

УПРАВЛЕНИЕМ КОМПЛЕКСОМ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Т.А. Алексеева

*Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,
Новополоцк, Беларусь*

Рассмотрены статистические методы контроля параметров качества обработки, влияние взаимосвязей множества факторов комбинированной обработки, принципы управления специальной технологической операцией, управление комбинированной обработкой материалов, для которой последовательно сокращалось число технологических факторов, чтобы предложить схему управления комплексом параметров.

Ключевые слова: *статистические методы контроля параметров, управление комбинированной обработкой материалов, специальная технологическая операция.*

Внедрение управления качеством предполагает эффективное использование статистических методов контроля, наиболее широкое применение среди которых нашли контрольный листок, гистограмма, диаграмма рассеяния (поле корреляции), расслоение (стратификация), диаграмма Парето, диаграмма «причины – результат», контрольная карта, а также применения планов выборок и контроля, сравнений и предпочтений факторов, корреляции их рангов, дисперсии оценок, регрессии параметров и критериев их комплексного оценивания.

Однако использование традиционных методов контроля для управления специальными многофакторными процессами не эффективно вследствие особой сложности взаимосвязей технологических факторов и эксплуатационных параметров в процессах, совмещающих в одном методе обработки различные технологические операции, а в рамках операции комбинацию разнообразных технологических воздействий [1].

Для изучения путей управления специальными процессами было исследовано управление комбинированной обработкой материалов, для которой последовательно сокращалось число технологических факторов, чтобы предложить схему управления комплексом параметров [2].

Для изучения принципов управления специальной технологической операцией рассмотрено упрочняющее резание с нагревом – оплавлением срезаемого слоя.

Для упрочняющего резания заготовки из сплава ЖС6К с дополнительным плазменным нагревом – исследовались зависимости физико-механических ($Y_1 = HRC$ – твердости; $Y_2 = U_n, \%$ – наклепа), геометрических ($Y_3 = S_{mw}$, мм, – волнистости; $Y_4 = Ra$, мкм, – шероховатости) параметров качества от основных технологических факторов: $X_1 = I$ – силы тока плазменной дуги; $X_2 = L$ – расстояния от пятна нагрева до режущей кромки инструмента; $X_3 = S$ – скорости подачи инструмента; $X_4 = V$ – скорости главного движения; $X_5 = t$ – глубины резания для удаления дефектного слоя.

Диаграммы рассеяния контролируемых параметров $Y_1, \dots, Y_k, \dots, Y_n$ комбинированной обработки показали отсутствие их линейной корреляции с технологическими факторами $X_1, \dots, X_i, \dots, X_m$, а результаты расслоения гистограмм $Y_1, \dots, Y_k, \dots, Y_n$, по факторам не позволили существенно снизить дисперсию, что указало на тесную взаимосвязь $X_1, \dots, X_i, \dots, X_m$.

Поэтому в качестве статистической модели комбинированной обработки применяли квадратичные функции, а для их построения и оценивания использовался дисперсионный, корреляционный и регрессионный анализ. Уравнения регрессии получали с помощью математического планирования экспериментов [3].

Опыты проводили по матрице центрального композиционного рототабельного равномерного планирования (ЦКРУП) второго порядка для пятифакторной обработки (таблица 1.1). Условия опытов представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.1. – Матрица ЦКРУП второго порядка для $k = 5$

№	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	№	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
1	+	+	+	+	+	17	+ 2	0	0	0	0
2	–	+	+	+	–	18	– 2	0	0	0	0
3	+	–	+	+	–	19	0	+ 2	0	0	0
4	–	–	+	+	+	20	0	– 2	0	0	0
5	+	+	–	+	–	21	0	0	+ 2	0	0
6	–	+	–	+	+	22	0	0	– 2	0	0
7	+	–	–	+	+	23	0	0	0	+ 2	0
8	–	–	–	+	–	24	0	0	0	– 2	0
9	+	+	+	–	–	25	0	0	0	0	+ 2
10	–	+	+	–	+	26	0	0	0	0	– 2
11	+	–	+	–	+	27	0	0	0	0	0
12	–	–	+	–	–	28	0	0	0	0	0
13	+	+	–	–	+	29	0	0	0	0	0
14	–	+	–	–	–	30	0	0	0	0	0
15	+	–	–	–	–	31	0	0	0	0	0
16	–	–	–	–	+	32	0	0	0	0	0

