

## Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344  
ISI (Dubai, UAE) = 0.829  
GIF (Australia) = 0.564  
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912  
ПИИЦ (Russia) = 0.234  
ESJI (KZ) = 1.042  
SJIF (Morocco) = 2.031

ICV (Poland) = 6.630  
PIF (India) = 1.940  
IBI (India) = 4.260

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

## International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2016 Issue: 6 Volume: 38

Published: 30.06.2016 <http://T-Science.org>

**Denis Chemezov**

Master of Engineering and Technology,  
Corresponding Member of International Academy of  
Theoretical and Applied Sciences, Lecturer of Vladimir  
Industrial College, Russian Federation  
[chemezov-da@yandex.ru](mailto:chemezov-da@yandex.ru)

**Svetlana Tyurina**

Lecturer of Vladimir Industrial College,  
Russian Federation  
[swetl.tyurina2015@yandex.ru](mailto:swetl.tyurina2015@yandex.ru)

SECTION 7. Mechanics and machine construction.

## THE RESULTANT CUTTING FORCE DURING THE CYLINDRICAL MILLING

**Abstract:** The character of the change of the resultant cutting force in depending from the length of milling of the flat surface of the cylindrical milling cutter with helical cutting teeth is considered.

**Key words:** a resultant cutting force, a length of milling, a cylindrical milling cutter, a billet.

**Language:** Russian

**Citation:** Chemezov DA, Tyurina S (2016) THE RESULTANT CUTTING FORCE DURING THE CYLINDRICAL MILLING. ISJ Theoretical & Applied Science, 06 (38): 78-81.

**Soi:** <http://s-o-i.org/1.1/TAS-06-38-16> **Doi:**  <http://dx.doi.org/10.15863/TAS.2016.06.38.16>

### РАВНОДЕЙСТВУЮЩАЯ СИЛА РЕЗАНИЯ ПРИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

**Аннотация:** Рассмотрен характер изменения равнодействующей силы резания в зависимости от длины фрезерования плоской поверхности цилиндрической фрезой с винтовыми режущими зубьями.

**Ключевые слова:** равнодействующая сила резания, длина фрезерования, цилиндрическая фреза, заготовка.

#### Введение

Процесс резания при цилиндрическом фрезеровании имеет циклический характер. На контактные поверхности режущего инструмента и заготовки действуют переменные силы, приводящие к отделению слоев (равных глубине резания) обрабатываемого материала: окружная сила (или сила резания), направленная по касательной и радиальная сила, направленная по радиусу [1]. Равнодействующая [2] окружной и радиальной сил равна геометрической сумме указанных сил и в свою очередь раскладывается по правилу параллелограмма [3] на две составляющие – горизонтальную и вертикальную. Горизонтальная составляющая силы резания при встречном фрезеровании представляет собой усилие, которое необходимо приложить к столу станка для осуществления рабочей подачи. Вертикальная составляющая силы резания стремится поднять закрепленную в приспособлении заготовку вместе со столом и консолью станка, тем самым вызывая вибрации оборудования [4].

Для снижения дисбаланса действующих сил, при фрезеровании плоской поверхности,

цилиндрические фрезы изготавливают с винтовыми режущими зубьями.

Расчет сил резания при цилиндрическом фрезеровании по аналитическим формулам [5, 402 – 424] и трехмерное моделирование процесса обработки плоской поверхности цилиндрической фрезой позволят получить полную картину изменения величины равнодействующей силы резания и произвести корректировку выбранных режимов резания.

#### Материалы и методы исследования

Исследовался процесс фрезерования (с постоянной глубиной резания) плоской поверхности цилиндрической фрезой с винтовыми режущими зубьями и, в частности, изменения величины равнодействующей силы резания, посредством компьютерных программ инженерного анализа.

