

Н.Н. Попок, В.С. Анисимов
Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,
Новополоцк, Республика Беларусь

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ 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, 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.

Методы

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 других [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. То есть, 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 данной работе рассматриваются результаты исследований силы резания концевыми фрезами с различными углами наклона режущей кромки.

Результаты и обсуждение

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 Bruel 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_{Γ} . 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_1 и глубины резания a_e от 0,2 до 1,0 мм. В ПИКе предусмотрено дополнительное вращательное движение заготовки вокруг собственной оси. Таким образом, 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 (таблица 1).

Таблица 1 – Значения элементов режима резания в опытах эксперимента

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Глубина врезания a_e , мм	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Подача на зуб f_z , мм/зуб	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Минутная подача f_m , мм/мин	2230	2230	2230	2230	2230	2230	2230	2230	2230	2230	2230	2230	2230	2230	2230	2230	2230	2230	2230
Скорость резания v , м/мин	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Частота вращения шпинделя n , мин ⁻¹	7960	7960	7960	7960	7960	7960	7960	7960	7960	7960	7960	7960	7960	7960	7960	7960	7960	7960	7960

На рисунке 1 показан фрагмент осциллограммы с дисплея ПИК амплитудных изменений составляющих силы резания в течение времени подвода фрезы и обработки лыски (сегмента) не вращающейся заготовки 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. Как видно на рисунке 1, осциллограмма позволяет 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 секунд, длина лыски l от 5 до 11 мм и глубина врезания a_e от 0,2 до 1,0 мм.

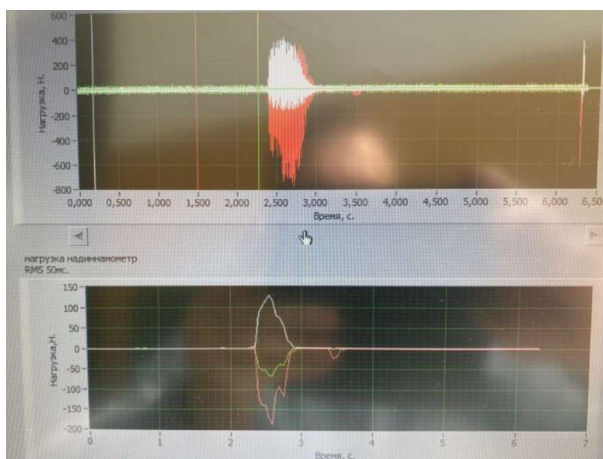


Рисунок 1 –
Фрагменты
осциллограммы
амплитудных
изменений
составляющих
силы резания при
обработке не
вращающейся
заготовки

Полученные осциллограмма обрабатывается соответствующим образом (пересчитывается) по максимальным и минимальным пикам изменения силы резания и приводится к виду, фрагментально представленному на рисунке 2. В данном случае количество записанных блоков данных характеризует чувствительность применяемой регистрирующей аппаратуры, которая позволяет фиксировать 25000 сигналов в одну секунду (1 секунда соответствует 20 блокам).

По результатам эксперимента 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. Как видно из графиков, 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, по-видимому, образованием наплыва на передней поверхности лезвия в выбранном диапазоне скорости резания, который увеличивает отрицательные значения переднего угла и, следовательно, составляющие силы резания P_y .

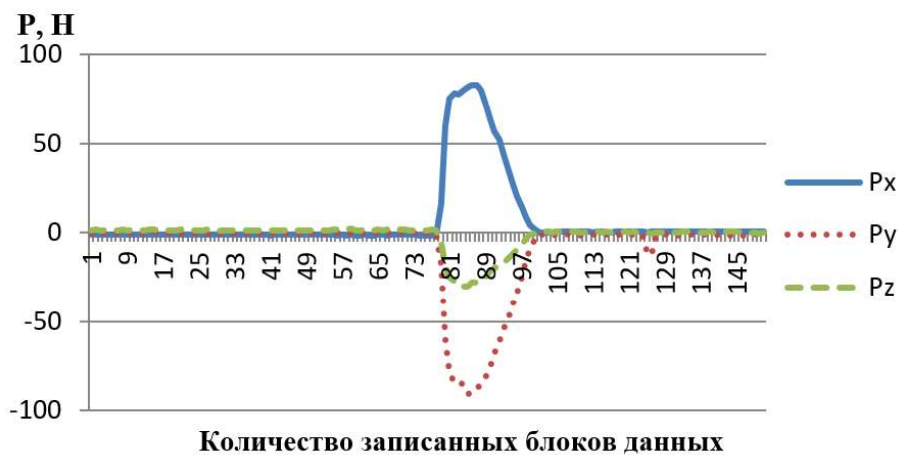


Рисунок 2 – Фрагмент обработанной осциллограммы

Сопоставление значений составляющих силы резания P_x , P_y , P_z для различных фрез и при изменении элементов режима резания представлены на рисунке 3.

Как видно из графиков, наибольшее влияние на составляющие P_x и P_z оказывает увеличение значений a_e и f_z , причем уменьшение длины резущей 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 значения составляющей силы резания P_y резко возрастает.

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 400Н 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.

