. 3.

Режимные параметры при проведении экспериментов назначались в соответствии с рекомендациями из каталогов и по аналогии со схожими инструментами.

Глубина паза равняется 1,5 мм, уменьшение врезания проводилась для компенсации расширения профиля паза из-за увеличения суммарной ширины вершины резьбовой фрезы $a_{\text{ф}}$.

Работа проводилась в лаборатории кафедры «Инструментальная техника и технологии» на вертикально-фрезерном обрабатывающем центре LK MACHINERY VM-2. Для измерения силы резания использован контрольно-измерительный диагностический стенд на базе динамометра Kistler 9257B.

Следующим шагом было фрезерование резьбы в полуотверстии для сравнения изменений в процессе резания с фрезерованием паза на плоскости.

Заключительным этапом стало фрезерование резьбы M8x1 спроектированными цельными твердосплавными фрезами, имеющие следующие параметры: диаметр рабочей части $d_{\text{фр}} = 6$ мм, шаг резьбы $P = 1$, число зубьев $z = 4$, описанными в работе [3], опытные образцы которых изготовлены ООО НПП «РИТ-ИНЖИНИРИНГ». Использовались образцы без износостойкого

покрытия, одна фреза со стандартной схемой срезания припуска, одна с шахматной, $\Delta = 25$ мкм. Образцам фрез присвоены следующие обозначения: фреза со стандартной схемой без покрытия: TM8×1-6-57 с шахматной схемой: TM8×1-6-57 AS.



Рис. 3. Экспериментальная установка

Результаты. Полученные значения составляющих силы резания в направлениях OX и OY (компонент силы резания, направленный вдоль оси OZ , не оказывает значительного эффекта на процесс резания, так как действует вдоль оси фрезы, т. е. в направлении ее наибольшей жесткости), измеренные динамометром, были геометрически сложены для получения силы в плоскости $ХОУ$ по следующей формуле:

$$F_{xy} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}.$$

Полученные значения силы резания при фрезеровании резьбы в POM-C представлены на рис. 4. На рис. 5 приведены зависимости $F_{xy} = f(\Delta)$ при фрезеровании паза и $F_{xy} = f(S_z)$ при фрезеровании резьбы M8×1.

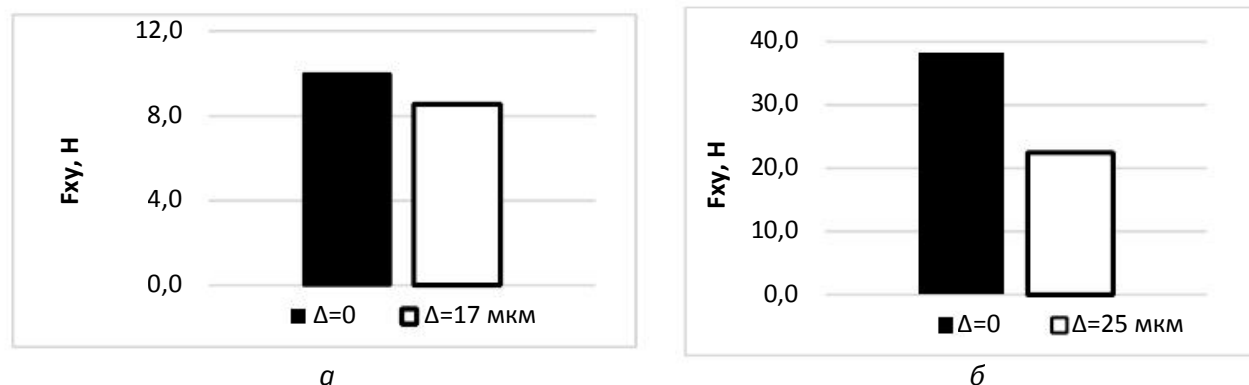


Рис. 4. Сравнение значений $F_{xy} = f(\Delta)$ при фрезеровании резьбы М45х3 сборной фрезой (а) и резьбы М8х1 цельными фрезами (б) в заготовке из POM-C

