

УДК 621.9.042

А. А. Жолобов, канд. техн. наук, проф., А. Н. Рязанцев, доц., Д. Г. Шатуров

ДИНАМИКА ПРОЦЕССА И ЭФФЕКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ ПРИ ТОЧЕНИИ С МНОГОКРАТНЫМ МИКРООБНОВЛЕНИЕМ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ

В работе приведены результаты исследований по влиянию на динамику и эффективную мощность процесса числа проходов режущей кромки зоны резания. Разработана математическая модель для оптимизации процесса точения на основе полученных регрессионных зависимостей.

Оптимизация процесса обработки валов по силовым, энергетическим и точностным характеристикам невозможна без знания составляющих силы резания, которая зависит от свойств обрабатываемого материала и режимов обработки. Наиболее весомой составляющей в деле получения точности обрабатываемой поверхности и энергопотребления является действие сил резания P_y и P_z .

Так, радиальная составляющая P_y силы резания в наибольшей степени влияет на отжим заготовки от вершины резца – увеличивает размер обрабатываемой поверхности.

Тангенциальная составляющая P_z силы резания оказывает существенное влияние на энергоёмкость процесса и температуру в зоне резания [1, 2]. Известные исследования динамики процесса обработки резцом с микрообновлением режущей кромки (МОРК) [3] касались только обработки резцом с однократным прохождением режущей кромки (РК) зоны резания, что приводило к недоиспользованию режущих свойств инструмента.

При проектировании технологического процесса обработки валов с многократным микрообновлением РК требуется знание величин составляющих силы резания, которые с увеличением числа проходов будут всё время возрастать и увеличивать своё влияние на энергоёмкость процесса и получение прогнозируемой точности обработки.

Силы, действующие в процессе обработки валов, фиксировались при

точении по прямой схеме резания и первой схеме установки.

На рис. 1–3 представлены зависимости составляющих P_x , P_y , P_z силы резания и эффективной мощности N_g от технологических параметров обработки: подачи S , глубины резания t , скорости резания V , скорости перемещения V_p режущей кромки и числа N её проходов зоны обработки при точении стали 45.

Каждая из зависимостей, являясь функцией одной переменной, получена при определённых условиях процесса, т. е. при стабилизации всех других факторов на принятом (нулевом) уровне, кроме одного. Характер изменения составляющих силы резания при увеличении подачи S и глубины резания t не расходится с [1–3]. Так, с увеличением подачи S и глубины резания t увеличивается толщина срезаемого слоя, что приводит к возрастанию всех составляющих силы резания (рис. 2). При одинаковом абсолютном увеличении подачи S и глубины резания t от 0,2 до 0,8, т. е. в 4 раза, тангенциальная сила P_z резания увеличивается в обоих случаях примерно в 2 раза, а радиальная сила P_y резания – соответственно в 3,5 и 5 раз. Это объясняется значительным увеличением проекции площадки износа задней поверхности резца на плоскость, перпендикулярную направлению действия радиальной силы P_y , при увеличении глубины резания. Увеличение скорости резания от 2 до 6 м/с и числа проходов N РК зоны резания от одного до 5 раз приводит к увеличению силы P_y соответственно на 80 и 90 %, а силы P_z – на

30 и 75 % от этих параметров. Это также связано с увеличением площадки износа задней поверхности резца вследствие увеличения скорости и времени изнашивания при прохождении точки РК зоны резания.

Увеличение скорости V_p микроперемещения РК в исследуемом диапазоне от $0,5 \cdot 10^{-5}$ до $4,5 \cdot 10^{-5}$ м/с приводит к

уменьшению износа кромки, а также составляющих силы резания (характер их изменения имеет вид гиперболы (рис. 2)) в 4...5 раз. Зависимость изменения эффективной мощности от параметров режима обработки и числа проходов N подобна зависимости изменения силы P_z от этих параметров.

