

## ИССЛЕДОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ КОНТУРНОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ НА УЧАСТКАХ РАЗГОНА И ТОРМОЖЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА

*Малышев Е.Н., Колесников И.А.*

**Ключевые слова:** концевая фреза, шероховатость, контурное фрезерование, рабочая подача.  
**Аннотация.** В статье рассматривается зависимость величины шероховатости от работы торцевой частью концевых фрез при обработке криволинейных контуров на участках разгона и торможения фрез на станках с числовым программным управлением. Анализируются результаты проведенного практического эксперимента; проводится сравнение результатов практических исследований и теоретических предположений; формулируется вывод по проведенной работе.

## RESEARCH OF SURFACE ROUGHNESS AT CONTOUR MILLING

*Malyshev E.N., Kolesnikov I.A.*

**Keywords:** end mill, roughness, contour milling, work feed.

**Abstract.** The article discusses the dependence of the roughness value on the work of the end part of the end mills when processing curved contours in the areas of acceleration and deceleration of mills on numerically controlled machines. The results of a practical experiment are analyzed; compares the results of practical research and theoretical assumptions; the conclusion on the work done is formulated.

Для обработки контуров различной конфигурации в машиностроении применяют концевые фрезы, работающие цилиндрической поверхностью [1]. Их применяют и для фрезерования плоскостей, обрабатываемых торцевой частью фрезы.

При обработке плоскостей, сопряженных с криволинейными контурами, на них возникает неодинаковость штрихов шероховатости от работы торцевой частью фрезы. При обходе контура в месте скругления, на участке плоской поверхности, находящейся ближе к нему, происходит учащенное появление следов шероховатости, чем на участке, находящемся дальше от него. Данное явление обусловлено более частым касанием зубьями фрезы плоской поверхности в таких местах и является рассматриваемой в данной статье проблемой [2,3].

Для изучения теоретически сформулированной проблемы проводился практический эксперимент на компактном вертикальном обрабатывающем центре MiniMill450. Используемый инструмент – концевая фреза Sandvik Coromant (CoroMill® 390) со сменными твердосплавными пластинами с механическим креплением R390-040A32-11H. В качестве исходной заготовки использовалась квадратная пластина 100x100x6 мм из стали 45. Эксперимент проводился в три этапа с различающейся подачей на зуб фрезы.

Для каждого этапа также были установлены и постоянные режимы резания (глубина резания  $t = 0,3$  мм; число оборотов шпинделя  $n = 355$  об/мин, радиусы скруглений – 41 и 81 мм) (рис. 1).

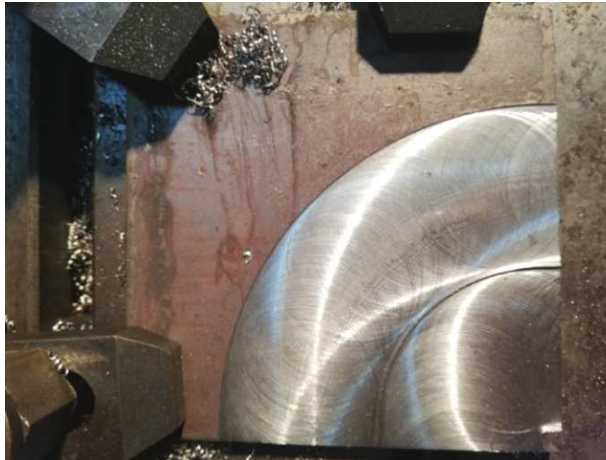


Рис. 1. Заготовка после обработки

После каждого этапа обработки замерялась полученная шероховатость в шести точках, при этом в каждой точке шероховатость измерялась по три раза (рис. 2, табл. 1).

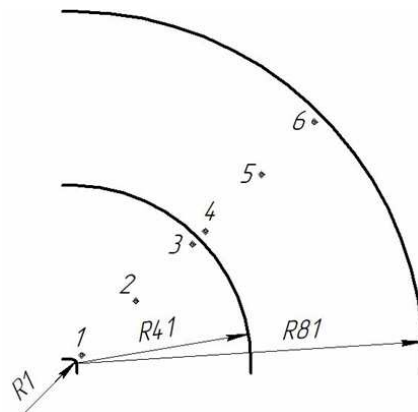


Рис. 2. Точки измерения шероховатости

Табл. 1. Результаты замеров шероховатости  $R_a$  (мкм) в контрольных точках

N точки	$S_z = 0,048$ мм/зуб			$S_z = 0,072$ мм/зуб			$S_z = 0,096$ мм/зуб		
1	4,88	4,22	4,18	4,8	4,05	4,01	7,4	6,39	8,17
2	3,59	4,37	3,94	5,91	5,8	5,89	13,44	13,53	13,05
3	3,61	3,04	3,87	5,21	4,88	4,85	8,59	9,07	7,72
4	4,03	3,97	3,37	4,12	4,13	4,72	6,22	6,3	5,56
5	5,35	4,22	5,15	5,57	5,39	5,38	7,34	6,87	6,96
6	5,07	4,56	5,61	6,09	6,01	5,71	7,58	8,16	8

Исходя из полученных результатов измерений, было замечено, что шероховатость в точках, находящихся ближе к контуру, в основном меньше, чем в точках, которые находятся дальше от него. Это подтверждает наличие сформулированной выше проблемы на практике [4].

