

Анализ себестоимости механической обработки и экономическое обоснование технологических процессов шлифования

Украинская инженерно-педагогическая академия

Проведена оптимизация технологических и экономических параметров обработки деталей машин на операции шлифования по критерию наименьшей себестоимости с учетом двух основных статей затрат, связанных с заработной платой рабочего и расходом инструментов при обработке. Теоретически установлено, что минимум себестоимости обработки не соответствует максимуму производительности обработки, т.к. в этом случае себестоимость резко увеличивается из-за интенсивного износа шлифовального круга и осуществление процесса шлифования в данных условиях становится экономически нецелесообразным. Показано, что минимуму себестоимости обработки соответствует оптимальная производительность обработки, при которой режущие свойства шлифовального круга используются в максимальной возможности.

Ключевые слова: себестоимость и производительность обработки, технологический процесс шлифования, цена режущего инструмента.

Введение

Создание конкурентоспособной машиностроительной продукции требует снижения себестоимости ее изготовления и в первую очередь себестоимости механической обработки деталей машин. В особой мере это относится к изготовлению ответственных высокоточных деталей авиационной техники, горнорудных машин и т.д., характеризующихся высокой трудоемкостью и себестоимостью их обработки. Как показывает практика, применение современных металлорежущих станков, инструментов и технологий, обладающих значительными потенциальными возможностями, позволяет кардинальным образом решить проблему снижения себестоимости обработки. Вместе с тем, при подготовке производства важно располагать новыми решениями, позволяющими в максимальной степени использовать возможности данного оборудования и технологий по критерию наименьшей себестоимости обработки.

Состояние вопроса

Традиционно разработка экономически эффективных технологических процессов изготовления деталей машин производится на основе сравнения различных вариантов технологических процессов и выбора наилучшего из них по критерию наименьшей себестоимости обработки [1,2]. Вместе с тем данный подход не гарантирует выбора оптимального варианта технологического процесса, поскольку среди сравниваемых вариантов его может просто не оказаться в силу недостаточного опыта, интуиции и знаний технологов и экономистов, занимающихся разработкой технологических процессов и в целом подготовкой производства. Поэтому для эффективного решения данной задачи необходимо выполнить структурно-параметрическую оптимизацию технологического процесса на основе использования глубоких математических моделей определения себестоимости механической обработки [3,4]. Однако, недостаточное развитие данного научного

направления ограничивает решение поставленной задачи и требует применения новых теоретических подходов, позволяющих научно обоснованно подойти к проектированию экономических технологических процессов.

Постановка задачи

Проведение теоретического анализа себестоимости обработки и определение условий ее уменьшения, разработка практических рекомендаций по повышению экономической эффективности производства.

Результаты исследований

Для решения поставленной задачи воспользуемся приведенной в работе [5] аналитической зависимостью для определения себестоимости обработки C с учетом двух основных изменяющихся статей затрат, связанных с заработной платой рабочего и расходом инструментов при обработке:

$$C = N \cdot \tau_o \cdot S_1 \cdot k_d + N \cdot \frac{\tau_0}{T} \cdot Ц, \quad (1)$$

где N – количество изготавливаемых деталей; $t_0 = \tau_0 / Q$ – основное технологическое время обработки одной детали, час; τ_0 – объем материала, снимаемый с одной детали, м³; Q – производительность обработки, м³/с; S_1 – тарифная ставка рабочего, грн/час; k_d – коэффициент, учитывающий всевозможные начисления (налоги) на заработную плату рабочего; $Ц$ – цена одного инструмента, грн; T – стойкость инструмента, час.

При шлифовании $T = h / V_{изн}$, где h – толщина абразивного слоя шлифовального круга, м; $V_{изн}$ – линейная скорость износа круга, м/с. Представим $V_{изн}$ функцией давления, действующего на площадке износа абразивного зерна (рис. 1):

$$V_{изн} = \alpha \cdot \left(\frac{P_{y1}}{F} \right)^{0,5}, \quad (2)$$

где α – размерный коэффициент; P_{y1} – сила, вызывающая объемное разрушение абразивного зерна или его выпадение из связки круга без разрушения, Н; $F = \pi \cdot x^2 \cdot tg^2 \gamma$ – площадь “площадки износа” на зерне, м²; γ – половина угла при вершине конусообразного режущего зерна; $x = \eta \cdot H$ – величина линейного износа зерна до момента его объемного разрушения или выпадения из связки круга без разрушения, м [6]; η – безразмерный коэффициент, изменяющийся в пределах 0...1 и определяющий степень затупления зерна (для “острого” зерна $\eta \rightarrow 0$, для затупленного зерна $\eta \rightarrow 1$);

$$H = \bar{X} \cdot \sqrt[3]{\frac{600 \cdot P_n}{tg^2 \gamma \cdot m \cdot HV}}; \quad (3)$$

где \bar{X} – зернистость круга, м; m – концентрация зерен в круге; P_n – нормальное давление, Н/м²; HV – твердость обрабатываемого материала, Н/м².

