
МАТЕРИАЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ

УДК 621.923.001.1

КАТОДНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕЖУЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ КРУГОВ ИЗ СВЕРХТВЁРДЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СЛУЧАЙНОМ ХАРАКТЕРЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

*Д. М. Алексеенко, канд. техн. наук, доцент,
Сумский государственный университет, г. Сумы*

Разработан и реализован алгоритм минимизации суммарного удельного расхода круга методом статистического моделирования для электролитически управляемого процесса шлифования в условиях случайного характера изменения технологических параметров.

Ключевые слова: *катодное управление, режущая поверхность кругов, кубический нитрид бора, технологические параметры.*

Розроблений та опрацьований алгоритм мінімізації сумарних питомих витрат круга методом статистичного моделювання для електролітично керуючого процесу шліфування в умовах випадкового характеру зміни технологічних параметрів.

Ключові слова: *катодне керування, різальна поверхня кругів, надтверді матеріали, технологічні параметри.*

ВВЕДЕНИЕ

Установлено, [1,2 и др.] что в условиях глубинного и многопроходного шлифования при заточке режущего инструмента из легированных сталей кругами из сверхтвёрдых материалов (СТМ) на металлических связках существенное повышение эффективности процесса возможно на основе применения дополнительного электролитического воздействия на рабочую поверхность круга (РПК). Удельный расход круга при заданных производительности и качестве обработки для установившегося процесса определяется в большей степени интенсивностью управляющего воздействия, длиной контакта режущих элементов с обрабатываемой поверхностью и толщиной снимаемого слоя.

Влияние интенсивности управляющего воздействия на удельный расход имеет экстремальный характер [3], который определяет наиболее рациональное состояние режущего рельефа для установленных условий шлифования. Доказана инерционность РПК при рациональных режимах шлифования с позиции регенерирующей функции управляющего воздействия.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Существенный интерес представляет обрабатываемость инструментальных сталей Р6М5 и 9ХС кругами из СТМ при глубинном и многопроходном шлифовании для конкретных операций заточки режущего инструмента, характеризующихся определённой спецификой. К этим особенностям можно отнести широкий диапазон изменения глубины резания при заточке сборного многолезвийного инструмента и

значительные площади контакта при обработке широких протяженных поверхностей.

Однако, в условиях значительного и непрерывного изменения в процессе обработки таких параметров, как глубина и ширина шлифования стабилизация рельефа, соответствующего наиболее рациональной обработке при высокой интенсивности съёма припуска, не может сохранить рациональность для каждого из значений во всём диапазоне возможных изменений.

В то же время, изменение рельефа с учётом текущих условий шлифования и наложенных ограничений по качеству поверхности невозможно из-за существенной инерционности состояния рельефа по отношению ко времени воздействия возмущения (глубины, ширины). На этом основании задача управления сводится к определению стратегии дополнительного рационального воздействия в условиях изменяющихся параметров.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для оптимизации управляющего воздействия выполнен анализ характера и диапазона изменения глубины и ширины шлифования на заточных операциях многолезвийного инструмента и бумагорезальных ножей.

При глубинной заточке многолезвийного инструмента выполнены статистические исследования фактического припуска на заточке фрез трехсторонних со вставными ножами из быстрорежущей стали ГОСТ 1669-78 в условиях заточных отделений, инструментальных цехов и заводов. Случайный характер толщины снимаемого припуска при заточке может быть описан соответствующим законом распределения с показателями, характеризующими конкретный технологический процесс. Измерение фактического припуска производилось непосредственно на заточном станке с учётом исходного расположения шлифуемой грани и минимальным припуском для элемента с минимальным диаметральным размером.

В производственных условиях целого ряда крупных типографий, среди которых типография "Первая Образцовая" (г. Москва), получены статистические значения величин затачиваемой поверхности трёхножевых комплектов бумагорезального инструмента.