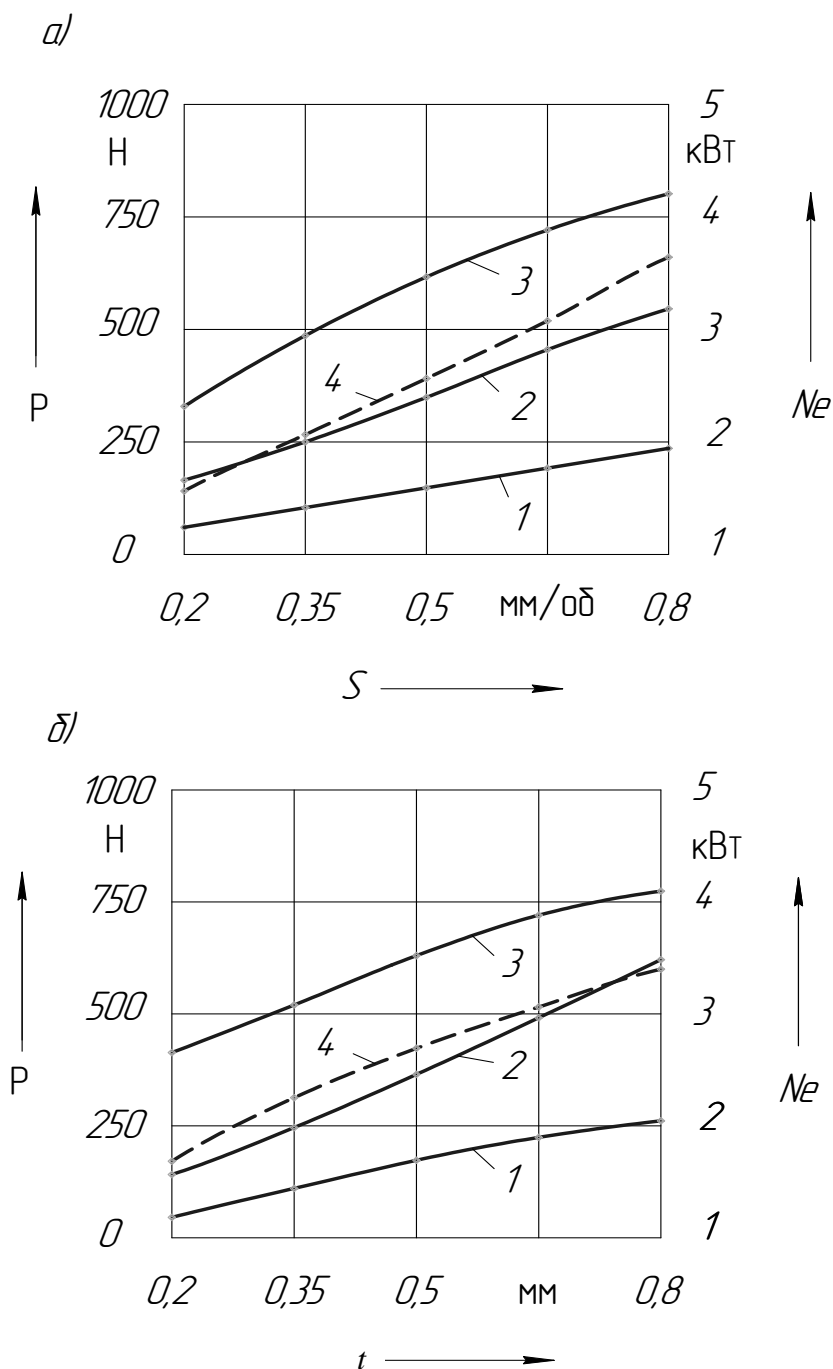


Рис. 1. Зависимость влияния подачи S (а) и глубины резания t (б) на составляющие силы и мощность резания при многократном микрообновлении режущей кромки: 1 – P_x ; 2 – P_y ; 3 – P_z ; 4 – N_e ; $V = 4$ м/с; $S = 0,5$ мм/об; $t = 0,5$ мм; $V_p = 2,5 \cdot 10^{-5}$ м/с; $N = 3$; материал заготовки – сталь 45

