

**References:**

1. Reznikov A.N. *Teplofizika protsessov mekhanicheskoi obrabotki materialov* [Thermal physics processes of machining materials]. Moscow, Engineering Publ., 1981. 279 p. (Rus.)
2. Yakimov A.V. *Optimizatsiia protsessa shlifovaniia* [Optimization of the grinding process]. Moscow, Engineering Publ., 1975. 175 p. (Rus.)
3. Silin S.S. *Metod podobiiia pri rezanii materialov* [Similarity method in cutting materials]. Moscow, Engineering Publ., 1979. 152 p. (Rus.)
4. Evseev D.G. *Formirovanie svoistv poverkhnostnykh sloev pri abrazivnoi obrabotke* [Formation properties of the surface layers with abrasion]. Saratov, Saratov University Publ., 1975. 127 p. (Rus.)
5. Novikov F.V. *Povyshenie effektivnosti tekhnologii finishnoi obrabotki detalei par treniia porshnevnykh nasosov. Anotatsii dopovidei Mezhd. nauk.-prakt. konf. «Fizicheskie i komp'iuternye tekhnologii»* [Improved technology finishing details of pairs a friction piston pumps. Abstracts of Int. Sci.-Pract. Conf. «Physical and computer technology»]. Kharkov, HNPK «FED» Publ., 2007, pp. 8-20. (Rus.)
6. Novikov F.V., Iakimov A.V. *Fiziko-matematicheskaiia teoriia protsessov obrabotki materialov i tekhnologii mashinostroeniia. T.1. «Mekhanika rezaniia materialov»* [Physical and mathematical theory of materials processing and engineering technology. T. 1. «Mechcutting mechanics of materials»]. Odessa, ONPU Publ., 2002. 580 p. (Rus.)
7. Novikov F.V., Iakimov A.V. *Fiziko-matematicheskaiia teoriia protsessov obrabotki materialov i tekhnologii mashinostroeniia. T.2. «Teplofizika rezaniia materialov»* [Physical and mathematical theory of materials processing and engineering technology. T. 2. «Thermophysics cutting materials»]. Odessa, ONPU Publ., 2003. 625 p. (Rus.)
8. Bobrov V.F. *Osnovy teorii rezaniia metallov* [Fundamentals of the theory of cutting metal]. Moscow, Engineering Publ., 1975. 343 p. (Rus.)

Рецензент: В.В. Суглобов  
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 13.09.2016

УДК 621.923

© Кленов О.С.<sup>1</sup>, Новиков Ф.В.<sup>2</sup>, Андилахай А.А.<sup>3</sup>

**КОНЦЕПЦИИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И СНИЖЕНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СЕБЕСТОИМОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ  
ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

*Приведены результаты исследований производительности и технологической себестоимости обработки сборными твердосплавными лезвийными инструментами с износостойкими покрытиями фирмы «Iscar», позволяющими более чем в два раза уменьшить трудоемкость обработки и суммарные затраты по сравнению с применяемыми отечественными инструментами. Эффект достигается увеличением скорости резания и подачи вследствие повышения износостойкости и теплостойкости инструментов фирмы «Iscar».*

**Ключевые слова:** механическая обработка, режущий инструмент, производительность обработки, технологическая себестоимость обработки, суммарные затраты, трудоемкость обработки, режимы резания.

<sup>1</sup> канд. техн. наук, директор, фирма «ДиМерус Инженеринг», г. Харьков

<sup>2</sup> д-р техн. наук, профессор, Харьковский национальный экономический университет им. Семена Кузнеця, г. Харьков

<sup>3</sup> д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, [Andilayah@mail.ru](mailto:Andilayah@mail.ru)

*Кленов О.С., Новіков Ф.В., Анділахай О.О. Концепції підвищення продуктивності та зниження технологічної собівартості механічної обробки деталей машин. Наведено результати досліджень продуктивності та технологічної собівартості обробки збірними твердосплавними лезовими інструментами зі зносостійкими покриттями фірми «Iscar», що дозволяють більш ніж в два рази зменшити трудомісткість обробки і сумарні витрати порівняно із застосовуваними вітчизняними інструментами. Ефект досягається збільшенням швидкості різання і подачі внаслідок підвищення зносостійкості та теплостійкості інструментів фірми «Iscar».*

**Ключові слова:** механічна обробка, різальний інструмент, продуктивність обробки, технологічна собівартість обробки, сумарні витрати, трудомісткість обробки, режими різання.