Изменение ширины шлифования ΔB (рис.1) определяется по формуле

$$B_2 - B_1 = \Delta B = a [ctg(\beta - \beta_1) - ctg\beta] \quad (1)$$

где B_1 - ширина грани на предыдущей заточке, мм;

B_2 - ширина грани на последующей заточке, мм;

β - угол заострения ($\beta = 20^\circ$);

β_1 - угол затылования ($\beta_1 = 17^\circ$);

a - усредненная величина снимаемого припуска ($a = 0,2$ мм).

Каждый нож при эксплуатации имеет в среднем пять-шесть значений ширины передней поверхности, которые в процессе самой заточки изменяются, постепенно переходя от меньшего значения $B_{min}=5$ мм к большему $B_{max}=23$ мм (рис. 2). Постепенное изменение условий шлифования не столь существенно для эффективности управляющего воздействия как дискретное отличие ширины грани установленных ножей. Целесообразно затачивать ножи с одинаковыми значениями ширины грани как внутри комплекта, так и с учётом подбора комплектов для совместной установки при количестве одновременно шлифуемых ножей - 6.

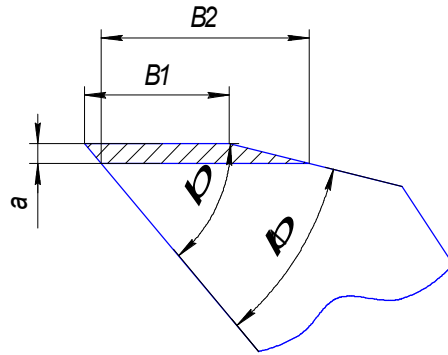


Рисунок 1 – Расчётная схема размеров шлифуемой поверхности при заточке бумагорезального ножа

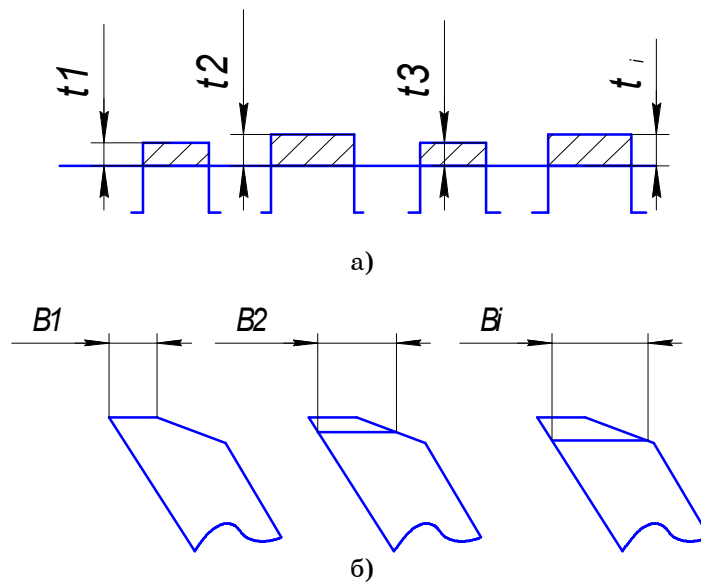


Рисунок 2 – Схема изменения параметров шлифования:
а) глубины шлифования; б) ширины шлифования

Подобный селективный подход осуществлялся на начальной стадии эксперимента, однако в процессе эксплуатации бумагорезальных ножей целый ряд объективных производственных условий исключил такую возможность: аварийные сколы на ножах; неравномерное затупление ножей в рабочем комплекте и их раскомплектовка (вынужденная и случайная); сдельная форма оплаты труда заточников; отсутствие надлежащей организации инструментального обеспечения, а также функциональное разделение основного и вспомогательного производств.

Кроме того, одновременно с заточкой трехножевых комплектов устанавливаются инструменты для одноножевых машин, что делает подбор еще более сложным и практически невозможным.

В связи с этим управление процессом необходимо назначать из условия случайного характера дискретного значения ширины шлифования B со значениями $B_{max} < B < B_{min}$ в одной одновременно затачиваемой партии ножей.

