

УДК 621.7-114

doi: 10.31498/2225-6733.36.2018.142542

© Иванов Е.И.<sup>1</sup>, Литвиненко А.С.<sup>2</sup>**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ НА  
МНОГООПЕРАЦИОННОМ СТАНКЕ CTX ГАММА 2000 ТС  
С ПОМОЩЬЮ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ**

В данной статье изложено решение задачи повышения эффективности механической обработки на многооперационном станке CTX гамма 2000 ТС с помощью системы адаптивного предельного регулирования и методики расчета настроечного размера.

**Ключевые слова:** механическая обработка, геометрическая точность, погрешность обработки, статическая и динамическая настройки, адаптивное управление, эффективность, производительность.

*Иванов Е.И., Литвиненко А.С. Підвищення ефективності обробки на багатоопераційному верстаті CTX гамма 2000 ТС за допомогою розробки системи адаптивного управління та методики розрахунку настроювального розміру. У цій статті було зроблено аналіз доцільності використання адаптивної системи на багатоопераційному верстаті CTX гамма 2000 ТС для підвищення ефективності обробки. Сучасні багатоопераційні верстати мають високу вартість, отже мають домінуючий вплив на вартість обробки. Враховуються похибки від сукупної дії всіх елементарних похибок системи, які виникають під час обробки. Описується процес налаштування ріжучого інструменту на розмір, узагальнюються вираження для оптимального настроювального розміру. Для вирішення проблеми мінімізації впливу цих похибок на процес обробки була запропонована система адаптивного управління граничним регулюванням. Описано принцип роботи системи і дана її структурна схема. Як параметр регулювання використовувалася потужність різання, що є ключовим фактором ефективності обробки. Завдяки адаптивній системі управління, продуктивність і точність обробки були поліпшені за рахунок зниження амортизаційних відрахувань з верстата. Була встановлена економічна доцільність використання такої системи. Також був розроблений метод розрахунку настроювального розміру на основі балансу точності обробки. Таким чином, вдосконалення верстатів за рахунок забезпечення їх адаптивними системами управління шляхом обмеження миттєвого поля розсіювання розмірів є актуальною проблемою вітчизняного машинобудування. У цій статті розроблена адаптивна діаграма точності обробки, яка дозволяє скласти універсальне загальне рівняння балансу точності технологічної операції. Викладено рішення задачі підвищення ефективності механічної обробки на багатоопераційному верстаті CTX гамма 2000 ТС за допомогою системи адаптивного граничного регулювання і методики розрахунку настроювального розміру.*

**Ключові слова:** механічна обробка, геометрична точність, погрішність обробки, статична і динамічна настройки, адаптивне управління, ефективність, продуктивність.

*E.I. Ivanov, A.S. Litvinenko. Increasing the processing efficiency on the CTX gamma 2000 TC multi-operation machine by developing an adaptive control system and calculating the adjustment size. This paper analyzes the advisability of using the adaptive system on the CTX gamma 2000 TC multi-operation machine to improve the processing efficiency. Since modern multi-operation machines are very expensive, it influences on the*

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, [ivanov.ei43@gmail.com](mailto:ivanov.ei43@gmail.com)

<sup>2</sup> студент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, [litvinenko.and@gmail.com](mailto:litvinenko.and@gmail.com)

*cost of machining. Therefore, it is of practical interest to develop and study adaptive control systems that improve the accuracy and productivity of machining. The combined effect of all the elementary errors of the system arising during processing is taken into account. The process of setting the cutting tool to a size is described, the expressions for the optimal tuning size are generalized. To solve the problem of minimizing the influence of these errors on the machining process, a system of adaptive control of limiting regulation was proposed. The principle of the system operation has been described and the structural scheme of the system has been given. As a regulation parameter, the cutting power was used; it being the key factor in the processing efficiency. Due to the adaptive control system, both the efficiency and accuracy of machining were improved through a decrease in depreciation deductions from the machine. The economic feasibility of using such a system was established. In the same way, a method for calculating the adjustment size has been developed, based on the accuracy of machining balance. Thus, the improvement of machine tools due to adaptive control systems of limiting regulation is an actual problem of domestic engineering. In this paper, an adaptive diagram has been drawn up, which makes it possible to compile a universal general equation of the accuracy balance of a technological operation, and to determine the calculated control system for the CTX gamma 2000 TC machine.*

**Keywords:** *machining, geometrical accuracy, processing error, static and dynamic settings, adaptive control, efficiency, productivity.*

**Постановка проблеми.** Современные многооперационные станки имеют высокую стоимость и, следовательно, обладают доминирующим влиянием на себестоимость обработки. Поэтому представляет практический интерес разработка и исследование систем адаптивного управления, обеспечивающих повышение точности и производительности механической обработки.

