

УДК 629.113.001

НАТУРНОЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ КОНЦЕВОЙ СБОРНОЙ ФРЕЗЫ R790

© П.Н. Костин¹, А.В. Лукьянов²

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

В работе представлены результаты исследования форм и частот собственных колебаний концевой сборной фрезы типа R790 для изучения динамики процессов фрезерования в замкнутой обрабатывающей системе «инструмент – приспособление – деталь» при механической обработке. Представлены методики определения собственных частот первой формы колебаний концевой фрезы типа R790 при натурном моделировании и первых двух форм колебаний методом конечно-элементного моделирования. Проведен сравнительный анализ полученных результатов. Продемонстрированы возможности современных систем автоматизированного инженерного анализа для решения задач моделирования.

Ключевые слова: конечно-элементное моделирование колебаний, экспериментальное определение колебаний фрезы, собственные частоты колебаний фрезы.

NATURAL AND NUMERICAL SIMULATION OF FREE OSCILLATIONS OF THE R790 END-MILLING CUTTER

© P.Kostin, A.Lukyanov

Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov Str., Irkutsk 664074, Russian Federation

The paper presents the results of the study of the shapes and frequencies of own oscillations of the end milling cutter of type R790 for studying the dynamics of milling processes in a closed machining system: a tool – a device – a part in machining. The article deals with the methods for determining own frequencies the first form of oscillations of the end milling cutter of type r790 in the case of full-scale modelling and the first two forms of oscillations by the method of finite-element modelling. It presents a comparative analysis of the obtained results. The article demonstrates the possibilities of modern systems of automated engineering analysis for solving simulation problems.

Keywords: finite element simulation of oscillations, experimental determination of oscillations of a mill, natural frequency oscillations of the mill

Определение частот и форм собственных колебаний элементов, участвующих в механической обработке, необходимо при динамическом анализе и выборе режимов фрезерования, исключающих возникновение резонансов [1], то есть резкого увеличения амплитуды колебаний вследствие совпадения собственных частот с частотами внешнего воздействия [2].

Объектом исследования для выявления форм и частот собственных колебаний выбрана концевая сборная фреза R790-025HA06S2-16L, изображенная на рис. 1, а. Данная фреза применяется для обработки прямоугольных уступов, ее основные характеристики приведены в табл. 1 и на рис. 1, б, в.

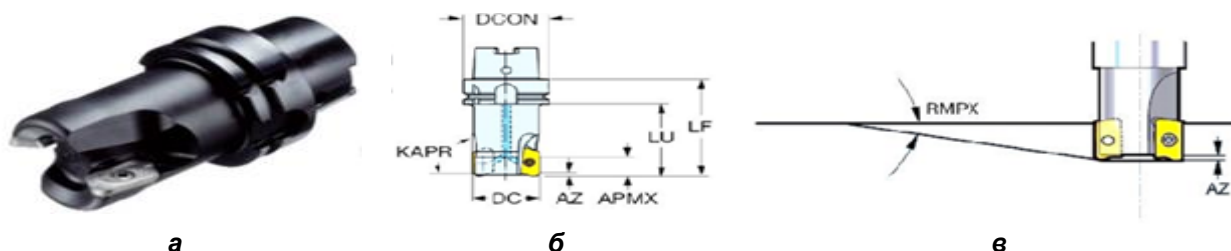


Рис. 1. Фреза для обработки уступов R790-025HA06S2-16L:
а – общий вид фрезы; б, в – основные геометрические характеристики фрезы

¹ Костин Павел Николаевич, магистрант Института авиационного машиностроения и транспорта, e-mail: kostin95pavel@mail.ru

Pavel N. Kostin, a postgraduate student of Aircraft and Machine Building and Transport Institute, e-mail: kostin95pavel@mail.ru

