

В.А. ЖОВТОБРЮХ
Ф.В. НОВИКОВ (д-р техн. наук, проф.)
Е.Ю. БЕНИН
 ХНЭУ, г. Харьков, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПО НАИМЕНЬШИМ ЗАТРАТАМ НА ОПЕРАЦИЮ

Введение

Накопленный практический опыт по использованию прогрессивных конструкций режущих инструментов, изготовленных из новых износостойких инструментальных материалов с покрытиями, показывает на существование резервов повышения эффективности механической обработки [1,2]. Перспективным в этом плане является высокоскоростное резание, осуществляемое на высокооборотных современных станках с ЧПУ типа “обрабатывающий центр”. Применение данных станков позволяет обработку детали производить фактически с одного установа различными инструментами, что повышает точность и снижает трудоемкость обработки. Однако, как показывает практика, данные станки и используемые режущие инструменты значительно (на порядок и более) дороже отечественных, что требует значительных средств на их приобретение и приводит к повышению себестоимости обработки. В связи с этим важное и актуальное значение имеют вопросы снижения себестоимости обработки, которые могут быть решены на основе оптимизации параметров механической обработки по критерию наименьшей себестоимости [3]. Это относится к обработке сложнопрофильных рабочих поверхностей сектора пресс-формы для шины диаметром 2200 мм производства Днепрполимермаш. Традиционно ее обработка производится методом объемного фрезерования на станке с ЧПУ и характеризуется высокой трудоемкостью (составляет 180 часов) в связи с низкой производительностью обработки и стойкостью инструмента (твердосплавной фрезы). Как показывает практика, переход на высокоскоростное фрезерование с применением новых инструментальных материалов позволяет повысить производительность обработки и стойкость инструмента. Однако при этом возрастает себестоимость обработки, что ограничивает применение данной технологии и требует новых решений, связанных прежде всего со снижением затрат на обработку. Поэтому целью работы является снижение себестоимости обработки за счет научно обоснованного выбора оптимальных режимов резания и характеристик инструментов.

Основное содержание работы

В работе [4,5] аналитически описана себестоимость обработки C для двух изменяющихся статей затрат, связанных с заработной платой рабочего-станочника и затратами на режущий инструмент:

$$C = \frac{1}{S \cdot \frac{1-p}{m_1} \cdot t \cdot \frac{1-q}{m_1}} \cdot \left[\frac{\alpha_2 \cdot (m_1 - 1)}{\alpha_1} \right]^{\frac{1}{m_1}} \cdot \alpha_1 \cdot \left[\frac{1}{z} + \frac{z^{m_1-1}}{(m_1 - 1)} \right], \quad (1)$$

где $\alpha_1 = N \cdot \mathcal{G} \cdot S_{\text{чac}} \cdot k$; $\alpha_2 = N \cdot \frac{\mathcal{G} \cdot \Pi}{C_4}$; N – количество обрабатываемых деталей; \mathcal{G} – объем металла, снимаемого с одной детали, м³; $S_{\text{чac}}$ – тарифная ставка рабочего, грн; k – коэффициент, учитывающий всевозможные начисления на тарифную ставку рабочего; Π – цена режущего инструмента, грн; S – подача, м/об; t – глубина резания, м; C_4, m_1, q, p – постоянные, характеризующие стойкость инструмента, для определенных условий

обработки ($m_1 > p > q; m_1 > 1$); $z = Q/Q_{экстр}$; $Q = V \cdot t \cdot S$ – производительность обработки (при продольном точении), м³/с; V – скорость резания, м/мин; $Q_{экстр}$ – производительность обработки, соответствующая точке минимума себестоимости обработки C .

В работе [2] показано, что при точении углеродистой конструкционной стали твердосплавным резцом параметры $m_1=5$; $p=1,75$; $q=0,75$. Принимая $m_1=5$, по зависимости (1) определим в относительных величинах первое и второе слагаемые, соответственно равные $1/z$ и $0,25 \cdot z^4$, а также определим их сумму $\bar{C} = 1/z + 0,25 \cdot z^4$, выражающую относительную себестоимость обработки \bar{C} (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Расчетные значения величин $1/z$; $0,25 \cdot z^4$ и $\bar{C} = 1/z + 0,25 \cdot z^4$ для $m_1=5$

z	0,1	0,5	1	2	3
$1/z$	10	2	1	0,5	0,33
$0,25 \cdot z^4$	$0,25 \cdot 10^{-4}$	0,015	0,25	4	20,25
$\bar{C} = 1/z + 0,25 \cdot z^4$	10	2,015	1,25	4,5	20,58