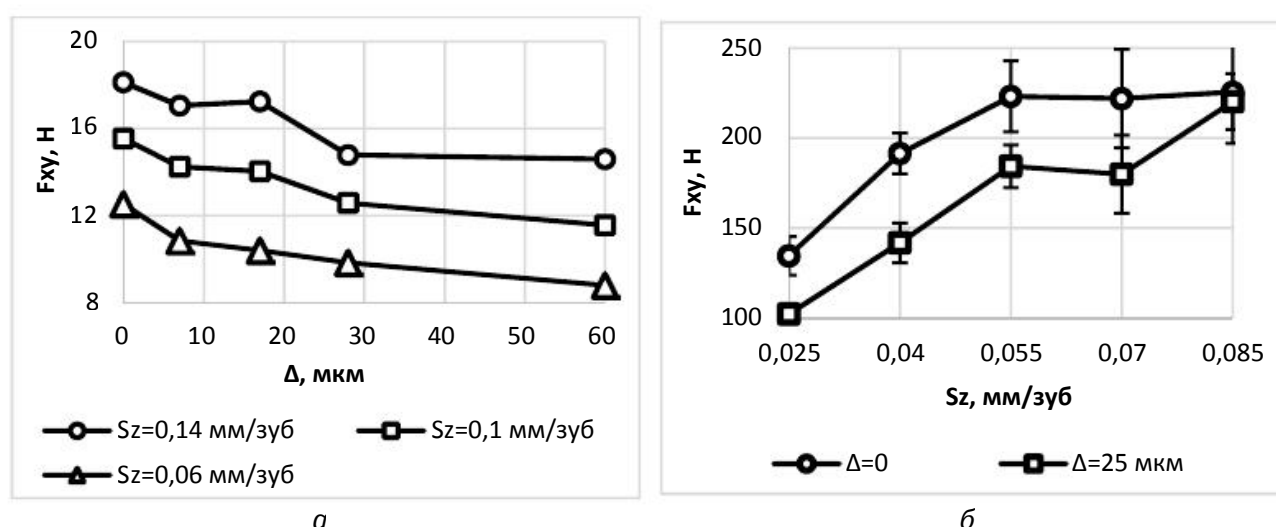


Рис. 5. а — график зависимости $F_{xy} = f(\Delta)$ при фрезеровании паза на плоскости в заготовке из POM-C; б — график зависимости $F_{xy} = f(S_z)$ при фрезеровании резьбы М8х1 цельными фрезами в заготовке из Д16Т

Обсуждение полученных результатов. Шахматная схема разделения припуска демонстрирует работоспособность и в моделировании резьбофрезерования на плоскости, и при фрезеровании отверстий, что говорит о корректности использования плоской модели. Использование инструмента, на котором реализована шахматная схема разделения припуска уменьшает силу резания во всех экспериментах в сравнении со стандартным инструментом: на 29,8 % при фрезеровании плоского уступа, на 14 % при фрезеровании резьбы М45х3 в полуотверстии и на 21 % при фрезеровании резьбы М8х1.

Заключение. Предложенная шахматная схема разделения припуска демонстрирует свою эффективность в проведенных экспериментах, дальнейшие исследования будут посвящены расширению диапазона материалов, на которых применение данной схемы будет демонстрировать положительную динамику в процессе резания. Ожидается, что уменьшение силы резания приведет к уменьшению вибраций и отгиба инструмента, благодаря чему улуч-

шится качество и точность получаемой резьбы, а также снизится вероятность выхода из строя инструмента.

Список источников

- [1] Мальков О.В. Анализ способов обработки резьбы фрезерованием. *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2016, № 4, с. 1–33. <https://doi.org/10.7463/0416.0838440>
- [2] Сайкин С.А. *Повышение эффективности фрезерования внутренней резьбы в деталях из труднообрабатываемых материалов*. Дис. ... канд. техн. наук. Рыбинск, 2009, 246 с.
- [3] Нецадим С.В. Повышение эффективности резьбофрезерования. *Будущее машиностроения России. XVII Всерос. конф. молодых ученых и специалистов (с междунар. участ.): матер.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024, т. 1, с. 32–37.
- [4] Мальков О.В., Карельский А.С. Моделирование срезаемого слоя при резьбофрезеровании. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2017, № 9, с. 54–64. <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2017-9-54-64>
- [5] Hu Z., Qin C., Shi Z., Tang Y., Zhang X., Zou Y. An effective thread milling force prediction model considering instantaneous cutting thickness based on the cylindrical thread milling simplified to side milling process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2020, vol. 110, pp. 1275–1283.
- [6] Araujo A.C., Silveira J.L., Jun M.B., Kapoor S.G., DeVor R. A model for thread milling cutting forces. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2006, vol. 46 (15), pp. 2057–2065.