

УДК 621.914.1

Методика испытания конструкции фрез по критерию постоянства составляющей силы резания

Смирнов Алексей Александрович

smirnoff0320@mail.ru

SPIN-код: 6518-1646

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Представлена методика испытаний фрез — проведения эксперимента и автоматизированной обработки полученных данных для оценки стабильности составляющей силы резания в направлении, перпендикулярном направлению подачи. Использование данной методики позволяет кратко уменьшить время проведения и обработки данных эксперимента. В качестве критерия использована средняя величина абсолютного отклонения силы от средней линии. Описание методики приведено в общем виде с примерами из конкретной работы в рамках проведенного НИР для Томского инструментального завода. Методика ориентирована преимущественно на использование станков, оснащенных ЧПУ, и позволяет сравнивать различные конструкции фрез при работе по заданным условиям.

Ключевые слова: фрезерование, методика испытаний, испытания фрез

Mills design cutting force stability test method

Smirnov Aleksei Aleksandrovich

smirnoff0320@mail.ru

SPIN-code: 6518-1646

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. A cutting force normal to feed direction stability mill test method is presented. By means of its application experiments conducting and data processing time is reduced by far. For absolute deviation from mean line criteria is introduced. The method is described in general terms with real scientific research work for Tomsky Instrument conducted. The method is meant to be used with CNC milling machines and is capable of different mill designs with exact conditions comparison.

Keywords: milling, mill test

Введение. Целью исследования, выполненного по заказу Томского инструментального завода, была оценка стабильности составляющей силы резания в направлении, перпендикулярном направлению подачи при фрезеровании заготовки из Д16 концевыми фрезами диаметром 10 мм шести различных конструкций, заданных заводом. Подача и глубина фрезерования были постоянными — 0,2 мм/зуб и 2 мм соответственно, изменялись частота вращения шпинделя — от 4000 до 8000 об/мин и ширина фрезерования — 9, 18, 15 и 21 мм. Таким образом есть 3 варьируемых параметра: частота вращения (в работе назначалась с шагом 500 об/мин, 9 значений), конструкция фрезы

(6 конструкций) и ширина фрезерования (3 значения). При условии повторения одного прохода с постоянными параметрами как минимум 5 раз для возможности проверки на грубые ошибки в сумме получается 810 проходов, соответственно проведение испытаний, аналогичных [1, 2] потребует больших временных затрат. С целью сокращения времени проведения экспериментов и объема расходуемого материала была разработана специальная методика, ориентированная на применение на фрезерном станке с ЧПУ. Для измерения составляющих силы резания используется измерительный стенд кафедры [3]. Для оценки стабильности процесса фрезерования существует несколько критериев, например по постоянству сечения срезаемого слоя [4], или по равномерности усилия [5]. В работе оцениваться будет равномерность усилия резания в направлении, перпендикулярном подаче.

Основа методики. Заготовка. В целях совместного проведения нескольких проходов с разными параметрами заготовка разбивается на несколько участков, в пределах каждого из которых частота вращения шпинделя и подача постоянны. Каждый участок представляет из себя три выступа разной высоты. Так как при планировании эксперимента следует учитывать возможное влияние предыдущего прохода на последующие последовательность выступов на разных участках должна отличаться

Размер участка определяется из количества уступов, их минимальной ширины и расстояния между ними. Расстояние между уступами определяется только размерами имеющегося в распоряжении инструмента для изготовления заготовки, например, концевая фреза диаметром 8 мм позволит вырезать паз 8 мм и более. Расстояние между участками задается исходя из скорости выхода станка на рабочие режимы. Вид заготовки представлен на рис. 1.

Схема обработки. Проведение эксперимента. В ходе одного эксперимента фреза обходит заготовку по прямоугольному контуру с постоянной глубиной фрезерования, как показано на рис. 1, с разными режимами на каждом из участков. По тому же принципу, что и для ширины фрезерования, для исключения влияния обработки предыдущего участка на следующий требуется перемешать возможные наборы режимных параметров в пределах заданного количества обходов заготовки, т. е. на разных обходах на одном участке заготовки могут быть разные режимы. При этом нужно опираться на минимально необходимое количество повторений измерений с одинаковыми параметрами (в работе было принято 5), например, для возможности отсеивания грубых ошибок.