Для подтверждения результатов проведенного практического эксперимента по обработке заготовки и их сравнения с теоретическими предположениями был проведен дополнительный практический эксперимент (рис. 3).

Цель его проведения: исследование зависимости получаемой шероховатости от скорости движения инструмента в момент его разгона и торможения.

Данный эксперимент также, как и первый проводился на станке MiniMill 450. На столе станка был закреплен лист миллиметровки. В качестве «инструмента» использовался маркер, закрепленный в цанговом патроне.

При первом получении траектории выбиралась рабочая подача 100 мм/мин. С помощью монитора станка было замечено, что на участках смены направления траектории, скорость движения инструмента кратковременно (на доли секунды) падала, а затем вновь возвращалась к заданной. Данное явление помогает в ответе на сформулированную теоретическую проблему.

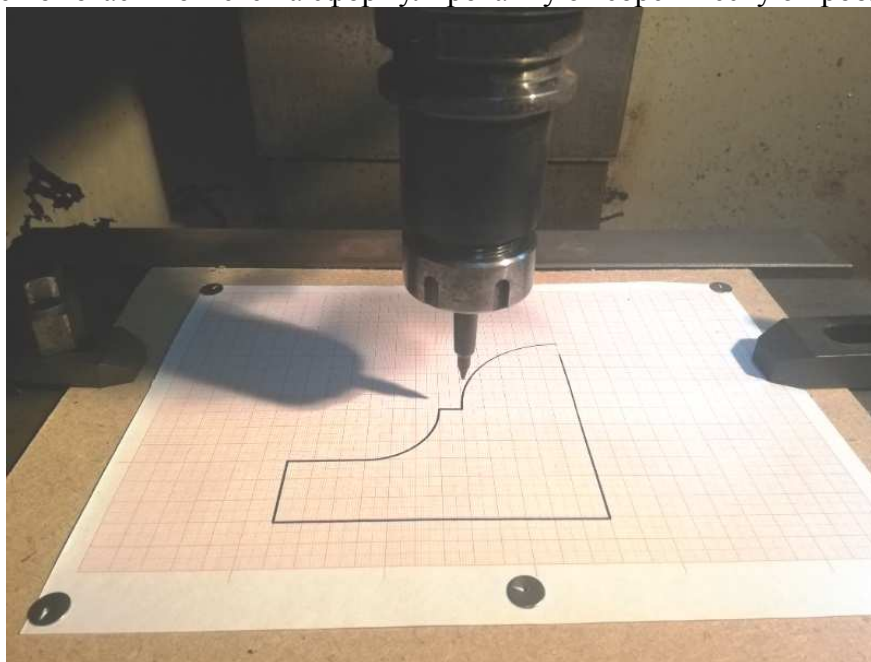


Рис. 3. Процесс проведения эксперимента

С помощью снятого видео проведения эксперимента и просмотра его в скорости 0,25x, с монитора станка были сняты показания разгона «инструмента» на некоторых участках полученной траектории (рис. 4). Полученные результаты отображаются в виде графиков (рис. 5, 6).

Для подтверждения полученных результатов эксперимент был повторен, но уже с рабочей подачей 200 мм/мин.

Из-за увеличения рабочей подачи, продолжительность разгона увеличилась, что видно из полученных результатов эксперимента.

