

**В.И. ПОЛЯНСКИЙ****ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ФОРМУЮЩЕЙ ОСНАТКИ ДЛЯ МАКАРОННОЙ И КОНДИТЕРСКОЙ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Приведено теоретическое решение по определению максимально возможной производительности обработки при фрезеровании цилиндрической и торцевой фрезами с учетом ограничения по предельной (из условий прочности фрезы) толщине среза. Доказана эффективность применения схемы фрезерования торцевой фрезой в условиях однопроходного высокоскоростного резания с точки зрения повышения производительности и качества обработки на станках с ЧПУ типа «обрабатывающий центр». В отличие от схемы фрезерования цилиндрической фрезой, схема фрезерования торцевой фрезой обеспечивает формирование различных по кривизне боковых поверхностей профиля обрабатываемого изделия, что значительно расширяет ее технологические возможности, особенно при обработке на станках с ЧПУ типа «обрабатывающий центр». Показано, что схема фрезерования торцевой фрезой также обеспечивает перенос основной части образующегося в процессе резания тепла в снимаемый слой припуска (а не в поверхностный слой обрабатываемой детали). Это снижает вероятность появления прижогов и других температурных дефектов на обрабатываемой поверхности и соответственно повышает качество обработки. Теоретически обоснованы практические рекомендации по снижению энергоемкости обработки, состоящие в применении современных режущих инструментов с алмазными износостойкими покрытиями, которые обеспечивают снижение интенсивности трения в зоне резания. Результаты исследований, приведенные в работе, используются в практической деятельности при изготовлении сложнопрофильной формующей оснастки для макаронной и кондитерской отраслей промышленности в ОАО «Империя металлов» (г. Харьков), где производство оснащено современными высокоточными металлообрабатывающими центрами и станками с ЧПУ.

**Ключевые слова:** механическая обработка, формующая оснастка, фрезерование, торцевая фреза, производительность обработки, толщина среза, энергоемкость обработки.

**В.І. ПОЛЯНСЬКИЙ****ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ФОРМУЮЧОЇ ОСНАТКИ ДЛЯ МАКАРОННОЇ ТА КОНДИТЕРСЬКОЇ ГАЛУЗЕЙ ПРОМИСЛОВОСТІ**

Наведено теоретичне рішення по визначенню максимально можливої продуктивності обробки при фрезеруванні циліндричною та торцевою фрезами з урахуванням обмеження з граничної (з умов міцності фрези) товщини зрізу. Доведено ефективність застосування схеми фрезерування торцевою фрезой в умовах однопрохідного високошвидкісного різання з точки зору підвищення продуктивності та якості обробки на верстатах з ЧПУ типу «обробний центр». На відміну від схеми фрезерування циліндричною фрезой, схема фрезерування торцевою фрезой забезпечує формування різних за кривизною бічних поверхонь профілю оброблюваного виробу, що значно розширює її технологічні можливості, особливо при обробці на верстатах з ЧПУ типу «обробний центр». Показано, що схема фрезерування торцевою фрезой також забезпечує перенесення основної частини тепла, що утворюється в процесі різання, в шар припуску, що знімається (а не в поверхневий шар оброблюваної деталі). Це знижує ймовірність появи припеків та інших температурних дефектів на оброблюваній поверхні й, відповідно, підвищує якість обробки. Теоретично обґрунтовано практичні рекомендації щодо зниження енергоємності обробки, які полягають в застосуванні сучасних ріжучих інструментів з алмазними зносостійкими покриттями, що забезпечують зниження інтенсивності тертя в зоні різання. Результати досліджень, що наведено в роботі, використовуються в практичній діяльності при виготовленні складнопрофільної формуючої оснастки для макаронної та кондитерської галузей промисловості в ВАТ «Імперія металів» (м. Харків), де виробництво оснащено сучасними високоточними металлообробними центрами та верстатами з ЧПУ.

**Ключові слова:** механічна обробка, формуюча оснастка, фрезерування, торцева фреза, продуктивність обробки, товщина зрізу, енергоємність обробки.