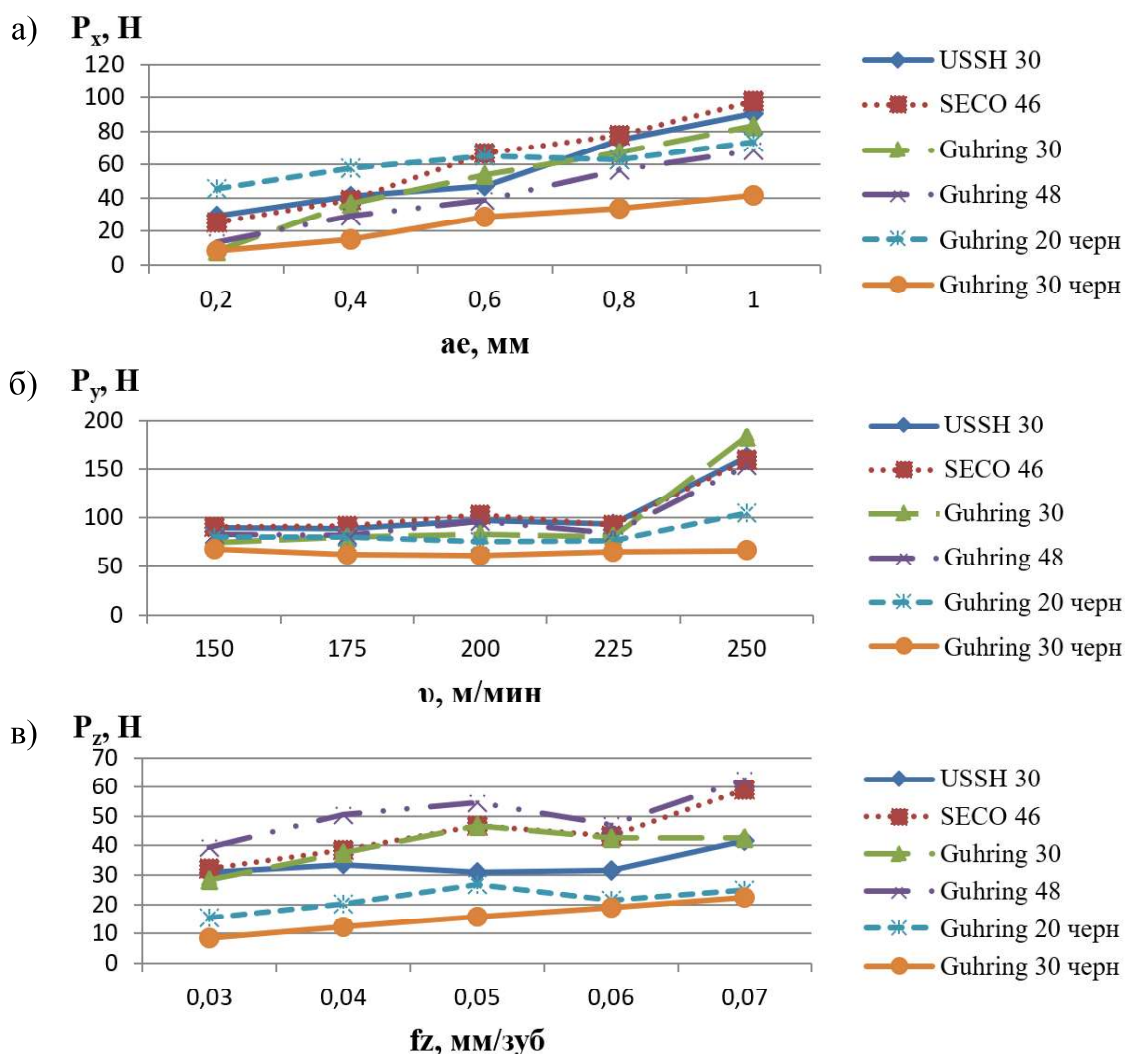


Рисунок 3 – Зависимости изменения составляющих P_x , P_y , P_z силы резания для различных фрез от глубины врезания a_e (а), скорости резания v (б) и подачи на зуб f_z (в)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 25762. Обработка резанием. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 24 с.
- SECO. Каталог + техническое руководство, 2020. – 435 с.
- Грановский, Г.И. Кинематика резания / Г.И. Грановский – М.: Машгиз, 1948. – 199 с.
- Бобров, В.Ф. Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металлов / В.Ф. Бобров – М.: Машгиз, 1962. – 152 с.
- Коновалов, Е.Г. Прогрессивные схемы ротационного резания металлов / Е.Г. Коновалов, В.А. Сидоренко, А.В. Соусь – Минск, «Наука и техника», 1972. – 272 с.
- Ротационное резание материалов / П.И. Ящерицин, А.В. Борисенко, И.Г. Дривотин, В.Я. Лебедев. – Мн.: Наука и техника, 1987. – 229 с.
- Попок, Н. Н. Кинематика обработки поверхностей деталей вращающимся режущим инструментом с касательным движением режущей кромки / Н. Н. Попок, В. С. Анисимов // Вестник Полоцкого государственного университета. 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 // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2020. – № 3. – С. 28-34.

9. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.:Машиностроение-1, 2001. – 912 с., ил.

10. Каталог инструментов GuhringSuperLine, 2016. – 150 с.

N.N. Popok, V.S. Anisimov

Saint Euphrosyne Polotsk State University, Novopolotsk, Republic of Belarus

IMPROVING THE PROCESSING PERFORMANCE OF COMPLEX PROFILE SURFACES OF PARTS ON CNC MACHINES

Abstract

The article considers increasing the productivity of processing complex profile parts and the efficiency of CNC machine drives through the use of end mills with cold-inclined cutting edges. Given depending on the change in cutting force over time and processing modes with cutters from various manufacturers.

Keywords: complex surface, flat surface, part, end mill, cutting force, drive power, productivity, CNC machine