При стабильности установленного технологического процесса вероятность появления каждого из дискретных значений ширины должна быть одинаковой, причем внутри этого узкого диапазона сами значения

имеют определенный разброс.

Алгоритм минимизации суммарного удельного расхода круга представлен на рис. 3. Предварительные эксперименты по определению зависимостей выходных параметров процесса шлифования от основных факторов: Z (переменный технологический параметр), h (средняя высота выступания зёрен над уровнем связки), J (сила тока в цепи управления) показали, что они должны быть описаны нелинейными полиномиальными функциями. Получить такие функциональные зависимости с помощью классических методов обработки экспериментов не представляется возможным, т.к., с одной стороны, специфика процесса не позволяет воспроизводить параметр h на уровнях, заданных планом многофакторного эксперимента со "звездными" точками, с другой стороны, обработка результатов эксперимента, выполненного по плану с произвольным заданием уровней входных параметров, позволяет получить только линейные или приведенные к ним зависимости (кусочно-линейные, квазилинейные и т.п.). Поэтому для получения нелинейной зависимости $q=f(Z,h,J)$ был проведен многофакторный эксперимент, выполненный по произвольному плану (табл. 1). Для обработки его результатов использован метод прямого подбора коэффициентов регрессии (метод покоординатного спуска) [4].

В основе метода покоординатного спуска лежит последовательная оптимизация критерия оптимальности по каждому параметру. В нашем случае критерий оптимальности представлен в соответствии с методом наименьших квадратов и имеет вид

$$\Sigma(q_n[i]_{\text{табл}} - q_n[i])^2 \rightarrow \min . \quad (1)$$

Реализация метода покоординатного спуска осуществлялась путем расчета по программе, составленной автором .

В результате расчетов получена нелинейная полиномиальная зависимость:

$$q = 16,4 - 2,06Z^2 + 0,007h^2 - 0,203J^2 - 7,108Z - 0,298h - 2,711J + 0,006Zh - 0,004ZJ + 0,002hJ - 0,0004ZhJ . \quad (2)$$

Процесс шлифования представлен с высокой степенью точности (несмещенная оценка для среднеквадратического отклонения $S=0,08$, доверительный интервал $\alpha=0,016$).

Зависимость (2) использовалась для проведения "машинного" эксперимента, целью которого было нахождение уровня регулирующего воздействия (параметр J), при котором суммарный удельный расход Σq был бы близок к оптимальному значению в наиболее вероятном диапазоне величин возмущающих воздействий (параметры Z и h).

Очевидно, что для определения наиболее вероятных значений входных параметров Z и h необходимо знать их законы распределения.

Для определения закона распределения случайной величины использован критерий Ω как наиболее мощный и позволяющий установить соответствие реального распределения теоретическому. Так как значения входных параметров в многофакторном эксперименте устанавливались случайным образом, то на данном этапе стало возможным использовать результаты, полученные ранее с числом наблюдений равном 50 (табл.1). Сравнение опытного распределения с бета-, гамма-, равномерным, треугольным, показательным, нормальным, гиперэкспоненциальными распределениями и распределением Коши не позволили установить с достаточной точностью закон распределения наблюдаемых случайных величин Z и h . Поэтому был использован метод

статистического моделирования.

Исходные данные для статистического моделирования процесса шлифования представлены в табл. 2, составленной на основе данных табл. 1.

Интервал возможных значений тока J разбит на десять поддиапазонов. В каждом из них проводилось статистическое моделирование для тысячи обращений к модели (2) по разработанной программе.

Результаты статистического моделирования представлены в табл. 2 и интерпретируются кривой, которая имеет ярко выраженный экстремальный характер (рис. 4).

Следовательно, силу тока $J=7A$, при которой значение критерия

$\sum_{i=1}^N q_n[i]$ минимально, можно считать оптимальной.

