

Определение динамических характеристик процесса механической обработки на основе численной модели фрезерования

А. В. Гринек¹, И. П. Бойчук², И. М. Данцевич³
Государственный морской университет
им. Ф.Ф. Ушакова
¹grinyokann@gmail.com, ²igorboychuk@mail.com,
³dantsevich@mail.com

И. В. Калатошишвили
Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого
ivank300@gmail.com

Аннотация. В статье показана методика проведения частотного анализа плоского фрезерования поверхности с неравномерным припуском. Приведены результаты конечно-элементного моделирования процесса резания. Получена динамическая картина силовых характеристик и определен периодический характер процесса. На основе данных расчета проведен частотный анализ динамики сил резания.

Ключевые слова: плоское фрезерование; неравномерный; припуск; колебания; частота; сила резания; численный

I. ВВЕДЕНИЕ

Динамика сил резания при фрезеровании имеет сложный колебательный характер в связи с периодическим изменением толщины удаляемого припуска, геометрией инструмента (формы режущей кромки, количества зубьев и прочих параметров), случайным и прогнозируемым изменением геометрии обрабатываемой поверхности (волнистости, шероховатости). Использование интенсивных режимов резания при черновом и полустачковом фрезеровании сдерживается, главным образом, потерей динамической стабильности технологической системы.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

A. Конечно-элементное моделирование плоского фрезерования

Задача моделирования процесса стружкообразования решалась в трехмерной постановке с помощью конечно-элементного пакета [1].

На рис. 1 показана геометрическая модель заготовки и четырехзубой фрезы. Этапы моделирования стандартны: настройка решателя, построение геометрии, генерация сетки, измельчение сетки в необходимых областях, решение [2, 3].

Особенностью проведения расчетов для конечно-элементных задач со значительными пластическими деформациями и разрушением является перестроение

сетки на каждом шаге расчета и, как следствие, повышенная ресурсоемкость.

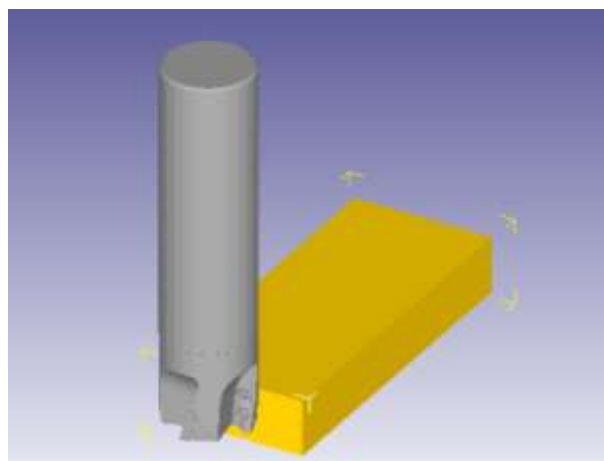


Рис. 1. Модели инструмента и заготовки

В результате моделирования были получены графики периодического изменения составляющих сил резания, приведённые на рис. 2–3.

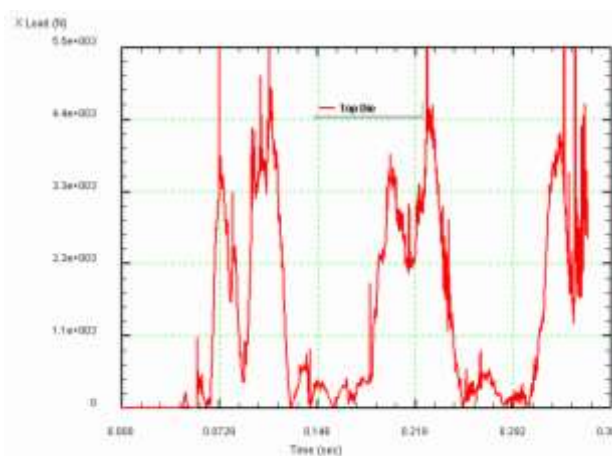


Рис. 2. Составляющая силы резания F_x

На графиках рис. 2 и 3 виден периодический характер изменения силы резания, связанный с врезанием и выходом режущих зубьев фрезы, сходом стружки и процессами упругого и пластического деформирования в зоне резания.

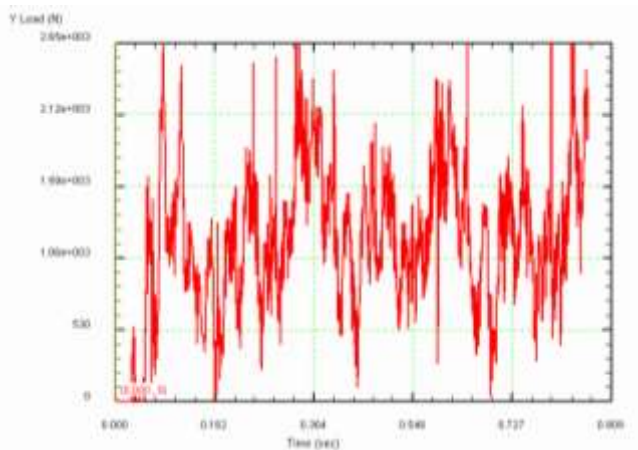


Рис. 3. Составляющая силы резания R_y

С целью получения динамики сил резания, вызываемой геометрической неточностью поверхности – волнистостью, была решена задача с непостоянным, периодически изменяющимся припуском заготовки (см. рис. 4).