Так, в работе рассматривалось 9 частот вращения шпинделя. Их необходимо было распределить между шестью участками заготовки на разных обходах заготовки случайным образом, и чтобы при этом имелось минимум по 5 повторений. Для решения этой задачи была разработана программа для перебора возможных вариантов. Согласно результатам работы программы, при одинаковом числе повторений всех параметров эксперимента требуется 9 обходов. При этом каждый режим будет повторяться 6 раз. План эксперимента в общем виде представлен в табл. 1, где n_1 – n_9 — различные режимы резания. Соответствие реальным режимным параметрам представлено в табл. 2.



Таблица 1

Режимы на разных проходах и участках

№ прохода	Режимы на участках					
	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6	6–1
1	n1	n2	n3	n4	n5	n6
2	n4	n1	n5	n3	n7	n2
3	n6	n5	n2	n7	n4	n3
4	n8	n9	n1	n6	n3	n4
5	n2	n8	n9	n1	n6	n5
6	n9	n4	n8	n2	n1	n7
7	n5	n3	n7	n8	n2	n9
8	n3	n7	n6	n9	n8	n1
9	n7	n6	n4	n5	n9	n8

Таблица 2

Соответствие режимов обозначениям

[illegible]

Результаты измерения. Обработка результатов эксперимента. Результатом измерения силы резания при фрезеровании является график, представленный на рис. 2. На графике четко различимы шесть зон, соответствующих шести участкам заготовки. В пределах каждой зоны есть три выступа, соответствующие трем уступам в пределах определенного участка заготовки. Оценивать равномерность усилия резания требуется именно в пределах этих выступов.

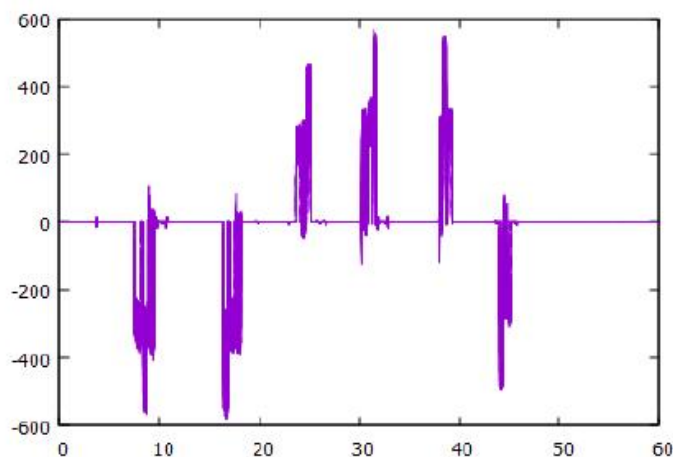


Рис. 2. График, полученный при одном обходе фрезы и его обработки

Для обработки полученного графика была разработана программа. Программа позволяет открыть текстовый файл с данными графика, перемещать и масштабировать его, выбрать две точки — начала и конца анализа и произвести расчет. Оценку равномерности предлагается вести по среднему арифметическому из абсолютных значений относительно средней линии графика (1):

$$R_F = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y - (kx_i + b)|. \quad (1)$$

Интерфейс программы представлен на рис. 3.

