

Рис. 1. Графики изменения полей рассеяние  $\omega_b$  и  $\omega_o$  в зависимости от диаметра сверл

$HВ = (500 \div 2500)$  МПа, диаметр режущего инструмента  $d_{и} = (0,8 \div 3,5)$  мм, вылет инструмента  $l_{и} = (8 \div 40)$  мм. Результаты эксперимента показали, что наибольшее влияние оказывает вылет режущего инструмента. Влияние диаметра режущего инструмента сказывается в меньшей степени, и механические свойства обрабатываемого материала оказывают также существенное влияние.

### Литература

1. Исследование точности обработки деталей на агрегатных станках с применением различных технологических схем: отчет о НИР (итоговый) [Текст] / УЗПИ : рук. Э. А. Пашенко, В. А. Чепела. — Инн. № Б979436.1. — Харьков, 1980. — 132 с.
2. Справочник технолога по автоматическим линиям [Текст] / под ред. А. Г. Косиловой. — М. : Машиностроение, 1982. — 320 с.
3. Душинский В. В. Оптимизация технологических процессов в машиностроении [Текст] / В. В. Душинский, Е. С. Пуховский, С. Г. Радченко; под. ред. Г. Э. Туурита. — Киев : Техника, 1977. — 176 с.

УДК 621.923

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СЕБЕСТОИМОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Жовтобрюх Валерий Алексеевич

директор ООО «Технический центр «ВариУс», спуск Калинина, 10, г. Днепропетровск, 49038

Контактный тел.: 050-320-27-04, (056) 790-06-78

E-mail: td@varius.com.ua

*Виконано вибір оптимальних параметрів механічної обробки деталей машин по критерію найменшої собівартості обробки. Наведено конкретні практичні рекомендації по підвищенню техніко-економічних показників обробки.*

*Ключові слова: собівартість обробки, режим різання, інструмент.*

*Произведен выбор оптимальных параметров механической обработки деталей машин по критерию наименьшей себестоимости обработки. Даны конкретные практические рекомендации по повышению технико-экономических показателей обработки.*

*Ключевые слова: себестоимость обработки, режим резания, инструмент.*

*Choice of the optimal parameters of mechanical treatment of machine parts by the lowest cost of treatment is done. Concrete and practical recommendations for improving the technical and economic parameters of treatment are given.*

*Keywords: cost of treatment, mode of cutting, tool.*

### 1. Введение

Исследования, о которых идет речь в статье, относятся к области технологии машиностроения.

Одним из актуальных вопросов, посвященных повышению эффективности механической обработки является определение условий снижения себестоимости и повышения производительности

обработки. Несмотря на то, что данному вопросу в научно-технической литературе уделяется большое внимание, до настоящего времени отсутствуют однозначные аналитические решения об определении себестоимости обработки и выбору оптимальных условий обработки по критерию наименьшей себестоимости. Это ограничивает практическое использование потенциальных возможностей процесса резания, в особенности с использованием современных станков с ЧПУ и прогрессивных режущих инструментов.

## 2. Постановка проблемы

Для определения путей уменьшения себестоимости обработки необходимо ее аналитически описать с учетом основных изменяющихся статей затрат при механической обработке.

Это позволит определить оптимальные режимы резания и характеристики режущих инструментов по критерию наименьшей себестоимости обработки. Исследования проводились в рамках тематического плана работ ОАО ХМЗ «Свет шахтера».

## 3. Анализ последних достижений и публикаций

В работе [1] аналитически доказано наличие экстремума (минимума) зависимости себестоимости обработки одной детали от стойкости режущего инструмента и сделан вывод о возможности оптимизации режимов резания и стойкости инструмента по критерию наименьшей себестоимости. Полученное решение, по сути, приводит в соответствие теорию и практику механической обработки. Между тем анализ данной зависимости для всей партии обрабатываемых деталей показывает на отсутствие экстремума, что, во-первых, противоречит экспериментальным результатам, а во-вторых, ограничивает ее применение для оптимизации режимов резания. В работе [2] показано, что при определенных условиях резания себестоимость обработки всей партии деталей может принимать экстремум (минимум). В связи с этим, важно теоретически определить факторы, обуславливающие экстремальный характер изменения себестоимости обработки.

## 4. Цель работы

Определение условий уменьшения себестоимости обработки при обработке партии деталей и разработка методики расчета оптимальных параметров режимов резания по критерию наименьшей себестоимости обработки.