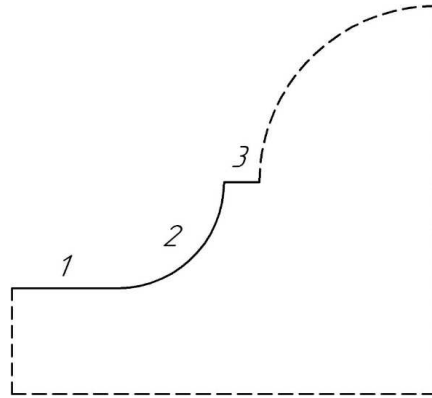


Рис. 4. Рассматриваемые участки траектории

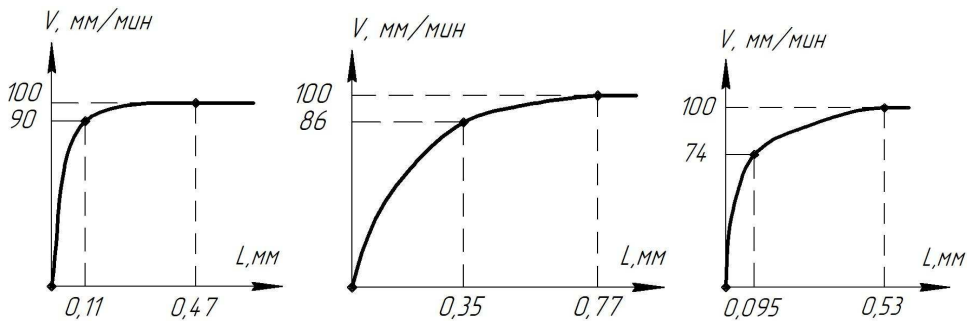


Рис. 5. Разгон инструмента для участков №1,2,3 соответственно (рабочая подача 100 мм/мин)

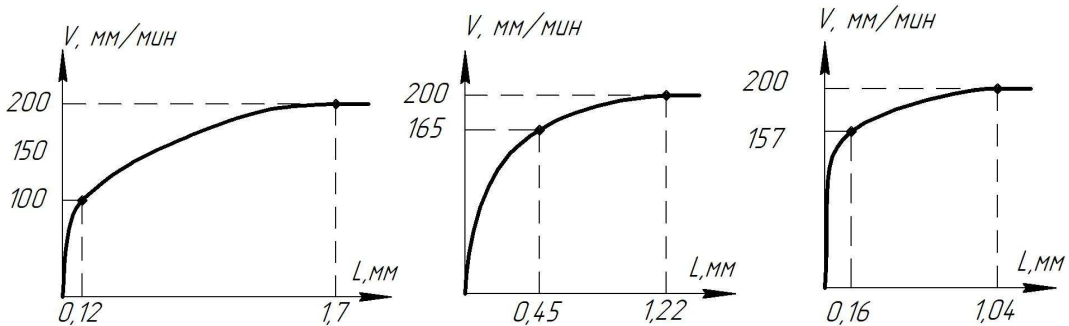


Рис. 6. Разгон инструмента для участков №1,2,3 соответственно (рабочая подача 200 мм/мин)

**Вывод:** установлено, что ускорение инструмента происходит на очень малом участке траектории и является одним из факторов формирования микрорельефа обрабатываемой поверхности. Тем не менее, ввиду малых значений времени и расстояния разгона, данный фактор может быть исключен на практике.

### Список литературы

1. Вэй Пью Маунг. Технологические особенности фрезерования на станках с ЧПУ с использованием концевых фрез / Вэй Пью Маунг, В.Н. Агеева // Сб. трудов семинара «Современные технологии в горном машиностроении». М.: МГГУ, 2013. С. 278-282.
2. Savas V., Ozay C. Analysis of the surface roughness of tangential turn-milling for machining with end milling cutter // Journal of Materials Processing Technology. – 2007. – Vol. 186. – №1-3. – P. 279-283.
3. Bruni C. et al. Surface roughness modelling in finish face milling under MQL and dry cutting conditions // International Journal of Material Forming. – 2008. – Vol. 1. – №1. – P. 503-506.
4. Малышев Е.Н., Колесников И.А. Исследование шероховатости поверхности при контурном фрезеровании // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2019. – № 15. – P. 39-42.

### References

1. Wei Pio Maung. Technological features of milling on CNC machines using end mills / Wei Pio Maung, V.N. Ageeva // Comp. proceedings of the seminar "Modern technologies in mining engineering". M.: MSMU, 2013. P. 278-282.
2. Savas V., Ozay C. Analysis of the surface roughness of tangential turn-milling for machining with end milling cutter // Journal of Materials Processing Technology. – 2007. – Vol. 186. – №1-3. – P. 279-283.
3. Bruni C. et al. Surface roughness modelling in finish face milling under MQL and dry cutting conditions // International Journal of Material Forming. – 2008. – Vol. 1. – №1. – P. 503-506.
4. Malyshev E.N., Kolesnikov I.A. Research of surface roughness at contour milling // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2019. – № 15. – P. 39-42.

<b>Малышев Евгений Николаевич</b> – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Машиностроительные технологии», m1@bmstu-kaluga.ru	<b>Malyshev Evgeny Nikolaevich</b> – candidate of technical sciences, associate professor, head of the Department of "Engineering technology", m1@bmstu-kaluga.ru
<b>Колесников Игорь Алексеевич</b> – студент, koles.igor96@gmail.com	<b>Kolesnikov Igor Alekseevich</b> – student, koles.igor96@gmail.com
Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана – Калужский филиал, г. Калуга, Российская Федерация	Bauman Moscow State Technical University – Kaluga branch, Kaluga, Russian Federation

*Received 29.01.2020*