*O.S. Klenov, F.V. Novikov, O.O. Andilayah. Concepts of increasing productivity and reducing the processing cost of machine parts. The basic conditions to reduce the cost of processing technology and improve productivity through the use of modern cutting tools produced by leading foreign firms producing tools have been appraised from theory in the work. Theoretically, it has been found that an increase in the cost of processing varies according to extremum dependence, passing the minimum point. It is possible to reduce the minimum processing cost due to the increase of productivity using cutting edge tools, characterized by a high capacity for work in high cutting temperatures. The criterion showing the technological price cost minimum is the ratio of the expenditures on workers' wages to the expenditures on the cutting tools, it being quite specific for various processing conditions. To analyze the possibilities of practical use of the proposed criterion, a complex of experimental researches of the technological prime cost and productivity of the processing with hard alloy cutting tools with wear-resistant coatings produced by the company «Iscar» has been carried out. It has been established that their use makes it possible by more than one half to reduce the labour consumption and overall costs as compared to the hard alloy cutting tools traditionally used in home industry. It has been shown that this effect is achieved by increasing the cutting speed and feed due to increased wear resistance and heat resistance of the «Iscar» company tools. It was established that it is much more possible to achieve low processing cost at milling than at turning. It was stated with regard to all major expenditures including the workers' wages, the cost of the cutting tools, equipment and other costs, allowing more correctly estimate the cost-effectiveness of mechanical processing. Experiments confirmed that the main condition for reducing the processing cost to its minimum value is to increase the processing performance through the use of a heat-resistant and wear-resistant cutting tools. Practical recommendations for improving the machining of machine parts have been made.*

**Keywords:** machining, cutting tools, machining performance, the technological cost of processing, the total cost, the complexity of processing, cutting conditions.

**Постановка проблеми.** Широкое применение на промышленных предприятиях Украины современных высокоэффективных технологий механической обработки и сборных конструкций режущих твердосплавных инструментов с износостойкими покрытиями производства ведущих зарубежных инструментальных фирм открыли новые возможности создания конкурентоспособной машиностроительной продукции. В особой мере это относится к изготовлению наукоемких изделий авиационного и энергетического комплекса, где требуется обеспечить высокие показатели точности, качества и производительности обработки и одновременно снизить технологическую себестоимость обработки до экономически приемлемого уровня.

Необходимо отметить, что фактор уменьшения технологической себестоимости обработки играет исключительно важную роль в связи с высокой стоимостью зарубежных технологий, станков и режущих инструментов. Традиционно считается, что уменьшить технологическую себестоимость обработки можно двумя путями: во-первых, увеличением производительности обработки в условиях высокоскоростного резания и снижением затрат на заработную плату ра-

бочих, во-вторых, увеличением стойкости режущих инструментов и уменьшением количества их потребления. Поэтому в настоящей работе поставлена задача теоретического и экспериментального обоснования основных условий уменьшения технологической себестоимости обработки и их практической реализации для конкретных случаев производства машиностроительной продукции.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Вопросы эффективного применения современных технологий и режущих твердосплавных инструментов с износостойкими покрытиями зарубежного производства отражены в работах [1-4], в которых приведены примеры перехода от традиционно применяемых отечественных инструментов к современным зарубежным режущим твердосплавным инструментам с износостойкими покрытиями с технико-экономическим обоснованием эффективности такого перехода. Установлено, что производительность обработки при этом может быть увеличена до 10 раз и более при одновременном уменьшении технологической себестоимости обработки. Однако решить проблему обеспечения требуемого срока окупаемости приобретенного дорогостоящего зарубежного оборудования (металлорежущих станков с ЧПУ типа «обрабатывающий центр») весьма сложно. В связи с этим возникает необходимость проведения теоретического анализа условий уменьшения технологической себестоимости обработки на основе разработанных математических моделей [2, 5].

**Цель работы** – обоснование условий уменьшения технологической себестоимости и повышения производительности обработки при использовании дорогостоящих современных технологий механической обработки, оборудования и режущих инструментов зарубежного производства.