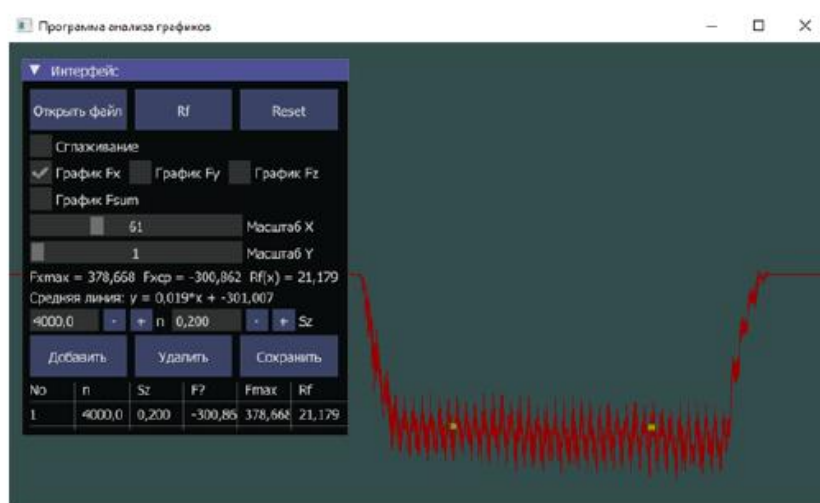


Рис. 3. Интерфейс программы

По полученным в ходе работы программы величинам R_f строятся гистограммы для сравнения конструкций фрез по критерию равномерности силы. В качестве примера приведены результаты для двух фрез (рис. 4, 5), где число на столбце гистограммы — номер эксперимента. Как видно из гистограмм, фреза первой конструкции обладает меньшим суммарным отклонением от равномерности усилия.

