

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ НАПЛАВЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ РОТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ НАГРЕВОМ

Полоцкий государственный университет

Новополоцк, Беларусь

В условиях реального производства наиболее сложны в управлении комбинированные методы обработки, совмещающие в одном процессе различные технологические операции, а в рамках операции разнообразны технологические воздействия [1].

Для изучения путей управления качеством комбинированной обработки рассмотрим ротационное резание с предварительным нагревом – оплавлением срезаемого слоя износостойкого покрытия, полученного вибродуговой наплавкой проволоки Нп-65Г [2].

Исследовались зависимости регламентируемых параметров обработки – физико-механических: $Y_1 = HRC_s$ – твердости и $Y_2 = U_n$ – наклепа; геометрических: $Y_3 = Sm_w$ – волнистости и $Y_4 = Ra$ – шероховатости; производительности: $Y_5 = K$ – определяемой отношением скорости дополнительного V_p и главного V движения инструмента от основных технологических факторов: $X_1 = I$ – силы тока плазменной дуги, используемой для предварительного нагрева, $X_2 = L$ – расстояния от пятна нагрева до режущей кромки инструмента, $X_3 = S$ – скорости подачи инструмента, $X_4 = V$ – скорости главного движения.

Диаграммы рассеяния параметров Y_1, \dots, Y_5 показывают отсутствие их линейной корреляции с технологическими факторами X_1, \dots, X_4 , а результаты расслоения гистограмм Y_1, \dots, Y_5 по факторам не позволили существенно снизить дисперсию, что указывает на тесную взаимосвязь X_1, \dots, X_4 . Поэтому в качестве статистической модели обработки применяли квадратичные функции, а для их построения и оценивания использовался дисперсионный, корреляционный и регрессионный анализ.

Уравнения квадратичной регрессии $Y_i = f(X_j)$ получали с помощью математического планирования экспериментов [3]. Значимость коэффициентов регрессий определяли по критерию Стьюдента и адекватность моделей оценивалась по критерию Фишера.

Условия опытов представлены в табл. 1, а обработка их результатов позволила получить уравнения регрессии:

$$Y_1 = 45,696 - 0,876X_1 + 1,626X_2 + 0,209X_3 + 0,459X_4 + 0,688X_1X_2 + 0,688X_1X_3 + 0,063X_1X_4 + 0,063X_2X_3 + 0,688X_2X_4 + 0,688X_3X_4 + 0,755X_1^2 + 0,880X_2^2 + 0,755X_3^2 + 0,506X_4^2; \quad (1)$$

$$Y_2 = 6,683 - 0,445X_1 - 0,171X_2 + 0,123X_3 + 0,127X_4 - 0,267X_1X_2 + 0,011X_1X_3 + 0,039X_1X_4 - 1,034X_2X_3 - 0,029X_2X_4 + 0,195X_3X_4 + 0,062X_1^2 + 0,252X_2^2 + 0,125X_3^2 + 0,117X_4^2; \quad (2)$$

$$Y_3 = 1,130 + 0,051X_1 + 0,051X_2 + 0,002X_3 + 0,003X_4 + 0,002X_1X_2 + 0,002X_1X_3 + 0,002X_1X_4 + 0,008X_1X_4 + 0,002X_2X_3 + 0,008X_2X_4 - 0,002X_3X_4 + 0,026X_1^2 + 0,023X_2^2 + 0,013X_3^2 + 0,016X_4^2; \quad (3)$$

$$Y_4 = 7,554 + 0,413X_1 + 1,155X_2 - 0,154X_3 + 0,063X_4 + 0,356X_1X_2 + 0,081X_1X_3 - 0,306X_1X_4 - 0,344X_2X_3 + 0,144X_2X_4 + 0,144X_3X_4 + 0,261X_1^2 + 0,323X_2^2 + 0,236X_3^2 + 0,174X_4^2; \quad (4)$$

$$Y_5 = 0,695 + 0,007X_1 + 0,0002X_2 - 0,0003X_3 - 0,004X_4 + 0,006X_1X_2 + 0,004X_1X_3 - 0,001X_1X_4 - 0,005X_2X_3 + 0,001X_2X_4 + 0,001X_3X_4 + 0,008X_1^2 + 0,008X_2^2 + 0,008X_3^2 + 0,008X_4^2; \quad (5)$$

