

УДК 621.9.

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ТОЧЕНИЯ КОМПОЗИТОМ ПО КРИТЕРИЮ СЕБЕСТОИМОСТИ

*Е.А. КУДРЯШОВ, доктор техн. наук, профессор,
А.С. АСТАФЬЕВ, канд. техн. наук, доцент
(ЮЗГУ, г. Курск)*

Статья поступила 14 ноября 2011 года

Кудряшов Е.А. – 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94,
Юго-Западный государственный университет,
e-mail: Kea@swsu.ru

Приведены результаты параметрической оптимизации процессов обработки в осложненных технологических условиях на примере чистового точения прерывистых поверхностей деталей инструментом из композита.

Ключевые слова: точение композитом, оптимизация, режимы резания, параметры оборудования, себестоимость.

Оптимизация решений задач структурного синтеза приводит к повышению технико-экономических показателей проектируемых процессов только совместно с получением надежных решений в сфере параметрического синтеза. В технологических процессах, где существуют факторы, осложняющие процесс резания, эффективность решений задач параметрического синтеза, а именно расчет (выбор) марки инструментального материала, геометрических параметров инструмента и режимов резания, приобретает принципиальное значение.

Для технологических процессов обработки точением закаленных сталей композитом фактором, осложняющим процесс резания, является прерывистость обработки. Рассмотрим параметрическую оптимизацию процессов обработки в осложненных технологических условиях на примере чистового точения прерывистых поверхностей высокой твердости композитом. Особое внимание в указанных условиях следует уделить расчету геометрических параметров инструмента для создания «U»-контакта с целью обеспечения высокой работоспособности композита. Для такого расчета разработана, теоретически обоснована и экспериментально подтверждена методика, позволяющая по конструктивным особенностям прерывистой поверхности опре-

делить оптимальную геометрию резца, обеспечивающую максимально возможную стойкость [1, 2]. В качестве критерия оптимизации режимов резания принят критерий минимальной себестоимости обработки.

За основу для оптимизации режимов резания взята зависимость [3], которая после преобразования [1] имеет вид

$$C = \frac{E}{VS} + \frac{(E\tau_{cm} + W_T)(V^m S^y t^u)}{VSC_T}, \quad (1)$$

где E – стоимость работы станка за 1 мин; W_T – себестоимость режущего инструмента за период его стойкости; τ_{cm} – потери времени на смену или переточку инструмента; V – скорость резания; S – подача; C_T – коэффициент, m , y , u – показатели степени, экспериментально определенные для разных комбинаций прерывистости, обрабатываемого материала и марки композита.

Система ограничений на оценочную функцию (1) для чистового точения композитом формируется с учетом гарантированного обеспечения требуемых показателей точности обработки и шероховатости поверхности. Техническое ограничение по требованиям к шероховатости обработанной поверхности задается линейной зависимостью вида

$$R_a \geq b_0 + b_1V + b_2S + b_3t, \quad (2)$$

где b_0, b_1, b_2, b_3 – коэффициенты, экспериментально определенные для разных марок композита и обрабатываемых материалов.

Жесткость технологической системы оказывает значительное влияние на точность размера, особенно при точении валов с соотношением длины к диаметру более пяти. Поэтому техническое ограничение по требованиям к точности размера рассмотрим исходя из жесткости системы СПИД. Известно, что увеличение диаметра ΔD от первоначального значения, установленного при настройке станка, равно удвоенному суммарному отжатию технологической системы:

$$\Delta D = 2y = 2P_y / j, \quad (3)$$

где y – величина отжатия; j – жесткость технологической системы; P_y – нормальная составляющая силы резания:

$$P_y = C_y S^{y_p} t^{x_p} V^{n_p}, \quad (4)$$

где C_y – коэффициент, y_p, x_p, n_p – показатели степени, учитывающие условия обработки.

Суммарная жесткость технологической системы определяется:

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{j_1} + \frac{1}{j_2} + \dots + \frac{1}{j_n}, \quad (5)$$

где j_1, j_2, \dots, j_n – жесткость звеньев технологической системы СПИД.