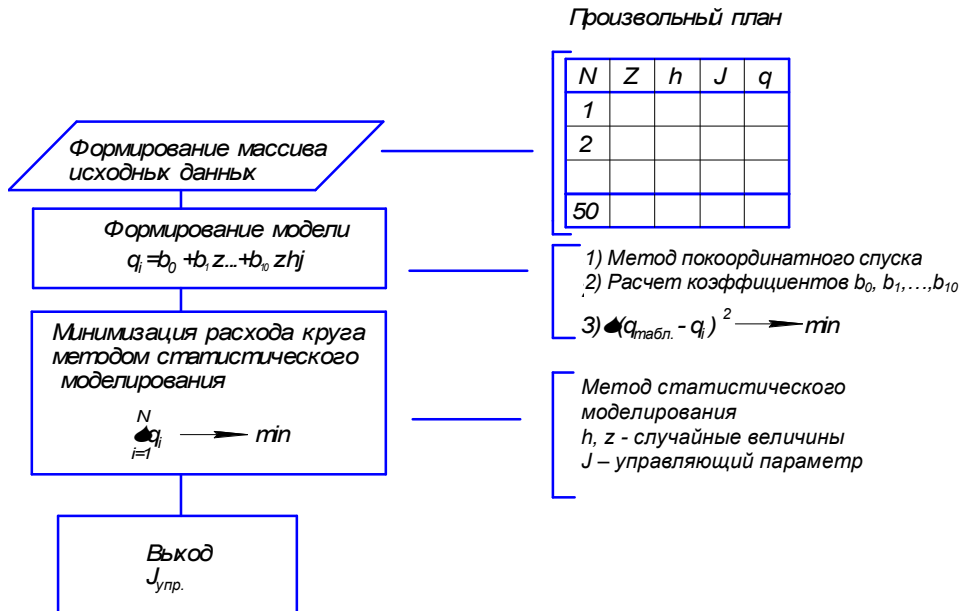
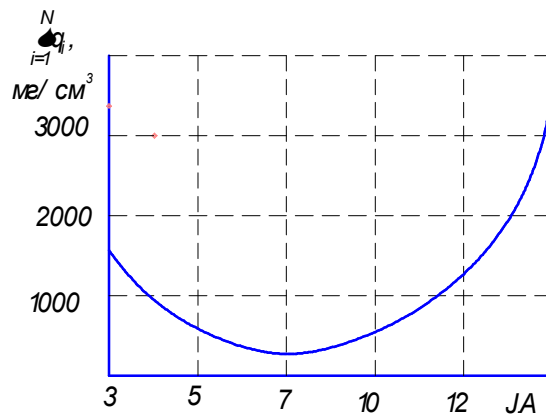


Рисунок 3 – Минимизация удельного расхода круга методом статистического моделирования



$S_{np}=0,3м/мин; V=34м/с; N=1000; \text{круг } 12A2X45 \text{ } 200 \times 20 \times 3 \times 51 \text{ ЛД } 160/125 \text{ M1-01}$

Рисунок 4 - Зависимость суммарного удельного расхода круга от интенсивности управляющего воздействия