**Изложение основного материала.** В работах [2, 5] теоретически установлено, что при продольном точении с увеличением производительности обработки  $Q$  технологическая себестоимость  $C$  (определяемая двумя статьями затрат: заработной платой рабочего и стоимостью режущих инструментов) изменяется по экстремальной зависимости, проходя точку минимума (рис. 1). Значения  $C_{min}$ ,  $Q_{экстр}$  и экстремальной стойкости инструмента  $T_{экстр}$  в точке минимума технологической себестоимости обработки выражаются зависимостями:

$$C_{min} = \frac{N \cdot \vartheta \cdot S_{час} \cdot k}{Q_{экстр}} \cdot \left[ 1 + \frac{1}{(m_1 - 1)} \right], \quad (1)$$

$$Q_{экстр} = \left[ \frac{S_{час} \cdot k \cdot C_4}{(t_c \cdot S_{час} \cdot k + Ц) \cdot (m_1 - 1)} \cdot S^{m_1 - p} \cdot t^{m_1 - q} \right]^{\frac{1}{m_1}} = \left[ \frac{C_4}{T_{экстр}} \cdot S^{m_1 - p} \cdot t^{m_1 - q} \right]^{\frac{1}{m_1}}, \quad (2)$$

$$T_{экстр} = \frac{(t_c \cdot S_{час} \cdot k + Ц) \cdot (m_1 - 1)}{S_{час} \cdot k}, \quad (3)$$

где  $Q = V \cdot t \cdot S$  – производительность обработки, м<sup>3</sup>/мин;

$V$  – скорость резания, м/мин;

$t$  – глубина резания, м;

$S$  – подача, м/об;

$N$  – количество обрабатываемых деталей;

$\vartheta$  – объем металла, снимаемого с одной детали, м<sup>3</sup>;

$S_{час}$  – часовая тарифная ставка рабочего, грн/час;

$k$  – коэффициент, учитывающий всевозможные начисления на тарифную ставку рабочего;

$t_c$  – время, затрачиваемое на снятие затупившегося инструмента, мин;

$Ц$  – цена инструмента, грн;

$T = \frac{C_4}{V^{m_1} \cdot t^q \cdot S^p}$  – стойкость режущего инструмента, мин;

$C_4, m_1, q, p$  – постоянные для определенных условий обработки ( $m_1 > p > q$ ;  $m_1 > 1$ ).

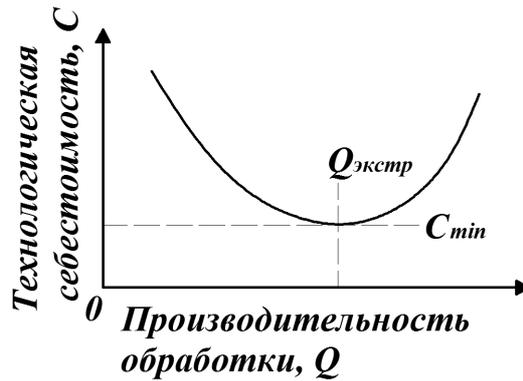


Рис. 1 – Зависимость технологической себестоимости обработки  $C$  от производительности обработки  $Q$

Как видно, уменьшить технологическую себестоимость обработки  $C_{min}$  можно главным образом увеличением экстремального значения производительности обработки  $Q_{экстр}$ , что достигается различными путями:

- 1) уменьшением экстремального значения стойкости инструмента  $T_{экстр}$  за счет уменьшения цены инструмента  $C$  и параметра  $m_1$ , который тем меньше, чем выше работоспособность инструмента в условиях повышенной температуры резания;
- 2) увеличением параметра  $C_4$ , который противоположно параметру  $m_1$  увеличивается с увеличением работоспособности инструмента в условиях повышенной температуры резания;
- 3) увеличением подачи  $S$  за счет увеличения прочности и твердости режущей кромки инструмента [6]. В этом случае экстремальное значение скорости резания может быть уменьшено или увеличено, или оставаться постоянным в зависимости от степени уменьшения параметра  $m_1$  и увеличения отношения  $C_4 / (T_c \cdot S_{чac} \cdot k + C)$ :

$$V_{экстр} = \frac{Q_{экстр}}{S \cdot t} = \left[ \frac{S_{чac} \cdot k \cdot C_4}{(t_c \cdot S_{чac} \cdot k + C) \cdot (m_1 - 1)} \cdot \frac{1}{S^p \cdot t^q} \right]^{\frac{1}{m_1}} \quad (4)$$

Из зависимости (1) вытекает важный вывод: в точке минимума технологической себестоимости обработки  $C_{min}$  первое слагаемое, определяемое затратами на заработную плату рабочего, в  $(m_1 - 1)$  раз больше второго слагаемого, определяемого затратами на режущий инструмент.