На рис. 5–6 приведены результаты решения задачи с учётом изменяющейся геометрии заготовки. Результаты имитационного моделирования плоского фрезерования представлены в виде графиков изменения составляющих сил резания. Модель заготовки представляет собой поверхность с периодическим рельефом синусоидальной формы.

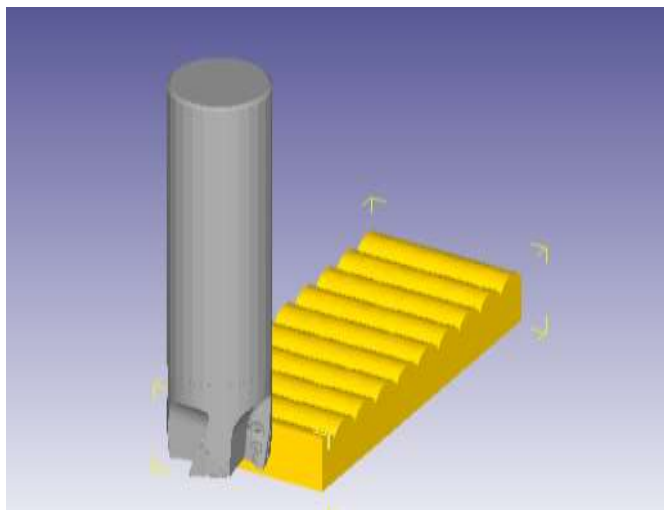


Рис. 4. Модели инструмента и заготовки, учитывающей неравномерность припуска (поверхность показана в увеличенном масштабе)

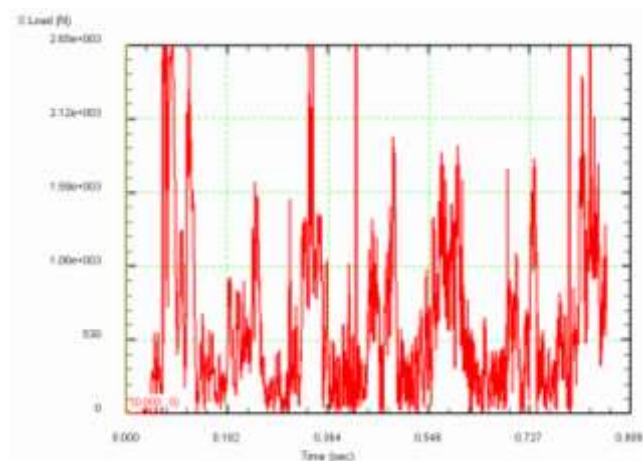


Рис. 5. Составляющая силы резания R_x при фрезеровании волнистой поверхности

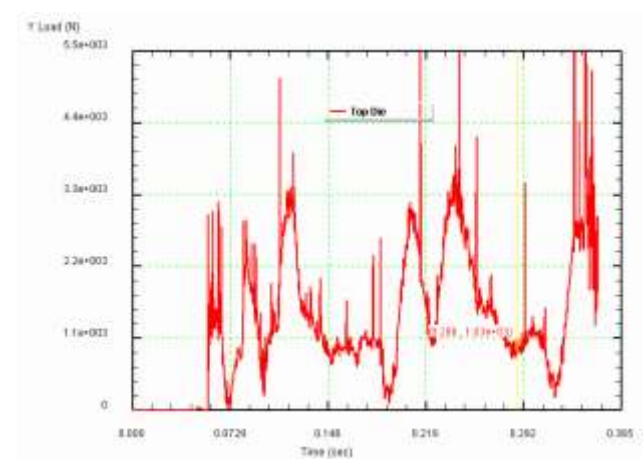


Рис. 6. Составляющая силы резания R_y при фрезеровании волнистой поверхности

В. Определение амплитудного и частотного спектра периодического процесса

Для получения частотных характеристик было приведено быстрое преобразование Фурье полученных данных в пакете Matlab с помощью FFT-функции.

В результате определен набор частот для двух случаев фрезерования: для фрезерования идеальной плоской поверхности, когда колебание силы резания вызывается: входом-выходом зубьев фрезы из зоны резания, переменным припуском, срезаемым одним зубом фрезы, количеством зубьев и процессом формирования, отрыва и схода стружки; для фрезерования волнистой поверхности, при котором в динамику резания вносится составляющая, связанная с неравномерностью припуска. Для рассматриваемой задачи на рис. 7,8 приведен график спектральной плотности сил F_x и F_y при плоском фрезеровании на частоте вращения 470 об/мин (80 м/мин) и подаче 0,3мм/зуб.