Режимы резания, геометрические параметры цилиндрической фрезы и обрабатываемой заготовки и другие исходные данные процесса фрезерования представлены в работе [6]:

- длина  $L_z$  × ширина  $B$  × высота  $H$  обрабатываемой заготовки – 50 × 50 × 20 мм; наружный диаметр фрезы  $d_\phi$  – 70 мм; длина



## Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	РИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

режущей части фрезы  $l_\phi - 52$  мм; общая длина фрезы  $L_\phi - 60$  мм; передний угол режущего зуба фрезы  $\gamma - 10$  град.; задний угол режущего зуба фрезы  $\alpha - 10$  град.; угол наклона винтовой режущей кромки фрезы  $\omega - 36$  град.; ширина ленточки на задней поверхности режущего зуба фрезы  $f - 1$  мм; количество режущих зубьев фрезы – 10 шт.

- глубина резания  $t - 2$  мм; частота вращения фрезы  $n - 2865$  мин<sup>-1</sup>; скорость подачи режущего инструмента  $s - 1000$  мм/с (величина скорости подачи выбиралась при условии непродолжительного времени обработки).

- массовая плотность для материалов фрезы и заготовки  $\rho - 7850$  кг/м<sup>3</sup>; модуль Юнга для материалов фрезы и заготовки  $E - 200$  ГПа; коэффициент Пуассона для материалов фрезы и

заготовки  $\mu - 0.3$ ; предел текучести для материала заготовки  $\sigma_T - 250$  МПа; касательный модуль для материала заготовки  $E_t - 960$  МПа.

Моделирование процесса цилиндрического фрезерования и последующая обработка результатов (графическое изображение) выполнялись в программе LS-DYNA. Регрессионный анализ стабильности процесса фрезерования осуществлялся в Excel – приложении пакета Microsoft Office.

### Результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлен характер изменения величины равнодействующей силы резания от длины фрезерования плоской поверхности цилиндрической фрезой с винтовыми режущими зубьями.

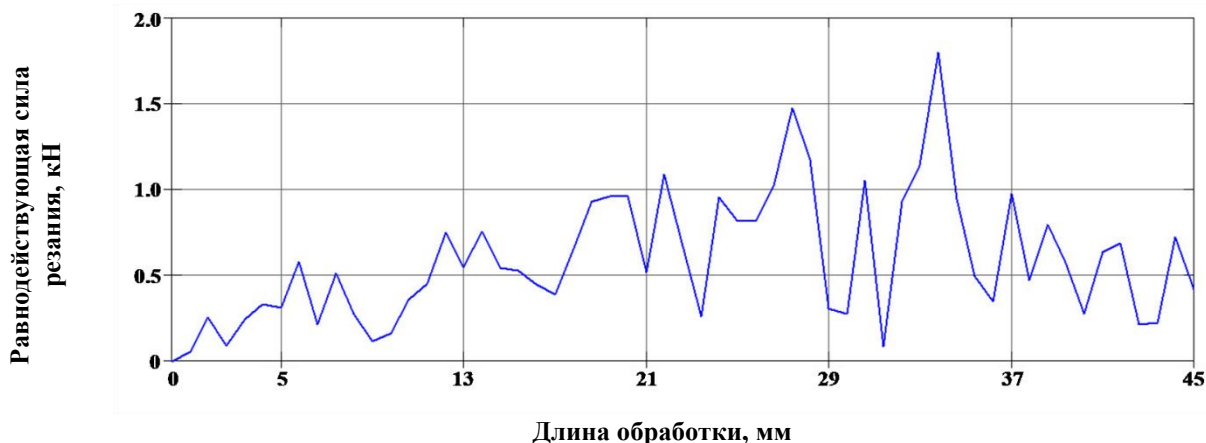


Рисунок 1 – Зависимость величины равнодействующей силы резания при цилиндрическом фрезеровании от длины обработки.

Значения равнодействующей силы по всей длине фрезерования изменяется периодически. Вследствие переменных толщины и ширины среза при цилиндрическом фрезеровании на графике можно отметить начальные точки возрастания функции (характерны для момента врезания  $n$ -го режущего зуба цилиндрической фрезы при минимальной толщине среза) и конечные точки возрастания функции (характерны для момента выхода  $m$ -го режущего зуба цилиндрической фрезы из материала заготовки при максимальной толщине среза). При цилиндрическом фрезеровании одновременно выполняют процесс резания несколько зубьев фрезы (их количество будет зависеть от глубины резания, наружного диаметра и общего количества зубьев режущего инструмента).