**V.I. POLYANSKY****IMPROVING THE EFFICIENCY OF MECHANICAL TREATMENT TECHNOLOGY FORMING MACHINE FOR PASTA AND CONFECTIONERY INDUSTRY INDUSTRIES**

A theoretical solution is given to determine the maximum possible productivity of machining when milling cylindrical and face milling cutters, taking into account the limitation on the limiting thickness (from the strength conditions of the milling cutter). Proved the effectiveness of the use of a milling scheme with a face mill in single-pass high-speed cutting conditions in terms of increasing productivity and machining quality on CNC machining centers of the "machining center" type. In contrast to the milling scheme of a cylindrical mill, the milling scheme with a face mill provides for the formation of different curvature of the side surfaces of the profile of the workpiece, which significantly expands its technological capabilities, especially when machining on machining centers. It is shown that the scheme of milling with a face mill also ensures the transfer of the main part of heat generated during the cutting process into the removable allowance layer (and not into the surface layer of the workpiece). This reduces the likelihood of prizing and other temperature defects on the treated surface and, accordingly, improves the quality of processing. Theoretically justified practical recommendations for reducing the energy intensity of processing, consisting in the use of modern cutting tools with diamond wear-resistant coatings, which reduce the friction intensity in the cutting zone. The research results presented in the work are used in practical activities in the manufacture of complex-profile forming tooling for macaroni and confectionery industries in the Empire of Metals OJSC (Kharkiv), where the production is equipped with modern high-precision metalworking centers and CNC machines.

**Keywords:** : machining, forming tooling, milling, face milling, processing capacity, shear thickness, power consumption of processing.

**Введение.** Применение на предприятиях Украины современных металлорежущих станков с ЧПУ типа «обрабатывающий центр» зарубежного производства и прогрессивных сборных режущих твердосплавных и керамических режущих инструментов с износостойкими покрытиями появилась возможность существенного повышения производительности и

качества механической обработки, изготовления высокоточных деталей машин. Несмотря на высокую стоимость этих станков и инструментов, они достаточно быстро окупаются и обеспечивают высокую прибыль предприятию. В особой мере это относится к изготовлению сложнопрофильной формующей оснастки для макаронной и кондитерской

© В. И. Полянский, 2018

отраслей промышленности в ОАО «Империя металлов» (г. Харьков), являющемся лидером среди ведущих участников данного рынка, на долю которого приходится более 50 % производства оснастки среди стран СНГ. Благодаря применению новых современных станков с ЧПУ и режущих инструментов с износостойкими покрытиями освоено производство основных видов формующей оснастки для макаронной и кондитерской отраслей промышленности. Вместе с тем, с появлением новых труднообрабатываемых материалов и повышением требований к их механической обработке возникает необходимость дальнейшего совершенствования технологий изготовления формующей оснастки для макаронной и кондитерской отраслей промышленности, особенно наиболее массово применяемой технологии фрезерования. Поэтому настоящая работа посвящена теоретическому исследованию закономерностей фрезерования и повышению эффективности его применения на современных металлорежущих станках с ЧПУ типа «обрабатывающий центр».

#### Анализ последних исследований и публикаций.

Фрезерование является одним из основных видов механической обработки материалов и поэтому ему в научно-технической литературе постоянно уделяется большое внимание [1-4]. В настоящее время разработаны теоретические основы фрезерования и нормативы режимов резания для фрезерных работ. Однако они в большей степени базируются на результатах экспериментальных исследований, т.е. на эмпирических данных, что затрудняет разработку обобщенных практических рекомендаций для решения задач существенного повышения производительности, качества и точности механической обработки с применением современных режущих лезвийных инструментов и станков с ЧПУ. В связи с этим, актуальной является задача обоснования наиболее эффективной схемы фрезерования на станках с ЧПУ и реализующих ее условий обработки (режимов резания, характеристик инструментов и т.д.). Настоящая работа является дальнейшим развитием работ [5, 6] по теоретическому определению новых технологических возможностей фрезерования на станках с ЧПУ.

**Цель исследования.** Теоретическое обоснование условий повышения производительности и снижения энергоемкости обработки при фрезеровании на станках с ЧПУ деталей формующей оснастки для макаронной и кондитерской отраслей промышленности.