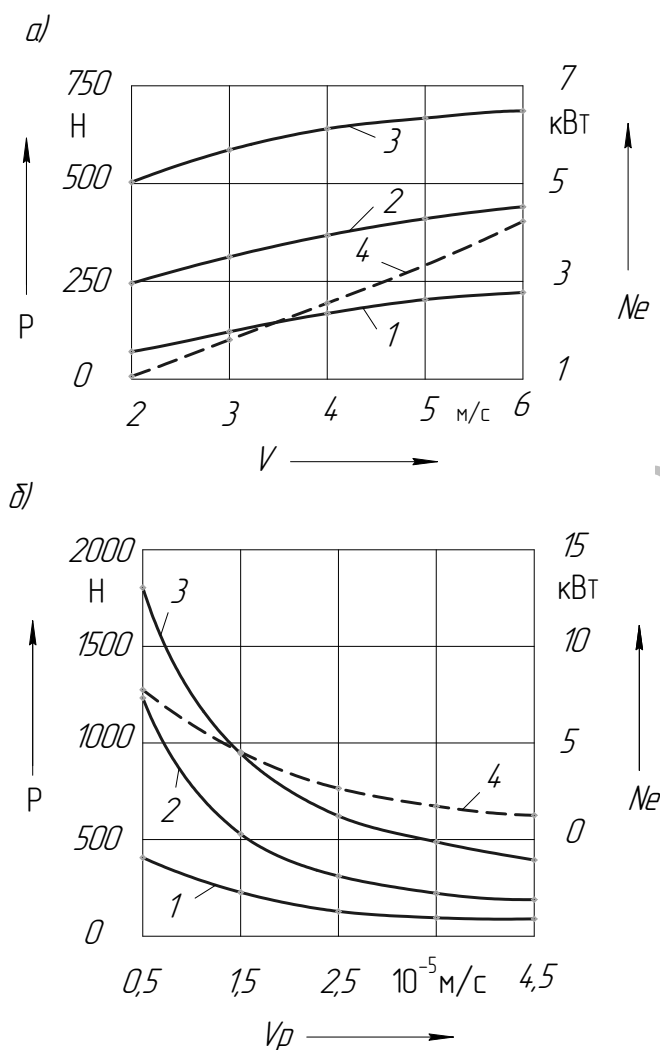


Рис. 2. Зависимость влияния скорости резания V (а) и скорости микроперемещения режущей кромки V_p (б) на составляющие силы и мощность резания при многократном микрообновлении режущей кромки: 1 – P_x ; 2 – P_y ; 3 – P_z ; 4 – N_e ; $S = 0,5$ мм/об; $t = 0,5$ мм; $V = 4$ м/с; $V_p = 2,5 \cdot 10^{-5}$ м/с; $N = 3$; материал заготовки – сталь 45

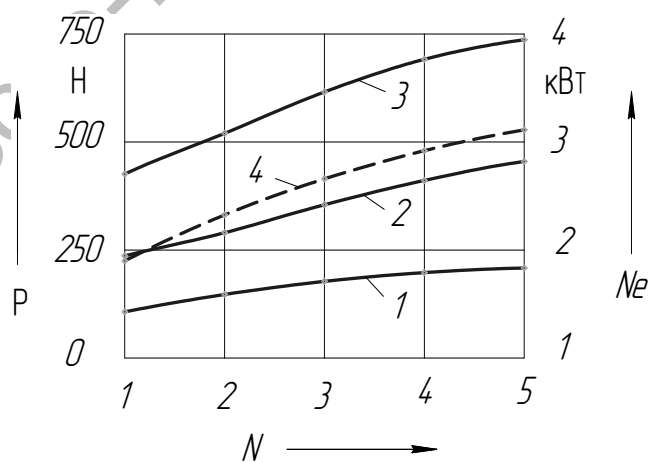


Рис. 3. Зависимость влияния числа проходов N (а) точки режущей кромки зоны резания на составляющие силы и мощность резания при многократном микрообновлении режущей кромки: 1 – P_x ; 2 – P_y ; 3 – P_z ; 4 – N_e ; $S = 0,5$ мм/об; $t = 0,5$ мм; $V = 4$ м/с; $V_p = 2,5 \cdot 10^{-5}$ м/с; $N = 3$; материал заготовки – сталь 45, резца – Т15К6

Следует подчеркнуть, что, учитывая приведенные зависимости и не изменяя производительность имеется возможность регулировать и управлять силовой и энергетической напряжённостью процесса за счёт изменения скорости V_p перемещения лезвия и числа N проходов, т. к. влияние последних диаметрально противоположно.

