

О. В. Коленченко

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДИСКОВ ГТД ПРИ ЗАДАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЯХ

Предложена методика разработки общих функциональных наиболее характерных зависимостей технологических и экономических характеристик от режимов механической обработки, обеспечивающих связь различных критериев между собой и применения этих зависимостей при решении технологических задач механической обработки. *Механическая обработка; оптимизация; сложнофасонные детали*

ВВЕДЕНИЕ

Применяемое современное металлорежущее оборудование характеризуется чрезвычайно высокой степенью автоматизации.

Это оборудование может принести экономический эффект при его максимальном использовании и увеличении доли основного времени в общих затратах времени работы станка. Следовательно, снижению основного времени при выполнении конкретной технологической задачи на современном этапе необходимо уделять особое внимание.

Для решения этой проблемы требуется особый подход к определению наилучших значений технологических параметров способов механической обработки.

Технологические параметры способа обработки определяются технологической задачей и выбранными технологическими средствами. Причем часть параметров (нерегулируемые входные) заданы, а часть параметров (регулируемые величины процесса) могут быть выбраны в ограниченной области. Технологические режимы (скорость резания, подача, глубина резания и др.) позволяют адаптировать способ обработки к технологической задаче.

В технической литературе опубликовано большое количество данных, позволяющих выбрать режимы механической обработки. Однако практическое использование этого материала пока неудовлетворительно. Появление новых инструментальных, обрабатываемых материалов не входит в содержание опубликованных нормативных данных – это во-первых, во-вторых, используемые в настоящее время справочные данные для выбора режимов механической обработки, взятые из различных источников для идентичных условий, сильно отличаются друг от друга, и, наконец, опубликованные таблицы, номограммы и др. не позволяют полностью использовать возможности современного автоматизированного оборудования.

В технологии машиностроения, как и во многих других прикладных науках, особенностью постановки технической задачи является то, что из многих возможных вариантов должен быть найден самый экономичный. Основой решения такой сложной задачи являются технические и экономические связи, которые отражают закономерности механической обработки сложнофасонных ответственных деталей ГТД.

1. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В статье предложена методика разработки общих функциональных, наиболее характерных зависимостей технологических и экономических характеристик от режимов механической обработки, обеспечивающих связь различных критериев между собой и применения этих зависимостей при решении технологических задач механической обработки.

Диски ГТД являются сложнопрофильными деталями, обладающими переменной жесткостью. Обработка таких деталей ведется на станках с программным управлением, так как они обладают большими технологическими возможностями.

Анализ производственных условий обработки дисков ГТД (рис. 1), позволил установить диапазон изменения переменных технологических факторов: скорость резания изменяется V от 10 до 40 м/мин; подача S от 0,1 до 0,3 мм/об; глубина резания $t = 0,5$ мм; передний угол назначается от -10° до $+10^\circ$; радиус при вершине $r_b = 0,5 \div 2,0$ мм; угол в плане $\varphi = 30 \div 60^\circ$.

Жесткость упругой технологической системы или ее элементов характеризуется способностью сопротивляться приложенной нагрузке (рис. 1).

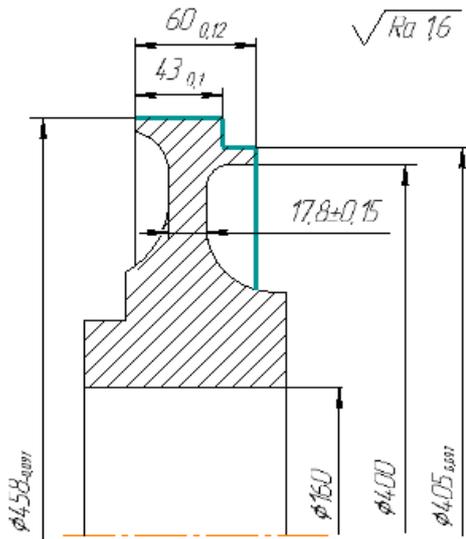


Рис. 1. Диск ГТД

Оценивалось влияние указанных факторов на изменение следующих параметров: характеристики износа режущего инструмента (h_{03} , l , T); показателей физико-механического состояния обработанной поверхности (Ra , N , h_c , σ_r , h_o), а также производительности (Π) и себестоимости (C) обработки.

Для получения регрессионных зависимостей, связывающих основные параметры процесса резания с изменяющимися технологическими факторами, в данной работе были использованы методы математического планирования экспериментов [1]. Реализован план B_4 , фрагмент которого приведен в табл. 1, уравнения регрессии табл. 2.