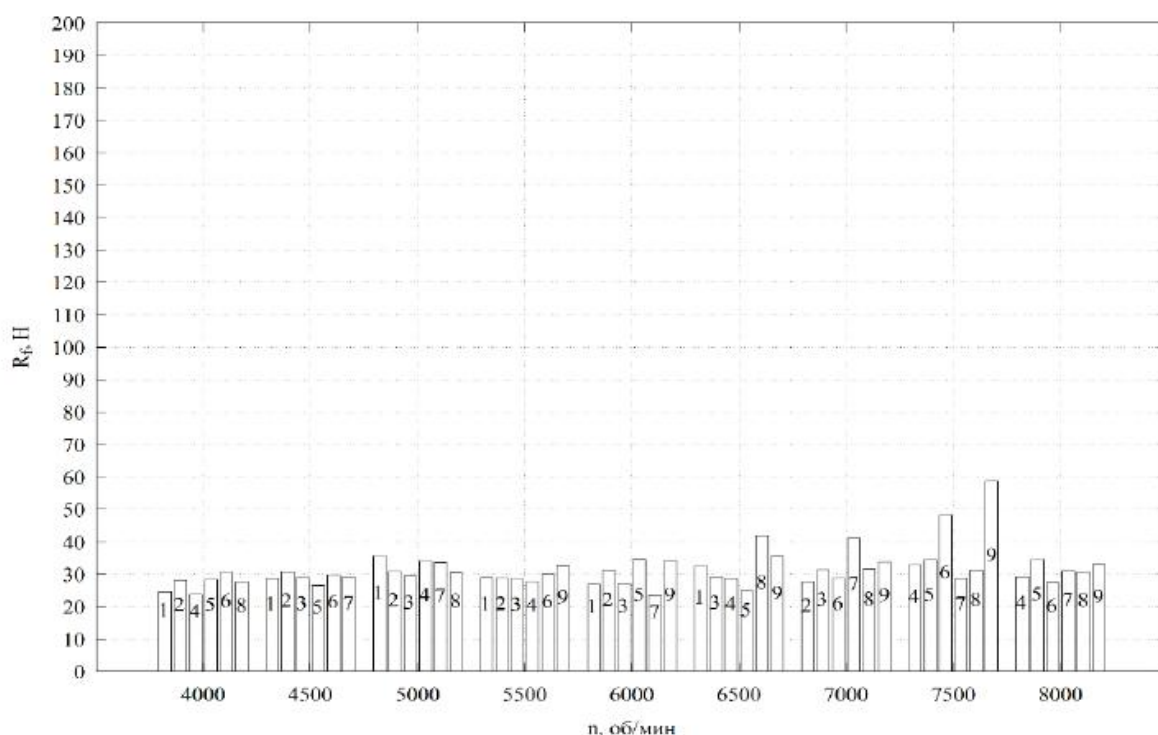


Рис. 4. Отклонение от равномерности усилия для фрезы первой конструкции

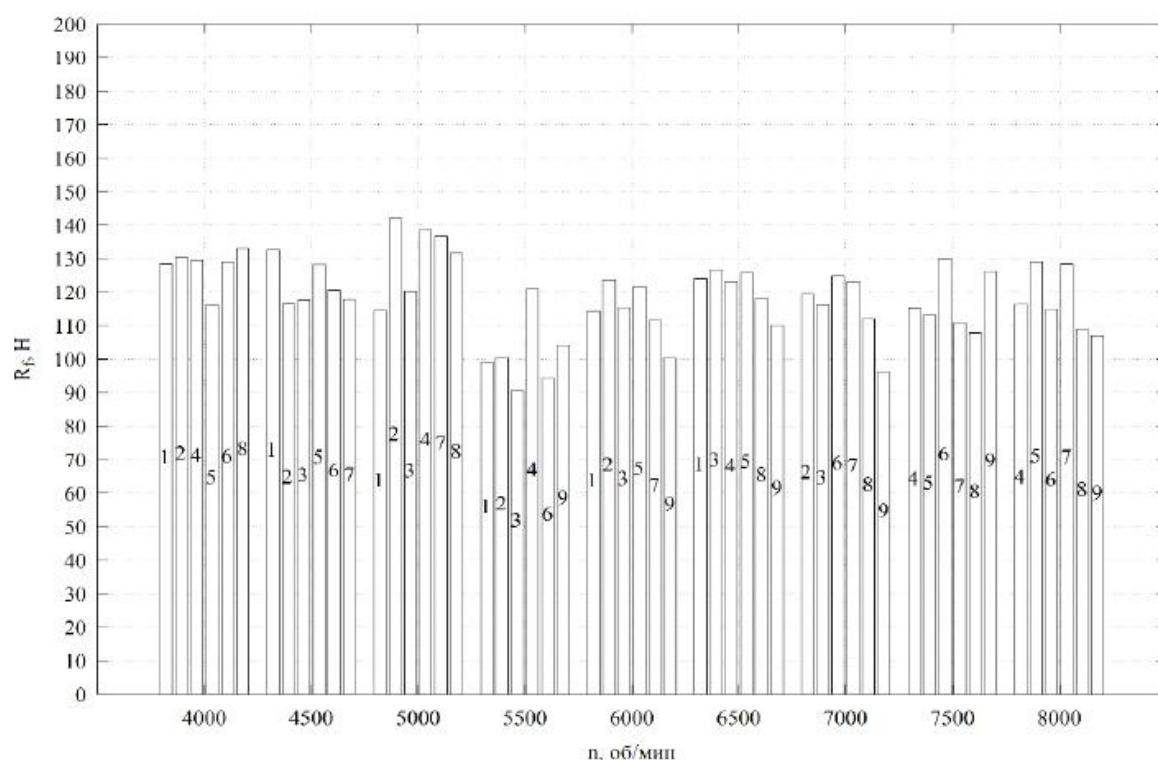


Рис. 5. Отклонение от равномерности усилия для фрезы второй конструкции

Заключение. Разработана методика, позволяющая кратно сократить количество экспериментальных проходов (на примере проведенной работы — в 15 раз) и соразмерно упростить обработку результатов с исключением взаимного влияния экспериментальных проходов и исключением систематических ошибок. Проведена апробация методики на фрезах, предоставленных Томским инструментальным заводом в целях оценки оптимальности их конструкции.

Список источников

- [1] Васильев С.Г., Виноградов Д.В., Мальков О.В., Малькова Л.Д. *Измерение физических величин при исследовании процессов механической обработки. Состояние и проблемы измерений*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000, с. 84–85.
- [2] Шуляк Я.И., Беляев М.П. Метод испытаний спиральных сверл для листового материала. *XLVI Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королева и других выдающихся отечественных ученых-пионеров освоения космического пространства: сб. тез.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022, т. 4, с. 220–222.
- [3] Древаль А.Е., Васильев С.Г., Виноградов Д.В., Мальков О.В. Контрольно-измерительный диагностический стенд для экспериментальных исследований в технологии механической обработки. *Наука и образование*, 2014, № 12, с. 22–58. <https://doi.org/10.7463/1214.0749286>
- [4] Карельский А.С., Мальков О.В. Определение равномерности резбифрезерования. *Будущее машиностроения России. 11-я Всерос. конф. молодых ученых и специалистов (с междунар. уч.): сб. докл.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018, с. 19–22.
- [5] Адмакин М.А., Баранов М.А., Быченко Д.А. Колебания силы резания при фрезеровании концевыми фрезами. *Научный потенциал молодежи и технический прогресс: сб. тр.* Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский филиал Научно-исследовательского центра «МашиноСтроение», 2019, с. 21–23. <https://doi.org/10.26160/2618-7493-2019-2-21-23>