Проведённые однофакторные исследования показывают, что рациональный выбор параметров режима резания может обеспечить снижение от 2 до 5 раз составляющих силы резания.

Для оптимизации процесса и выявления степени влияния каждого параметра на силу и мощность резания возникла необходимость в построении математической модели процесса с использованием

математического метода планирования экспериментов. Для математического описания объектов исследования использовался метод математической статистики – метод полного факторного эксперимента [4]. При использовании этого метода все исследуемые параметры изменяются на двух уровнях – верхнем (+1) и нижнем (-1), также проводится четыре опыта на основном уровне в центре плана. Уровни факторов и интервалы варьирования выбраны по результатам предварительных однофакторных экспериментов и приведены в табл. 1. В качестве оптимизации приняты составляющие силы P_x, P_y, P_z резания и мощность резания N_e . Они обозначены через u_x, u_y, u_z и u_N .

Табл. 1. Уровни и интервалы варьирования факторов

Фактор	Кодовое обозначение	Интервал варьирования	Уровни варьирования		
			верхний +1	основной 0	нижний -1
Подача S , мм/об	x_1	0,3	0,8	0,5	0,2
Глубина резания t , мм	x_2	0,3	0,8	0,5	0,2
Скорость резания V , м/с	x_3	2	6	4	2
Скорость перемещения режущей кромки V_p , м/с	x_4	$\frac{2,0}{10^5}$	$\frac{4,5}{10^5}$	$\frac{2,5}{10^5}$	$\frac{0,5}{10^5}$
Число проходов N , раз	x_5	2	5	3	1

Предположено, что зависимости (см. рис. 1–3) с достаточной точностью можно аппроксимировать уравнениями регрессии степенного вида. Тогда зависимости составляющих P_x, P_y, P_z резания и мощности N_e от параметров режима обработки можно выразить степенной функцией

$$P_{x,y,z,N} = CS^x t^y V^z V_p^n N^m. \quad (1)$$

После логарифмирования уравнения (1)

$$\lg P_{x,y,z,N_e} = \lg C + X \lg S + y \lg t + z \lg V + n \lg V_p + m \lg N. \quad (2)$$

При исследовании в качестве пла-

на эксперимента приняли 1/4 реплики (2^{5-2}) от полного факторного эксперимента 2^5 . Реплика задана генерирующими соотношениями: $x_4 = x_1 x_2$ и $x_5 = x_1 x_2 x_3$.

Возможность представления результатов экспериментов уравнениями вида (1) устанавливается проверкой гипотезы адекватности линейной модели при выражении результатов эксперимента следующим полиномом [4]:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_5 x_5 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3, \quad (3)$$

где y – $\lg P_x, \lg P_y, \lg P_z, \lg N_e$; x_1, x_2, \dots, x_5 – кодированные значения факторов; $b_0, b_1, b_2, \dots, b_5$ – коэффициенты регрессии.

Кодированное значение факторов определяется по выражению [4]

$$X_i = \frac{(\lg \bar{X}_i - \lg X_i^{\max})}{\lg X_i^{\max} - \lg X_i^{\min}} + 1, \quad (4)$$

где X_i – кодированное значение i -го фактора; \bar{X}_i – натуральное значение i -го фактора; X_i^{\max} , X_i^{\min} – натуральные значения верхнего и нижнего уровней i -го фактора соответственно.

Матрица планирования, рабочая матрица и результаты экспериментов приведены в табл. 2. Значения коэффициентов находятся по формулам:

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^N X_{0i} y_i}{N}; \quad b_i = \frac{\sum_{j=1}^N X_{ij} y_j}{N},$$

где X_{ij} – кодированное значение (± 1) i -го фактора в j -м опыте; y_j – параметр оптимизации в j -м опыте; N – число опытов в матрице планирования, $N = 8$ (табл. 2).