В работах [1-3] показано, что метод автоматического получения размеров не гарантирует автоматического получения точности размеров без снижения производительности. Предлагаемые системы адаптивного управления упругими перемещениями должны были привести к увеличению производительности и размерной стойкости режущего инструмента. Однако указанные системы были самостоятельным объектом, устанавливались на станках с ручным управлением и показали неоднозначные результаты. Стабильность их работы не обеспечивалась по причине неудовлетворительного качества автоматического регулирования.

Поэтому важно разработать систему адаптивного предельного регулирования для станка CTX gamma 2000 TC и разработать методику расчета настроенного размера.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Большой вклад в решение задач адаптивного управления процессами обработки резанием внесли советские и зарубежные ученые: Б.С. Балакшин [1], Б.М. Базров [2], Ю.М. Соломенцев [4] и многие другие. Вопросы повышения производительности станков с ЧПУ рассмотрены в работах Плотников А. Л. [5], Шарабура С.Н., Шевченко В.В [6], Додонова В.В. [7], Лишенко Н.В. [8] и ряда других исследователей. Несмотря на достаточно глубокую проработку адаптивного управления процессами механической обработки, некоторые проблемы остаются нерешенными, что задерживает внедрение таких систем в промышленности и обуславливает актуальность задачи их дальнейшего развития.

**Цель работы** – повышение эффективности обработки на многооперационном станке CTX gamma 2000 TC с помощью разработки системы адаптивного управления и методики расчета рационального настроенного размера.

**Изложение основного материала.** Как известно [1-3, 6], на точность механической обработки оказывает влияние большое число факторов, которые вызывают смещением элементов технологической системы.

Суммарная погрешность  $\Delta_{\Sigma}$ , возникающая от совокупного действия всех элементарных погрешностей системы «станок–приспособление–инструмент–деталь» (СПИД), должна учитывать следующие основные погрешности:

- погрешность установки заготовки в приспособлении;
- колебание упругих деформаций системы СПИД под влиянием неустойчивости нагрузок (усилий резания, сил инерции и др.), действующих в системе переменной жесткости;

- погрешность настройки станка на выдерживаемый размер с учетом точностных характеристик применяемого метода настройки;
- погрешность от размерного износа режущего инструмента;
- геометрические погрешности станка, влияющие на выдерживаемый параметр, при этом должно быть учтено влияние износа станка в работе;
- температурные деформации.

Так как элементарные погрешности  $\Delta_i$  практически независимы между собой, то суммарную погрешность обработки  $\Delta_\Sigma$  определяют по формулам:

- при суммировании по методу максимума-минимума:

$$\Delta_\Sigma = \sum_{i=1}^n \Delta_i ; \quad (1)$$

- при вероятностном методе суммирования:

$$\Delta_\Sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta_i \cdot k_i)^2} , \quad (2)$$

где  $i$  – индекс элементарной погрешности;  $n$  – общее число погрешностей;  $k_i$  – коэффициент относительного рассеивания.

*Наладка на «0»* заключается в том, что она производится на неработающем станке. Инструмент устанавливают (по эталону, представляющему собой упрощенный макет обрабатываемой детали), правильность положения инструмента проверяют проталкиванием щупа или мерной бумаги между режущей кромкой инструмента и эталоном.

Выражение для расчета полного рассеяния размеров при статической наладке  $\Delta_{p.c.}$  имеет вид:

$$\Delta_{p.c.настр.}^2 = \sqrt{\Delta_{p.эт.}^2 + \Delta_{p.уст.инстр.}^2} , \quad (3)$$

где  $\Delta_{p.эт.}$  – поле погрешности, обусловленное неточностью изготовления эталона и погрешностью установки;  $\Delta_{p.уст.инстр.}$  – поле погрешности установки резца по эталону (только для статической наладки).

