

УДК 621.91.01/621.914.22

Н. Н. ПОПОК, д-р техн. наук, проф.

В. С. АНИСИМОВ

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой
(Новополоцк, Беларусь)

СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ КОНЦЕВЫМИ ФРЕЗАМИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Аннотация

Рассмотрено повышение производительности обработки сложнопрофильных поверхностей деталей и эффективности мощности приводов станка с ЧПУ путем использования концевых фрез с крутонаклонными режущими кромками. Приведены зависимости изменения сил резания от времени и режимов обработки фрезами различных фирм-производителей.

Ключевые слова:

сложнопрофильная поверхность, плоская поверхность, деталь, концевая фреза, сила резания, мощность привода, производительность, станок с ЧПУ.

Введение. В современной технике широко применяются детали, форма которых включает сочетание различных поверхностей – цилиндрических, конических, сферических, винтовых, плоских и криволинейных, например, шаровые пальцы рычагов автомобилей, оси тяги ремизы, тройники запорной арматуры, корпуса с полостями, матрицы и пуансоны штампов, кулачки и эксцентрики механизмов автоматов и т. п. При механической обработке таких поверхностей деталей на станках с ЧПУ реализуются сложные кинематические схемы и траектории резания, переменные величины скоростей и подач заготовки и режущего инструмента. Стремление в этом случае повысить производительность обработки за счет увеличения значений скорости и подачи приводит к снижению потребляемой мощности приводов станка и неэффективной их загрузке. То есть требуется решение задачи по увеличению производительности обработки сложнопрофильных поверхностей деталей при обеспечении максимально возможных значений потребляемой мощности приводов станков с ЧПУ и сохранении требуемой стойкости режущих инструментов.

Основная часть. Одним из путей решения этой задачи является использование вращающихся инструментов – концевых фрез, ротационных резцов и т. п., обеспечивающих касательное движение крутонаклонных режущих кромок [1]. Тенденция по все более широкому применению таких типов инструментов прослеживается в ряде ведущих зарубежных фирм, таких, например, как «SandvikCoromant» (Швеция), «Seco» (Япония), «Hertel» (Германия), «Guhring» (Германия), «Iscar» (Израиль), «TaeguTec» (Корея) и др. [2]. При этом не обосновывается, за счет каких кинематических, физических и технологических особенностей обеспечиваются преимущества касательного движения резания и

режущих инструментов с крутонаклонными кромками. Вместе с тем, в ряде ранее проведенных исследований явлений, сопровождающих сложные виды обработки резанием, например, Г. И. Грановским [3], В. Ф. Бобровым [4], Е. Г. Коноваловым [5], П. И. Ящерицыным [6] и др., эти преимущества доказаны, но в основном для традиционно используемых в то время величин скоростей и мощностей приводов станков, возможностей реализации трех- и пятиосевой обработки на станках с ЧПУ, применения прогрессивных режущих инструментов, в т. ч. с износостойким покрытием и т. п. В настоящее время актуальным является исследование кинематических и физических характеристик скоростных видов обработки сложнопрофильных поверхностей деталей на одном рабочем месте – станке с ЧПУ, вращающимися режущими инструментами с касательным движением крутонаклонной режущей кромки [7, 8]. В работе рассматриваются результаты исследований силы резания концевыми фрезами с различными углами наклона режущей кромки.

Экспериментальные исследования сил резания производятся на вертикальном обрабатывающем центре FANUC Robodrill серии a-D21LiB. Технические возможности станка: частота вращения шпинделя – 10000 мин^{-1} , программируемая рабочая подача – 30000 мм/мин , мощность главного двигателя – $7,5 \text{ кВт}$, размеры рабочей зоны – $700 \times 400 \times 330 \text{ мм}$. Форма заготовки – цилиндрическая, материал заготовки – сплав алюминия марки Д16Т. В качестве режущего инструмента используются концевые фрезы различных фирм.

Измерение сил резания производится с использованием специального сконструированного и изготовленного в условиях научно-исследовательской лаборатории программно-измерительного комплекса (ПИК), включающего: установочное приспособление фирмы System3R (Швеция); усилители сигналов акселерометров фирмы Briel Kjaer (Дания); функциональные модули сбора данных, с помощью которых осуществляется первичное преобразование и оцифровка данных с акселерометра, и тензометрический преобразователь фирмы National Instruments (США); шасси сбора данных, с помощью которого осуществляется передача оцифрованных данных на систему обработки и регистрация данных фирмы National Instruments (США); первичный тензометрический преобразователь. ПИК позволяет фиксировать силы резания в направлении осей X , Y , Z координатной системы станка.