Перепишем выражение (3) для вала, установленного в центрах токарного станка, рассматривая его деформацию под действием силы P_y , как деформацию балки, лежащую на двух опорах:

$$T_{\Delta} \geq 2C_y S^{y_p} t^{x_p} V^{n_p} \left[\left(\frac{L-x}{L} \right)^2 \frac{1}{j_{п.б}} + \frac{x^2}{L^2} \frac{1}{j_{3.б}} + \frac{x^2(L-x)^2}{3EjL} + \frac{1}{j_{суп}} \right], \quad (6)$$

где T_{Δ} – часть поля допуска, выделенная на компенсацию погрешности от упругой деформации системы; L – длина заготовки; x – расстояние от передней бабки до рассматриваемого сечения заготовки; $j_{п.б}, j_{3.б}, j_{суп}$ – жесткость передней, задней бабки и суппорта соответственно; E – модуль упругости материала заготовки; J – момент инерции рассматриваемого сечения заготовки. Полученное выражение используем в качестве технического ограничения по требованиям к точности размера при оптимизации режимов обработки композитом.

Схема алгоритма оптимизации режимов резания приведена на рис. 1. Для заданной модели станка из базы данных выделяются параметры оборудования: жесткость его узлов, стоимость эксплуатации, диапазон подач и частот вращения шпинделя. Геометрическим параметрам режущей части и марке инструментального материала, из хранящихся в базе данных, сопоставляются сведения о себестоимости выбранного инструмента за его период стойкости, время на переточку или замену и эмпирические показатели обработки данной марки. Из геометрических характеристик необходимы – длина детали, диаметр обработки и расстояние до обрабатываемой поверхности от передней бабки.

Требования к точности задаются значением, представляющим собой часть поля допуска, которая выделена на компенсацию погрешности от деформации системы СПИД. Глубина резания является неуправляемой величиной и также входит в исходные данные.

Поиск значения минимальной стоимости осуществляется направленным перебором возможных вариантов комбинаций скоростей и подач. Значения скорости и подачи, соответствующие оптимуму, обозначены как $V_{опт}$ и $S_{опт}$.

В результате ранее проведенных исследований предложена система уравнений технических ограничений, определяющих оптимальные параметры управления процессами чистовой обработки прерывистых поверхностей деталей из черных металлов:

$$\left. \begin{aligned} S^{0,48} V^{-0,83} &= Ra / 1194,6 R^{-0,29} t^{0,33}, \\ S^{0,16} V^{0,20} &= C / t^{0,19} T, \\ S^{0,14} V^{0,20} &= h_3 / 0,87 C t^{0,12}, \\ S^{0,35} V^{0,16} &= C \theta_p \lambda F t / P_Z K_T L, \\ S^{0,48} V^{-0,83} &= P_Z / C K t^{0,52}, \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где Ra – шероховатость обрабатываемой поверхности; R – радиус при вершине инструмента; C – коэффициент, характеризующий изменение геометрии режущей вставки; T – стойкость инструмента; θ_p – температура в зоне резания; λ – коэффициент теплопроводности; F – площадь поперечного сечения стружки; P_Z – составляющая силы резания; K_T – коэффициент температуропроводности; L – длина обработки;