## 5. Результаты исследований

Проведем анализ себестоимости обработки  $C$  для трех основных изменяющихся статей затрат, связанных с заработной платой рабочего и затратами на режущий инструмент и электрическую энергию, потребляемую при обработке [2]:

$$C = N \cdot t_0 \cdot S_{\text{час}} \cdot k + N_0 \cdot \Pi + N \cdot P \cdot t_0 \cdot S_{\text{элект}}, \quad (1)$$

где  $N, N_0$  — количество обрабатываемых деталей и потребляемых режущих инструментов;  $t_0$  — основное технологическое время обработки, с;  $S_{\text{час}}$  — тарифная ставка рабочего, грн/с;  $k$  — коэффициент, учитывающий всевозможные начисления на тарифную ставку рабочего;  $\Pi$  — цена режущего инструмента, грн;  $P$  — эффективная мощность процесса резания, Вт;  $S_{\text{элект}}$  — стоимость единицы электрической энергии, грн/с.

Параметр  $N_0$  можно выразить  $N_0 = N/n$ , а  $P = \sigma \cdot Q$  [2], тогда

$$C = N \cdot t_0 \cdot S_{\text{час}} \cdot k + \frac{N}{n} \cdot \Pi + N \cdot \sigma \cdot Q \cdot t_0 \cdot S_{\text{элект}}, \quad (2)$$

где  $n$  — количество деталей, обработанных одним инструментом;  $\sigma$  — условное напряжение резания (энергоёмкость обработки), Н/м<sup>2</sup>;  $Q$  — производительность обработки, м<sup>3</sup>/с.

Уменьшить себестоимость обработки  $C$  можно увеличением  $n$  и уменьшением  $t_0$ ,  $\Pi$  и  $\sigma$ . В свою очередь, параметр  $n$  можно представить зависимостью  $n = T/t_0$ . С учетом соотношений  $t_0 = \vartheta/Q$  и  $\vartheta_{\text{сум}} = N \cdot \vartheta$  получим

$$C = N \cdot t_0 \cdot S_{\text{час}} \cdot k + N \cdot \frac{t_0}{T} \cdot \Pi + \vartheta_{\text{сум}} \cdot \sigma \cdot S_{\text{элект}}, \quad (3)$$

где  $T$  — стойкость режущего инструмента, с;  $\vartheta$  — объем металла, снимаемого с одной детали, м<sup>3</sup>;  $\vartheta_{\text{сум}}$  — объем металла, снимаемого с  $N$  деталей, м<sup>3</sup>.

Как известно [3], с изменением режимов резания и других условий обработки параметр  $\sigma$  мало изменяется, для конкретного материала он остается почти одним и тем же. Поэтому третье слагаемое при заданном значении  $\vartheta_{\text{сум}}$  в первом приближении можно рассматривать постоянным, независимо от условий обработки. Переменными являются два первых слагаемых, которые и будут определять себестоимость обработки  $C$ , обусловленную изменяющимися статьями затрат. Следовательно, зависимость для определения  $C$  с учетом  $t_0 = \vartheta/Q$  примет более простой вид (без третьего слагаемого)

$$C = N \cdot \frac{\vartheta}{Q} \cdot S_{\text{час}} \cdot k + N \cdot \frac{\vartheta}{Q} \cdot \frac{\Pi}{T}, \quad (4)$$

где  $Q = V \cdot t \cdot S$  – производительность обработки (при продольном точении), м<sup>3</sup>/с;  $V$  – скорость резания, м/мин;  $t$  – глубина резания, м;  $S$  – подача, м/об.

Исходя из зависимости (4), себестоимость обработки  $C$  уменьшается с уменьшением  $\vartheta$  и увеличением  $Q$ . Однако, очевидно, с увеличением производительности обработки  $Q$  будет уменьшаться стойкость режущего инструмента  $T$ , что приведет к увеличению  $C$ . Следовательно, в общем виде имеет место неоднозначный характер изменения себестоимости обработки  $C$  от производительности  $Q$ . В случае постоянства стойкости режущего инструмента  $T$  с увеличением  $Q$ , себестоимость обработки  $C$  будет непрерывно уменьшаться. Учитывая преобладающее влияние стойкости режущего инструмента на себестоимость обработки, проведем уточненный анализ взаимосвязи между данными параметрами, рассматривая [1]:

$$T = \frac{C_1}{V^{m_1}}, \tag{5}$$

где  $C_1, m_1$  – постоянные, устанавливаемые экспериментально для заданных условий обработки, исключая лишь переменную величину – скорость резания  $V$ .