По матрице планирования и рабочей матрице поставлены эксперименты ($N = 8$), заключающиеся в измерении составляющих силы резания и мощности при точении заготовок из стали 45 (см. табл. 2). В результате обработки экспериментальных данных и вычисления коэффициентов полинома (3) по приведенным выше формулам (см. табл. 2) получаются следующие уравнения регрессии:

$$y_x = 2,018 + 0,2875X_1 + 0,338X_2 + 0,195X_3 - 0,264X_4 + 0,091X_5 - 0,0015X_1X_3 - 0,00075X_2X_3; \quad (5)$$

$$y_y = 2,44 + 0,27X_1 + 0,344X_2 + 0,128X_3 - 0,362X_4 + 0,14X_5 + 8,75 \cdot 10^{-4}X_1X_3 - 0,001375X_2X_3; \quad (6)$$

$$y_z = 2,77 + 0,181X_1 + 0,149X_2 + 0,062X_3 - 0,323X_4 + 0,12X_5 + 7,5 \cdot 10^{-4}X_1X_3 - 0,001X_2X_3; \quad (7)$$

$$y_N = 0,3467 + 0,18X_1 + 0,15X_2 + 0,3X_3 - 0,324X_4 + 0,12X_5 - 2,5 \cdot 10^{-5}X_1X_3 + 5,75 \cdot 10^{-4}X_2X_3. \quad (8)$$

Дисперсия S^2y воспроизводимости эксперимента вычислена по результатам четырех опытов в нулевой точке (в центре плана), т. е. при $X_1 = X_2 = X_3 = X_4 = X_5 = 0$ [4]:

$$S^2y = \frac{1}{n_0 - 1} \left[\sum_{i=1}^{n_0} (y_i - \bar{y})^2 \right],$$

где n_0 – число параллельных опытов в нулевой точке, $n_0 = 4$; y_i – значение параметра оптимизации в i -м опыте; \bar{y} – среднее арифметическое значение параметра оптимизации в n_0 .

Результаты экспериментов в центре плана для уравнения регрессии (5) и дисперсия воспроизводимости $S^2y = 27,17 \cdot 10^{-6}$ при степенях свободы $f_2 = n_0 - 1 = 4 - 1 = 3$ представлены в табл. 3, а для уравнений регрессии (6)...(8) – в табл. 2.

Статистическая значимость коэффициентов уравнений регрессии (5)...(8) оценивается путём сравнения абсолютной величины коэффициента с доверительным интервалом коэффициентов Δb_i , определяемом по формуле

$$\Delta b_i = \pm t_T S \{b_i\},$$

где

$$S^2 \{b_i\} = \frac{S^2 y}{N};$$

$$S \{b_i\} = \sqrt{S^2 \{b_i\}};$$

t_T – табличное значение критерия Стьюдента при 5-процентном уровне значимости и числе степеней свободы $f_2 = 3$, с которым определялась дисперсия S^2y , $t_T = 3,18$ [4]; $S^2 \{b_i\}$ – дисперсия i -го коэффициента регрессии; $S(b_i)$ – ошибка в определении i -го коэффициента регрессии; N – число опытов в матрице планирования, $N = 8$.

Табл. 2. Матрица планирования, рабочая матрица, результаты экспериментов и расчётов