**Изложение основного материала.** Для анализа технологических возможностей фрезерования цилиндрической фрезой следует определить максимально возможную производительность обработки с учетом обеспечения заданной (из условия прочности режущей части фрезы) толщины среза. Для удобства расчетов толщины среза удаляемый в процессе обработки материал представлен в виде горизонтальных элементарных слоев (рис. 1 [5]), которые контактируют с режущими зубьями фрезы под разными углами  $\beta$ . Для периферийного

элементарного слоя обрабатываемого материала максимальная толщина среза  $a = l \cdot \cos \beta$ , где  $\cos \beta = \sqrt{2 \cdot t \cdot (D_{фп} - t) / D_{фп}}$ ;  $t$  – глубина резания, м;  $D_{фп} = 2 \cdot R_{фп}$  – диаметр фрезы, м;  $R_{фп}$  – радиус фрезы, м;  $l = V_{дем} \cdot \tau$  – перемещение периферийного элементарного слоя обрабатываемого материала в горизонтальном направлении за период времени  $\tau = L / V_{фп}$  между работой двух соседних зубьев фрезы, м;  $V_{дем}$  – скорость перемещения детали, м/с;  $L = 2 \cdot \pi \cdot R_{фп} / z$  – расстояние (по окружности) между двумя зубьями фрезы, м;  $z$  – число зубьев фрезы;  $V_{фп}$  – скорость вращения фрезы, м/с.

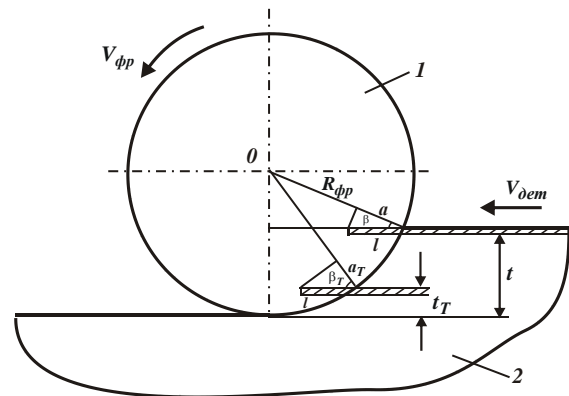


Рис. 1 – Расчетная схема параметров фрезерования цилиндрической фрезой:

1 – контур фрезы; 2 – обрабатываемая деталь

Тогда

$$a = \frac{2 \cdot \pi}{z} \cdot \frac{V_{дем}}{V_{фп}} \cdot \sqrt{t \cdot (D_{фп} - t)}. \quad (1)$$

Текущая толщина среза  $a_T$ , определяемая углом  $\beta_T$  и текущим значением  $t_T$  (рис. 1):

$$a_T = \frac{2 \cdot \pi}{z} \cdot \frac{V_{дем}}{V_{фп}} \cdot \sqrt{t_T \cdot (D_{фп} - t_T)}. \quad (2)$$

Из зависимости (2) вытекает, что  $a_T < a$ . Наибольшее значение  $a$  достигается при  $t = D_{фп} / 2$ :

$$a_{max} = \frac{\pi \cdot D_{фп}}{z} \cdot \frac{V_{дем}}{V_{фп}} = \frac{V_{дем}}{z \cdot n}, \quad (3)$$

где  $V_{фп} = \pi \cdot D_{фп} \cdot n$ ;  $n$  – частота вращения фрезы, об./с.

Согласно зависимости (3), уменьшить  $a_{max}$  можно увеличением параметров  $z$ ,  $n$  и уменьшением  $V_{дем}$ . Это указывает на эффективность применения высокоскоростного фрезерования.

Используя зависимость (1), можно определить максимально возможную производительность обработки  $Q = B \cdot V_{дем} \cdot t$  с учетом обеспечения заданной (из условия прочности режущей части фрезы) толщины среза  $a$ , где  $B$  – ширина фрезерования, м.

Для этого следует зависимость (1) разрешить относительно скорости перемещения детали

$$V_{\text{дем}} = \frac{z \cdot a \cdot V_{\text{фр}}}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{t \cdot (D_{\text{фр}} - t)}}. \quad (4)$$

Максимально возможная производительность обработки  $Q$  определяется:

$$Q = B \cdot V_{\text{дем}} \cdot t = \frac{B \cdot z \cdot a \cdot V_{\text{фр}}}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{D_{\text{фр}}}{t} - 1\right)}}. \quad (5)$$

Как видно, увеличить  $Q$  можно увеличением параметров  $B$ ,  $z$ ,  $a$ ,  $V_{\text{фр}}$  и  $t$ . Из приведенных зависимостей (4) и (5) следует, что с увеличением глубины резания  $t$  скорость перемещения детали  $V_{\text{дем}}$  уменьшается, а  $Q$ , наоборот, увеличивается в связи с увеличением длины дуги контакта цилиндрической фрезы с обрабатываемым материалом. Из зависимости (5) также следует, что эффект увеличения  $Q$  обусловлен уменьшением отношения  $D_{\text{фр}}/t$ , т.е. эффективно уменьшать и  $D_{\text{фр}}$ . Однако это приведет к уменьшению числа зубьев фрезы  $z$ , что, согласно зависимости (5), вызовет уменьшение  $Q$ . Поэтому с целью увеличения  $Q$  целесообразно уменьшать  $D_{\text{фр}}/t$  за счет увеличения глубины резания  $t$ .

