

ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

УДК 33.330.3

**Новіков Ф. В.
Бенін Є. Ю.**

Проведено аналіз економічної ефективності механічної обробки деталей машин. Отримано залежність для визначення собівартості обробки, в якій статті витрат аналітично пов'язані між собою. Це дозволило по-новому визначити оптимальні умови обробки деталей машин за критерієм собівартості. Встановлено, що основним шляхом зменшення собівартості є застосування високошвидкісної обробки на сучасних металорізальних верстатах з ЧПУ. Доведено також значний вплив на собівартість обробки стійкості ріжучого інструмента, зумовленої температурним фактором при різанні. Показано, що застосовуючи алмазні інструменти та твердосплавні інструменти зі зносостійкими плазмовими покриттями, можна суттєво збільшити швидкість різання і продуктивність обробки, зменшити собівартість обробки і тим самим реалізувати потенційні можливості високошвидкісної обробки. Визначено оптимальні технологічні та економічні параметри обробки.

Ключові слова: собівартість обробки, основний технологічний час обробки, швидкість різання, ціна інструмента.

.....

ОБОСНОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

УДК 33.330.3

**Новиков Ф. В.
Бенин Е. Ю.**

Проведен анализ экономической эффективности механической обработки деталей машин. Получена зависимость для определения себестоимости обработки, в которой статьи затрат аналитически связаны между собой. Это позволило по-новому определить оптимальные условия обработки деталей машин по критерию себестоимости. Установлено, что основным путем уменьшения себестоимости является применение высокоскоростной обработки на современных металлорежущих станках с ЧПУ. Доказано также значительное влияние на себестоимость обработки стойкости режущего инструмента, обусловленной температурным фактором при резании. Показано, что применяя алмазные инструменты и твердосплавные инструменты с износостойкими плазменными покрытиями, можно существенно увеличить скорость резания и производительность обработки, уменьшить себестоимость обработки и тем самым реализовать потенциальные возможности высокоскоростной обработки. Определены оптимальные технологические и экономические параметры обработки.

Ключевые слова: себестоимость обработки, основное технологическое время обработки, скорость резания, цена инструмента.

.....

RATIONALE FOR COST-EFFECTIVENESS OF TECHNOLOGY MANUFACTURE OF MACHINE PARTS

The analysis of economic efficiency of machine parts mechanical processing has been made. For determining the cost of treatment, the dependence in which cost items are analytically linked was received. This has enabled a new way to determine the optimum processing conditions of machine parts by a cost value. It was found that the main way to reduce production costs is the use of high-speed processing variables on the up-to-metal CNC machines. We also proved a significant impact on the cost of processing the cutting resistance of the tool, due to the temperature factor in cutting. It was shown, that using diamond cutting tools and carbide tools-ments with the plasma coatings resistant to wear, can substantially increase cutting speed and productivity, reduce the cost of treatment and thus realize the potential opportunities in high-speed processing. The optimal technological and economical processing options were defined.

Key words: cost of treatment, the basic technology-mechanical processing time, the cutting speed, price.

Технічне переозброєння машинобудівних підприємств є важливою умовою забезпечення їхньої ефективної роботи й виготовлення високо-якісної конкурентоспроможної продукції, виходу на світові ринки. Широке застосування наукомістких технологій, сучасного автоматизованого встаткування й комп'ютерної техніки відкрили нові можливості розвитку виробництва в умовах ринкової економіки. Особливою мірою це відноситься до формотворних операцій машинобудівного виробництва й, у першу чергу, до операцій механічної обробки, на яких остаточно формуються параметри якості деталей машин. Як показує практика, застосування сучасних високооборотних верстатів із числовим програмним управлінням (ЧПУ), які забезпечують підвищення до 10 разів і більше продуктивності праці, дозволило кардинальним чином змінити наші уявлення про технологічні можливості механічної обробки й вийти на створення вітчизняної конкурентоспроможної машинобудівної продукції. Так, їхнє використання в основному виробництві ДП Харківський машинобудівний завод "ФЕД" дозволяє прецизійну обробку складних деталей гідро- і паливоапаратури авіаційної техніки (виготовлених з висококомісних сплавів і сталей) виконувати фактично з однієї установки в автоматизованому режимі. Це забезпечує більш точне позиціонування оброблюваної деталі, різко знижує трудомісткість її виготовлення та витрати ріжучих інструментів. При цьому стабільно забезпечуються високі показники якості та точності обробки. Разом з тим вказані верстати зі ЧПУ – закордонного виробництва й досить дорогі. Тому питання їхнього придбання підприємством вимагають ретельного економічного аналізу й, насамперед, з погляду можливостей зниження собівартості на операціях механічної обробки деталей машин, оскільки зниження собівартості – найважливіший шлях до збільшення прибутку й рентабельності товарної продукції, підвищення ефективності промислового виробництва. Даному питанню присвячені роботи [1 – 4]. Однак у них при розрахунку собівартості обробки статті витрат розглядаються математично не взаємозалежними, що дозволяє одержати лише рішення, справедливі для цілком конкретних умов обробки, тобто для вузьких діапазонів зміни параметрів обробки. Разом з тим вибір оптимальних варіантів