Для проведения статистического анализа результатов расчета проведем усредненные линии по максимальным и минимальным значениям равнодействующей силы резания. Средние значения наибольшей и наименьшей

равнодействующей силы резания при цилиндрическом фрезеровании и линейная аппроксимация полученных зависимостей представлены на рис. 2.

На графике, рядом с соответствующими зависимостями, показаны уравнения регрессии  $F_{max} = 0.0164L + 0.4416$  и  $F_{min} = 0.0058L + 0.0527$ , характеризующие изменения значений наибольшей и наименьшей равнодействующей силы резания при фрезеровании. В уравнениях  $F_{max}$  и  $F_{min}$  – наибольшая и наименьшая равнодействующая сила резания при фрезеровании соответственно, кН;  $L$  – длина обработки, мм.

Линии тренда (на графике прямые линии) позволяют графически отобразить направление изменения ряда данных путем аппроксимации значений [7].

Степень соответствия линий тренда расчетным зависимостям (остаточное квадратичное отклонение) характеризуется коэффициентом достоверности аппроксимации  $R^2$ . Чем больше значение  $R^2$  (в диапазоне от 0 до

## Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

1), тем точнее линия тренда описывает изменения  $F_{max}$  и  $F_{min}$  от длины фрезерования. Сравнив значения двух коэффициентов можно сказать, что при заданных режимах фрезерования и геометрических размерах цилиндрической фрезы

процесс резания происходит с некоторыми отклонениями (возрастание и убывание  $F_{max}$  по всей длине обработки). Среднее значение  $R^2$  составляет 0.4547, что говорит о нестабильности процесса цилиндрического фрезерования.

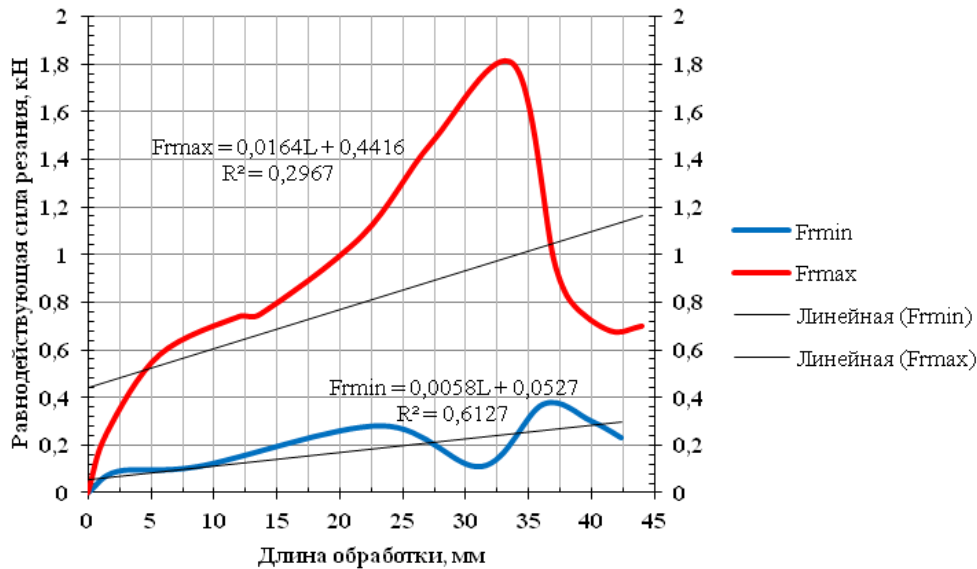


Рисунок 2 – Средние значения наибольшей и наименьшей равнодействующей силы резания при фрезеровании.