Производительность обработки определяется зависимостью [6]:

$$Q = \frac{2 \cdot V_{кр} \cdot P_y \cdot (1 - \eta)}{\pi \cdot \text{tg} \gamma \cdot HV}, \quad (4)$$

где $V_{кр}$ – скорость круга, м/с; P_y – сила прижатия круга к обрабатываемой детали, Н.

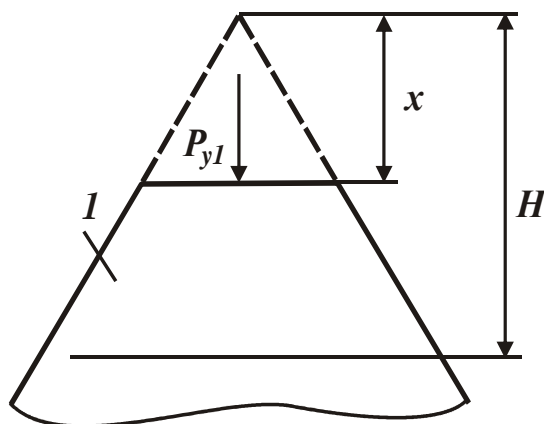


Рис. 1. Расчетная схема параметров шлифования.

Подставляя зависимости (2), (3) и (4) в (1), получено

$$C = \frac{A}{(1 - \eta)} + \frac{B}{(1 - \eta) \cdot \eta}, \quad (5)$$

где $A = \frac{\pi \cdot \text{tg} \gamma \cdot HV \cdot N \cdot v_0^2 \cdot S_1 \cdot k_d}{2 \cdot V_{кр} \cdot P_y}$; $B = \frac{\sqrt{\pi \cdot P_{y1}} \cdot HV \cdot N \cdot v_0 \cdot \alpha \cdot C}{2 \cdot V_{кр} \cdot P_y \cdot h \cdot \sqrt{H}}$.

Как видно, безразмерный коэффициент η неоднозначно влияет на себестоимость обработки C , т.е. имеет место экстремум функции C от η . При $\eta=0$ и $\eta=1$ себестоимость обработки $C \rightarrow \infty$. В первом случае это обусловлено тем, что производительность обработки $Q=0$, а во втором случае тем, что износ круга неограниченно увеличивается вследствие уменьшения (до нуля) величины линейного износа x до момента его объемного разрушения или выпадения из связки круга без разрушения.

Для определения экстремума функции C подчиним ее необходимому условию экстремума:

$$C'_\eta = \frac{A}{(1 - \eta)^2} - \frac{B \cdot (1 - 2\eta)}{(1 - \eta)^2 \cdot \eta^2} = 0. \quad (6)$$

В результате получено квадратное уравнение относительно неизвестной величины η :

$$\eta^2 + \frac{2B}{A} \cdot \eta - \frac{B}{A} = 0. \quad (7)$$

Его решение

$$\eta_{\text{экстр}} = -\frac{B}{A} \pm \sqrt{\frac{B^2}{A^2} + \frac{B}{A}}. \quad (8)$$

Поскольку $\eta_{\text{экстр}}$ является положительной величиной, то в зависимости (8) необходимо принять знак "+". Тогда после преобразований окончательно получим

$$\eta_{\text{экстр}} = \frac{1}{\left(1 + \sqrt{1 + \frac{A}{B}}\right)}. \quad (9)$$

Расчетами установлено, что вторая производная C''_{η} в точке экстремума всегда положительна. Следовательно, в точке экстремума имеет место минимум функции C (рис. 2,а). Знаменатель зависимости (9) принимает значения больше 2, поэтому экстремальное значение $\eta_{\text{экстр}}$ изменяется в пределах $0 \leq \eta_{\text{экстр}} < 0,5$. В табл. 1 приведены рассчитанные по зависимости (9) экстремальные значения $\eta_{\text{экстр}}$.

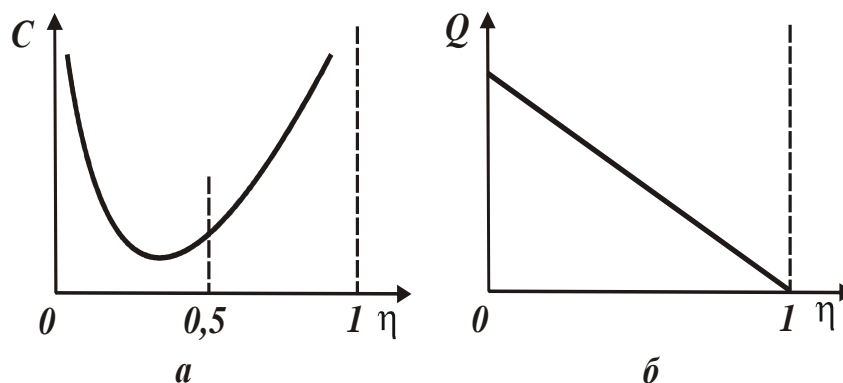


Рис. 2. Зависимости себестоимости C (а) и производительности Q (б) обработки от безразмерного коэффициента η .

