

## АНАЛИЗ ДИАПАЗОНОВ ИЗМЕНЕНИЯ РАБОЧИХ УГЛОВ РЕЖУЩЕГО ЛЕЗВИЯ ЗУБА РОТАЦИОННОЙ ФРЕЗЫ

*Сметанин С.Д., Шаламов В.Г.*

**Ключевые слова:** ротационное фрезерование, оптимизация, режущее лезвие, диапазон изменения параметров.

**Аннотация.** Показана многовариантность решений и неоднозначность процесса управления операцией ротационного фрезерования. Предложено решение с использованием функции желательности Харрингтона. Проанализировано изменение параметров оптимизации, в качестве которых приняты рабочие углы инструмента. Подобраны теоретические законы распределения, соответствующие эмпирическим данным.

## WORKING ANGLES RANGES ANALYSIS OF A CUTTING BLADE TOOTH OF THE ROTARY MILL

*Smetanin S.D., Shalamov V.G.*

**Keywords:** rotary milling, optimization, cutting blade, parameter range.

**Abstract.** The multivariance of decisions and the ambiguity of the control process of the rotary milling operation are shown. A solution is proposed using the Harrington desirability function. Analyzed the change in optimization parameters, which are taken as the working angles of the tool. Selected theoretical laws of distribution, corresponding to the empirical data.

В настоящее время большое внимание уделяется созданию комбинированных материалов, содержащих диспергированные волокна или твердые частицы. У данных материалов в металлическую или полимерную матрицу введены высокопрочные волокна, порошки или нитевидные монокристаллы из стекла, углерода, бора, бериллия, стали и др. материалов. В результате такого комбинирования повышенная прочность сочетается с высоким модулем упругости и небольшой плотностью. Именно такими материалами будущего являются композиционные материалы.

Получение компонентов композиционных материалов производится различными механическими и физико-химическими методами: размолотом в гироскопических и шаровых мельницах, измельчением ультразвуком, распылением и грануляцией расплавов, электролитическим осаждением и др. Достаточно универсальным методом получения, пригодным практически для любых материалов, представляет собой обработка резанием, одним из разновидностей которого является ротационное фрезерование [1]. В этом случае продуктом является элементная стружка, получаемая с помощью торцовых ротационных фрез, представляющих собой планшайбу, в которой закреплены режущие узлы – вилки с установленными на валу круглыми вращающимися элементами [2]. Размеры получаемой стружки (длина  $l$ , толщина  $a$ , ширина  $b$ ) в этом случае, в соответствие с разработанной [3] математической моделью, определяется 11-ю независимыми параметрами (радиус режущего элемента  $r$ , расстояние  $R$  от оси вращения фрезы до оси режущего блока, глубина резания  $t$ , смещение торца режущего элемента относительно оси поворота режущего блока  $L$ , угол наклона главной режущей

кромки  $\lambda$ , угол наклона оси режущего блока  $\beta$  относительно обрабатываемой поверхности, угол вершины зубьев режущего элемента  $\varphi$ , коэффициент относительного проскальзывания режущего элемента по заготовке  $k$ , подача на оборот фрезы  $S$ , угловое положение левого  $\psi_L$  и правого  $\psi_P$  торцов заготовки относительно оси фрезы).

Операция ротационного фрезерования является системным объектом, все параметры которой взаимосвязаны. Системность операции позволяет достичь требуемого значения какого-либо выходного параметра, например, длины элементной стружки, несколькими сочетаниями входных параметров. Это приводит к многовариантности решений и неоднозначности процесса управления. Помимо достижения требуемых значений выходных параметров операция ротационного фрезерования характеризуется качеством внутренних параметров процесса, таких как: стабильность процесса резания, величина сил резания, период стойкости режущего инструмента и т.п. Возникает проблема выбора сочетания входных параметров, при которых выходные характеристики будут наилучшими. Задача может быть решена на основе многокритериальной оптимизации.

При решении задач с несколькими зависимыми переменными, в условиях многовариантности решения, перспективно использование комплексных показателей качества, одним из которых является функция желательности Харрингтона [4]. Для ее использования необходимо сведение разнородных критериев оптимальности (внутренних параметров операции ротационного фрезерования) к сопоставимым величинам, что достигается использованием экспертной функции желательности. В работе [4] выделяют функцию желательности для односторонних и двухсторонних ограничений на параметр оптимизации и представлены выражения для преобразования натуральных значений параметров оптимизации в безразмерные величины желательности. Однако принципиально возможно использование и других выражений для преобразования. При этом целесообразно использовать такие, которые отражали бы закономерности изменения переменных параметров.

Основными переменными параметрами операции ротационного фрезерования, существенно влияющими на качество внутренних процессов, являются рабочие углы инструмента: передний  $\gamma$ , задний  $\alpha$  и угол наклона режущей кромки  $\lambda$ . Они определяются входными параметрами: статическими передним  $\gamma_c$  и задним  $\alpha_c$  углами инструмента, радиусом режущего элемента  $r$ , глубиной резания  $t$ .