² Лукьянов Анатолий Валерианович, доктор технических наук, профессор кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств Института авиационного машиностроения и транспорта, e-mail: loukian@inbox.ru
Anatoly V. Lukyanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Aircraft and Machine Building and Transport Institute, e-mail: loukian@inbox.ru

Основные характеристики фрезы R790-025HA06S2-16L

Диаметр резания DC	25 мм
Максимальная глубина резания $APMX$	5 мм
Максимальная глубина врезания AZ	2 мм
Максимальный угол врезания $RPMX$	19°
Функциональная длина LF	81 мм
Рабочая длина LU	50 мм
Диаметр соединения $DCON$	63 мм
Число режущих элементов	2
Масса	1,283 кг
Материал корпуса	Сталь
Максимальный крутящий момент	3 Н·м
Максимальная частота вращения	20000 об./мин

Методика проведения натурального эксперимента по определению частот собственных колебаний выглядит следующим образом.

Фреза в горизонтальном положении помещается на поролоновую поверхность, выступающую как слой демпфирования внешней среды, что позволяет рассматривать частоту колебаний фрезы, не вступающей во взаимодействие с другими элементами, то есть определять ее собственные частоты колебания в незакрепленном состоянии.

На исследуемую фрезу производится установка миниатюрного датчика Model 3035BG, изображенного на рисунке 2, а. Способ закрепления датчика на фрезу – воск. Датчик 3035BG имеет диапазон рабочих частот от 0,5 до 10000 Гц, диапазон измерения виброускорения – от 1 до 100 м/с², его масса – 2,5 г, габаритные размеры (длина × ширина × высота) – 12,8 × 7,2 × 8,4 мм.

Для возбуждения колебаний ударным молотком Dynapulse, изображенным на рис. 2, б, наносится короткий единичный удар по инструменту.



Рис. 2. Оборудование для проведения эксперимента:
 а – миниатюрный датчик вибрации (Model 3035BG, Miniature Accelerometer);
 б – молоток для модального анализа с датчиком силы Dynapulse

Выходной электрический сигнал напряжения датчика преобразуется в цифровой сигнал в четырехканальном модуле NI9234 многоканальной виброаппаратуры фирмы National Instruments. Затем сигнал обрабатывается в программе LabView в модуле Sounds and Vibrations. Методика проведения натурального эксперимента приведена на рис. 3.

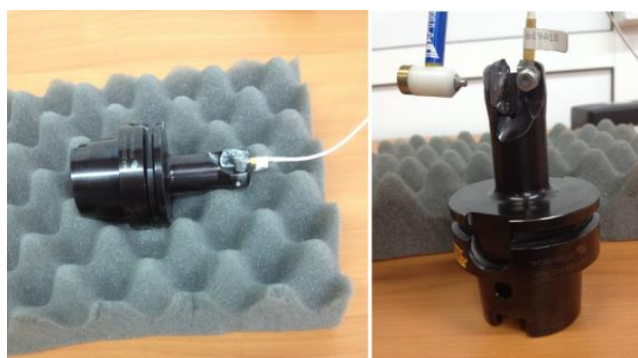


Рис. 3. Методика проведение эксперимента

Производится серия из нескольких одиночных ударов молотком по фрезе. График полученного временного сигнала виброускорения в момент нанесения удара молотком по фрезе изображен на рис. 4, а, частотный отклик на удар (частотная характеристика) – на рис. 4, б. На рис. 5, а приведен временной сигнал виброускорения при нанесении тройного удара по фрезе, а на рис. 5, б – спектр этого сигнала. Результаты проведения натурного эксперимента по определению частот колебаний фрезы R790-025HA06S2-16L сведены в табл. 2.