технологій обробки вимагає одержання більше загальних математичних рішень, справедливих для широких діапазонів зміни параметрів обробки. Це потребує встановлення аналітичних взаємозв'язків між статтями витрат, які визначають собівартість обробки. У роботі [5] запропонований теоретичний підхід до рішення цього завдання, який можна розглядати в якості основної наукової передумови даної роботи.

Метою роботи є визначення умов забезпечення мінімально можливої собівартості механічної обробки деталей машин на сучасних високооборотних верстатах із ЧПУ.

З урахуванням двох змінних статей витрат, пов'язаних із заробітною платою робітника-верстатника й споживанням ріжучих інструментів, собівартість обробки C визначається за залежністю [5]:

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

де N – кількість деталей, що виготовляються;

τ_o – основний технологічний час обробки, год.;

S_1 – тарифна ставка робітника, грн/год.;

k_D – коефіцієнт, що враховує всілякі нарахування на тарифну ставку робітника;

T – стійкість інструмента, год.;

ψ – ціна інструмента, грн.

Із залежності (1) випливає, що зменшити собівартість обробки C можна за рахунок зменшення параметрів τ_o , ψ і збільшення T .

Основний технологічний час обробки τ_o для найпоширенішого методу механічної обробки – поздовжнього точіння – представимо:

$$\tau_o = \frac{g}{Q}, \quad (2)$$

де g – об'єм матеріалу, що знімається, із деталі, м³;

$Q = V \cdot t \cdot S$ – продуктивність обробки, м³/с.

Стійкість інструмента T виражається емпіричною залежністю [6]:

$$T = \frac{C_4}{V^{m_1} t^q S^p}, \quad (3)$$

де V – швидкість різання, м/с;

t – глибина різання, м;

S – поздовжня подача, м/оберт;

C_4, m_1, q, p – постійні для певних умов обробки.

На основі залежностей (1) – (3) розрахунками встановлено, що собівартість обробки C зі збільшенням швидкості різання V змінюється по екстремальній залежності (рисунк (а)). Екстремальні значення швидкості різання V й собівартості обробки C визначаються залежностями [5]:

$$V_{екс} = \left[\frac{S_1 \cdot k_D \cdot C_4}{(m_1 - 1) \cdot \mu \cdot t^q \cdot S^p} \right]^{\frac{1}{m_1}}, \quad (4)$$

$$C_{екс} = g_{сум} \cdot m_1 \cdot \left(\frac{S_1 \cdot k_D}{m_1 - 1} \right)^{\frac{1}{m_1}} \cdot \left(\frac{\mu}{C_4} \right)^{\frac{1}{m_1}} \cdot \frac{1}{t^{\frac{q}{m_1}} \cdot S^{\frac{p}{m_1}}}, \quad (5)$$

де $g_{сум} = N \cdot g$ – сумарний об'єм матеріалу, що знімається із N деталей.

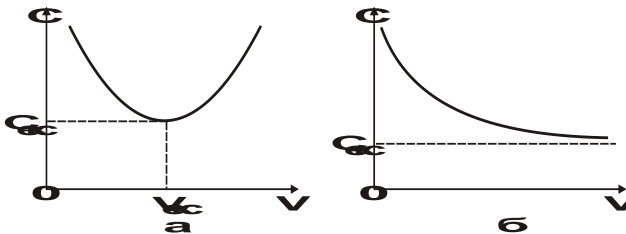


Рис. Залежність C від V при $m_1 > 1$ (а) і $m_1 = 1$ (б)