Таблица 1.2. – Условия опытов по матрице ЦКРУП для $k = 5$

Уровни факторов X_i	Технологические факторы				
	l, A	$L, мм$	$S, мм/об$	$V, м/с$	$t, мм$
– 2	60	40	0,05	1,0	0,05
– 1	80	50	0,10	1,5	0,10
0	100	60	0,15	2,0	0,15
+ 1	120	70	0,20	2,5	0,20
+ 2	140	80	0,25	3,0	0,25

Значимость коэффициентов регрессий определялась по критерию Стьюдента, адекватность моделей – по критерию Фишера. Обработка результатов проведенных опытов позволила получить уравнения регрессии:

$$\begin{aligned}
 Y_1 = & 31,710 - 1,606X_1 - 0,438X_2 + 0,563X_3 + 1,105X_4 + 0,104X_5 + 0,281X_1X_2 + 0,281X_1X_3 + \\
 & + 0,594X_1X_4 + 0,281X_1X_5 - 0,781X_2X_3 + 0,406X_2X_4 + 0,469X_2X_5 - 0,219X_3X_4 - \\
 & - 0,719X_3X_5 - 0,219X_4X_5 - 1,312X_1^2 - 1,255X_2^2 - 1,000X_3^2 - 1,749X_4^2 - 1,063X_5^2;
 \end{aligned}
 \tag{1.1}$$

$$Y_2 = 2,952 - 0,690X_1 - 0,172X_2 + 0,613X_3 + 0,732X_4 - 0,018X_5 - 0,094X_1X_2 + 0,107X_1X_3 - 0,263X_1X_4 + 1,383X_1X_5 - 0,053X_2X_3 - 0,231X_2X_4 - 0,447X_2X_5 - 0,409X_3X_4 + 0,287X_3X_5 + 0,449X_4X_5 - 1,039X_1^2 + 0,016X_2^2 + 0,055X_3^2 - 0,627X_4^2 - 0,417X_5^2; \quad (1.2)$$

$$Y_3 = 0,9425 + 0,035X_1 - 0,052X_2 - 0,073X_3 + 0,039X_4 + 0,026X_5 - 0,041X_1X_2 + 0,015X_1X_3 + 0,018X_1X_4 - 0,016X_1X_5 - 0,100X_2X_3 + 0,128X_2X_4 + 0,021X_2X_5 - 0,114X_3X_4 - 0,028X_3X_5 + 0,050X_4X_5 - 0,059X_1^2 + 0,163X_2^2 + 0,071X_3^2 + 0,091X_4^2 + 0,057X_5^2; \quad (1.3)$$

$$Y_4 = 7,639 + 2,273X_1 - 1,917X_2 + 1,092X_3 - 1,139X_4 - 1,030X_5 - 0,237X_1X_2 + 0,731X_1X_3 - 3,052X_1X_4 + 1,372X_1X_5 + 0,342X_2X_3 - 0,541X_2X_4 - 0,219X_2X_5 + 0,187X_3X_4 + 1,194X_3X_5 + 0,099X_4X_5 + 1,593X_1^2 + 1,779X_2^2 - 0,331X_3^2 - 1,810X_4^2 - 0,774X_5^2. \quad (1.4)$$

По критериям установлено, что все коэффициенты регрессий значимы с 90 % доверительной вероятностью, статистические параметры моделей (1.1) и (1.4) адекватны при 1 %, а моделей (1.2) и (1.3) – при 5 % уровне значимости.

Изучение членов, описывающих взаимодействие факторов на многоугольниках (пятиугольниках) предпочтений (рисунок 1.1), позволило определить значимость взаимной корреляции факторов по диаграммам Лоренца (рисунок 1.2), в которых факторы ранжируются по возрастанию. Анализ линейных членов по диаграммам Парето (рисунок 1.3) дал возможность определить степень влияния факторов на параметры.