Заготовка диаметром D размещается в установочном приспособлении ПИК и имеет возможность вместе с платформой последовательно перемещаться вдоль осей X или Y в движении подачи D_S . Фреза устанавливается в шпинделе станка по оси Z на глубину врезания A и глубину резания t (ширину фрезерования b) с возможностью главного вращательного движения D_r . В ходе эксперимента производится последовательная обработка плоской поверхности сегмента заготовки длиной l . На каждый последующий проход фрезы в движении подачи D_S заготовка поворачивается на очередной обрабатываемый сегмент длиной l лыски. При этом учитываются увеличивающиеся длины контакта подвода фрезы l_l и глубины резания a_e от $0,2$ до $1,0 \text{ мм}$. В ПИК предусмотрено дополнительное вращательное движение заготовки вокруг собственной оси. Таким об-

разом, технические возможности станка и ПИК позволяют реализовать обработку плоских, цилиндрических и криволинейных поверхностей детали вращающейся фрезой с врезанием по касательной к обрабатываемой поверхности заготовки.

При обработке заготовок выбираются рекомендуемые [9, 10] элементы режима резания v , S , t и согласовываются с техническими характеристиками станка.

Последовательность изменения элементов режима резания в опытах составляется таким образом, чтобы учесть особенности как одно-, так и трехфакторного экспериментов.

На рис. 1 показаны фрагменты осциллограмм с дисплея ПИК амплитудных изменений составляющих силы резания в течение времени подвода фрезы и обработки лыски (сегмента) не вращающихся и вращающихся заготовок, при глубине врезания $a_e = 1,0$ мм, ширине резания $a_p = 1,0$ мм, минутной подаче $f_m = 1300$ мм/мин, частоте вращения шпинделя $n = 6400$ мин⁻¹.

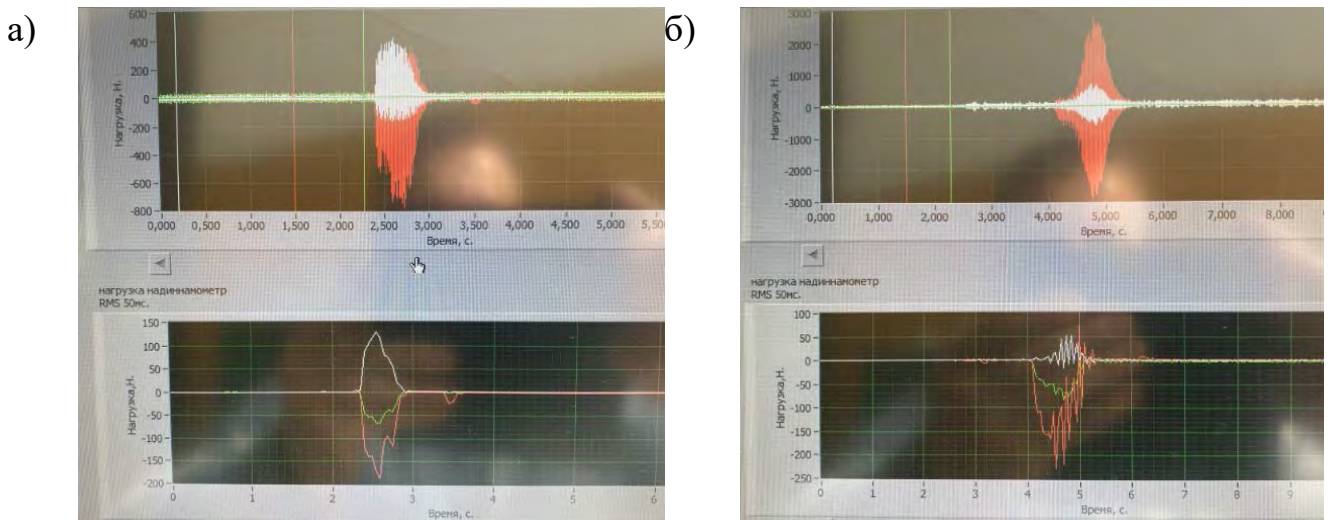


Рис. 1. Фрагменты осциллограмм амплитудных изменений составляющих силы резания при обработке не вращающейся заготовки (а) и вращающейся заготовки при встречном фрезеровании (б)