Із залежностей (4) і (5) випливає, що з погляду забезпечення заданої собівартості обробки $C_{екс}$ збільшення швидкості різання $V_{екс}$ обмежено. Отже, застосування високошвидкісного різання вимагає "переміщення" точки екстремуму в область більших значень $V_{екс}$ (див. рисунок (а)). Виходячи із залежності (4), це може бути досягнуто зменшенням ціни інструмента μ й підвищенням його фізико-механічних властивостей, узагальнено обумовлених параметром C_4 . Однак навіть при значній зміні зазначених параметрів це не приведе до помітного збільшення $V_{екс}$, тому що вони входять у залежність (4) зі ступенем, менше одиниці, оскільки $m_1 > 1$. Набагато більшого ефекту в цьому плані можна досягти за рахунок зменшення параметра $m_1 \rightarrow 1$. У цьому випадку, виходячи із залежності (4), екстремальне значення швидкості різання $V_{екс} \rightarrow \infty$, а собівартість обробки $C_{екс}$, описувана залежністю (5), зменшується й з урахуванням

умови $m_1 > p > q$ приймає вигляд:

$$C_{екс} = \frac{g_{сум} \cdot \mu}{C_4 \cdot S \cdot t}. \quad (6)$$

Залежність (1) з урахуванням залежностей (2), (3) і умови $m_1 \rightarrow 1$ опишеться

$$C = \frac{g_{сум} \cdot S_1 \cdot k_D}{V \cdot S \cdot t} + \frac{g_{сум} \cdot \mu}{C_4 \cdot S \cdot t}. \quad (7)$$

Як видно, зі збільшенням швидкості різання V собівартість обробки C безупинно зменшується, асимптотично наближаючись до значення $C_{екс}$ (див. рисунок (б)), що визначається залежністю (6). Отже, після перевищення певного значення V собівартість обробки C залишається майже незмінною, тоді як продуктивність обробки $Q = V \cdot t \cdot S$ необмежено збільшується, що власне й визначає ефект високошвидкісної обробки. Таким чином, реалізація умови $m_1 \rightarrow 1$, по суті, відкриває нові технологічні можливості механічної обробки, багаторазового збільшення продуктивності при незмінній собівартості обробки.

З фізичної точки зору випадок $m_1 = 1$ означає те, що стійкість ріжучого інструмента не залежить від швидкості різання V , тобто температурний фактор не є визначальним у механізмі зношування інструмента. Його зношування відбувається в основному від дії механічного фактора. Дана закономірність може мати місце при різанні алмазними інструментами, які забезпечують інтенсивний відвід тепла із зони різання й істотно зниження температури різання. Отже, стійкість ріжучого інструмента визначає, головним чином, рівень собівартості обробки C . Виключення переважної ролі температурного фактора у формуванні показника стійкості інструмента є основною умовою зменшення собівартості обробки й фактично необмеженого збільшення швидкості різання $V_{екс}$, що дозволяє реалізувати високошвидкісну обробку. Тому необхідною умовою реалізації високошвидкісної обробки варто розглядати застосування високооборотних верстатів зі ЧПУ ($n = 20\ 000$ оберт/хв. і більше), а достатньою умовою – застосування ріжучих інструментів високої стійкості, для яких $m_1 \rightarrow 1$. Прикладом виконання даної умови є застосування твердосплавних інструментів зі зносостійкими плазовими покриттями, які зберігають свої експлуатаційні властивості при високій температурі різання.

Проведений аналіз собівартості обробки дозволяє підійти до визначення економії по заробітній платі робітників-верстатників і витраті ріжучого інструмента. Виходячи із залежності (1), вона виражається:

$$E = C_{нов} - C_{баз} = N \cdot (\tau_{0_{нов}} - \tau_{0_{баз}}) S_1 k_D + N \cdot \left(\frac{\tau_{0_{нов}} \cdot \mu_{нов}}{T_{нов}} - \frac{\tau_{0_{баз}} \cdot \mu_{баз}}{T_{баз}} \right). \quad (8)$$

У залежності (8) параметри $C_{баз}, \tau_{0_{баз}}, T_{баз}, \mu_{баз}$ визначають базовий варіант обробки, а параметри $C_{нов}, \tau_{0_{нов}}, T_{нов}, \mu_{нов}$ – новий варіант обробки. Як видно, величина E тим більше, чим більше різниця

$(\tau_{0_{нов}} - \tau_{0_{баз}})$ й другий доданок залежності, який виражає складний неоднозначний зв'язок між вхідними в нього параметрами. Це обумовлено екстремальністю залежності (1). Наприклад, якщо значення $C_{баз}$ й $C_{нов}$ належать лівій гілці залежності (див. рисунок (а)), то буде мати місце однозначне збільшення величини E при переході від базового до нового варіанта обробки. Якщо значення $C_{баз}$ і $C_{нов}$ належать різним гілкам залежності (див. рисунок а), то величина E може приймати як позитивні, так і негативні значення. В останньому випадку економія E не буде досягнута. З огляду на неоднозначність рішень на основі залежності (8), оцінку економії E двох розглянутих варіантів доцільно виконувати на основі порівняння мінімумів собівартості обробки C відповідно до перетвореної залежності (5):

$$C_{екс} = g_{сум} \cdot \frac{S_1 \cdot k_D}{Q_{екс}} \cdot \frac{m_1}{(m_1 - 1)}, \quad (9)$$

де $Q_{екс} = V_{екс} \cdot t \cdot S$ – продуктивність обробки в точці мінімуму собівартості обробки, м³/с.