Таблица 1

Экстремальные значения $\eta_{\text{экстр}}$

A/B	0	1	2	3	5	10	100	1000
$\eta_{\text{экстр}}$	0,5	0,41	0,37	0,33	0,29	0,23	0,1	0,01

Подставляя зависимость (9) в (5), определим минимальное значение себестоимости обработки:

$$C_{\min} = B \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \frac{A}{B}}\right)^2. \quad (10)$$

Как видно, с увеличением A величина C_{\min} увеличивается, а с увеличением B изменяется неоднозначно. Выполненные расчеты показали, что первая производная $(C_{\min})'_B > 0$. Поэтому с увеличением B величина C_{\min} постоянно увеличивается. Из этого вытекает, что уменьшить C_{\min} можно уменьшением параметров A и B , т.е. уменьшением первого и второго слагаемого зависимости (5). Из зависимости (10) также вытекает, что в случае $A/B \gg 1$ величина $C_{\min} \approx A$, а в случае $A/B \ll 1$ величина $C_{\min} \approx 4B$.

Сравнивая зависимости (9) и (10), имеем

$$C_{\min} = \frac{B}{\eta_{\text{экстр}}^2}. \quad (11)$$

Из зависимости (11) вытекает, что уменьшить C_{\min} можно уменьшением пара-

метра B и увеличением экстремального значения $\eta_{\text{экстр}}$ путем увеличения величины линейного износа x зерна до момента его объемного разрушения или выпадения из связки круга без разрушения. Иными словами, эффект уменьшения C_{\min} обусловлен возможностью более полного использования режущих свойств абразивных зерен. Однако, как показано выше, величина $\eta_{\text{экстр}}$ изменяется в пределах $0 \leq \eta_{\text{экстр}} < 0,5$, т.е. она достаточно ограничена, тогда как величина B может изменяться в более широких пределах, изменяя в широких пределах C_{\min} .

Преобразуя зависимость (10), получим

$$C_{\min} = \frac{\sqrt{\pi \cdot P_{y1}} \cdot HV \cdot N \cdot \vartheta_0 \cdot \alpha \cdot \zeta}{2 \cdot V_{\text{кр}} \cdot P_y \cdot h \cdot \sqrt{H}} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \frac{S_1 \cdot k_d \cdot \text{tg} \gamma \cdot h}{\alpha \cdot \zeta} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot H}{P_{y1}}}} \right)^2. \quad (12)$$

Как следует из зависимости (12), уменьшить C_{\min} можно в первую очередь за счет уменьшения цены инструмента ζ и увеличения параметров режима шлифования $V_{\text{кр}}$ и P_y , которые входят в зависимость (12) с наибольшей степенью. Эффект обработки от повышения твердости шлифовального круга будет зависеть от того, насколько уменьшится в зависимости (12) соотношение $\sqrt{P_{y1}} \cdot \alpha \cdot \zeta$, т.к. при этом параметры P_{y1} и ζ будут увеличиваться, а коэффициент α , наоборот, уменьшится. Такая же закономерность будет наблюдаться при увеличении зернистости круга.

Необходимо отметить, что минимум себестоимости обработки C_{\min} не соответствует максимальному значению производительности обработки Q , определяемой зависимостью (4), т.к. с увеличением безразмерного коэффициента η в пределах от 0 до 1 производительности обработки Q непрерывно уменьшается вплоть до нуля (рис. 2,б). Поэтому реализация максимально возможной производительности обработки связана с существенным увеличением себестоимости обработки, что экономически неэффективно. Шлифование с минимальной производительностью также нецелесообразно, т.к. и в этом случае (при $\eta \rightarrow 1$) себестоимость обработки $C \rightarrow \infty$. Следовательно, существует оптимальная производительность обработки, соответствующая минимуму себестоимости обработки и обусловленная реализацией экстремального значения $0 \leq \eta_{\text{экстр}} < 0,5$.