Величина  $\Delta_{p.уст.инстр.}$  может быть определена по таблице.

Таблица

Поля погрешностей установки инструмента по эталону  $\Delta_{p.уст.инстр.}$

Способ установки инструмента по эталону	$\Delta_{p.уст.инстр.}$ , мкм	
	На сторону	На диаметр
Подведение резца, закрепленного в резцедержателе, к (эталону) центру поперечной подачи и определение его положения с помощью бу- мажного щупа	10...20	20...40
То же, с помощью металлического щупа	7...10	14...20

Возможны два способа задания наладочного размера. Один из них предусматривает задание расстояний между установочными элементами станка (например, между осью центров токарного станка и кромкой режущего инструмента). Второй способ, предусматривает задание величины действительного размера первой обработанной по наладке детали на начальном ее участке.

Динамический наладочный размер контролируют после пробного хода, его измерение автоматически учитывает наличие шероховатости обработанной поверхности и результат отжата звеньев технологической системы, имевших место при обработке детали:

$$L_H^B = L_{HM}^B + \Delta_{lim}^{контр} + \frac{\Delta_{p.c.}}{2} + \Delta_o . \quad (4)$$

Статический наладочный размер устанавливают до начала обработки. Поэтому в их расчетные выражения следует ввести поправки на ожидаемые микронеровности обработанной поверхности Rz и деформацию технологической системы  $y$  под влиянием

$$L_{НС}^B = L_H^B - i(y_{cp} + R_z), \quad (5)$$

где  $y_{cp}$  – среднее отжатие системы в направлении выдерживаемого размера;  $R_z$  – средняя высота шероховатостей обработанной поверхности детали.

Размерную наладку станка можно проводить в процессе снятия пробных стружек, т. е. под действием сил резания, либо на неработающем станке.

Знание сущности физических явлений, особенностей кинематики и динамики процесса резания и характера их влияния на систематическое изменение и случайные колебания действительных размеров при обработке отдельной детали, учет закономерностей рассеяния наладочных размеров для ряда повторных размерных настроек, а также учет погрешностей измерения при окончательном контроле обработанных деталей, дают возможность построить диаграмму изменения размеров для партии деталей, обрабатываемых при неизменном настроечном положении резца, и найти оптимальный вариант вписывания этой диаграммы в поле допуска.

Диаграмма точности позволяет составить универсальное общее уравнение баланса точности технологической операции и определить расчетные выражения оптимальных настроечных размеров.

Для определения рационального настроечного размера построим диаграмму точности. На рис. 1 изображена обобщенная диаграмма точности технологической операции для случая обтачивания деталей по принципу автоматического получения заданных размеров.