Экспертный метод предполагает, что желательность переменных параметров принимается безразмерными величинами в диапазоне от 0 (максимально нежелательный уровень качества) до 1 (максимально возможный уровень качества). После чего обобщенная функция желательности принимается как среднее геометрическое частных желательностей параметров оптимизации и становится единственным параметром оптимизации, а не множественным. Т.е. ключевым фактором, определяющим качество полученного решения, является адекватность назначения желательности отдельных параметров оптимизации.

При оптимизации параметров операции ротационного фрезерования в качестве параметров оптимизации принимаются рабочие углы инструмента. Передний угол  $\gamma$ , задний угол  $\alpha$  и угол наклона режущей кромки  $\lambda$  могут принимать значения в диапазоне от  $-180$  до  $180^\circ$ . Однако практическая возможность, обусловленная применяемым инструментом и схемой резания, существенно ограничивают указанный диапазон. Для переднего угла  $\gamma$  он составляет  $(-45...15^\circ)$ , для заднего угла  $\alpha$  –  $(15...70^\circ)$ , угла  $\lambda$  –  $(0...90^\circ)$ . Т.е. для всех параметров имеют место двухсторонние ограничения. Обоснованное принятие вида функции желательности требует рассмотрения значений, принимаемых рабочими углами в зависимости от глубины резания  $t$ , радиуса режущего элемента  $r$  и требуемой длины стружки  $l$ . В связи с этим были проанализированы диапазоны изменения рабочих углов при изменении переменных. Глубина резания  $t$  изменялась в диапазоне  $(0,5...4,5)$  мм с шагом  $0,25$  мм, радиус  $r$  – в диапазоне  $(20...30)$  мм с шагом  $2,5$  мм, длина  $l$  – в диапазоне  $(8...32)$  мм с шагом  $2$  мм.

Пример результатов для рабочего переднего угла, обеспечивающего получение стружки длиной  $24$  мм представлен в таблице 1. Решение возможно не для всех сочетаний параметров.

Табл. 1.

$r$ , мм	$t$ , мм									
	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5	3,75	4	4,25	4,5
20						14,19	11,6	9,14	6,78	4,49
22,5					12,22	9,76	7,4	5,13	2,91	0,74
25			13,72	11,18	8,79	6,49	4,25	2,07	-0,08	-2,19
27,5		13,28	10,78	8,41	6,13	3,91	1,74	-0,4	-2,51	-4,59
30	13,33	10,83	8,47	6,19	3,97	1,8	-0,35	-2,47	-4,57	-6,65

Статистические данные расчета закона распределения величины переднего угла показаны на рис. 1, заднего угла – на рис. 2, а угла наклона главной режущей кромки – на рис. 3.

