

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПО КРИТЕРИЮ НАИМЕНЬШЕЙ СЕБЕСТОИМОСТИ

Постановка проблемы. 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.

Анализ последних исследований и публикаций. 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 [1-3]. 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 [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.

Цель статьи – проведение теоретического анализа себестоимости обработки и определение условий ее уменьшения, разработка практических рекомендаций по повышению экономической эффективности производства.

Изложение основного материала. 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:

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

де N – количество изготавливаемых деталей; $t_0 = \mathcal{G}_0 / Q$ – основное технологическое время обработки одной детали, час; \mathcal{G}_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 $\eta \rightarrow 1$);

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

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

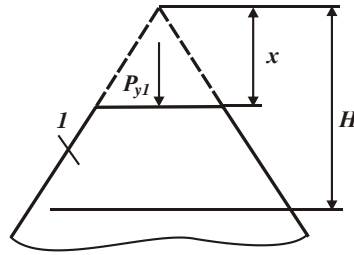


Рис. 1. Расчетная схема параметров шлифования.

Производительность обработки определяется зависимостью [6]:

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

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

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

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

$$\text{где } A = \frac{\pi \cdot tg \gamma \cdot HV \cdot N \cdot \varrho_0 \cdot S_1 \cdot k_d}{2 \cdot V_{кр} \cdot P_y}; \quad B = \frac{\sqrt{\pi \cdot P_{y1}} \cdot HV \cdot N \cdot \varrho_0 \cdot \alpha \cdot \Pi}{2 \cdot V_{кр} \cdot P_y \cdot h \cdot \sqrt{H}}.$$

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

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

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

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

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 $\eta_{экстр}$ изменяется в пределах $0 \leq \eta_{экстр} < 0,5$. В табл. 1 приведены рассчитанные по зависимости (9) экстремальные значения $\eta_{экстр}$.

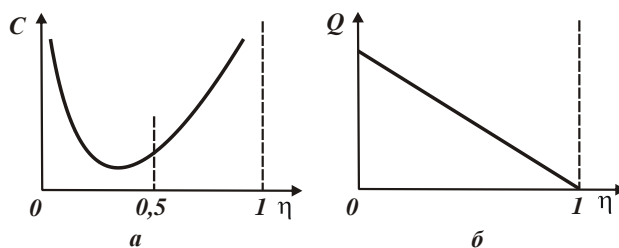


Рис. 2. Зависимости себестоимости C (а) и производительности Q (б) обработки от безразмерного коэффициента η .

Таблица 1

Экстремальные значения $\eta_{экстр}$

A/B	0	1	2	3	5	10	100	1000
$\eta_{экстр}$	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

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

Из зависимости (11) вытекает, что уменьшить C_{min} можно уменьшением параметра B и увеличением экстремального значения $\eta_{эксп}$ 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 $\eta_{эксп}$ изменяется в пределах $0 \leq \eta_{эксп} < 0,5$, 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

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

Как следует из зависимости (12), уменьшить C_{min} можно в первую очередь за счет уменьшения цены инструмента C и увеличения параметров режима шлифования $V_{кр}$ и P_y , которые входят в зависимость (12) с наибольшей степенью. Эффект обработки от повышения твердости шлифовального круга будет зависеть от того, на сколько уменьшится в зависимости (12) соотношение $\sqrt{P_{y1}} \cdot \alpha \cdot C$, т.к. при этом параметры P_{y1} и C 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 $0 \leq \eta_{эксп} < 0,5$.

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 использованных источников:

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. Себестоимость продукции от выпуска до реализации / В. Мякота, Т. 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.

Bibliography:

1. Hrynova V. M. Funktsionalno-vartisnyi analiz v innovatsiinii diialnosti pidpriemstva [Value analysis in the innovation of business] : Monografiia / V. M. Grynova. – Kharkiv : VD “ІNZHEK”, 2004. – 128 p.
2. Timonin O.M. Tekhnichne pereozbroiennia pidpriemstva na osnovi kontseptsii marketynhyu [Revamping on the basis of the concept of marketing]: Monografiia / O. M. Timonin, K. V. Larina. – Kharkiv : VD “ІNZHEK”, 2008. – 256 p.

3. Myakota V. Syebestoimost produktsii ot vypuska do ryealizatsii [Pharmaceutical production has Sebestoymost here to the realization] / V. Myakota, T. Voytenko. – Kharkov. : Faktor, 2007. – 288 p.

4. Matalin A.A. Tekhnologiya mashinostroeniya: uthebnik / A.A. Matalin. – L.: Mashinostroenie, 1985. – 496 s.

5. Novikov F.V. Obgruntuvannya ekonomichnoi efektyvnosti tekhnologii vygotovlennya detaley mashin / F.V. Novikov, E.U. Benin // Ekonomika rozvytku. Naukovyi zhurnal. – Kharkiv : KhNEU, 2012. – №1(61). – Pp. 82-86.

6. Teoreticheskie osnovy rezaniya i shlifovaniya materialov: ucheb. Posobie / A.V. Yakomov, F.V. Novikov, G.V. Novikov, B.S. Serov, A.A. Yakomov. – Odessa: OGPU, 1999. – 450 s.

Статья поступила 14.10.2012 г.