Формирование модели удельного расхода круга

Таблица 1 - План эксперимента

№ пор.	X ₁ Z,мм	X ₂ h,мкм	X ₃ J,А	У q,мг/см ³	N	X ₁ Z,мм	X ₂ h,мкм	X ₃ J,А	У q,мг/см ³
1	0,2	35	4,0	5,7	26	0,6	21	12,5	6,3
2	0,3	40	5,0	5,3	27	0,4	34	10,0	4,9
3	0,6	38	2,0	5,8	28	0,2	46	4,0	8,8
4	0,4	41	9,0	5,5	29	0,5	42	3,0	6,1
5	0,1	35	4,0	6,5	30	0,6	37	11,5	6,2
6	0,4	41	8,5	5,0	31	0,7	46	3,0	5,6
7	0,3	40	5,0	5,3	32	0,6	21	14,5	11,9
8	0,2	21	2,0	7,2	33	0,3	48	3,5	9,0
9	0,6	35	13,5	10,6	34	0,7	41	11,5	6,3
10	0,2	22	3,5	4,9	35	0,2	35	8,0	4,9
11	0,8	42	12,5	7,7	36	0,9	46	12,0	6,9
12	0,4	28	14,5	14,3	37	0,4	21	1,35	10,8
13	0,7	21	13,5	7,8	38	0,5	49	4,0	7,4
14	0,2	25	2,5	6,4	39	0,4	31	12,5	9,1
15	0,5	35	4,5	6,7	40	0,2	47	9,5	9,8
16	0,6	21	12,0	5,2	41	0,2	27	3,5	5,1
17	0,8	22	14,5	9,8	42	0,6	35	12,0	6,8
18	0,8	45	2,0	5,9	43	0,3	47	2,0	11,2
19	0,3	21	2,5	5,5	44	0,1	31	3,5	6,4
20	1,0	28	13,6	5,0	45	од	22	3,5	6,6
21	0,2	43	4,5	7,3	46	0,4	36	13,0	11,4
22	0,6	38	14,0	12,7	47	0,3	27	2,0	6,7
23	0,4	46	5,0	6,3	48	0,6	50	5,5	5,8
24	0,7	44	11,5	7,3	49	0,3	31	2,0	7,1
25	0,1	32	8,5	5,4	50	0,4	38	3,5	5,3

Таблица 2 - Исходные данные для статистического моделирования

№ пор.	Z	n/N	h	n/N	I	$\sum_{i=1}^{1000} q_n$
1	0,19	0,08	23,9	0,20	3,25	1291,2
2	0,28	0,26	26,8	0,22	4,50	930,9
3	0,37	0,40	29,7	0,30	5,75	787,8
4	0,46	0,57	32,6	0,37	7,00	719,0
5	0,55	0,64	35,5	0,52	8,25	857,0
6	0,64	0,82	38,4	0,62	9,50	1151,8
7	0,73	0,90	41,3	0,72	10,75	1582,6
8	0,82	0,96	44,2	0,80	12,00	2145,8
9	0,91	0,98	47,1	0,94	13,25	2854,6
10	1,00	1,00	50,0	1,00	14,50	3693,7

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1 Выполнен анализ характера и диапазона изменения глубины и ширины шлифования на заточных операциях многолезвийного инструмента и бумагорезальных ножей.

2 Разработан и реализован алгоритм минимизации суммарного удельного расхода круга для электролитически управляемого процесса шлифования в условиях случайного характера возмущения методом статистического моделирования.

3 Полученное значение интенсивности управляющего воздействия позволило обеспечить устойчивость процесса шлифования во всем диапазоне реальных изменений с минимальным суммарным удельным расходом круга при сохранении высокого качества обработки.

SUMMARY

CATHODE CONTROL OF ACTIVE SURFACE OF CBN GRINDING WHEEL UNDER CONDITION OF CHAOTIC OPERATION PARAMETERS

D.M. Alekseyenko
Sumy State University, Sumy

The algorithm of minimal total wear for electrolytic grinding instrument under condition of chaotic operation by means of statistic modeling has been developed and put into practice.

Key words: *cathode control, active surface of grinding wheel, CBN , operation parameters.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеенко Д.М. Исследование шлифования закалённых сталей с катодным управлением режущей поверхностью кругов из сверхтвёрдых материалов / Д.М. Алексеенко // Вестник Сумского государственного университета. - 2009. - № 1. - С.93-100.
2. Грабченко А.И. Расширение технологических возможностей алмазного шлифования / А.И. Грабченко. - Харьков: Вища школа, Изд-во при Харьк. ун-те, 1985. - 184 с.
3. Янюшкин А.С. Контактные процессы при электроалмазном шлифовании / А.С. Янюшкин, В.С. Шоркин. - М.: Машиностроение-1, 2004. - 230 с., ил.
4. Геминтерн В.И. Методы оптимального проектирования / В.И. Геминтерн, Б.М. Каган. - М.: Энергия, 1980. - 160 с., ил.

Поступила в редакцию 30 октября 2009 г.