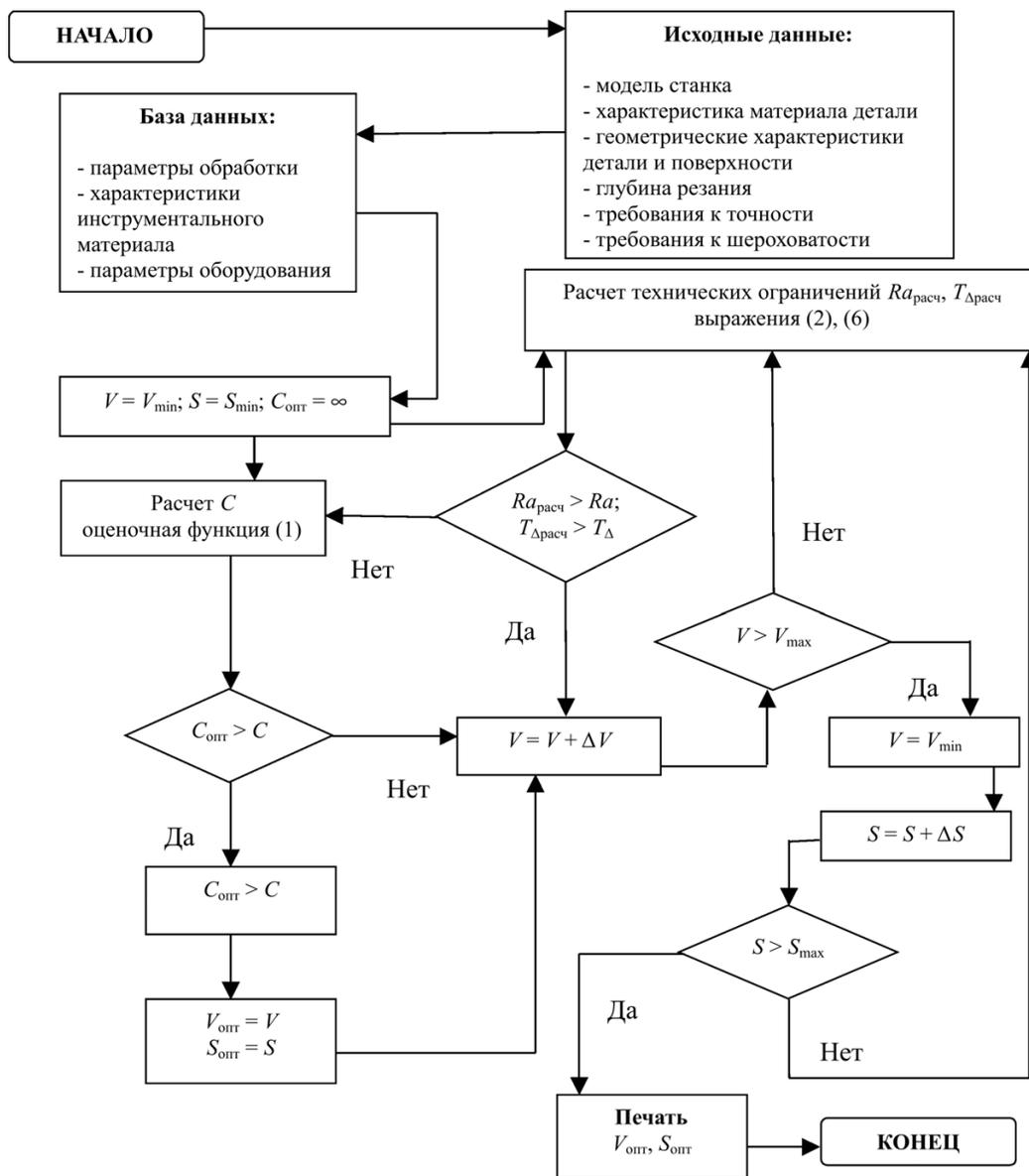


Рис. 1. Схема алгоритма оптимизации режимов резания

K – коэффициент прерывистости обрабатываемой поверхности; t – глубина резания; h_3 – износ по задней поверхности инструмента.

Логарифмируя уравнения (7), вводим обозначения $\ln S = X1$; $\ln V = X2$, правые части уравнений системы соответственно обозначаем: $B1$, $B2$, $B3$, $B4$, $B5$. Новая система уравнений принимает следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} 0,48X1 - 0,83X2 &= B1, \\ 0,16X1 + 0,20X2 &= B2, \\ 0,14X1 + 0,20X2 &= B3, \\ 0,35X1 + 0,16X2 &= B4, \\ 0,42X1 + 0,12X2 &= B5. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Введя ограничения, позволяющие получить допустимые режимы резания, качество и точ-

ность обрабатываемой поверхности приходим к следующей системе неравенств:

$$\left. \begin{aligned} 0,48X1 - 0,83X2 &\leq B1, \\ 0,16X1 - 0,20X2 &\leq B2, \\ 0,14X1 - 0,20X2 &\leq B3, \\ 0,35X1 + 0,16X2 &\leq B4, \\ 0,42X1 + 0,12X2 &\leq B5, \end{aligned} \right\} \text{ при } X1, X2 \geq 0,$$

где значения S и V рассчитываются: $S = e^{X1}$; $V = e^{X2}$.