Номер опыта	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₁ , X ₃	X ₂ X ₃	S, мм/об	t, мм	V, м/с	V _p , м/с	N	$\frac{P_x}{\lg P_x}$ (y _i)	$\frac{P_y}{\lg P_y}$ (y _i)	$\frac{P_z}{\lg P_z}$ (y _i)	$\frac{N_x}{\lg(N_x)}$ (y _i)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	+	-	-	-	+	-	+	+	0,2	0,2	2	$\frac{4,5}{10^5}$	1	7	16	86	0,187	
2	+	+	-	-	-	+	-	+	0,8	0,2	2	$\frac{0,5}{10^5}$	5	135	546	1517	3,3	
3	+	-	+	-	-	+	+	-	0,2	0,8	2	$\frac{0,5}{10^5}$	5	171	773	1321	2,88	
4	+	+	+	+	+	-	-	-	0,8	0,8	2	$\frac{4,5}{10^5}$	1	127	265	394	0,86	
5	+	-	-	+	+	+	-	-	0,2	0,2	6	$\frac{4,5}{10^5}$	5	26	54	198	1,294	
6	+	+	-	+	-	-	+	-	0,8	0,2	6	$\frac{0,5}{10^5}$	1	214	520	1168	7,633	
7	+	-	+	+	-	-	-	+	0,2	0,8	6	$\frac{0,5}{10^5}$	1	271	735	1017	6,64	
8	+	+	+	+	+	+	+	+	0,8	0,8	6	$\frac{4,5}{10^5}$	5	465	917	906	5,92	
b _i (x)	2,018	0,2875	0,338	0,1915	-0,264	0,091	$\frac{1,5}{10^3}$	$\frac{7,5}{10^4}$	S ² {y} = 27,179·10 ⁻⁶	S ² {b _i } = 3,397·10 ⁻⁶	S ² {b _i } = 5,86·10 ⁻³	S ² _м = 15,62·10 ⁻⁶	Δb _i = 1,74 < F _T = 19,6					
b _i (y)	2,44	0,27	0,344	0,128	-0,362	0,14	$\frac{8,75}{10^4}$	$\frac{1,375}{10^3}$	S ² {y} = 36,92·10 ⁻⁶	S ² {b _i } = 4,615·10 ⁻⁶	S ² {b _i } = 6,83·10 ⁻³	S ² _м = 14,5·10 ⁻⁶	Δb _i = 2,55 < F _T = 19,6					
b _i (z)	2,77	0,181	0,149	0,062	-0,323	0,12	$\frac{7,5}{10^4}$	$\frac{1,0}{10^3}$	S ² {y} = 13,633·10 ⁻⁶	S ² {b _i } = 1,704·10 ⁻⁶	S ² {b _i } = 4,15·10 ⁻³	S ² _м = 14·10 ⁻⁶	Δb _i = 1,03 < F _T = 9,55					
b _i (N)	0,3467	0,18	0,15	0,3	-0,324	0,12	$\frac{2,5}{10^5}$	$\frac{5,75}{10^4}$	S ² {y} = 44,5·10 ⁻⁶	S ² {b _i } = 5,563·10 ⁻⁶	S ² {b _i } = 7,5·10 ⁻³	S ² _м = 7,94·10 ⁻⁶	Δb _i = 5,6 < F _T = 19,6					

университета

Табл. 3. Вспомогательная таблица для расчёта дисперсии S^2y для уравнения (5)

Номер опыта в центре плана	P_{x_i} , Н	y_i	\bar{y}	$y_i - \bar{y}$	$(y_i - \bar{y})^2$	S^2y
1	150	2,176	$\frac{\sum_1^4 y_i}{4} = \frac{8,727}{4} = 2,1818$	$5,7 \cdot 10^{-3}$	$\frac{32,49}{10^6}$	$\frac{\sum_1^4 (y_i - \bar{y})^2}{f_2} = \frac{81,537}{10^6(4-1)} = 27,17$ ($f_2 = 3$)
2	154	2,1875		$5,72 \cdot 10^{-3}$	$\frac{32,72}{10^6}$	
3	151	2,1789		$2,823 \cdot 10^{-3}$	$\frac{7,969}{10^6}$	
4	153	2,1847		$2,891 \cdot 10^{-3}$	$\frac{8,358}{10^6}$	
$\sum_1^4 y = 8,727$					$\sum_1^4 (y - \bar{y})^2 = \frac{81,537}{10^6}$	

Для уравнения регрессии (5)

$$S^2 \{b_i\} = \frac{27,17}{10^6 \cdot 8} = 3,3973 \cdot 10^{-6};$$

$$\Delta b_i = \pm 3,18 \sqrt{\frac{3,3973}{10^6}} = \pm 0,005866.$$

Доверительный интервал коэффициентов для уравнений (6)...(8) представлен в табл. 2.