Подставляя зависимость (5) в (4) с учетом  $Q = V \cdot S \cdot t$ , имеем

$$C = \frac{N \cdot \vartheta \cdot S_{\text{час}} \cdot k}{V \cdot S \cdot t} + \frac{N \cdot \vartheta \cdot \Pi \cdot V^{m_1-1}}{C_1 \cdot S \cdot t}. \tag{6}$$

Себестоимость обработки  $C$  изменяется по экстремальной зависимости с изменением скорости резания  $V$ , проходя точку минимума. Подчиняя зависимость (6) необходимому условию экстремума  $C' = 0$ , определим экстремальное значение скорости резания  $V$ :

$$V_{\text{экстр}} = \left[ \frac{S_{\text{час}} \cdot k \cdot C_1}{\Pi \cdot (m_1 - 1)} \right]^{\frac{1}{m_1}}. \tag{7}$$

Соответственно, зависимости для определения экстремальных значений производительности обработки  $Q_{\text{экстр}}$  и стойкости режущего инструмента  $T_{\text{экстр}}$ , а также минимума себестоимости обработки  $C_{\text{мин}}$  примут вид

$$Q_{\text{экстр}} = S \cdot t \cdot \left[ \frac{S_{\text{час}} \cdot k \cdot C_1}{\Pi \cdot (m_1 - 1)} \right]^{\frac{1}{m_1}}; \tag{8}$$

$$T_{\text{экстр}} = \frac{\Pi \cdot (m_1 - 1)}{S_{\text{час}} \cdot k}; \tag{9}$$

$$C_{\text{мин}} = \frac{N \cdot \vartheta \cdot S_{\text{час}} \cdot k}{Q_{\text{экстр}}} \cdot \left[ 1 + \frac{1}{(m_1 - 1)} \right]. \tag{10}$$

В итоге получена зависимость для определения  $C_{\text{мин}}$ , в которой первое слагаемое больше второго. Как видно, уменьшить  $C_{\text{мин}}$  можно увеличением производительности обработки  $Q_{\text{экстр}}$ .

Зависимость (6) с учетом  $\alpha_1 = N \cdot \vartheta \cdot S_{\text{час}} \cdot k$ ;  $\alpha_2 = N \cdot \frac{\vartheta \cdot \Pi}{C_1}$  и  $Q = z \cdot Q_{\text{экстр}}$  (где  $z > 0$  – некоторая положительная величина) опишется

$$C = \frac{1}{S \cdot t} \cdot \left[ \frac{\alpha_2 \cdot (m_1 - 1)}{\alpha_1} \right]^{\frac{1}{m_1}} \cdot \alpha_1 \cdot \left[ \frac{1}{z} + \frac{z^{m_1-1}}{(m_1 - 1)} \right]. \tag{11}$$

Относительная себестоимость обработки  $\bar{C}$  (безразмерная величина) определяется

$$\bar{C} = \bar{C}_1 + \bar{C}_2 = \frac{1}{z} + \frac{z^{m_1-1}}{(m_1 - 1)}, \tag{12}$$

где  $\bar{C}_1 = \frac{1}{z}$ ;  $\bar{C}_2 = \frac{z^{m_1-1}}{(m_1 - 1)}$ .

Как видно, первое слагаемое определяется величиной  $z$ , а второе слагаемое – величинами  $z$  и  $m_1$ . С увеличением  $z$  первое слагаемое уменьшается до нуля, а второе, наоборот, неограниченно увеличивается. Причем, тем интенсивнее, чем больше величина  $m_1$ . В работе [1] показано, что при точении углеродистой конструкционной стали твердосплавным резцом параметр  $m_1 > 1$ . На рис. 1 и рис. 2 приведены расчетные значения  $\bar{C}$  для  $m_1 = 3$  и  $m_1 = 2$ . В случае  $m_1 = 2$  при