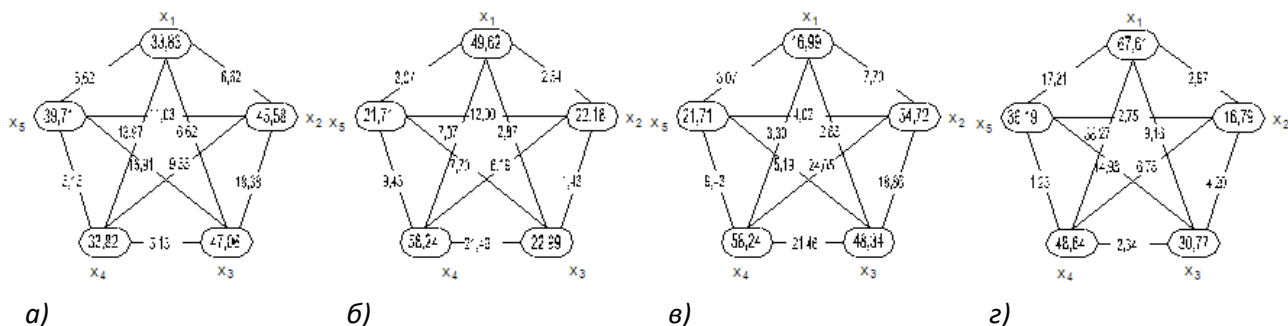


Рисунок 1.1. – Многоугольники предпочтений для параметров $Y_1(a)$, $Y_2(b)$, $Y_3(c)$, $Y_4(d)$ при комбинированной обработке

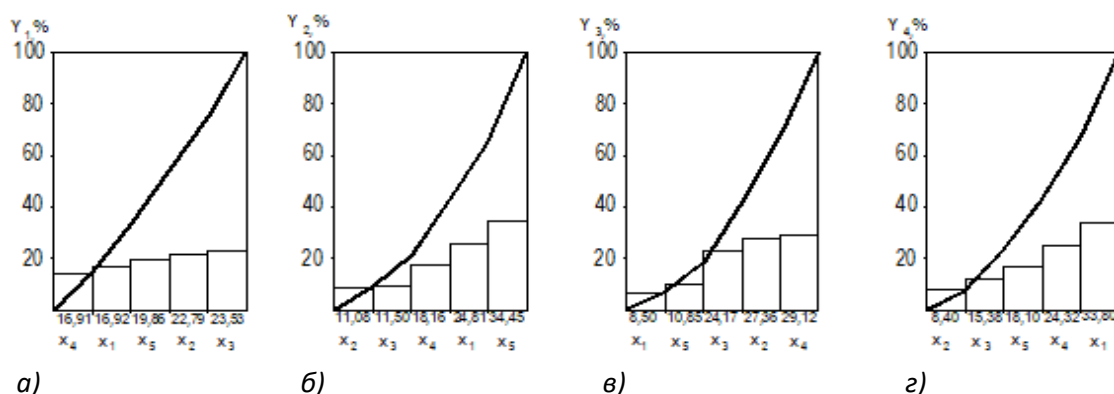


Рисунок 1.2. – Диаграммы Лоренца для параметров $Y_1(a)$, $Y_2(b)$, $Y_3(c)$, $Y_4(d)$ при комбинированной обработке