Таблица 1

№ опыта	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	$Y (\lg T)$
1	1	-1	-1	-1	-1	1,16
2	1	1	-1	-1	-1	0,44
3	1	-1	1	-1	-1	1,8
4	1	1	1	-1	-1	0,02
5	1	-1	-1	1	-1	1,03
...						
24	1	0	0	0	1	1,437

Коэффициенты находят по приведенным ниже формулам [4]:

$$b_0 = \frac{1}{n_0} \sum_{u=1}^{n_0} y_{0u}, b_i = A \sum_{j=1}^N x_{ij} y_j, b_{ij} = D \sum_{j=1}^N x_{ij} x_{ij} y_j;$$

$$b_{ii} = B \sum_{j=1}^N x_{ij}^2 y_j + C \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^N x_{ij}^2 y_j - \frac{1}{p \cdot n_0} \sum_{u=1}^{n_0} y_{0u},$$

где n_0 – число опытов в центре плана; u – номер параллельного опыта в центре плана; y_{0u} – зна-

чение функции отклика в u -м опыте; N – число опытов в матрице планирования; J – номер опыта в матрице планирования; i, l – номера факторов; x_{ij}, x_{lj} – кодированные значения i -го и l -го факторов в j -м опыте; y_j – значение функции отклика в j -м опыте; k – число факторов; A, B, C, D, p – константы, зависящие от числа факторов.

Число факторов	A	B	C	D	p	n_0
4	1/12	1/8	-1/48	1/4	2	3

2. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Предполагается, что указанные зависимости носят аналитический характер, следовательно, любую из рассматриваемых функций можно разложить в степенной ряд и с достаточной для практики точностью в исследуемых интервалах ограничиться несколькими первыми членами разложения (полиномом второго порядка).

Учитывая закономерности физической оптимизации, установленные профессором А. Д. Макаровым [2], скорость размерного износа инструмента можно определить как

$$V_h = \frac{h \cdot s \cdot V}{100} = h_{ол} \cdot V.$$

Значение стойкости инструмента T при заданном критерии затупления $h_{3к}$ запишется как

$$T = \frac{h_{3к}}{V_h}.$$

Подставляя значение скорости износа инструмента в формулу (2), получим

$$T = \frac{h_{3к}}{h_{ол} \cdot V}.$$

Количество деталей, обработанных за период стойкости инструмента, будет равно

$$Q_T = \frac{T}{t_m} = \frac{h_{3к} \cdot 10^3 \cdot s}{h_{ол} \cdot \pi \cdot D \cdot L}.$$

Подставляя приведенные выражения в известную формулу себестоимости, получим величину технологической себестоимости

$$C_T = \frac{\pi \cdot D \cdot L}{10^3 \cdot V \cdot S} \cdot (\alpha_{сн} + \alpha_p) + \frac{h_{ол} \cdot \pi \cdot D \cdot L}{h_{3к} \cdot 10^3 \cdot s} \times [t_{см.и} \cdot (\alpha'_{сн} + \alpha_p) + B] + t_b \cdot (\alpha'_{сн} + \alpha_p) + \frac{T_{п.з.}}{Q_{\Pi}} \cdot (\alpha'_{сн} + \alpha_p).$$

Известно, что довольно часто в производственных условиях возникает ситуация, когда необходимо обеспечить максимально возможную производительность:

Таблица 2

Уравнения регрессии для определяемых параметров

$$Y_1 = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{14} x_1 x_4 + b_{23} x_2 x_3 + b_{24} x_2 x_4 + b_{34} x_3 x_4 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 + b_{44} x_4^2$$