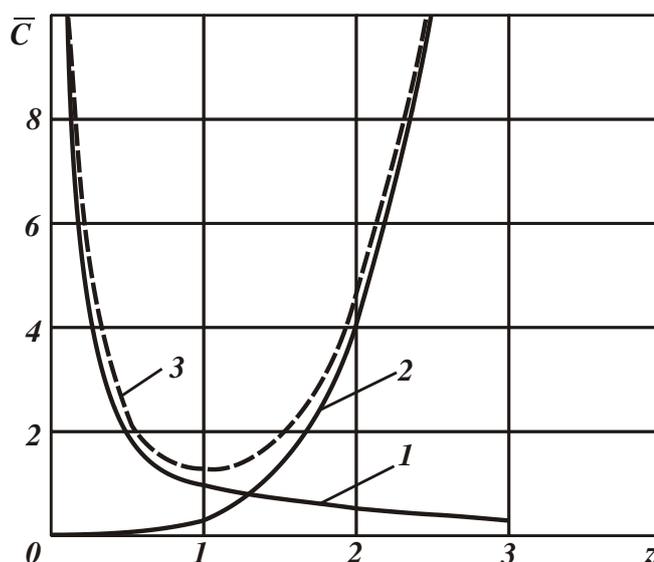


Рис. 1. Характер изменения функций $1/z$ (1), $0,25 \cdot z^4$ (2) и $1/z + 0,25 \cdot z^4$ (3) для $m_1=5$.

Как следует из табл. 1, с увеличением z себестоимость обработки \bar{C} изменяется по экстремальной зависимости, проходя точку минимума (при $z=1$). Первое слагаемое ($1/z$) в точке минимума себестоимости в 4 раза больше второго слагаемого ($0,25 \cdot z^4$). Данное условие является основой для определения оптимальных режимов резания.

С целью оценки достоверности теоретического решения были определены суммарные затраты на выполнение операции фрезерования $\sum Z_{оп} = Z_{инстр} + Z_{оборуд} + Z_{з/n} + P_{расх}$, где $Z_{инстр}$ – затраты на инструмент; $Z_{оборуд}$ – затраты на оборудование; $Z_{з/n}$ – затраты на заработную плату рабочих (трудозатраты); $P_{расх}$ – прочие расходы (дополнительные накладные расходы без учета расходов на оборудование и инструмент). Сравнивались два варианта фрезерования: монолитной фрезой $\varnothing 40$ мм (изготовленной из быстрорежущей стали P18) и сборной фрезой $\varnothing 42$ мм (оснащенной пластинами из TT9030) производства фирмы TaeguTec. Количество зубьев у фрез – 5; обрабатываемый материал – Х2ГСНВМ-ВД; глубина резания – 2,5 мм; ширина

резания – 6 мм; количество проходов – 12. Установлено, что сборная фреза позволяет обработку вести со скоростью резания 99 м/мин и подачей 0,75 мм/об, тогда как монолитная фреза – соответственно со скоростью резания 16 м/мин и подачей 0,3 мм/об. Трудоемкость обработки (на 1 деталь) соответственно составляет 0,8 и 6,9 часа; затраты на инструмент – 5,36 и 25,6 грн; затраты на заработную плату рабочего – 19,53 и 120,33 грн; затраты на оборудование – 19,86 и 171,26 грн; прочие расходы – 29,30 и 180,5 грн; суммарные затраты – 74,05 и 497,69 грн. В итоге экономия затрат (на 1 деталь) от применения сборной фрезы составила 423,64 грн, тогда как ее цена равна 1400 грн, а цена монолитной фрезы – всего 138 грн, т.е. цена сборной фрезы больше цены монолитной фрезы. Этим показана эффективность применения с точки зрения снижения себестоимости обработки более производительного, хотя и дорогостоящего инструмента производства фирмы TaeguTec.

Из приведенных экспериментальных данных вытекает, что при обработке монолитной фрезой затраты на заработную плату рабочего составляют 120,33 грн, а затраты на инструмент – 25,60 грн. Следовательно, первое слагаемое приблизительно в 4 раза больше второго. Это согласуется с теоретическими данными, приведенными в табл. 1, и свидетельствует о том, что минимум себестоимости обработки реализуется при условии примерно 4-кратного превышения затрат по заработной плате над затратами на режущий инструмент.

Такая же закономерность имеет место и при фрезеровании сборной фрезой (производства фирмы TaeguTec). Затраты на заработную плату рабочего составляют 19,53 грн, а затраты на инструмент – 5,36 грн., т.е. затраты на заработную плату рабочего примерно в 4 раза больше затрат на инструмент. Следовательно, полученная аналитическая зависимость (1) достаточно объективно отражает закономерности изменения двух изменяющихся статей затрат, связанных с заработной платой рабочего-станочника и затратами на режущий инструмент.