Наибольшая максимально возможная производительность обработки достигается при  $t = D_{\text{фр}}/2$ :

$$Q = \frac{B \cdot z \cdot a \cdot V_{\text{фр}}}{2 \cdot \pi}. \quad (6)$$

На наибольшую максимально возможную производительность обработки не влияет диаметр фрезы  $D_{\text{фр}}$ . С учетом  $V_{\text{фр}} = \pi \cdot D_{\text{фр}} \cdot n$ , имеем:

$$Q = \frac{B \cdot z \cdot n \cdot a \cdot D_{\text{фр}}}{2}. \quad (7)$$

В этом случае  $Q$  определяется и диаметром фрезы  $D_{\text{фр}}$ : чем больше  $D_{\text{фр}}$ , тем больше  $Q$ . При фрезеровании торцевой фрезой скорость перемещения детали  $V_{\text{дем}}$  можно определить, используя зависимость (4), рассматривая вместо глубины резания  $t$  ширину фрезерования  $B$ :

$$V_{\text{дем}} = \frac{z \cdot a \cdot V_{\text{фр}}}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{B \cdot (D_{\text{фр}} - B)}}. \quad (8)$$

Тогда максимально возможная производительность обработки  $Q$  определится аналогично (5):

$$Q = B \cdot V_{\text{дем}} \cdot t = \frac{z \cdot a \cdot V_{\text{фр}} \cdot t}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{D_{\text{фр}}}{B} - 1\right)}}. \quad (9)$$

Наибольшая максимально возможная

производительность обработки достигается при  $B = D_{\text{фр}}/2$ :

$$Q = \frac{t \cdot z \cdot a \cdot V_{\text{фр}}}{2 \cdot \pi}. \quad (10)$$

Сравнивая зависимости (6) и (10), полученные применительно к процессам фрезерования цилиндрической и торцевой фрезами, видно, что они содержат разные параметры  $B$  и  $t$ . Однако, поскольку зависимости получены для условий  $t = D_{\text{фр}}/2$  и  $B = D_{\text{фр}}/2$ , то  $t = B$  и значения наибольших максимально возможных производительностей обработки при фрезеровании цилиндрической и торцевой фрезами одинаковы. При условии  $t = D_{\text{фр}}$  наибольшая максимально возможная производительность обработки  $Q$  при фрезеровании торцевой фрезой, определяемая зависимостью (10), увеличится в 2 раза, т.е.

$$Q = \frac{t \cdot z \cdot a \cdot V_{\text{фр}}}{\pi}. \quad (11)$$

Это указывает на возможность достижения более высокой максимально возможной производительности обработки при фрезеровании торцевой фрезой с шириной фрезерования, равной диаметру фрезы  $D_{\text{фр}}$ .

Исходя из зависимости (11), увеличить  $Q$  при фрезеровании торцевой фрезой можно увеличением параметров  $t$ ,  $z$ ,  $a$ ,  $V_{\text{фр}}$ , осуществляя однопроходное высокоскоростное фрезерование. Наряду с увеличением  $Q$ , данная схема фрезерования обеспечивает перенос основной части образующегося в процессе резания тепла в снимаемый слой припуска (а не в поверхностный слой обрабатываемой детали), что снижает вероятность появления прижогов и других температурных дефектов на обрабатываемой поверхности и соответственно повышает качество обработки. При фрезеровании цилиндрической фрезой фактически все образующееся в процессе резания тепло уходит в поверхностный слой обрабатываемой детали, что повышает вероятность появления температурных дефектов на обрабатываемой поверхности и снижает качество обработки. Следовательно, преимуществом применения схемы торцевого фрезерования является повышение производительности и качества обработки вследствие снижения теплового воздействия на обрабатываемую поверхность детали.