Y	$\lg h_{03}$	$\lg T$	$\lg l$	$\lg \sigma_\tau$	$\lg h_0$	$\lg Ra$	$\lg C$	$\lg \Pi$
b_0	-0,2582	1,3184	2,6282	1,6671	1,9576	-0,2858	1,8598	-0,8132
b_1	0,1388	-0,4585	-0,1575	0,1480	-0,0846	-0,0538	-0,0794	0,0920
b_2	-0,1894	-0,0591	-0,0602	0,0412	0,0752	0,3079	-0,1001	0,0750
b_3	0,0127	-0,0039	-0,0343	-0,0117	-0,0125	-0,2588	-0,0016	0,0001
b_4	-0,088	0,0749	0,0749	-0,0163	-0,0882	0,0529	-0,0187	0,0001
b_{12}	0,0992	-0,1283	-0,1284	-0,0145	-0,0491	-0,0751	0,0450	-0,0337
b_{13}	-0,0551	0,0934	0,0935	0,0115	-0,0328	–	-0,0135	0,0005
b_{14}	0,0702	0,0624	0,0624	0,0215	-0,0098	-0,0656	-0,0125	0,0005
b_{23}	0,0125	-0,0133	-0,0130	-0,0184	0,0029	-0,1624	-0,0003	–
b_{24}	0,0439	-0,0695	-0,0691	0,0357	-0,0215	-0,0870	0,0047	-0,0002
b_{34}	0,0053	0,0299	0,0299	0,0234	-0,0113	–	-0,0048	0,0002
b_{11}	0,0972	-0,5356	-0,5439	-0,0825	-0,0061	-0,1359	0,1175	-0,0473
b_{22}	-0,0111	-0,1405	-0,0423	0,0603	0,0776	0,0618	0,0413	-0,0291
b_{33}	-0,0794	0,3039	0,1172	0,005	-0,0987	0,1476	-0,0046	-0,0013
b_{44}	0,1005	-0,0969	-0,0088	-0,0091	-0,0276	0,0632	0,0057	-0,0016

$$\Pi = \frac{1}{t_{ш.к.}}$$

Тогда с учетом всех известных технологических факторов, влияющих на производительность, можно записать:

$$\Pi = \frac{1}{\frac{\pi DL}{10^3 sV} + \frac{h_{ол} \cdot \pi DL}{h_{зк} \cdot 10^3} \cdot t_{см.и} + t_b + \frac{T_{п.з.}}{Q_{\Pi}}}$$

Таким образом, получены зависимости себестоимости обработки и производительности, связанные с точностью, режимами резания и состоянием режущих кромок (величиной износа) инструмента.

На первом этапе исследования получены регрессионные зависимости, связывающие основные характеристики обрабатываемости с параметрами процесса резания.

Имея систему таких зависимостей (модель процесса обработки), можно провести внешнюю оптимизацию по любому критерию оптимальности [3]. В качестве примера в табл. 3 приведены варианты расчета исследуемых величин и режимов, с учетом различных критериев оптимальности и технологических ограничений указанной поверхности при обработке детали «Диск».

Таблица 3

Режимы резания при обработке детали «Диск»

Исследуемый параметр оптимизации	Технологические ограничения	Режимы механической обработки
Π_{\max} (I вариант)	$Ra = 1,25 \pm 10 \%$ $C < 100$	$V = 25$ м/мин; $r = 0,5$ мм $S = 0,125$ мм/об; $\varphi = 45^\circ$
C_{\min} (II вариант)	$Ra = 1,25 \pm 10 \%$ $T > 40$	$V = 15$ м/мин; $r = 0,5$ мм; $S = 0,20$ мм/об; $\varphi = 45^\circ$

Таблица 4

Выходные параметры при обработке диска ГТД

Выходные параметры	Первый вариант	Второй вариант
T , мин	22,07	57,05
C_T , руб.	95,06	89,73
Π_T , мин ⁻¹	0,130	0,127
Ra , мкм	0,57	1,28
N , %	18,2	25
h_c , мкм	31,6	108

$$T_{он1} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = 19,7 + 12,2 + 7 + 1,2 = 40,1 \text{ мин.}$$

$$T_{он2} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = 20,6 + 12,7 + 7,3 + 1,3 = 41,9 \text{ мин.}$$

ВЫВОДЫ

Таким образом, полученная модель обработки позволяет выбирать самые рациональные (в зависимости от требуемых условий) варианты обработки с учетом как технологических (шероховатость поверхности, величина максимальных остаточных напряжений или степени наклепа, а также ограничений, что отвечает требованиям обеспечения надежности изделий и условиям автоматизированной обработки (глубина их залегания), так и экономических (себестоимость и производительность).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Голикова Т. И., Панченко Л. А., Фридман М. З.** Каталог планов второго порядка. М.: МГУ. Ч. 1, 2, 1975. 388 с.
2. **Макаров А. Д.** Оптимизация процессов резания. М.: Машиностроение, 1976. 278 с.
3. **Коленченко О. В.** Исследование влияния условий фрезерования на величину деформаций и характеристики качества обработанной поверхности // СТИН. 2010. № 5. С. 32–36.

ОБ АВТОРЕ

Коленченко Ольга Вячеславовна ст. преподаватель каф. оборудования и технологии сварочн. производства. Дип. инженер (УАИ, 1986). Иссл. в обл. механообработки.