Как видно на рис. 1, осциллограммы позволяют установить изменения значений составляющих силы резания при входе и выходе фрезы в зоны резания и максимальные значения силы резания по длине обработки сегмента заготовки. Время фиксации силы резания сопоставляется со временем обработки лыски. При обработке каждого последующего сегмента возрастает время обработки τ – от 0,2 до 1,5 с, длина лыски l – от 5 до 11 мм и глубина врезания a_e – от 0,2 до 1,0 мм.

Полученные осциллограммы обрабатываются соответствующим образом (пересчитываются) по максимальным и минимальным пикам изменения силы резания, затем строятся зависимости изменения составляющих силы резания P_x , P_y , P_z от глубины резания, подачи на зуб и скорости резания для различных фрез и значений угла наклона режущей кромки. Сопоставление значений, со-

ставляющих силы резания P_x , P_y , P_z для различных фрез и при изменении элементов режима резания представлены на рис. 2.

Как видно из графиков, наибольшее влияние на составляющие P_x и P_z оказывает увеличение значений a_e и f_z , причем уменьшение длины режущей кромки (фрезы Guhring #19964 10WNR-HRF (20°) и Guhring #5504 12R-NRF (30°)) приводит к наименьшим значениям P_x и P_z . Увеличение скорости резания v до значений 225 м/мин практически не влияет на изменения составляющей силы резания P_y . При значении v более 225 м/мин, значение составляющей силы резания P_y резко возрастает. Также из графиков видно, что с увеличением значений скорости резания от 150 до 250 м/мин составляющие силы резания P_x и P_z изменяются незначительно, а значения P_y в диапазоне 225...250 м/мин резко возрастают, что объясняется, образованием наплыва на передней поверхности лезвия в выбранном диапазоне скорости резания, который увеличивает отрицательные значения переднего угла и, следовательно, составляющие силы резания P_y .