С целью оценки достоверности этого вывода в табл. 1 приведены суммарные затраты  $Z = Z_{инстр} + Z_{оборуд} + Z_{з/н} + P_{расх}$  на обработку 1 детали (где  $Z_{инстр}$  – затраты на инструмент;  $Z_{оборуд}$  – затраты на оборудование;  $Z_{з/н}$  – затраты на заработную плату;  $P_{расх}$  – прочие расходы), полученные при выполнении токарной операции отрезки (пруток из стали 45 диаметром  $D = 50$  мм) традиционным инструментом – твердосплавным резцом (применяемым на предприятии) и сборным твердосплавным резцом с износостойким покрытием фирмы «Iscar». Режим резания традиционным инструментом (предприятие): скорость резания  $V = 62,8$  м/мин; обороты шпинделя  $n = 400$  об/мин; подача на оборот  $S_0 = 0,15$  мм/об.; подача  $S_{мин} = 60$  мм/мин; глубина резания  $t = 5$  мм; количество проходов – 1; суммарное линейное перемещение инструмента – 25 мм.

Режим резания инструментом фирмы «Iscar»: скорость резания  $V = 117,8$  м/мин; обороты шпинделя  $n = 750$  об/мин; подача на оборот  $S_0 = 0,15$  мм/об.; подача  $S_{мин} = 112,5$  мм/мин; глубина резания  $t = 5$  мм; количество проходов – 1; суммарное линейное перемещение инструмента – 25 мм.

Как следует из табл. 1, применение инструментов фирмы «Iscar» позволяет более чем в 2 раза уменьшить трудоемкость обработки  $T$  и суммарные затраты  $Z$ . При этом отношение затрат на заработную плату и затрат на инструмент  $Z_{з/н} / Z_{инстр}$  при обработке традиционными

инструментами равно 2,65, а при обработке инструментами фирмы «Iscar» равно 13. Как показано выше, в точке минимума технологической себестоимости обработки  $C_{min}$  это отношение, равное  $(m_1 - 1)$ , при обработке традиционными инструментами ( $m_1 \approx 5$ ) принимает значение 4, а при обработке инструментами фирмы «Iscar» ( $m_1 \approx 3$ ) – значение 2. Следовательно, для данных условий обработки традиционными инструментами и инструментами фирмы «Iscar» минимум технологической себестоимости обработки  $C_{min}$  не достигается, т. к. реализуется левая ветвь зависимости  $C - Q$  (рис. 1). Согласно зависимости (1), уменьшить технологическую себестоимость обработки до минимального значения  $C_{min}$  можно главным образом за счет увеличения производительности обработки  $Q$ .

Таблица 1

Расчет суммарных затрат  $Z$  на выполнение токарной операции отрезки

Статьи расходов (показатели) на 1 деталь	Ед. изм.	Вариант 1 (базовый)	Вариант 2 (внедряемый)	Доля статей расходов, %	
		Предприятие	«Iscar»	Предприятие	«Iscar»
Трудоемкость обработки $T$	час.	0,090	0,037		
Затраты на инструмент $Z_{инстр}$	грн.	0,72	0,08	8,65	1,97
Затраты на оборудование $Z_{оборуд}$	грн.	1,73	0,70	20,74	17,52
Затраты на заработную плату $Z_{з/n}$	грн.	1,91	1,04	22,89	26,1
Прочие расходы $P_{расх}$	грн.	3,97	2,18	47,72	54,42
Суммарные затраты $Z$	грн.	8,33	4,00	100	100
Экономия затрат на 1 деталь	грн.		4,33	или	51,94

В табл. 2 приведены суммарные затраты  $Z = Z_{инстр} + Z_{оборуд} + Z_{з/n} + P_{расх}$  на обработку одной детали, полученные при выполнении операции точения вала из стали 20X2H4A диаметром  $D_{max} = 180$  мм,  $D_{min} = 150$  мм твердосплавным резцом (применяемым на предприятии) и сборным твердосплавным резцом с износостойким покрытием фирмы «Iscar». Режим резания традиционным инструментом (предприятие): скорость резания  $V = 56,5$  м/мин; обороты шпинделя  $n = 100$  об/мин; подача на оборот  $S_0 = 0,6$  мм/об.; подача  $S_{мин} = 60$  мм/мин; глубина резания  $t = 5$  мм; количество проходов – 3; суммарное линейное перемещение инструмента – 6103 мм.