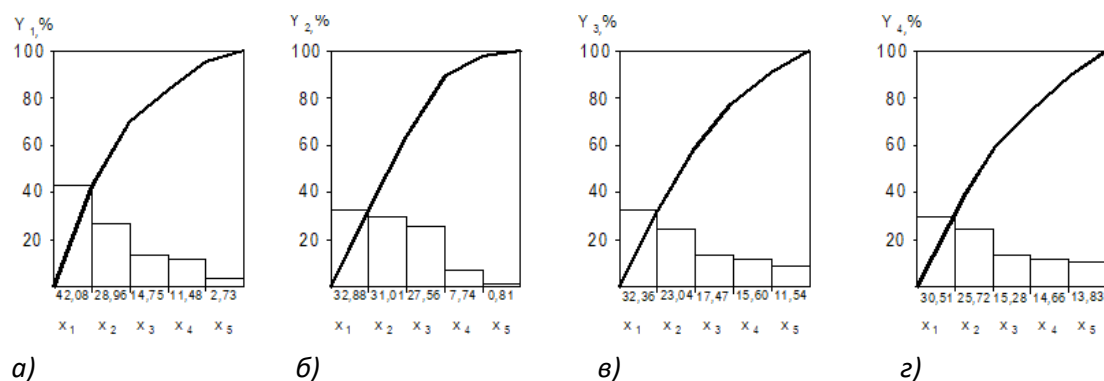


Рисунок 1.3. – Диаграммы Парето для параметров Y_1 (а), Y_2 (б), Y_3 (в), Y_4 (г) при комбинированной обработке

С учетом степени влияния на параметры и значимости их взаимной корреляции факторы X_1, \dots, X_5 в порядке предпочтения (\rightarrow) можно расположить в ряды (таблица 1.3).

Таблица 1.3. – Степень влияния и взаимная корреляция факторов для различных параметров

Параметры	Степень влияния	Взаимная корреляция
Y_1	$X_5 \rightarrow X_2 \rightarrow X_3 \rightarrow X_4 \rightarrow X_1$	$X_4 = X_1 \rightarrow X_5 \rightarrow X_2 \rightarrow X_3$
Y_2	$X_5 \rightarrow X_2 \rightarrow X_3 \rightarrow X_1 \rightarrow X_4$	$X_2 \rightarrow X_3 \rightarrow X_4 \rightarrow X_1 \rightarrow X_5$
Y_3	$X_5 \rightarrow X_1 \rightarrow X_4 \rightarrow X_2 \rightarrow X_3$	$X_1 \rightarrow X_5 \rightarrow X_3 \rightarrow X_2 \rightarrow X_4$
Y_4	$X_5 \rightarrow X_3 \rightarrow X_4 \rightarrow X_2 \rightarrow X_1$	$X_2 \rightarrow X_3 \rightarrow X_5 \rightarrow X_4 \rightarrow X_1$

Управлять операцией целесообразно с помощью наиболее влиятельных и наименее коррелированных с другими факторов, поэтому для обеспечения параметров Y_1 и Y_2 наилучшим образом подходят факторы X_1, X_4 и может использоваться X_3 , а для Y_3 и Y_4 подходят факторы X_2 и X_3 , а также X_1 .

В результате физико-механическими $Y_1 = HRC$, $Y_2 = U_n$ параметрами наиболее рационально управлять с помощью термомеханических факторов $X_1 = I$, $X_4 = V$, а также $X_3 = S$; геометрическими $Y_3 = Sm_w$ и $Y_4 = Ra$ путем рационального размещения инструмента, используя факторы $X_2 = L$ и $X_3 = S$, а также, регулируя жесткость его контакта с обрабатываемым материалом посредством нагрева, $X_1 = I$.

На основе статистического анализа операции комбинированной обработки для обеспечения оптимального комплекса параметров качества при резании с предварительным плазменным нагревом следует рекомендовать:

- регулирование интенсивности $X_1 = I$ и положения источника нагрева $X_2 = L$, а также скорости движений обработки $X_3 = S$ и $X_4 = V$;
- статистический контроль геометрического Ra и физико-механического U_n параметров с помощью контрольных карт, проводя измерения после операции;
- визуальную экспресс-оценку волнистости Sm_w , а также твердости HRC поверхности в процессе обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кусакин, Н.А. Статистические методы контроля качества продукции / Н.А. Кусакин, М.Л. Хейфец // Контроль. Диагностика. – 2003 – № 9 – С. 32, 37–41; № 10 – С. 40–46; № 11 – С. 31–32, 37–40.

2. Статистический анализ конструктивных элементов и технологических параметров деталей машин / М.Л. Хейфец [и др.]. – Новополоцк: ПГУ, 2001 – 112 с.
3. Витязь, П.А. Управление параметрами качества многофакторных технологических процессов на основе статистического и структурного анализа / П.А. Витязь, М.Л. Хейфец, В.Н. Корешков, Т.А. Алексеева, А.К. Ляхович // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2010. – Т. 54, № 6. – С. 113–115.