Используя симплекс-метод и составив систему уравнений

$$\left. \begin{aligned} 0,48X1 - 0,83X2 + X3 &= B1, \\ 0,16X1 + 0,20X2 + X4 &= B2, \\ 0,14X1 + 0,20X2 + X5 &= B3, \\ 0,35X1 + 0,16X2 + X6 &= B4, \\ 0,42X1 + 0,12X2 + X7 &= B5, \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

находим значения $X1$ и $X2$. Для нахождения корневой системы использована подпрограмма CM (симплекс-метод) на ЭВМ:

45n			
0,48	-0,83	10000	B1
0,16	0,20	01000	B2
0,14	0,20	00100	B3
0,35	0,16	00010	B4
0,42	0,12	00001	B5
-1	-1	00000	$m \ 32 \ m \ 45 \ n \ CM \ n > m$
32 m			
45 n			
CM			
$n > m$			
$n = 7$			
$m = 5$			

Определив значения $X1$, $X2$ и максимум оценочной функции

$$f_0 = (X1 + X2),$$

можно построить геометрическое изображение математической модели процесса резания прерывистых поверхностей деталей из черных металлов.

Проблема оптимизации процесса может быть сформулирована как нахождение точки, в которой функция оптимизации принимает без нарушения наложенных ограничений оптимальное значение при реальных значениях независимых параметров V , S , t .

Каждое уравнение системы (рис. 2) определяет прямую (I, II и т.д.) на плоскости $X_1 O X_2$, а соответствующее неравенство – полуплоскость.

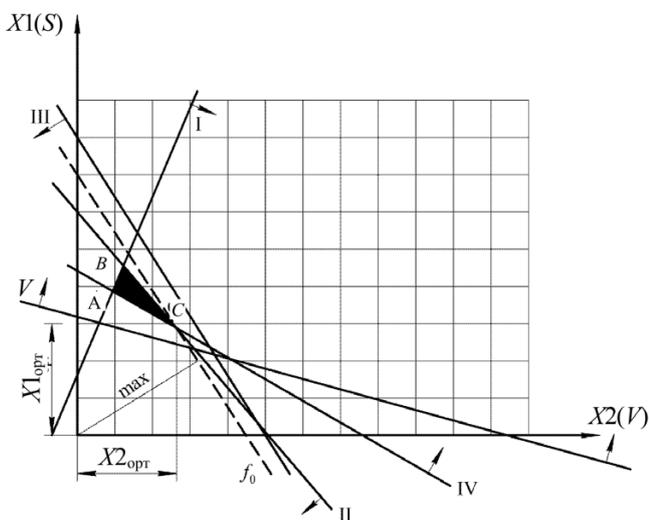
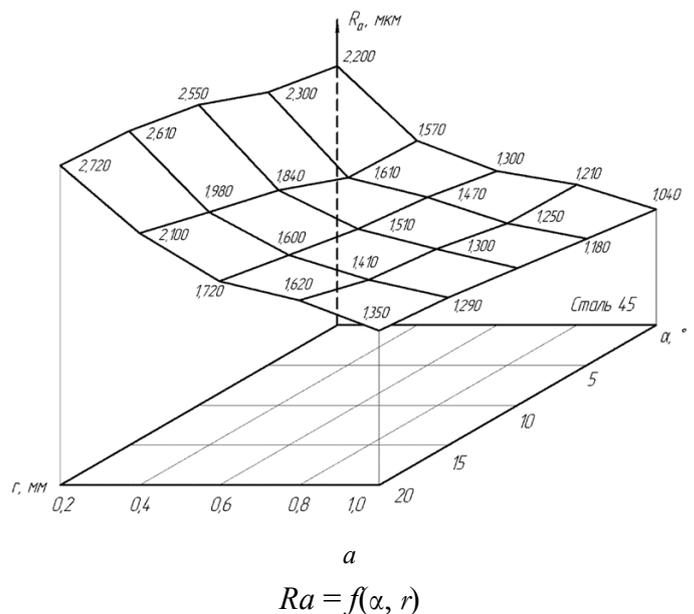


Рис. 2. Математическая модель процесса прерывистого резания

Система неравенств дает область оптимальных режимов. Если система введенных ограничений не противоречива (т. е. совместна), то указанное множество точек, образующих площадь треугольника, ограниченного точками BAC , является треугольником возможных решений. Функция f_0 , подлежащая оптимизации, имеет максимум в точке C . Координаты точки C дадут оптимальные значения $X1_{opt}$ и $X2_{opt}$, а сумма координат ($X1 + X2$) будет наибольшей.