Режим резания инструментом фирмы «Iscar»: скорость резания  $V = 113,0$  м/мин; обороты шпинделя  $n = 200$  об/мин; подача на оборот  $S_0 = 0,8$  мм/об.; подача  $S_{мин} = 160,0$  мм/мин; глубина резания  $t = 5$  мм; количество проходов – 3; суммарное линейное перемещение инструмента – 6103 мм.

Следуя табл. 2, как и в предыдущем случае, при обработке инструментами фирмы «Iscar» трудоемкость обработки  $T$  и суммарные затраты  $Z$  уменьшаются более чем в 2 раза. При этом отношение  $Z_{з/n} / Z_{инстр} = 0,93$  при обработке традиционными инструментами (предприятие) и  $Z_{з/n} / Z_{инстр} = 0,73$  при обработке инструментами фирмы «Iscar». Это означает, что и в данном случае технологическая себестоимость обработки превышает минимальное значение  $C_{min}$ , однако реализуется правая ветвь зависимости  $C - Q$  (рис. 1), т. е. производительность обработки  $Q > Q_{экстр}$ .

В табл. 3 приведены суммарные затраты  $Z = Z_{инстр} + Z_{оборуд} + Z_{з/n} + P_{расх}$  на обработку одной детали, полученные при выполнении операции точения вала из стали 12X18H10T диаметром  $D = 75$  мм твердосплавным резцом (применяемым на предприятии) и сборным твердо-

сплавним резцом с износостойким покрытием фирмы «Iscar». Режим резания традиционным инструментом (предприятие): скорость резания  $V = 47,1$  м/мин; обороты шпинделя  $n = 200$  об/мин; подача на оборот  $S_0 = 0,2$  мм/об.; подача  $S_{мин} = 40$  мм/мин; глубина резания  $t = 2$  мм; количество проходов – 1; суммарное линейное перемещение инструмента – 180 мм.

Таблица 2

Расчет суммарных затрат  $Z$  на выполнение операции точения вала

Статьи расходов (показатели) на 1 деталь	Ед. изм.	Вариант 1 (базовый)	Вариант 2 (внедряемый)	Доля статей расходов, %	
		Предприятие	«Iscar»	Предприятие	«Iscar»
Трудоемкость обработки $T$	час.	2,112	0,986		
Затраты на инструмент $Z_{инстр}$	грн.	47,68	38,36	22,96	29,62
Затраты на оборудование $Z_{оборуд}$	грн.	59,25	27,65	28,53	21,36
Затраты на заработную плату $Z_{з/н}$	грн.	44,56	28,08	21,46	21,7
Прочие расходы $P_{расх}$	грн.	56,17	35,40	27,05	27,34
Суммарные затраты $Z$	грн.	207,66	129,48	100	100
Экономия затрат на 1 деталь	грн.		78,18	или	37,65

Таблица 3

Расчет суммарных затрат  $Z$  на выполнение операции точения вала

Статьи расходов (показатели) на 1 деталь	Ед. изм.	Вариант 1 (базовый)	Вариант 2 (внедряемый)	Доля статей расходов, %	
		Предприятие	«Iscar»	Предприятие	«Iscar»
Трудоемкость обработки $T$	час.	0,158	0,058		
Затраты на инструмент $Z_{инстр}$	грн.	0,49	0,19	3,57	2,94
Затраты на оборудование $Z_{оборуд}$	грн.	3,03	1,10	21,89	17,34
Затраты на заработную плату $Z_{з/н}$	грн.	3,34	1,64	24,16	25,8
Прочие расходы $P_{расх}$	грн.	6,97	3,42	50,38	53,88
Суммарные затраты $Z$	грн.	13,83	6,34	100	100
Экономия затрат на 1 деталь	грн.		7,49	или	54,14

Режим резания инструментом фирмы «Iscar»: скорость резания  $V = 146,0$  м/мин; обороты шпинделя  $n = 620$  об/мин; подача на оборот  $S_0 = 0,2$  мм/об.; подача  $S_{мин} = 124,0$  мм/мин; глубина резания  $t = 2$  мм; количество проходов – 1; суммарное линейное перемещение инструмента – 180 мм.