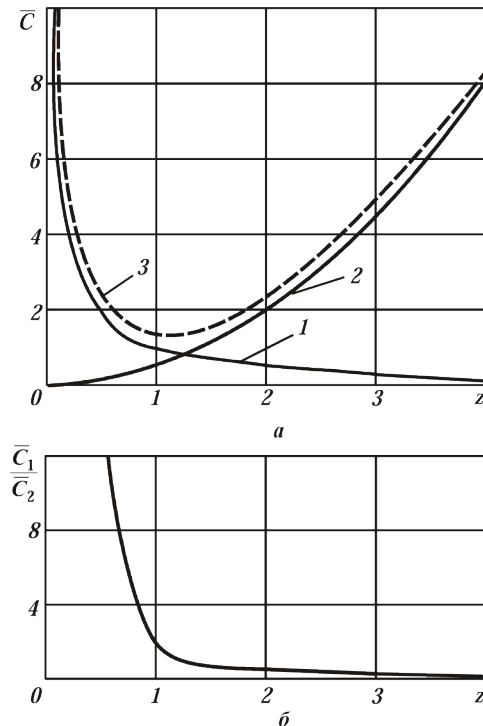


Рис. 1. Характер изменения функций  $\bar{C}_1 = 1/z$  (1),  $\bar{C}_2 = 0,5 \cdot z^2$  (2),  $\bar{C} = 1/z + 0,5 \cdot z^2$  (3) (а) и  $\bar{C}_1/\bar{C}_2$  (б) для случая  $m_1 = 3$

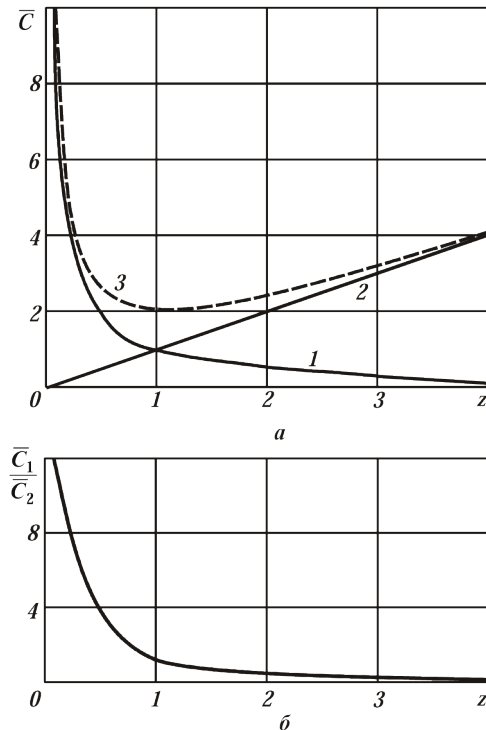


Рис. 2. Характер изменения функций  $\bar{C}_1 = 1/z$  (1),  $\bar{C}_2 = z$  (2),  $\bar{C} = 1/z + z$  (3) (а) и  $\bar{C}_1/\bar{C}_2$  (б) для случая  $m_1 = 2$

$z > 1$  относительная себестоимость обработки  $\bar{C}$  увеличивается не столь существенно с увеличением  $z$ , что позволяет обработку вести в более широком диапазоне изменения величины  $z$  по сравнению со случаем  $m_1 = 3$ . В случае  $m_1 = 2$  отношение  $\bar{C}_1/\bar{C}_2$  в точке экстремума себестоимости обработки равно единице, тогда как при  $m_1 = 3$  оно принимает большие значения. В этом случае усиливается роль второго слагаемого, входящего в зависимость (12).

## 6. Выводы

В работе показано существование экстремума (минимума) себестоимости обработки от скорости резания, что является основой для определения оптимальных режимов резания по критерию наименьшей себестоимости обработки.

Теоретически установлено, что основным условием уменьшения себестоимости обработки является увеличение производительности обработки, реализуемой в точке экстремума себестоимости.

## Литература

1. Бобров В. Ф. Основы теории резания металлов [Текст] / В. Ф. Бобров. — М. : Машиностроение, 1975. — 343 с.
2. Теоретические основы резания и шлифования материалов [Текст] : учеб. пособие / А. В. Якимов, Ф. В. Новиков, Г. В. Новиков и др. — Одесса : ОГПУ, 1999. — 450 с.
3. Новиков Ф. В. Разработка эффективных технологий механической обработки деталей машин [Текст] / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх // Автомобильный транспорт. — Х. : ХНАДУ. — 2011. — Вып. 29. — С. 212–215.