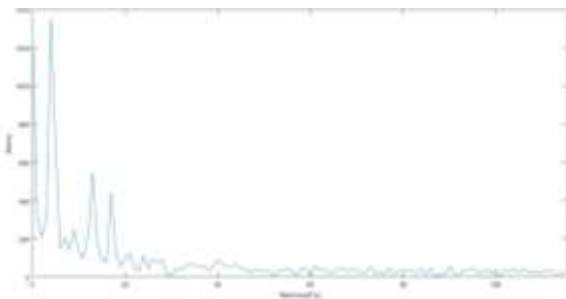


Рис. 7. Спектр амплитуд и частот F_x при плоском фрезеровании



Рис. 8. Спектр амплитуд и частот при плоском фрезеровании F_y

Аналогично был получен амплитудно-частотный спектр для случая фрезерования заготовки с заданной волнистостью. Результаты анализа данных численного моделирования показаны на рис. 9, 10.

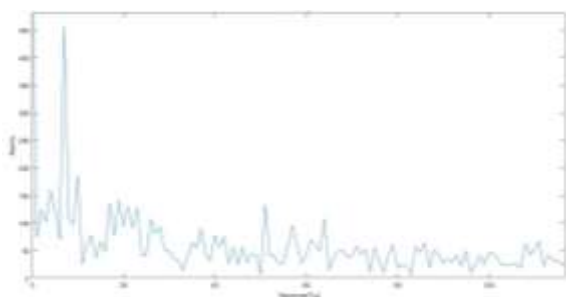


Рис. 9. Спектр амплитуд и частот силы F_x при фрезеровании волнистой поверхности F_x

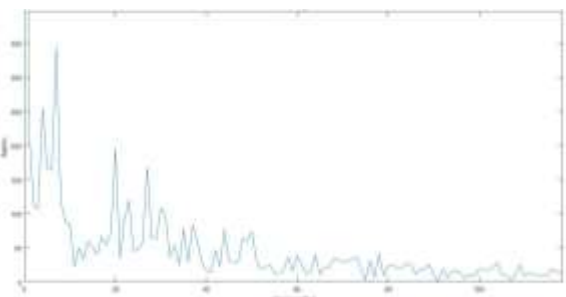


Рис. 10. Спектр амплитуд и частот F_y при фрезеровании волнистой поверхности

Проведенный амплитудно-частотный анализ позволил определить коэффициенты разложения в ряд Фурье сил резания, полученных в численном эксперименте.

С помощью найденных коэффициентов могут быть получены аналитические функции, описывающие составляющие силы резания для дальнейшей оптимизации технологического процесса. Например, при частоте вращения фрезы 470 об/мин силы резания аппроксимированы тремя членами ряда Фурье, характеристики которых приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1 АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Поверхность	Составляющая силы	Амплитуды A , Н			Частоты f , Гц		
		$A1$	$A2$	$A3$	$f1$	$f2$	$f3$
Плоская поверхность	F_x	2708	1094	882	4	13	17
	F_y	1900	948	630	4	17	13
Волнистая поверхность	F_x	914	370	318	7	10	4
	F_y	508	706	390	4	7	20

III. РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Получена и исследована динамическая картина изменения силовых параметров в зоне резания при врезании и выходе зубьев фрезы из зоны резания. Определен периодический характер изменения сил резания при фрезеровании. Получен амплитудный и частотный спектр составляющих сил резания, изменяющихся периодически. При проектировании технологических процессов, разработке конструкции станочного оборудования данная информация о частотах вынужденных колебаний в системе «заготовка – инструмент» может быть использована для предотвращения резонансных явлений.

Результаты работы также позволяют определять качественную связь между технологией и качеством изделия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Гринек А.В., Рубанов В.Г., Калатошвили И.В., Михайлов В.В. Исследование влияния скорости резания на температурно-силовое состояние в зоне обработки методом численного моделирования // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. № 8. С. 10–19.
- [2] Gök K., Gök A., Bilgin M. B., Finite Element Modeling as Three Dimensional of Effect of Cutting Speed in Turning Process // Journal of Engineering and Fundamentals. 2014. 1(1), pp. 11–22.
- [3] Zhai Y.S., Wang Y., Yan F.G., Wang B. Three-Dimensional Finite Element Analysis in Plunge Milling for Stainless Steel // Materials Science Forum, Vols. 2014. 800-801, pp. 348-352.
- [4] Abboud E., Shi B., Attia H., Thomson V., Mebrahtu Y. Finite element-based modeling of machining-induced residual stresses in Ti-6Al-4V under finish turning conditions // Procedia CIRP. 2013. Vol.8. pp. 63–66.
- [5] Pittalà, G.M. & Monno, M. Int J Adv Manuf Technol (2010) 47: 543. <https://doi.org/10.1007/s00170-009-2235-0>.
- [6] Subramanian M., Sakthivel M., Sooryaprakash K., Sudhakaran R., Optimization of end mill tool geometry parameters for Al7075-T6 machining operations based on vibration amplitude by response surface methodology, 2013, Meas J Int Meas Confed, 46:4005–4022. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.08.015>