Следуя табл. 3, как и в двух предыдущих случаях (табл. 1, табл. 2), применение инструментов фирмы «Iscar» позволяет уменьшить трудоемкость обработки  $T$  и суммарные затраты  $Z$  более чем в 2 раза. Отношение  $Z_{з/н}/Z_{инстр} = 69,38$  при обработке традиционными инструментами (предприятие) и  $Z_{з/н}/Z_{инстр} = 8,63$  при обработке инструментами фирмы «Iscar». В этом случае применение инструментов фирмы «Iscar» приближает технологическую себестоимость обработки к минимальному значению  $C_{мин}$ , что и предопределяет эффективность обработки.

Для сравнения в табл. 4 приведены суммарные затраты  $Z = Z_{инстр} + Z_{оборуд} + Z_{з/н} + P_{расх}$

на обработку одной детали, полученные при выполнении операции фрезерования детали «корпус» из стали 3Л традиционным инструментом – твердосплавной фрезой  $D = 100$  мм (предприятие) и сборной твердосплавной фрезой  $D = 100$  мм с износостойким покрытием фирмы «Iscar».

Таблица 4

Расчет суммарных затрат  $Z$  на выполнение операции фрезерования детали «корпус»

Статьи расходов (показатели) на 1 деталь	Ед. изм.	Вариант 1 (базовый)	Вариант 2 (внедряемый)	Доля статей расходов, %	
		Предприятие	«Iscar»	Предприятие	«Iscar»
Трудоемкость обработки $T$	час.	0,45	0,10		
Затраты на инструмент $Z_{инстр}$	грн.	4,63	6,14	14,94	46,87
Затраты на оборудование $Z_{оборуд}$	грн.	11,85	2,57	38,27	19,59
Затраты на заработную плату $Z_{з/н}$	грн.	6,06	1,84	19,59	14,04
Прочие расходы $P_{расх}$	грн.	8,42	2,55	27,20	19,50
Суммарные затраты $Z$	грн.	30,96	13,10	100	100
Экономия затрат на 1 деталь	грн.		17,86	или	57,69

Режим резания традиционным инструментом (предприятие): скорость резания  $V = 39,9722$  м/мин; обороты шпинделя  $n = 127,2$  об/мин; количество зубьев фрезы  $z = 5$ ; подача на зуб  $S_z = 0,06$  мм/зуб; подача на оборот  $S_0 = 0,3$  мм/об.; подача  $S_{мин} = 38,19$  мм/мин; глубина резания  $t = 4$  мм; ширина резания  $B = 40$  мм; количество проходов – 2; суммарное линейное перемещение инструмента – 800 мм.

Режим резания сборной твердосплавной фрезой с износостойким покрытием фирмы «Iscar»: скорость резания  $V = 149,9978$  м/мин; обороты шпинделя  $n = 477,7$  об/мин; количество зубьев фрезы  $z = 5$ ; подача на зуб  $S_z = 0,2$  мм/зуб; подача на оборот  $S_0 = 1$  мм/об.; подача  $S_{мин} = 477,7$  мм/мин; глубина резания  $t = 4$  мм; ширина резания  $B = 40$  мм; количество проходов – 1; суммарное линейное перемещение инструмента – 400 мм.

При фрезеровании инструментами фирмы «Iscar» трудоемкость обработки  $T$  и суммарные затраты  $Z$  уменьшаются еще значительно, чем при точении. При этом отношение  $Z_{з/н} / Z_{инстр} = 1,31$  при обработке традиционными инструментами (предприятие) и  $Z_{з/н} / Z_{инстр} = 0,3$  при обработке инструментами фирмы «Iscar». Следовательно, производительность обработки  $Q > Q_{экстр}$  и реализуется правая ветвь зависимости  $C - Q$  (рис. 1).

Если в расчетной зависимости (1) для определения технологической себестоимости обработки учесть третью составляющую, статью затрат на оборудование  $Z_{оборуд}$ , то она примет вид:

$$C_{min} = \frac{N \cdot g \cdot (S_{час} \cdot k + C_{c-ч})}{Q_{экстр}} \cdot \left[ 1 + \frac{1}{(m_1 - 1)} \right], \quad (5)$$

где  $C_{c-ч}$  – стоимость станко-часа, грн/час.