У цьому випадку величина $C_{екс}$ цілком однозначно визначається продуктивністю обробки $Q_{екс}$, що спрощує рішення оптимізаційних задач. Очевидно, чим більше $Q_{екс}$, тим менше $C_{екс}$. Отже, зі збільшенням швидкості різання $V_{екс}$ збільшується $Q_{екс}$ й зменшується $C_{екс}$. Збільшити $V_{екс}$, відповідно до залежності (4), можна збільшенням параметра C_4 (тобто стійкості інструмента) і зменшенням ціни інструмента ψ .

При пропорційному збільшенні параметрів C_4 і ψ швидкість різання $V_{екс}$, а відповідно й $Q_{екс}$, $C_{екс}$ залишаються незмінними й на перший погляд може здатися, що ефект обробки досягатися не буде. Однак при цьому необхідно враховувати, що зі збільшенням C_4 зменшується безрозмірний параметр $m_1 \rightarrow 1$ (внаслідок підвищення фізико-механічних властивостей інструментального матеріалу), а це веде до необмеженого збільшення швидкості різання $V_{екс}$, відповідно до залежності (4), і зменшення собівартості обробки C до значення $C_{екс}$ (див. рисунок (б)). Як показано вище, дана закономірність визначає основу високошвидкісної обробки, яка забезпечує істотну економію від зниження заробітної плати робітника-верстатника й витрати ріжучого інструмента. Таким чином, у роботі економічно обґрунтований науковий підхід до вибору оптимального варіанта механічної обробки й верстата зі ЧПУ, який планується придбати.

Отримані результати використані для вдосконалювання технологічних процесів обробки поверхонь корпусних деталей гідроапаратури на ДП ХМЗ "ФЕД". Перспективним напрямком рішення даних задач стало застосування високошвидкісної обробки на сучасних високооборотних верстатах зі ЧПУ: PICOMAX, HERMLE, SPINNER і т. д. Це дозволило значно підвищити продуктивність і якість обробки. Незважаючи на високу вартість даних металоріжучих верстатів зі ЧПУ, в умовах високошвидкісної обробки строк їхньої окупності незначний. Отримані результати також використані в ПАО

ХМЗ "Світло шахтаря" для вдосконалювання операцій обробки деталей редукторів приводів шахтних конвеєрів.

Підводячи підсумки дослідження, можливо зробити такі висновки:

1. Отримано аналітичні залежності для визначення собівартості обробки деталей машин та обґрунтовані умови її зменшення, які полягають, насамперед, у застосуванні високошвидкісної обробки на сучасних високооборотних металоріжучих верстатах із ЧПУ.

2. Установлено, що найбільше впливає на собівартість обробки стійкість ріжучого інструмента, яка обумовлена температурним фактором при різанні. Тому застосовуючи алмазні інструменти й твердосплавні інструменти зі зносостійкими плазмовими покриттями, які забезпечують зниження температури різання й відвід тепла із зони різання, можна істотно збільшити швидкість різання, продуктивність обробки й тим самим реалізувати значні потенційні можливості високошвидкісної обробки.

3. Аналітично встановлено, що в загальному випадку економія по заробітній платі робітників-верстатників і витраті ріжучого інструмента неоднозначно залежить від основних параметрів обробки (основного технологічного часу, стійкості й ціни ріжучого інструмента). У зв'язку із цим доцільно економію оцінювати за різницею значень мінімальної собівартості обробки для порівнюваних варіантів обробки, що істотно спрощує рішення оптимізаційних задач.

З огляду на істотний вплив безрозмірного параметра m_1 на собівартість обробки C , у подальших дослідженнях необхідно експериментально встановити значення даного параметра для різних ріжучих інструментів. Це дозволить виконати порівняння різних варіантів обробки деталей машин за критерієм собівартості й вибрати кращий варіант, а також кількісно оцінити технологічні можливості високошвидкісної обробки й перспективи її ефективного практичного використання.