Изменение равнодействующей силы резания подчиняется некоторому циклическому закону, а это значит, что сила имеет период  $T$ , и записать функцию можно воспользовавшись рядом Фурье [8] (если функция  $F(L)$  непрерывна или частично непрерывна)

$$F(L) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos \frac{n\pi L}{T} + b_n \sin \frac{n\pi L}{T} \right), \quad (1)$$

где  $n$  – целое положительное число;  $a_0$ ,  $a_n$ ,  $b_n$  – коэффициенты Фурье, находятся как

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-T}^T F(L) dL,$$

$$a_n = \frac{1}{T} \int_{-T}^T F(L) \cos \frac{n\pi L}{T} dL,$$

$$b_n = \frac{1}{T} \int_{-T}^T F(L) \sin \frac{n\pi L}{T} dL.$$

За период  $T$  принимается изменение равнодействующей силы резания от минимального до максимального значений при снятии одного слоя материала.

### Заключение

В результате проведенного анализа процесса фрезерования цилиндрической фрезой с винтовыми режущими зубьями можно сделать следующие выводы:

1. Цикл резания материала заготовки при цилиндрическом фрезеровании характеризуется постепенным увеличением величины равнодействующей силы (увеличивается ширина среза) в зависимости от длины обработки.

2. Перед максимальным значением равнодействующей силы, сила сначала принимает минимальное значение, т. е. происходит большой скачок силы, что влияет на качество обработки поверхности (образуются ступени).

3. Сила резания оказывает воздействие на состояние режущих зубьев (затупление, выкрашивание). Поскольку эта сила неравномерная, то процесс износа цилиндрической фрезы тоже неравномерный.

### References:

## Impact Factor:

<b>ISRA (India)</b>	<b>= 1.344</b>	<b>SIS (USA)</b>	<b>= 0.912</b>	<b>ICV (Poland)</b>	<b>= 6.630</b>
<b>ISI (Dubai, UAE)</b>	<b>= 0.829</b>	<b>ПИИЦ (Russia)</b>	<b>= 0.234</b>	<b>PIF (India)</b>	<b>= 1.940</b>
<b>GIF (Australia)</b>	<b>= 0.564</b>	<b>ESJI (KZ)</b>	<b>= 1.042</b>	<b>IBI (India)</b>	<b>= 4.260</b>
<b>JIF</b>	<b>= 1.500</b>	<b>SJIF (Morocco)</b>	<b>= 2.031</b>		

- (2016) Sila rezaniya pri frezerovanii. Moschnost' rezaniya. Available: <http://www.metalcutting.ru/content/sila-rezaniya-pri-frezerovanii-moshchnost-rezaniya> (Accessed: 23.06.2016).
- (2016) Ravnostoyannyye sila. Available: [http://fizmat.by/kursy/dinamika/ravnostoyannyye\\_sila](http://fizmat.by/kursy/dinamika/ravnostoyannyye_sila) (Accessed: 23.06.2016).
- (2016) Parallelogram sil. Available: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Параллелограмм\\_сил](https://ru.wikipedia.org/wiki/Параллелограмм_сил) (Accessed: 23.06.2016).
- (2016) Sily, vznikayushchie pri frezerovanii. Available: [http://dlya-mashinostroitelja.info/2010/07/sily\\_vznikayushchie\\_pri\\_frezerovanii/](http://dlya-mashinostroitelja.info/2010/07/sily_vznikayushchie_pri_frezerovanii/) (Accessed: 23.06.2016).
- Dalsky AM, Suslov AG, Kosilova AG, Mescheryakov RK (2001) Handbook for technologist mechanical engineer. Vol. 2. M.: Engineering, 2001. – 944 p.
- Chemezov D, Palev N (2016) The simulation of cutting process of the cylindrical milling cutter. ISJ Theoretical & Applied Science, 06 (38): 56-67.
- Glushakov SV, Suryadny AS (2009) Microsoft Excel 2007. M.: AST: AST MOSCOW. – 512 p.
- Hardy GG, Rogozinsky VV (2009) Fourier series. Publ.: "Librokom". – 152 p.