В этом случае вместо отношения  $Z_{з/н} / Z_{инстр}$  необходимо рассматривать отношение  $(Z_{з/н} + Z_{оборуд}) / Z_{инстр}$ . Тогда, согласно табл. 4, при обработке традиционными инструментами отношение  $(Z_{з/н} + Z_{оборуд}) / Z_{инстр} = 3,87$ , а при обработке инструментами фирмы «Iscar» отношение  $(Z_{з/н} + Z_{оборуд}) / Z_{инстр} = 0,82$ . Это приближает значения технологической себестоимости обработки к минимальным значениям  $C_{min}$  и указывает на то, что применяемые режимы реза-

ния близки к оптимальным. При обработке инструментами фирмы «Iscar» значение  $C_{min}$  меньше, а экстремальное значение производительности обработки  $Q_{экстр}$ , наоборот, больше, что согласуется с теоретическими результатами, вытекающими из зависимостей (1) и (2).

Аналогично можно учесть в зависимости (5) для определения технологической себестоимости обработки четвертую составляющую – прочие расходы  $П_{расх}$ . Тогда вместо отношения  $(Z_{з/n} + Z_{оборуд}) / Z_{инстр}$  необходимо рассматривать отношение  $(Z_{з/n} + Z_{оборуд} + П_{расх}) / Z_{инстр}$ . Согласно табл. 4, в случае обработки традиционными инструментами отношение  $(Z_{з/n} + Z_{оборуд} + П_{расх}) / Z_{инстр} = 5,69$ , а при обработке инструментами фирмы «Iscar» отношение  $(Z_{з/n} + Z_{оборуд} + П_{расх}) / Z_{инстр} = 1,13$ .

Как видно, применяемые режимы резания традиционными инструментами и инструментами фирмы «Iscar» в первом приближении можно рассматривать оптимальными, т.к. значения технологической себестоимости обработки становятся приблизительно равными минимальным значениям. Этим показано, что при фрезеровании по сравнению с точением больше возможностей осуществления оптимального режима резания, хотя и при точении, исходя из табл. 2, может быть реализован режим резания, при котором выполняется условие обработки  $Q > Q_{экстр}$  и реализуется правая ветвь зависимости  $C - Q$  (рис. 1). В этом случае при обработке традиционными инструментами  $(Z_{з/n} + Z_{оборуд}) / Z_{инстр} = 2,18$  и  $(Z_{з/n} + Z_{оборуд} + П_{расх}) / Z_{инстр} = 3,36$ , а при обработке инструментами фирмы «Iscar» отношение  $(Z_{з/n} + Z_{оборуд}) / Z_{инстр} = 1,45$  и  $(Z_{з/n} + Z_{оборуд} + П_{расх}) / Z_{инстр} = 2,37$ . Это указывает на то, что реализуется режим резания, близкий к оптимальному режиму резания, при котором достигается минимум технологической себестоимости обработки  $C_{min}$  при учете 4 статей затрат (табл. 2).

Необходимо отметить, что отношение  $(Z_{з/n} + Z_{оборуд} + П_{расх}) / Z_{инстр}$  позволяет в большей степени оценить экономическую эффективность механической обработки, т.к. учитывает наибольшее количество статей затрат.

Если в точке минимума технологической себестоимости обработки  $C_{min}$  выполняется условие  $Q < Q_{экстр}$ , то необходимо увеличивать производительность обработки за счет увеличения скорости резания и подачи путем применения режущих инструментов, характеризующихся большими значениями  $C_4$  и меньшими значениями  $m_1$ , т. е. применением инструментов, обладающих большей износостойкостью в условиях повышенной температуры резания, что вытекает из зависимостей (1) и (2).

### Выводы

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований производительности и технологической себестоимости обработки сборными твердосплавными лезвийными режущими инструментами с износостойкими покрытиями фирмы «Iscar», позволяющими более чем в 2 раза уменьшить трудоемкость обработки и суммарные затраты по сравнению с традиционно применяемыми отечественными лезвийными инструментами. Показано, что эффект обработки достигается за счет увеличения скорости резания и подачи вследствие повышенных значений износостойкости и теплостойкости инструментов фирмы «Iscar». Установлено, что при фрезеровании больше возможностей реализации минимума технологической себестоимости обработки, чем при точении, причем с учетом всех основных статей затрат, включая затраты на заработную плату рабочих, режущий инструмент, оборудование и прочие затраты. Доказано, что основным условием уменьшения технологической себестоимости обработки до ее минимального значения является увеличение производительности обработки.