Література: 1. Тімонін О. М. Технічне переозброєння підприємства на основі концепції маркетингу : монографія / О. М. Тімонін, К. В. Ларіна. – Х. : ВД "ІНЖЕК", 2008. – 256 с. 2. Гриньова В. М. Функціонально-вартісний аналіз в інноваційній діяльності підприємства : монографія / В. М. Гриньова. – Х. : ВД "ІНЖЕК", 2004. – 128 с. 3. Мякота В. Себестоимость продукции от выпуска до реализации / В. Мякота, Т. Войтенко. – Х. : Фактор, 2007. – 288 с. 4. Кривошапка Ю. Н. Экономический фактор в оптимизации технологических процессов / Ю. Н. Кривошапка, Ф. В. Новиков // Вісник Харківського держ. техн. ун-ту сільськ. господарства. – Х. : ХДТУСГ, 2002. – Вип. 10. – С. 66–72. 5. Новиков Ф. В. Оцінка економічної ефективності технологічних процесів обробки деталей / Ф. В. Новиков, Ю. В. Шкурूपій // Економіка розвитку : науковий журнал. – Х. : ХНЕУ, 2011. – № 1 (57). – С. 22–24. 6. Бобров В. Ф. Основы теории резания металлов / В. Ф. Бобров. – М. : Машиностроение, 1975. – 343 с.

References: 1. Timonin O. M. Tekhnichne pereozbroiennia pidpriemstva na osnovi kontseptsii marketynhu : monohrafiia / O. M. Timonin, K. V. Larina. – Kh. : VD "INZHEK", 2008. – 256 p. 2. Hrynova V. M. Funktsionalno-vartisnyi analiz v innovatsiini diialnosti pidpriemstva [Value analysis in the innovation of business] : monohrafiia / V. M. Grynova. – Kh. : VD "INZHEK", 2004. – 128 p. 3. Myakota V. Syebestoi most produktsii ot vypuska do ryealizatsii / V. Myakota, T. Voytenko. – Kh. : Faktor, 2007. –

288 p. 4. Krivoshapka Yu. N. Ekonomicheskiy faktor v optimizatsii tekhnologicheskikh protsessov [The economic factor in the optimization process] / Yu. N. Krivoshapka, F. V. Novikov // Visnyk Kharkivskoho derzhavnogo tekhnichnogo universytetu silskogo gospodarstva. – Kh. : KhDTUSG, 2002. – Vyp. 10. – Pp. 66–72. 5. Novikov F. V. Otsinka ekonomichnoi efektyvnosti tekhnologichnykh protsesiv obrobky detalei [Evaluation of economic efficiency of technological processes of processing components] / F. V. Novikov, Yu. V. Shkurupii // Ekonomika rozvytku : naukovyi zhurnal. – Kh. : KhNEU, 2011. – No. 1(57). – Pp. 22–24. 6. Bobrov V. F. Osnovy teorii rezaniya metallov [Fundamentals of the theory of metal cutting] / V. F. Bobrov – M. : Mashinostroenie, 1975. – 343 p.

Інформація про авторів

Новіков Федір Васильович – докт. техн. наук, професор завідувач кафедри техніки та технології Харківського національного економічного університету (61166, м. Харків, пр. Леніна, 9а, e-mail: novikov.fv@mail.ru).

Бенін Євген Юльович – директор ТОВ "Науково-виробниче об'єднання "Світло шахтаря" (61004, м. Харків, вул. Світло шахтаря, 4/6, e-mail: benin@stem.com.ua).

Информация об авторах

Новиков Федор Васильевич – докт. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой техники и технологий Харьковского национального экономического университета (61166, г. Харьков, пр. Ленина, 9а, e-mail: novikov.fv@mail.ru).

Бенин Евгений Юльевич – директор ООО "Научно-производственное объединение "Свет шахтера" (61004 г. Харьков, ул. Свет шахтера, 4/6, e-mail: benin@stem.com.ua).

Information about the authors

Novikov Fedir Vasyliovych – Doctor of Technical Sciences, Professor, head of Engineering and Technology Department at Kharkiv National University of Economics (Lenina ave., 9a, Kharkiv, 61166, e-mail: novikov.fv@mail.ru).

Benin Yevhen Yuliiovych – director of Scientific-Production Association "Svet Shakhtiora", Ltd (Svet Shakhtiora str., 4/6, Kharkiv, 61004, e-mail: benin@stem.com.ua).

Рецензент
докт. екон. наук,
професор Орлов П. А.

Стаття надійшла до ред.
05.03.2012 р.