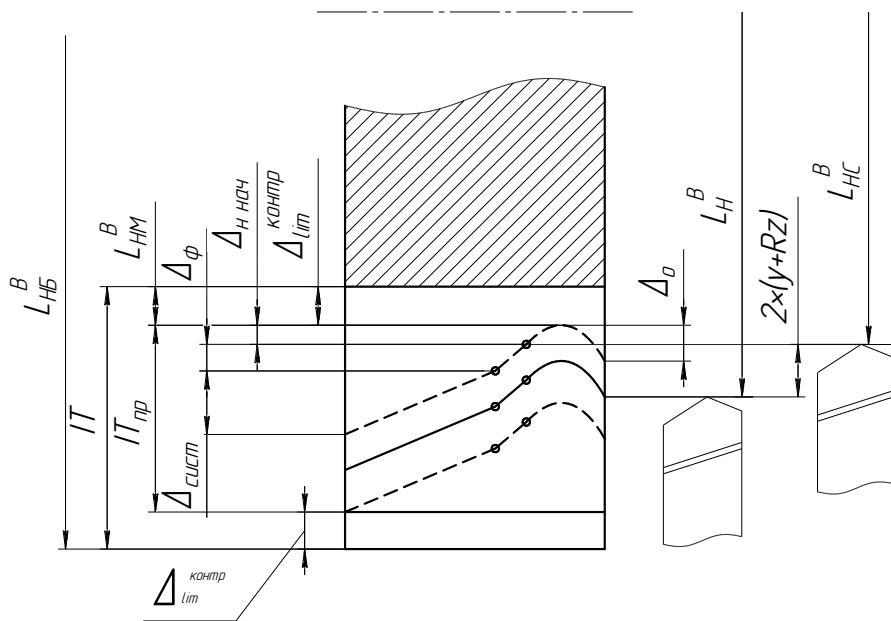


Рис. 1 – Диаграмма точности обработки

Диаграмма показывает, что часть табличного (заданного) допуска должна быть выделена на покрытие погрешностей измерения  $\Delta_{lim}^{контр}$  при окончательном контроле деталей; оставшаяся часть характеризует производственный допуск, в поле которого должна быть вписана суммарная погрешность обработки деталей, т. е.

$$sIT_{np} = IT - 2\Delta_{lim}^{контр}, \quad (6)$$

$$IT_{np} \geq \sum \Delta, \quad (7)$$

где:  $IT_{np}$  – производственный допуск;  $IT$  – табличное значение допуска на обработку;  $\sum \Delta$  – поле суммарной погрешности обработки.

Величина  $\Delta_{lim}^{контр}$  выбирается так, чтобы доля производственного допуска  $IT_{np}$  составила по отношению к табличному допуску  $IT$  не менее 60% при обработке деталей 6-7-го квалитетов точности, 75% – для деталей 8-9-го квалитетов точности.

Поле суммарной погрешности обработки  $\sum \Delta$  складывается из трех составляющих:  $\Delta_p$  – поле рассеяния размеров деталей,  $\Delta_\phi$  – поле погрешности формы обрабатываемой поверхности и  $\Delta_{сист}$  – поле накопленной переменной систематической погрешности. Таким образом,

$$IT_{np} \geq \sum \Delta = \Delta_p + \Delta_\phi + \Delta_{сист} \quad (8)$$

Общее поле рассеяния размеров  $\Delta_p$  обусловлено действием случайных факторов. Оно включает в себя три составляющие, не выделенные диаграммой:

- поле мгновенного рассеяния  $\Delta_{p.м.}$ , вызванное непостоянством условий обработки разных заготовок (в частности, различием в величинах припусков шероховатости поверхности, непостоянством твердости материала заготовок и пр.);

- поле рассеяния центров группирования для ряда повторных наладок  $\Delta_{p.настр.}$ , зависящее от способа и вида наладки и точности контроля наладочного положения резца;

- поле погрешности формы отдельной детали  $\Delta_\phi$  представляет собой алгебраическую сумму полей погрешностей от геометрических неточностей станка  $\Delta_\epsilon$ , от перераспределения внутренних напряжений  $\Delta_{вн.}$ , от непостоянства упругих деформаций технологической системы  $\Delta_\delta$ , от температурных деформаций детали  $\Delta_{м.д.}$  и от нормального износа резца  $\Delta_\epsilon$  за время обработки детали, а также от температурных деформаций режущего инструмента  $\Delta_{м.р.}$ .

Поле накопленной переменной систематической погрешности  $\Delta_{сист}$  обусловлено такими факторами, как начальный и нормальный износ инструмента, температурные деформации инструмента и станка:

$$\Delta_{сист} = \Delta_{н.и} + \Delta_{н.нач} + \Delta_{н.т.р.} + \Delta_{н.т.с.} \quad (9)$$

где  $\Delta_{н.и}$  и  $\Delta_{н.нач}$  – соответственно, поле накопленной погрешности размеров деталей из-за нормального и начального износа резца;  $\Delta_{н.т.р.}$  и  $\Delta_{н.т.с.}$  – соответственно, поле накопленной погрешности размеров деталей из-за температурных деформаций резца и станка к моменту начала обработки последней детали партии.

Действительные размеры всех деталей партии должны лежать в пределах производственного поля допуска. Но вследствие влияния систематических переменных погрешностей размеры деталей с течением времени изменяются, что при работе на многооперационном станке приведет к необходимости делать время от времени подналадки – возвращать вершину резца в пределы производственного допуска. Для увеличения времени работы до подналадки, а, следовательно, и сокращения числа наладок, необходимо в процессе наладки станка придать резцу определенное наладочное положение.