Используя данную схему фрезерования, можно с высокими показателями производительности и качества обрабатывать плоскости, пазы, отверстия и различные сложнопрофильные поверхности на станках с ЧПУ. В отличие от схемы фрезерования цилиндрической фрезой, схема фрезерования торцевой фрезой обеспечивает формирование различных по кривизне боковых поверхностей профиля обрабатываемого изделия, что значительно расширяет ее технологические возможности, особенно при обработке на станках с ЧПУ типа «обрабатывающий

центр». Поэтому данная схема фрезерования получила широкое применение при изготовлении формующей оснастки для макаронной и кондитерской отраслей промышленности [6] в ООО «Империя металлов» (г. Харьков).

Важным условием повышения эффективности фрезерования является снижение условного напряжения резания (энергоёмкости обработки), определяемого зависимостью [7], полученной для шлифования:

$$\sigma = \cos \psi_1 \cdot \cos \alpha \cdot \frac{2 \cdot \tau_{сдв}}{[1 - \sin(\alpha + \psi_1)]}, \quad (12)$$

где  $\tau_{сдв}$  – предел прочности на сдвиг обрабатываемого материала, Н/м<sup>2</sup>;  $\psi_1 = \psi + \gamma$ ;  $\psi$  – условный угол трения абразивного зерна с обрабатываемым материалом;  $\gamma$  – отрицательный передний угол режущего абразивного зерна;  $\alpha$  – угол входа абразивного зерна в обрабатываемый материал.

При фрезеровании передний угол режущего лезвия фрезы  $\gamma$ , как правило, является положительным, тогда угол  $\psi_1 = \psi - \gamma$  меньше, чем при шлифовании, что снижает энергоёмкость обработки  $\sigma$ .

Как следует из зависимости (12), уменьшить энергоёмкость обработки  $\sigma$  можно уменьшением угла  $\alpha$  – входа режущего лезвия фрезы в обрабатываемый материал до значения  $\alpha = 0$ . Однако это осуществимо при точении, поскольку при фрезеровании выполняется условие  $\alpha > 0$  и соответственно энергоёмкость обработки  $\sigma$  больше.

Уменьшение угла  $\psi_1 = \psi - \gamma$  также способствует уменьшению энергоёмкости обработки  $\sigma$  (как при точении, так и при фрезеровании). Это указывает на необходимость увеличения переднего угла режущего лезвия фрезы  $\gamma$  и уменьшения интенсивности трения в зоне резания за счет уменьшения коэффициента трения инструментального и обрабатываемого материалов. Как известно, наименьшим коэффициентом трения обладает алмаз. Поэтому эффективно использовать алмазные инструменты или твердосплавные инструменты с алмазными износостойкими покрытиями.

Результаты исследований, приведенные в настоящей работе, используются в практической деятельности при изготовлении формующей оснастки для макаронной и кондитерской отраслей промышленности в ОАО «Империя металлов» (г. Харьков). Производство оснащено современными высокоточными металлообрабатывающими центрами и станками с ЧПУ (рис. 2). На рис. 3 – рис. 4 приведены некоторые образцы изготавливаемой оснастки, на рис. 5 – рис. 7 – сложнопрофильные изделия различного назначения.



Рис. 2 – Производственный участок, оснащенный современными высокоточными металлообрабатывающими центрами и станками с ЧПУ



Рис. 3 – Фильтры для производства отсадного печенья



Рис. 4 – Оснастка для производства пряников



Рис. 5 – Валы для производства пельменей и вареников



Рис. 6 – Шестерня шевронного насоса из нержавеющей стали 12Х18Н10Т



Рис. 7 – Корпус распределителя карбюратора

**Выводы.** В работе приведены аналитические решения по определению максимально возможной производительности обработки при фрезеровании цилиндрической и торцевой фрезами с учетом ограничения по предельной (из условий прочности фрезы) толщине среза. Доказана эффективность применения схемы фрезерования торцевой фрезой в условиях однопроходного высокоскоростного резания с точки зрения повышения производительности и качества обработки на станках с ЧПУ типа «обрабатывающий центр». Установлено, что в отличие от схемы фрезерования цилиндрической фрезой, схема фрезерования торцевой фрезой обеспечивает формирование различных по кривизне боковых поверхностей профиля обрабатываемого изделия. Показано, что схема фрезерования торцевой фрезой также обеспечивает перенос основной части образующегося в процессе резания тепла в снимаемый слой припуска (а не в поверхностный слой обрабатываемой детали). Это снижает вероятность появления прижогов и других температурных дефектов на обрабатываемой поверхности и соответственно повышает качество обработки. Теоретически обоснованы практические рекомендации по снижению энергоемкости обработки, состоящие в применении современных режущих инструментов с алмазными износостойкими покрытиями, которые обеспечивают снижение интенсивности трения в зоне резания. Результаты исследований, приведенные в работе, используются в практической деятельности при изготовлении сложнопрофильной формующей оснастки для макаронной и кондитерской отраслей промышленности в ОАО «Империя металлов» (г. Харьков).