Расчет средней себестоимости машиностроительной продукции показывает, что лишь 3% от общей стоимости металлообработки составляют затраты на режущий инструмент (рис. 2). Однако фактическое влияние правильности выбора режущего инструмента на снижение себестоимости готовой продукции гораздо выше. При выборе режущего инструмента необходимо учитывать оптимальное соотношение его цены, стойкости и производительности обработки.

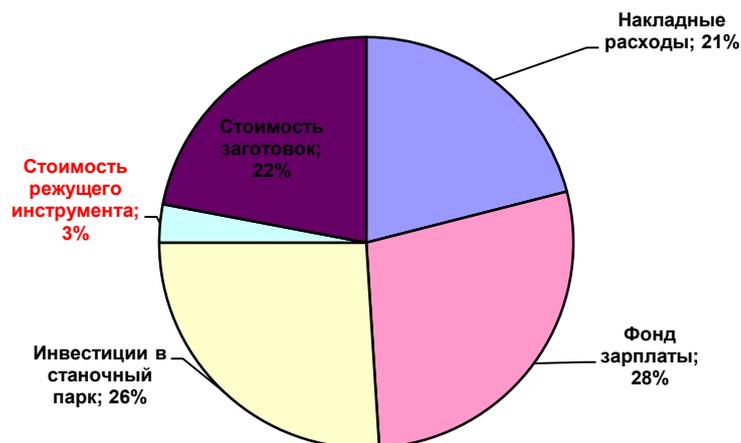


Рис. 2. Распределение затрат на металлообработку.

Рассмотрим влияние каждого из этих показателей на себестоимость продукции.

Снижение цены режущего инструмента:

– снижение на 20% соответствует снижению общей себестоимости изделия на $3\% \cdot (-20\%) = -0,6\%$;

– дополнительное 33% снижение стоимости инструмента предыдущего поколения позволяет экономить $3\% \cdot (-33\%) = -1,0\%$.

Повышение стойкости режущего инструмента:

– увеличение в два раза срока службы соответствует снижению себестоимости продукции на $3\% : 2 = -1,5\%$.

Увеличение производительности (скорость/подача) режущего инструмента:

– увеличение производительности на 20% соответствует снижению затрат на (накладные расходы + фонд зарплаты + инвестиции в станочный парк) $\cdot (-20\%) = (21\% + 28\% + 26\%) \cdot (-20\%) = 75\% \cdot (-20\%) = -15\%$. Даже если при этом расходы на инструмент возрастают, например, в полтора раза, т.е. часть его стоимости в себестоимости возрастает до $3\% + 1,5\% = 4,5\%$, то общее снижение себестоимости изделия будет составлять $-15\% + 1,5\% = -13,5\%$. Таким образом, очевидно, что увеличение скорости резания и усовершенствование технологического процесса способствуют значительному снижению себестоимости единицы готовой продукции (табл. 2).

Таблица 2

Эффективность влияния режущего инструмента на себестоимость продукции

Цена	Стойкость	Скорость резания и совершенствование технологического процесса
-1%	-1,5%	-15%

Выводы.

Теоретически установлено и экспериментально подтверждено, что в точке минимума себестоимости обработки затраты на заработную плату рабочего-станочника приблизительно в 4 раза превышают затраты на режущий инструмент. Экспериментально установлено, что удельный вес режущего инструмента в суммарных затратах на операцию механической обработки незначителен и составляет в среднем 3%. Это позволяет существенно увеличить скорость резания и соответственно производительность обработки, а также уменьшить затраты на заработную плату рабочего-станочника без заметного увеличения затрат на инструмент. Для реализации данного условия необходимо использовать более прогрессивные, хотя и дорогостоящие, режущие инструменты с износостойкими покрытиями, характеризующиеся высокой стойкостью и возможностью многократного увеличения скорости резания и производительности обработки.

Список литературы

1. Костюк Г.И. Исследование износа пластин с покрытием при эффективном точении закаленной стали 65Г / Г.И. Костюк, И.В. Дощечкина, А.Н. Костюк, Р.В. Воробей // Вісник НТУ “ХПІ”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2011. – № 40. – С. 55-59.
2. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 343 с.
3. Маталин А.А. Технология машиностроения: учебник / А.А. Маталин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
4. Жовтобрюх В.А. Теоретический анализ условий уменьшения себестоимости механической обработки / В.А. Жовтобрюх // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – “Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні”. – Харків: ХНТУСГ, 2011. – Вип. 115. – С. 68-73.
5. Новиков Ф.В. Расчет параметров режимов резания по критериям наименьшей себестоимости и наибольшей производительности обработки / Ф.В. Новиков, В.А. Жовтобрюх // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении:

материалы научн.-техн. конф., 19-22 сентября 2011 г., г. Одесса. – Киев: АТМ України, 2011. – 148-151.

Надійшла до редакції 17.02.2012