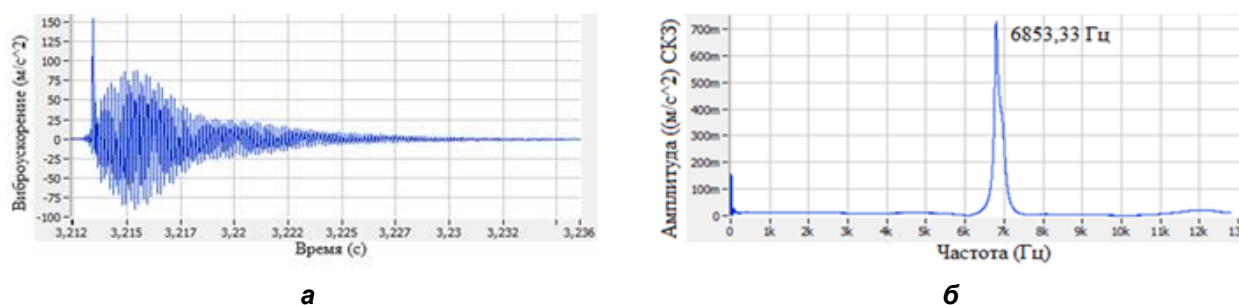


Рис. 4. Результаты эксперимента при одиночном импульсном ударе:
 а – временной сигнал виброускорения;
 б – частотная характеристика фрезы R790-025HA06S2-16L (Спектр)

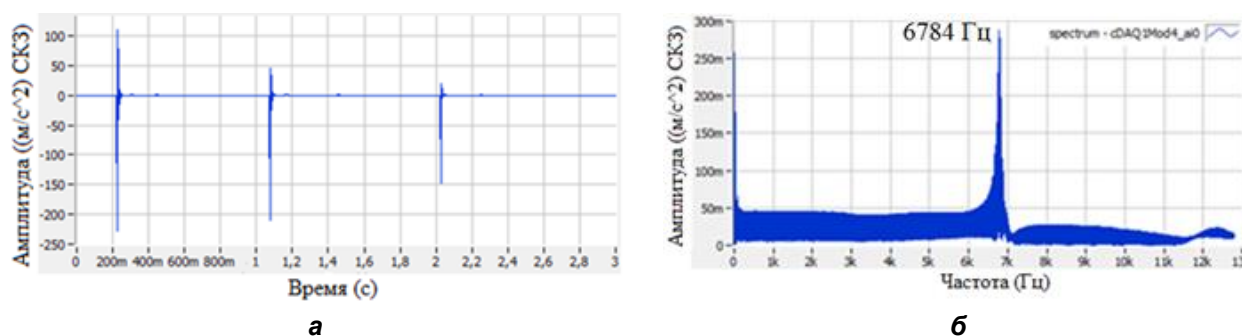


Рис. 5. Результаты эксперимента при тройном ударе:
 а – временной сигнал виброускорения фрезы R790-025HA06S2-16L при тройном ударе;
 б – частотная характеристика фрезы R790-025HA06S2-16L при тройном ударе

Таблица 2

Частоты фрезы R790-025HA06S2-16L при эксперименте

Номер удара	1	2	3	4	5	Тройной удар (6, 7, 8)
Частота собственных колебаний, Гц	6987	6967	6853	6794	6794	6784

В CAD-системе NX 10.0 создана упрощенная (отсутствуют сменные многогранные пластины) твердотельная модель фрезы. Результат моделирования приведен на рис. 6. Упрощение модели объясняется отсутствием необходимости моделировать сменные многогранные пластины вследствие их относительно малой массы и размеров в сравнении с фрезой. Ведь именно геометрия тела и его массовые характеристики (плотность и масса) оказывают наибольшее влияние на частоту собственных колебаний.