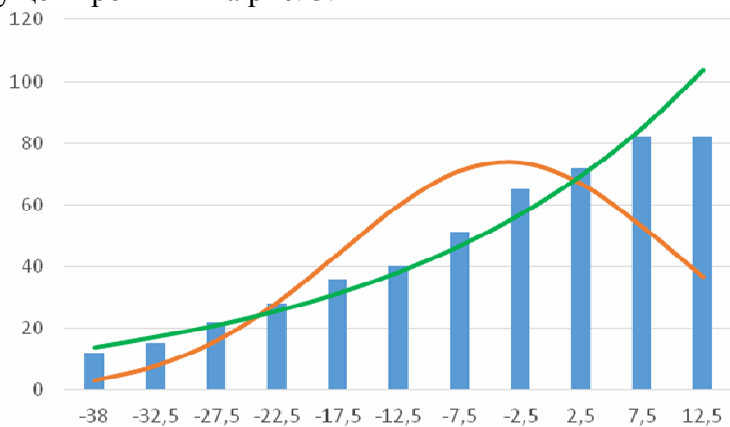


Рис. 1. Передний угол

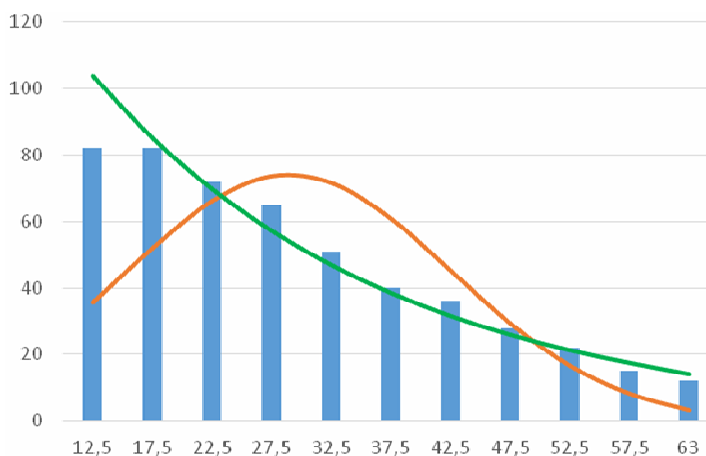


Рис. 2. Задний угол

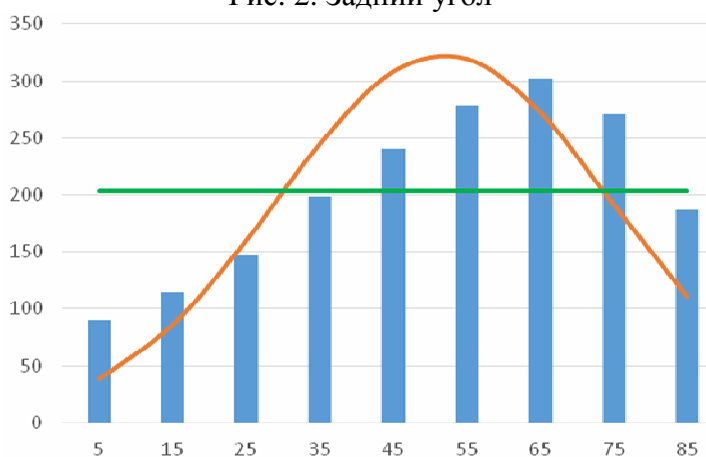


Рис. 3. Угол наклона главной режущей кромки

Проведенная проверка по критерию согласия Пирсона для переднего угла показала, что экспериментальные данные (гистограмма) не соответствуют нормальному закону распределения (оранжевая кривая), но соответствуют экспоненциальному закону (зеленая кривая). Аналогичная картина наблюдается и для заднего угла.

Эмпирические данные распределения угла наклона режущей кромки  $\lambda$  оценивались на соответствие нормальному (оранжевая кривая) и равномерному (зеленая прямая) законам распределения. Визуальное изучение гистограммы распределения показывает, что в целом она имеет колоколообразную форму, в некотором приближении близкую кривой нормального распределения. Численная проверка по критерию Пирсона показала, что при уровне значимости 0,05 эмпирические данные не соответствуют ни нормальному, ни равномерному законам распределения. Однако по критерию асимметрии и эксцесса расхождение с нормальным законом получается статистически не значимым. При проверке угла  $\lambda$  отдельно для каждой длины  $l$  результаты показали, что по критерию асимметрии и эксцесса эмпирические данные соответствуют закону нормального распределения. По критерию Пирсона

кривые, получаемые до длины 20 мм, также соответствуют закону нормального распределения. Для больших длин значение критерия хотя и превышает критическое значение, но незначительно. Таким образом, в целом можно принять допущение о том, что распределение угла наклона режущей кромки  $\lambda$  соответствует закону нормального распределения.

Проведенный анализ показывает, что параметры оптимизации операции ротационного фрезерования изменяются по различным законам. Это должно учитываться при принятии функции желательности для получения адекватного решения задачи оптимизации, что планируется реализовать в ходе дальнейших исследований.

### Список литературы

1. Шаламов В.Г. Системный подход к ротационному резанию при получении порошковых материалов / В.Г. Шаламов, С.Д. Сметанин // Металлообработка. – 2013. – № 2. – С. 23–26.
2. Ящерицын П.И. Ротационное резание материалов / П.И. Ящерицын, А.В. Борисенко, И.Г. Дривотин, В.Я. Лебедев. – Мн.: Наука и техника, 1987. – 229 с.
3. Шаламов В.Г. Моделирование элемента стружки при ротационном фрезеровании / В.Г. Шаламов, А.В. Плаксин, С.Д. Сметанин // Металлообработка. – 2018. – № 4. – С. 14–20.
4. Новик Ф.С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф.С. Новик, Я.Б. Арсов. – М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. – 304 с.

### References

1. Shalamov V.G., Smetanin S.D. A systematic approach to rotary cutting in the preparation of powder materials. Metallworking. 2013. Vol. 2, pp. 23-26.
2. Yaschericin P.I., Borisenko A.V., Drivotin A.G., Lebedev V.Ya. Rotary material cutting. Minsk, 1987. 229 p.
3. Shalamov V.G., Plaxin A.V., Smetanin S.D. Chip element modeling during rotary milling. Metallworking. 2018. Vol. 4, pp. 14-20.
4. Novik F.S., Arsov Ya.B. Optimization of metal technology processes by experiment planning methods. Moskow, Sofia, 1980. 304 p.

<b>Сметанин Сергей Дмитриевич</b> – кандидат технических наук, доцент	<b>Smetanin Sergei Dmitrievich</b> – candidate of technical sciences, associate professor
<b>Шаламов Виктор Георгиевич</b> – доктор технических наук, профессор, viktorshalamov@mail.ru	<b>Shalamov Victor Georgievich</b> – doctor of technical sciences, professor
Кафедра «Технологии автоматизированного машиностроения», Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), г. Челябинск, Россия	Department of «Technologies of the automated engineering», South Ural state university (national research university), Chelyabinsk, Russia

Received 03.02.2019