Определив $X1_{opt}$ и $X2_{opt}$, можно установить оптимальные значения параметров V и S для управления процессом резания.

Результаты исследований, проведенные по изложенной методике, позволили получить модели зависимости стойкости резцов из композитов от ожидаемой шероховатости обрабатываемой поверхности. Используя предложенные объемные модели процесса резания (рис. 3 и 4),



$Ra = f(\alpha, r)$

α	r				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
0	2,20	1,57	1,30	1,21	1,04
5	2,30	1,61	1,47	1,25	1,18
10	2,55	1,84	1,51	1,30	1,24
15	2,61	1,98	1,60	1,41	1,29
20	2,72	2,10	1,72	1,62	1,35

Рис. 3. Объемная зависимость шероховатости обрабатываемой поверхности детали (сталь 45) от геометрии инструмента:

a – объемная модель; b – параметры режущей части инструмента

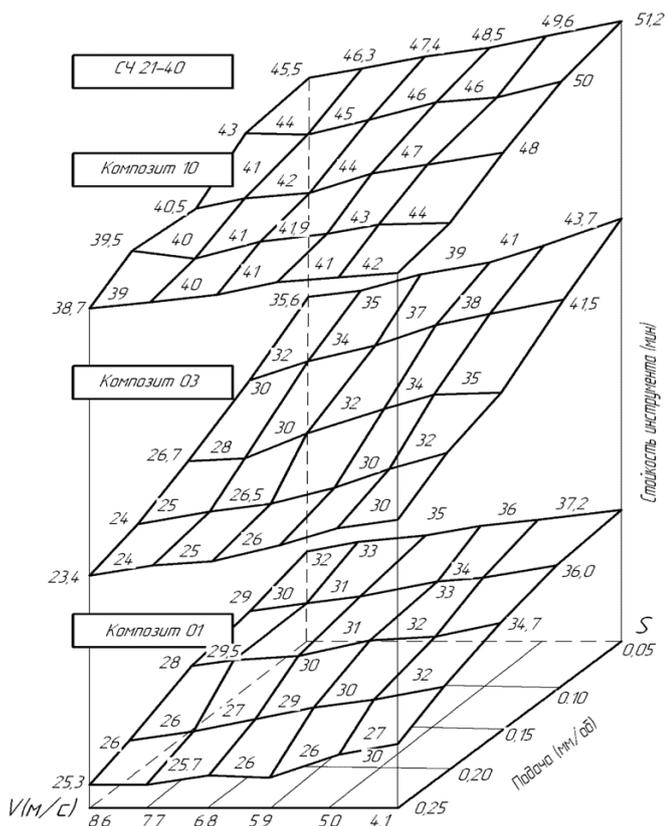


Рис. 4. Объемная модель процесса точения (сталь 45)

возможно в каждом конкретном случае (в зависимости от вида обрабатываемого и инструментального материалов, количества обрабатываемых в партии деталей) для получения заданной шероховатости обрабатываемой поверхности деталей при максимально возможной в данных условиях стойкости инструмента назначать оптимальные режимы резания и выбирать оптимальную геометрию режущей части инструмента.

Список литературы

1. Кудряшов Е.А. Обработка деталей инструментом из композитов в осложненных технологических условиях. – Чита: ЧитГУ, 2002. – Том 1. – 257 с.
2. Кудряшов Е.А. Обработка деталей инструментом из композитов в осложненных технологических условиях. – Чита: ЧитГУ, 2002. – Том 2. – 290 с.
3. Сиротин А.А. Оптимизация процесса резания при токарной обработке / А.А. Сиротин, А.С. Лебедев // Станки и инструмент. – 1973. – № 11. – С. 33–34.

Parametric optimization of turning on the criterion of the composite cost

E.A. Kudryashov, A.S. Astafiev

The results of the parametric optimization of treatment processes in the complicated process conditions on the example of finish turning of discontinuous surfaces of parts of a composite tool are considered.

Key words: turning composite, optimization and cutting conditions, parameters of the equipment cost.