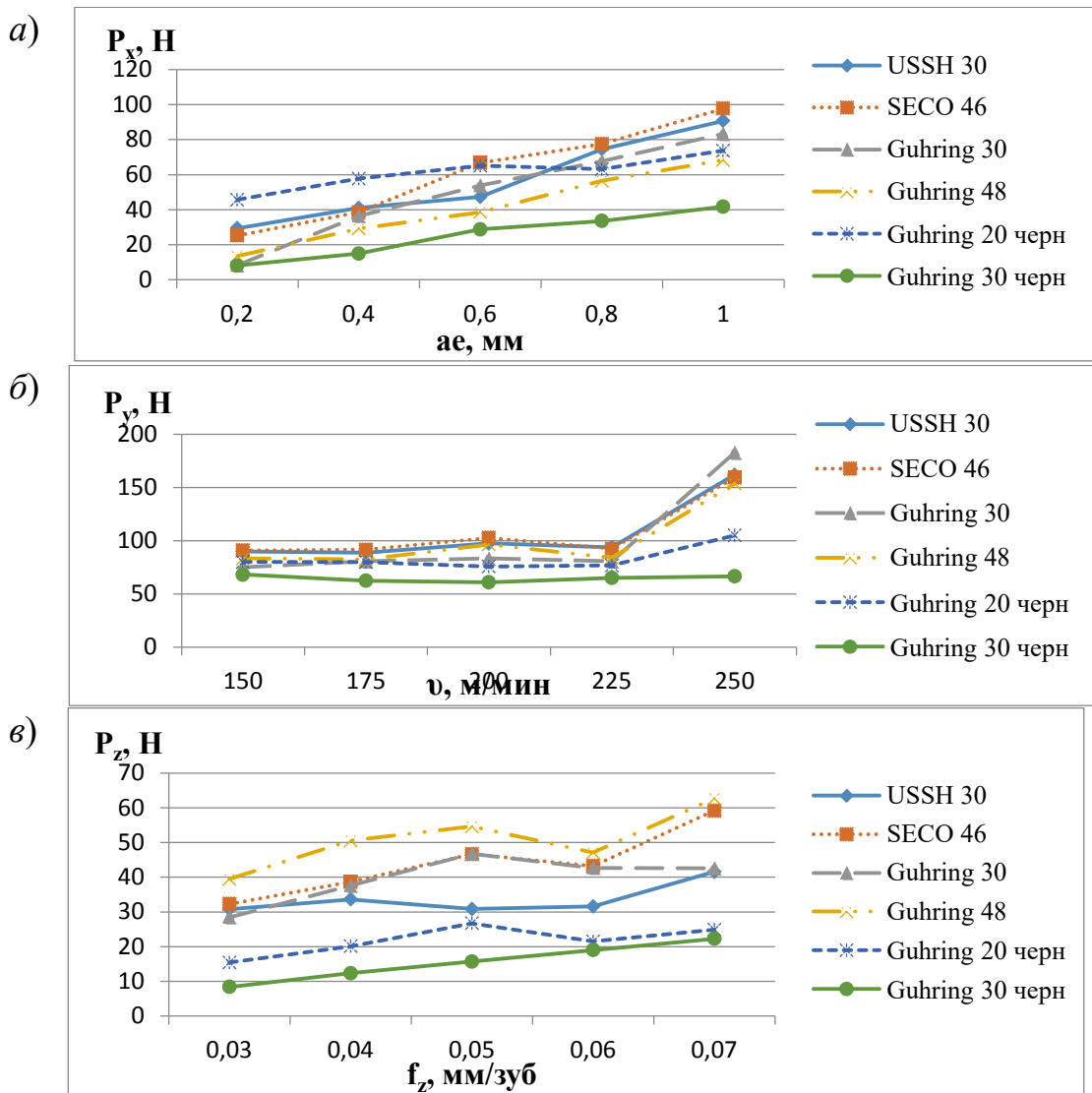


Рис. 2. Зависимости изменения составляющих P_x , P_y , P_z силы резания для различных фрез от: а – глубины резания a_e ; б – скорости резания v ; в – подачи на зуб f_z

Заключение. По результатам проведенных исследований было выявлено, что при увеличении угла наклона главной режущей кромки лезвия фрезы λ° с 30° до 48° происходит снижение составляющих силы резания P_x, P_y, P_z на 17 %...24 %, при обработке лыски неподвижной заготовки. При обработке вращающейся заготовки в попутном фрезеровании происходит снижение амплитудных значений составляющих силы резания P_x, P_y, P_z до 3 раз по сравнению с неподвижной заготовкой, а при встречном фрезеровании, наоборот, амплитудные значения увеличиваются с 400 до 3000 Н. При обработке неподвижной заготовки фрезой с прерывистой режущей кромкой происходит снижение составляющих силы резания P_x, P_y, P_z до 2 раз, а при увеличении угла наклона главной режущей кромки лезвия фрезы λ° с 20° до 30° составляющие силы резания уменьшаются до 2,5–3 раз.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **ГОСТ 25762.** Обработка резанием. – Москва: Изд-во стандартов, 1983. – 24 с.
2. SECO. Каталог + техническое руководство, 2020. – 435 с.
3. **Грановский, Г. И.** Кинематика резания / Г. И. Грановский. – Москва: Машгиз, 1948. – 199 с.
4. **Бобров, В. Ф.** Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металлов / В. Ф. Бобров. – Москва: Машгиз, 1962. – 152 с.
5. **Коновалов, Е. Г.** Прогрессивные схемы ротационного резания металлов / Е. Г. Коновалов, В. А. Сидоренко, А. В. Соусь. – Минск: Наука и техника, 1972. – 272 с.
6. Ротационное резание материалов / П. И. Ящерицин [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1987. – 229 с.
7. **Попок, Н. Н.** Кинематика обработки поверхностей деталей вращающимся режущим инструментом с касательным движением режущей кромки / Н. Н. Попок, В. С. Анисимов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. – Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2019. – № 11. – С. 31–38.
8. **Попок, Н. Н.** Деформация и стружкообразование при обработке плоских и криволинейных поверхностей деталей вращающимся режущим инструментом на токарных и фрезерных станках с ЧПУ / Н. Н. Попок, В. С. Анисимов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. – Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2020. – № 3. – С. 28–34.
9. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение-1, 2001. – Т. 2. – 912 с.: ил.
10. Каталог инструментов GuhringSuperLine, 2016. – 150 с.

Контакты:

n.porok@psu.by (Попок Николай Николаевич);

v.anisimov@psu.by (Анисимов Виталий Сергеевич).