Полученные теоретические решения согласуются с известными экспериментальными данными. Так, экспериментально установлено, что при шлифовании в режиме интенсивного износа и самозатачивания круга (вследствие своевременного удаления с рабочей поверхности круга затупленных зерен и поддержания его высокой режущей способности) реализуется максимально возможная производительность обработки Q . При этом себестоимость обработки C резко увеличивается из-за интенсивного выпадения зерен из связки круга (по сути, выполняется условие $\eta \rightarrow 0$), и ведение процесса шлифования в таких условиях возможно лишь при обработке материалов повышенной твердости, т.к. в противном случае съем материала будет фактически отсутствовать, и применение процесса шлифования станет экономически неэффективным. Как известно, при работе затупленным кругом, вследствие чрезвычайно низкой производительности обработки Q , т.е. при условии $\eta \rightarrow 1$, также себестоимость обработки C существенно увеличивается, что снижает эффективность процесса шлифования.

Таким образом показано, что на практике реализуются закономерности шлифования, установленные теоретически (рис. 2). Это свидетельствует о достоверности полученных теоретических решений и открывает новые возможности поиска оптимальных условий механической обработки деталей машин по критерию наименьшей себестоимости при разработке экономически обоснованных технологических процессов шлифования. В дальнейших исследованиях необходимо провести более глубокий теоретический анализ взаимосвязи себестоимости обработки с износом инструмента, поскольку именно он, как показано выше, является основным ограничением уменьшения себестоимости и повышения производительности обработки.

Выводы

1. В работе получила дальнейшее развитие математическая модель определения себестоимости обработки при механической обработке деталей машин. На примере операции шлифования аналитически описана себестоимость обработки и доказана возможность ее уменьшения за счет выбора оптимальных технологических и экономических параметров обработки, включая режимы резания, технические характеристики и стоимость инструмента.

2. Теоретически установлено, что минимум себестоимости обработки не соответствует максимуму производительности обработки, т.к. в этом случае себестоимость резко увеличивается из-за интенсивного износа шлифовального круга и осуществление процесса шлифования в данных условиях становится экономически нецелесообразным. Следовательно, минимуму себестоимости обработки соответствует оптимальная производительность обработки, при которой режущие (прочностные) свойства шлифовального круга используются в максимальной степени.

Список литературы

1. Гриньова В. М. Функціонально-вартісний аналіз в інноваційній діяльності підприємства : Монографія / В. М. Гриньова. – Х. : ВД “ІНЖЕК”, 2004. – 128 с.
2. Тімонін О.М. Технічне переозброєння підприємства на основі концепції маркетингу: Монографія / О.М. Тімонін, К.В. Ларіна. – Х. : ВД “ІНЖЕК”, 2008. – 256 с.
3. Мякота В.О. Себестоимость продукции от выпуска до реализации / В. О. Мякота, Т. М. Войтенко. – Х. : Фактор, 2007. – 288 с.
4. Маталин А.А. Технология машиностроения: учебник / А.А. Маталин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
5. Новіков Ф.В. Обґрунтування економічної ефективності технології виготовлення деталей машин / Ф.В. Новіков, Є.Ю. Бенін // Економіка розвитку. Науковий журнал. – Х. : ХНЕУ, 2012. – №1(61). – С. 82-86.
6. Теоретические основы резания и шлифования материалов: учеб. пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с.

Поступила в редакцию 20.03.2017

Аналіз собівартості механічної обробки і економічне обґрунтування технологічних процесів шліфування

Проведена оптимізація технологічних і економічних параметрів обробки деталей машин на операції шліфування за критерієм найменшої собівартості з урахуванням двох основних статей витрат, пов'язаних із заробітною платою робітника і витратою інструментів при обробці. Теоретично встановлено, що мінімум собівартості обробки не відповідає максимуму продуктивності обробки, тому що в цьому випадку собівартість різко збільшується через інтенсивне зношування шліфувального круга і здійснення процесу шліфування в даних умовах стає економічно недоцільним. Показано, що мінімуму собівартості обробки відповідає оптимальна продуктивність обробки, при якій різальні властивості шліфувального круга використовуються в максимальній можливості.

Ключові слова: собівартість і продуктивність обробки, технологічний процес шліфування, ціна різального інструменту.

Analysis of the Cost of Machining and the Business Case Technological Processes of Grinding

Optimization of technological and economic parameters of machining of machine parts for the grinding operation by the criterion of the lowest cost price was carried out, taking into account the two main items of costs related to the worker's wages and the costs of tools during processing. It is theoretically established that the minimum cost of processing does not correspond to the maximum processing capacity, because in this case, the cost price is sharply increased due to the intensive wear of the grinding wheel and the grinding process under these conditions becomes economically impractical. It is shown that the minimum processing cost corresponds to the optimal processing capacity, at which the cutting properties of the grinding wheel are used to the maximum possible.

Keywords: cost price and processing capacity, technological process of grinding, price of the cutting tool.

Сведения об авторе:

Стрельчук Роман Михайлович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры информационных, компьютерных и полиграфических технологий, Украинская инженерно-педагогическая академия, Украина.