### Список использованных источников:

1. Обработка резанием деталей с покрытиями : монография / С.А. Клименко [и др.]. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – 353 с.
2. Жовтворюх В.О. Підвищення ефективності механічної обробки деталей гідравлічних сис-

тем шляхом вибору раціональних параметрів операцій за критерієм собівартості : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / В.О. Жовтобрюх; ДВНЗ «Приазов. держ. техн. ун-т». – Маріуполь, 2012. – 23 с.

3. Жовтобрюх В.А. Разработка и внедрение эффективных технологических процессов механической обработки / В.А. Жовтобрюх // Сучасні системи технологій у машинобудуванні. Збірник наукових праць, присвячений 90-річчю з дня народження професора Одеського національного політехнічного університету (ОНПУ) Якимова О.В. – Одеса : ОНПУ. – 2015. – С. 92-105.
4. Линчевский П.А. Обработка деталей на отделочно-расточных станках / П.А. Линчевский, Т.Г. Джугурян, А.А. Оргиян. – К. : Техніка, 2001. – 300 с.
5. Новиков Ф.В. Теоретическое обоснование условий повышения эффективности высокоскоростной обработки / Ф.В. Новиков, О.С. Кленов // Вісник НТУ «ХП». Серія : Технології в машинобудуванні : Зб. наук. пр. – Х. : НТУ «ХП». – 2014. – № 42 (1085). – С. 106-111.
6. Кленов О.С. Повышение производительности и качества механической обработки на основе применения прогрессивных режущих инструментов / О.С. Кленов, Ф.В. Новиков, А.Г. Крюк // Вісник НТУ «ХП». Серія : Нові рішення в сучасних технологіях : Зб. наук. пр. – Х. : НТУ «ХП». – 2013. – № 42 (1015). – С. 90-95.

#### References:

1. Klimenko S.A., Kolomiets V.V., Kheifets M.L. *Obrabotka rezaniem detalei s pokrytiami: monografiia* [Machining of parts with coatings: monograph]. Kyiv, 2011. 353 p. (Rus.)
2. Zhovtobryuh V.O. *Pidvishchennia efektyvnosti mekhanichnoi obrobki detalei gidravlichnykh sistem shliakhom voboru ratsional'nykh parametriv operatsii po kriteriiu sobivartosti*. Avtoref. diss. kand. techn. nauk [Improving the efficiency of the machining of parts of hydraulic systems by selecting rational parameters of operations on the criterion of cost. Thesis of cand. tech. sci. diss.]. Mariupol, 2012. 23 p. (Ukr.)
3. Zhovtobryuh V.A. *Razrabotka i vnedrenie effektivnykh tekhnologicheskikh protsessov mekhanicheskoi obrabotki* [Development and implementation of effective technological processes of machining]. *Suchasni sistemi tekhnologii u mashinobuduvanni. Zbirnik naukovikh prats', prisviachenii 90-richchiu z dnia narodzhennia profesora Odes'kogo natsional'nogo politekhnichnogo universitetu (ONPU) Yakimova O.V. – Modern technologies in engineering systems. Scientific papers dedicated to the 90th anniversary of the birth of Professor of Odessa National Polytechnic University (ONPU) Yakimova A.V.*, 2015, pp. 92-105. (Rus.)
4. Linchevskiy P.A. *Obrabotka detalei na otdelochno-rastochnykh stankakh* [Processing of parts on the boring machine]. Kyiv, Machinery Publ., 2001. 300 p. (Rus.)
5. Novikov F.V. *Teoreticheskoe obosnovanie uslovii povysheniia effektivnosti vysokoskorostnoi obrabotki* [The theoretical justification of conditions for increasing the efficiency of highspeed processing]. *Visnik NTU «KhPI». Seriya: Tekhnologii v mashinobuduvanni – Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: Techniques in a machine industry*, 2014, no. 42 (1085), pp. 106-111. (Rus.)
6. Klenov O.S. *Povyshenie proizvoditel'nosti i kachestva mekhanicheskoi obrabotki na osnove primeneniia progressivnykh rezhushchikh instrumentov* [Increase productivity and quality of machining on the basis of advanced cutting tools]. *Visnik NTU «KhPI». Zbirnik naukovikh prats'. Seriya: Novi rishennia v suchasnikh tekhnologiiakh – Bulletin of the National Technical University «KhPI» Series: New solutions in modern technologies*, 2013, no. 42 (1015), pp. 90-95. (Rus.)

Рецензент: В.В. Суглобов  
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 10.10.2016