Таблица 1

Условия опытов по матрице центрального композиционного рототабельного
униформ-планирования

Уровни Факторов X_i	Технологические факторы			
	I, A	$L, мм$	$S, мм/об$	$V, м/с$
-2	50	30	0,23	2,1
-1	60	40	0,30	2,7
0	70	50	0,34	3,3
+1	80	60	0,39	3,9
+2	90	70	0,47	4,5

Выявлено, что все коэффициенты регрессий, кроме отмеченных (*), значимы с 90 % доверительной вероятностью, а параметры моделей адекватны при 1 % уровне значимости.

Анализ линейных членов полученных математических моделей по диаграммам Парето позволил выявить степень влияния факторов на исследуемые параметры. Члены, описывающие взаимодействие факторов на многоугольниках предпочтений, дали возможность опре-

делить значимость взаимной корреляции факторов по кривым Лоренца, в которых в отличие от диаграммы Парето X_1, \dots, X_4 ранжируются по возрастанию, а их значение разделены на 2.

Параметры Y_1, \dots, Y_5 с учетом степени влияния факторов и значимости их взаимной корреляции X_1, \dots, X_4 в порядке предпочтения (®) можно расположить в ряды (табл. 2).

Таблица 2

Степень влияния и взаимная корреляция факторов для различных параметров

	Степень влияния	Взаимная корреляция
Y_1	$X_3 \rightarrow X_4 \rightarrow X_1 \rightarrow X_2$	$X_4 = X_1 = X_3 = X_2$
Y_2	$X_3 = X_4 \rightarrow X_2 \rightarrow X_1$	$X_4 \rightarrow X_1 \rightarrow X_3 \rightarrow X_2$
Y_3	$X_3 \rightarrow X_4 \rightarrow X_2 = X_1$	$X_3 \rightarrow X_1 = X_2 \rightarrow X_4$
Y_4	$X_4 \rightarrow X_3 \rightarrow X_1 \rightarrow X_2$	$X_3 \rightarrow X_4 \rightarrow X_1 \rightarrow X_2$
Y_5	$X_2 \rightarrow X_3 \rightarrow X_4 \rightarrow X_1$	$X_4 \rightarrow X_3 \rightarrow X_1 \rightarrow X_2$

Так как для управления процессом целесообразно использовать наиболее влиятельные и наименее коррелированные с другими факторы, то для управления параметрами Y_1, \dots, Y_5 наилучшим образом подходит фактор X_1 и может использоваться X_4 .

Это согласуется с результатами, полученными при анализе комбинированной обработки. Физико-механическими $Y_1 = HRC_s$, $Y_2 = U_n$ и геометрическими $Y_3 = Sm_w$ и $Y_4 = Ra$ параметрами наиболее рационально управлять с помощью термомеханических факторов $X_1 = I$ и $X_4 = V$. Производительность $Y_5 = K$ в первую очередь регулируется интенсивностью нагрева $X_1 = I$ и определяется движениями детали $X_4 = V$ и инструмента $X_3 = S$.

Для комплексной оптимизации параметров качества комбинированной обработки использовалась диаграмма «причины-результат» (рис. 1), для которой в качестве цели рассматривали обобщенную функцию желательности Харрингтона (рис. 2).