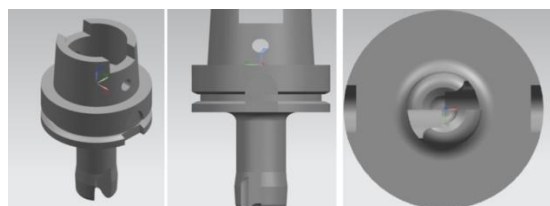


Рис. 6. Твердотельная модель фрезы R790, созданная в NX

Созданная в ПО NX твердотельная модель экспортируется в САЕ-систему Femap with NX Nastran, где твердотельная модель преобразуется в ее конечно-элементный вариант. Так как произ-

водитель фрезы не раскрывает точный материал корпуса фрезы, а указывает только его класс – сталь, было принято решение при задании свойств конечно-элементной модели использовать характеристики стали 45:

- модуль Юнга $E = 2 \cdot 10^5$ МПа;
- коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$;
- плотность $\rho = 7826$ кг/м³.

При разбиении модели на конечные элементы установлен автоматический способ триангуляции, в результате которой получен 68641 элемент. Размер тетраэдра определяется стороной куба, равной 2,31 мм, описывающего его. Количество узлов, связывающих элементы, – 103637.

В результате проведения частотного анализа конечно-элементной модели в САЕ-системе Femap with NX Nastran было получено семь форм колебаний с частотами, лежащими в диапазоне от 7212,96 до 23232,67 Гц. Полученные формы колебаний приведены на рис. 7 и 8.

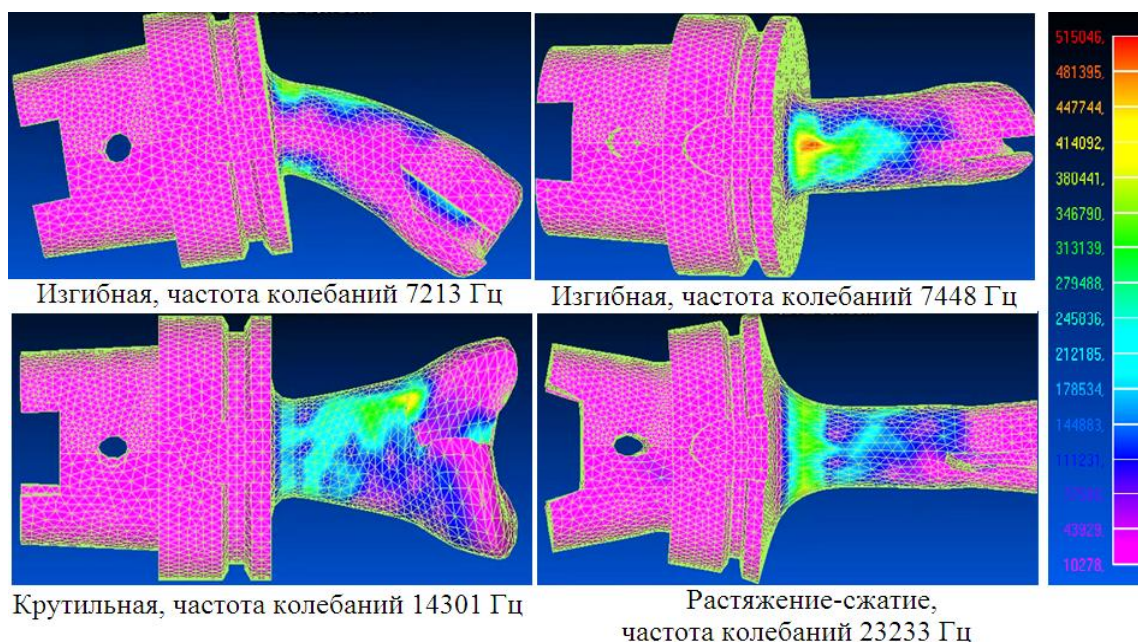


Рис. 7. Результаты конечно-элементного моделирования колебаний фрезы (первые формы колебаний)