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Полянський Володимир Іванович (Полянський Владимир Иванович, Polyansky Vladimir Ivanovich)** – кандидат технічних наук, Генеральний директор, ТОВ «Імперія металів», м. Харків; тел.: +38-067-57-80-906; e-mail: tools@imperija.com.

#### Список литературы

1. Бобров В.Ф. *Основы теории резания металлов*. Москва: Машиностроение, 1975. 343 с.
2. Грановский Г.И., Грановский В.Г. *Резание металлов: учебник*. Москва: Высшая школа, 1985. 304 с.
3. Лолодзе Т.Н. *Прочность и износостойкость режущего инструмента*. Москва: Машиностроение, 1982. 320 с.
4. *Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения*. В десяти томах. Т. 3. "Резание материалов лезвийными инструментами" / Под общей редакцией Ф. В. Новикова и А. В. Якимова. Одесса : ОНПУ, 2003. 546 с.
5. Полянский В. И. Условия повышения эффективности высокоскоростного фрезерования на основе снижения энергоемкости обработки. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць*. Краматорськ, 2017. Вип. № 41. С. 18-24.
6. Полянский В.И. ООО "Империя Металлов". *Труды 16-й Междунар. науч.-техн. конф. "Физические и компьютерные технологии"*. Харьков: ХНПК "ФЭД", 2010. С. 156-160.
7. Новіков Ф.В., Анділахай О.О. *Основы струминно-абразивной обработки дробных деталей : монография*. Харків: Вид. ХНЕУ, 2014. 348 с.

#### References (transliterated)

1. Bobrov V. F. *Osnovy teorii rezaniya metallov [Fundamentals of the theory of cutting metals]*. Moscow: Mashinostroyeniye, 1975. 343.
2. Granovskiy G.I., Granovskiy V.G. *Rezaniye metallov: uchebnik [Metal cutting: textbook]*. Moscow: Vysshaya shkola, 1985. 304.
3. Loladze T.N. *Prochnost' i iznosostoykost' rezhushchego instrumenta [Durability and wear resistance of the cutting tool]*. Moscow: Mashinostroyeniye, 1982. 320.
4. *Fiziko-matematicheskaya teoriya protsessov obrabotki materialov i tekhnologii mashinostroyeniya [Physico-mathematical theory of material processing and engineering technology]* V desyati tomakh. T. 3. *Rezaniye materialov lezviynymi instrumentami [Cutting materials with blade tools]*. Pod obschey redaktsiyey F. V. Novikova i A. V. Yakimova. Odessa , ONPU, 2003. 546.
5. Polyanskiy V.I. *Usloviya povysheniya effektivnosti vysokoskorostnogo frezerovaniya na osnove snizheniya energoyemkosti obrabotki [Conditions for improving the efficiency of high-speed milling on the basis of reducing the energy intensity of processing]* *Nadiynist' instrumentu ta optimizatsiya tekhnologichnykh sistem. Zbirnyk naukovykh prats' [Nadiynist instrumentu ta optimizatsiya tehnologichnykh systems. Zbirnik naukovih prats']*. Kramators'k, 2017, no. 41. pp. 18-24.
6. Polyanskiy V.I. ООО "Imperiya Metallov" [Ltd. "Empire Metals"] *Trudy 16-y Mezhdunar. nauch.-tekh. konf. Fizicheskiye i kompyuternyye tekhnologii [Proceedings of the 16th International scientific and technical conf. "Physical and computer technologies"]*. Khar'kov, KHNPk "FED", 2010. pp. 156-160.
7. Novikov F.V., Andilakhay O.O. *Osnovy struminno-abrazivnoy obrabotki drobnykh detaley : monografiya [Establish a string-abrasive processing of other details: monographs]*. Khar'kov, Vyd. KhNEU, 2014. 348.

*Поступила (received)* 30.10.2018