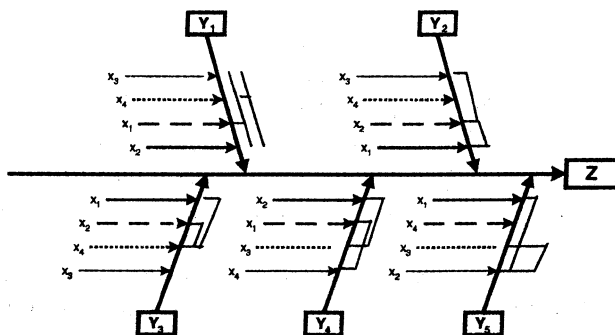


Рис. 1. Диаграмма «причины-результат» комбинированной обработки

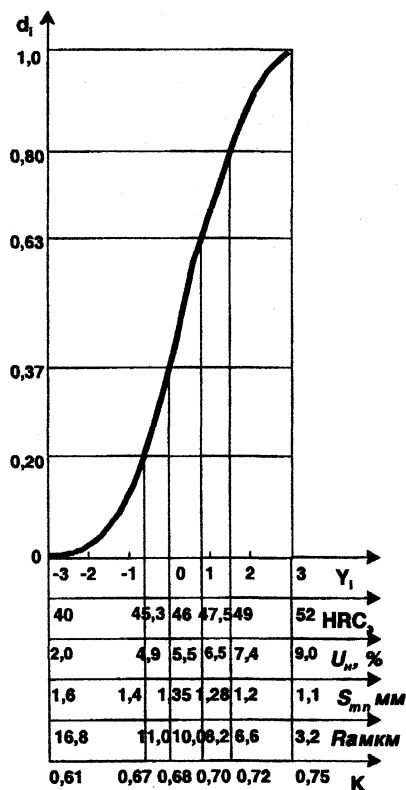


Рис. 2. Функция и шкалы желательности параметров оптимизации

$Y_1(\alpha), Y_2(\beta), Y_3(\gamma), Y_4(\delta), Y_5(\epsilon).$

Для желательностей d_i предложены шкалы, составленные исходя из значимости параметров Y_1, \dots, Y_5 и рассмотренных на диаграмме «причины-результат» возможностей их регулирования технологическими факторами X_1, \dots, X_6 .

Диаграмма показывает, что наиболее легко управляемы твердость $Y_1 = HRC_2$ и наклеп поверхности $Y_2 = U_n$, далее следует производительность $Y_3 = K = V_p/V$. Согласно этому ранжированию предложены регулируемые диапазоны параметров на шкалах желательностей.

Комплексную оптимизацию ротационного резания с оплавлением наносимого покрытия, представленного математическими моделями (1)-(5), проводили методом спирального координатного спуска по обобщенной функции желательности.

Полученные результаты оптимизации позволяют рекомендовать режимы обработки: $X_1=I=50$ А; $X_2=L=35$ мм; $X_3=S=0,39$ мм/об; $X_4=V=3,0$ м/с, при которых функция желательности принимает максимальное значение $Z=0,88$, а параметры качества обрабатываемой поверхности оптимальны: $Y_1=HRC_s=53,6$; $Y_2=U_n=8,2$ %; $Y_3=Sm_w=1,16$ мм; $Y_4=Ra=7,7$ мкм при соотношении скоростей режущей кромки инструмента $Y_5=K=V_p/V=0,77$.

Таким образом, для управления размерно-упрочняющим ротационным резанием с предварительным нагревом – оплавлением срезаемого слоя износостойкого покрытия с целью обеспечения оптимальных параметров качества обработки можно рекомендовать: регулирование интенсивности нагрева $X_1=I$ и скорости обработки $X_4=V$ с наблюдением за изменением скорости дополнительного перемещения режущей кромки инструмента V_p ; оцениваемой $Y_5=K$; статистический контроль физико-механического $Y_1=HRC_s$ и геометрического $Y_4=Ra$ параметров с помощью контрольных карт, проводя измерения после операции или экспресс-оценку твердости $Y_1=HRC_s$ коэрцитетром непосредственно в процессе комбинированной обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Статистический анализ конструктивных элементов и технологических параметров деталей машин / М.Л. Хейфец, В.С. Точило, В.И. Семенов и др. - Новополюк: ПГУ, 2001. - 112 с. 2. Обработка износостойких покрытий / Под ред. Ж.А. Мрочка. - Мн.: ДизайнПРО, 1997. - 208 с. 3. Ящерицын П.И., Махаринский Е.И. Планирование эксперимента в машиностроении. - Мн.: Высшая школа, 1985. - 286 с. 4. Хейфец М.Л., Кожуро Л.М., Мрочек Ж.А. Процессы самоорганизации при формировании поверхностей. - Гомель: ИММС НАНБ, 1999. - 276 с.

Рецензент – проф. Кочергин А. И.