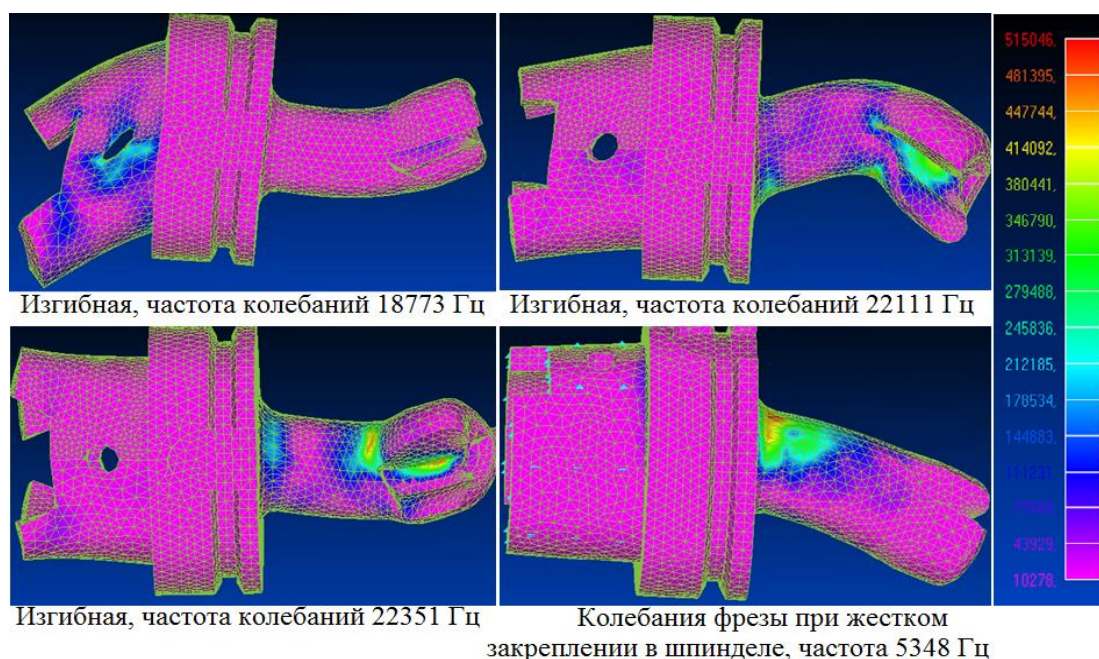


Рис. 8. Результаты конечно-элементного моделирования колебаний фрезы (вторые формы колебаний)

Также при конечно-элементном моделировании была рассмотрена контактная задача в случае закрепления фрезы в шпиндель станка. При этом в системе «шпиндель – инструмент» шпиндель станка рассматривался как абсолютно жесткий элемент. Поэтому при конечно-элементном моделировании выбран абсолютно жесткий тип заделки. Результат моделирования системы «шпиндель – инструмент» приведен на рис. 8.

Таким образом при моделировании были получены частоты для первой формы колебаний, равные:

- в направлении оси X: 7447,645 Гц;
- в направлении оси Y: 7212,96 Гц.

Частоты, определенные при конечно-элементном моделировании, отличаются по своему значению от частоты (средней арифметической от серии экспериментов), полученной при натурном эксперименте – 6853,33 Гц на 4,9–8,7 %, что говорит об адекватности построенной модели.

Была получена частота колебаний фрезы, жестко закрепленной в шпинделе станка. При конечно-элементном моделировании были также получены формы колебаний с частотами, которые невозможно было обнаружить при помощи использованного при натурном эксперименте оборудования, поскольку датчик 3035BG имеет предел измерения до 10000 Гц, а при конечно-элементном моделировании были получены частоты, выходящие за частотные ограничения датчика, что свидетельствует о целесообразности применения метода конечных элементов для решения задач по определению динамических характеристик фрез.

Библиографический список

1. Леонтьев Н.В. Применение системы ANSYS к решению задач модального и гармонического анализа. Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 2006. 102 с.
2. Петрухин В.В., Петрухин С.В. Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации. М.: Инфра-Инженерия, 2010. 176 с.