Поскольку коэффициенты b_{13} и b_{23} в уравнениях (5)...(8) меньше доверительных интервалов Δb_i (см. табл. 2), их можно признать статистически незначимыми и исключить из уравнений регрессии. После исключения незначимых коэффициентов уравнения (5)...(8) примут вид:

$$\hat{y}_x = 2,018 + 0,2875X_1 + 0,338X_2 + 0,195X_3 - 0,264X_4 + 0,091X_5; \quad (9)$$

$$\hat{y}_y = 2,44 + 0,27X_1 + 0,344X_2 + 0,128X_3 - 0,362X_4 + 0,14X_5; \quad (10)$$

$$\hat{y}_z = 2,77 + 0,181X_1 + 0,149X_2 + 0,062X_3 - 0,323X_4 + 0,12X_5; \quad (11)$$

$$\hat{y}_N = 0,3467 + 0,18X_1 + 0,15X_2 + 0,3X_3 - 0,324X_4 + 0,12X_5. \quad (12)$$

Для проверки гипотезы адекватности моделей, представленных уравне-

ниями (9)...(12), находят дисперсии адекватности $S_{ад}^2$. Дисперсия адекватности характеризует рассеяние эмпирических значений y_i относительно расчётных \hat{y}_i , определённых по уравнениям (9)...(12).

Дисперсии адекватности определены по формуле [4]

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_1^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{f_i}; \quad (13)$$

$$f_i = N - (K + 2),$$

где y_i – экспериментальное значение параметра оптимизации в i -м опыте; \hat{y}_i – значение параметра оптимизации в i -м опыте, вычисленное по уравнениям (9)...(12) при числе степеней свободы $f_1 = 8 - (5 + 1) = 2$; K – число факторов, $K = 5$.

Для суммы, входящей в выражение (13), и уравнения регрессии (9) составлена вспомогательная табл. 4.

Дисперсия адекватности

$$S_{ад}^2 = 15,62 \cdot 10^{-6} \quad (f_1 = 2).$$

Проверка гипотезы адекватности модели произведена по F-критерию Фишера. Для этого найдено расчётное значение критерия (отношение большей

дисперсии воспроизводимости к меньшей дисперсии адекватности):

$$F_p = \frac{S_y^2}{S_{ад}^2} = \frac{27,179 \cdot 10^6}{10^6 \cdot 15,62} = 1,74.$$

При 5-процентном уровне значимости и числах степеней свободы для числителя $f_2 = 3$ и для знаменателя $f_1 = 2$ табличное значение критерия $F_T = 19,6$.

Табл. 4. Вспомогательная таблица для расчёта

Номер опыта	y_i	\hat{y}	$y_i - \hat{y}$	$(y_i - \hat{y})^2$	$S_{ад}^2$
1	0,845	0,846	-0,001	$1 \cdot 10^{-6}$	$\frac{\sum_{i=1}^8 (y_i - \hat{y}_i)^2}{f_T} = \frac{31,24}{10^6 \cdot 2} = 15,62 \cdot 10^{-6}$
2	2,13	2,131	-0,001	$1 \cdot 10^{-6}$	
3	2,23	2,232	-0,002	$4 \cdot 10^{-6}$	
4	2,1	2,092	0,003	$9 \cdot 10^{-6}$	
5	1,414	1,411	0,003	$9 \cdot 10^{-6}$	
6	2,33	2,332	0,002	$4 \cdot 10^{-6}$	
7	2,433	2,433	0	0	
8	2,66	2,66	0,0018	$3,24 \cdot 10^{-6}$	
				$\sum 31,24 \cdot 10^{-6}$	

Так как $F_p = 1,74 < F_T = 19,6$, то модель, представленная уравнением (9), адекватна.

Результаты расчёта дисперсии $S_{ад}^2$ для уравнений (10)...(12) представлены в табл. 4. Расчёты показывают, что модели уравнений (9)...(12) адекватны, т. к. во всех случаях $F_p < F_T$.

Для перехода от кодированных значений факторов к натуральным в уравнения (9)...(12) подставлены значения факторов X_1, X_2, X_3, X_4 и X_5 из выражения (4):

$$X_1 = \frac{2(\lg S - \lg 0,8)}{\lg 0,8 - \lg 0,2} + 1;$$

$$X_2 = \frac{2(\lg t - \lg 0,8)}{\lg 0,8 - \lg 0,2} + 1;$$

$$X_3 = \frac{2(\lg V - \lg 6)}{\lg 6 - \lg 2} + 1;$$

$$X_4 = \frac{2(\lg(V_p \cdot 10^5) - \lg(4,5 \cdot 10^5))}{\lg(4,5 \cdot 10^5) - \lg(0,5 \cdot 10^5)} + 1;$$

$$X_5 = \frac{2(\lg N - \lg 6)}{\lg 5}.$$

После преобразования уравнений (9)...(12)

$$\lg P_x = 2,418 + 0,955 \lg S + 1,121 \lg t + 0,8 \lg V - 0,553 \lg(V_p \cdot 10^5) + 0,261 \lg N;$$

$$\lg P_y = 2,956 + 0,9 \lg S + 1,141 \lg t + 0,54 \lg V - 0,761 \lg(V_p \cdot 10^5) + 0,4 \lg N;$$

$$\lg P_z = 3,067 + 0,6 \lg S + 0,51 \lg t + 0,26 \lg V - 0,681 \lg(V_p \cdot 10^5) + 0,34 \lg N;$$

$$\lg N_p = 0,1067 + 0,6 \lg S + 0,51 \lg t + 1,26 \lg V - 0,681 \lg(V_p \cdot 10^5) + 0,343 \lg N.$$

Потенцируя,

$$P_x = 262 \cdot S^{0,96} \cdot t^{1,12} \cdot V^{0,8} \cdot V_p^{-0,55} \cdot N^{0,26};$$

$$P_y = 904 \cdot S^{0,9} \cdot t^{1,14} \cdot V^{0,54} \cdot V_p^{-0,76} \cdot N^{0,4};$$

$$P_z = 1167 \cdot S^{0,6} \cdot t^{0,5} \cdot V^{0,26} \cdot V_p^{-0,68} \cdot N^{0,34};$$

$$N_e = 1,28 \cdot S^{0,6} \cdot t^{0,5} \cdot V^{1,26} \cdot V_p^{-0,68} \cdot N^{0,34}. \quad (14)$$

Полученные регрессионные зависимости (14) подтвердили ранее сделанные выводы, что глубина резания и подача, а также скорость резания и чис-

ло проходов в большей степени влияют на темп роста радиальной силы P_y , чем на темп роста тангенциальной силы P_z . На тангенциальную силу P_z в наибольшей степени влияет скорость перемещения V_p режущей кромки, а затем по убывающей – подача S , глубина резания t , число проходов N и скорость резания V . То обстоятельство, что число проходов N в большей степени влияет на силу P_z , чем скорость резания V , подтверждает важность и актуальность изучения его влияния на динамику процесса.

Кроме того, введение ещё одного дополнительного параметра режима обработки (кроме скорости микроперемещения РК), а именно числа N проходов зоны резания, позволяет без потери производительности осуществить регулирование силовых и энергетических характеристик процесса с обеспечением постоянной величины какого-либо его выходного параметра.

Таким образом, полученные математические зависимости позволяют осуществить прогнозирование и опти-

мизацию силовых и энергетических параметров обработки, что даёт возможность спрогнозировать величину упругих деформаций элементов технологической системы на стадии проектирования технологического процесса и своевременно принять меры по обеспечению заданной точности обработки валов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коновалов, Е. Г. Прогрессивные схемы ротационного резания металлов / Е. Г. Коновалов, В. А. Сидоренко, А. В. Соусь. – Минск : Наука и техника, 1972. – 272 с.
2. Ротационное резание металлов / П. Н. Ящерицын [и др.]. – Минск : Наука и техника, 1987. – 229 с.
3. Шатуров, Г. Ф. Прогрессивные процессы механической обработки поверхностей / Г. Ф. Шатуров, Ж. А. Мрочек. – Минск : Технопринт, 2001. – 460 с.
4. Спиридонов, А. В. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А. В. Спиридонов. – М. : Машиностроение, 1981. – 184 с.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 23.05.2010

**A. A. Zholobov, A. N. Ryazantsev,
D. G. Shaturov**
**Dynamics of the process and effective
power while turning with multiple
micro-renewal of the cutting edge**

The paper gives the results of the research into the influence of the number of passes of the cutting edge in the cutting area upon the dynamics and the effective power of the machining process. Mathematical model is developed for the optimization of the process of turning on the basis of the obtained regression dependences.