Часть производственного поля допуска «расходуется» на износ инструмента. Численно величина этой части поля допуска  $IT_u$  равна величине  $\Delta_{н.и}$ , как следует из выражений (8) и (9):

$$\Delta_{н.и} = \Delta - (\Delta_p + \Delta_\phi + \Delta_{н.нач} + \Delta_{н.т.р.} + \Delta_{н.т.с.}) \quad (10)$$

Если через  $\Delta_u$  обозначить поле погрешности от износа инструмента при обработке одной детали, а через  $n$  – количество деталей, обрабатываемых между двумя подналадками, то производство  $\Delta_u \cdot n$  должно быть равно  $IT_u$ . Но так как износ на одной детали был учтен при расчете величины  $\Delta_\phi$ , выражение будет иметь вид:

$$IT_u = \Delta_u(n - 1) \quad (11)$$

Тогда

$$n = \frac{IT_{np} - (\Delta_p + \Delta_\phi + \Delta_{н.нач} + \Delta_{н.т.р.} + \Delta_{н.т.с.})}{\Delta_u} + 1 \quad (12)$$

На рисунке 2 изображен многооперационный станок, модели gamma 2000 TC серии СТХ. Этот станок реализует прогрессивную концепцию современного машиностроения – объединение в одном станке различных методов обработки. Полная обработка детали на одном станке способна гарантировать наиболее существенное преимущество практически для всех отраслей промышленности. Увеличение сложности деталей требует объединения различных способов обработки. Основные параметры станка: 6-сторонняя разнообразная обработка; диаметр, зажимаемый в патроне, до 630 мм; установка до 12 приводных инструментов.

Стоимость станка – 30000000 гривен. Амортизационные отчисления при односменной работе составляют  $C = 1675$  грн/час.

Повышение производительности с помощью адаптивной системы на 20...30% позволяет

существенно сократить себестоимость изготовления деталей при механической обработке (порядка 335 грн/час).



Рис. 2 – Общий вид многооперационного станка модели gamma 2000 TC серии CTX

Задачи увеличения эффективности обработки решаются адаптивными следящими системами стабилизации для поддержания силы резания и мощности резания на заданном уровне путем управления скоростью подачи.

На рис. 3 приведена структура системы управления процессом резания для многооперационного станка CTX gamma 2000 TC. В состав системы входят:

- а) датчики силы и мощности резания (Д1, Д2);
- б) задающие устройства силы и мощности резания (ЗУ1, ЗУ2);
- в) устройства сравнивающие фактические значения силы и мощности резания с заданными (СУ1 и СУ2);
- г) генератор тактовых импульсов ГТИ;
- д) исполнительное устройство ИУ.

Импульс U1 соответствует фактической силе резания, а импульс U2 соответствует заданной силе резания. Импульсы U3 и U4 пропорциональны фактической и заданной мощности. Сигналы на выходе сравнивающих устройств кодированы.

При равенстве фактической и заданной сил резания  $A = 0$  и  $B = 0$ .

При фактической величине силы резания, превышающей заданную,  $A = 1$  и  $B = 0$ .

При фактической величине силы резания меньше заданной  $A = 0$  и  $B = 1$ .

Из комбинации реверсивного счетчика импульсов ГТИ и дешифратора состоит исполнительное устройство ИУ.

Опыт эксплуатации различных [1, 2, 4] станков, оснащенных системами адаптивного управления предельного регулирования, показал следующие преимущества:

- повышение точности обработки деталей за счет сокращения мгновенного поля рассеяния размеров в 2...5 раз;
- увеличение производительности обработки от 30 до 80% за счет того, что система позволяет поддерживать максимально возможные режимы;
- увеличение производительности обработки деталей на следующей операции за счет увеличения точности обработки на предварительных операциях;
- сокращение затрат на инструмент и оборудование за счет меньшего количества заточения инструмента вследствие оптимальных режимов резания и более долгой эксплуатации оборудования без ремонта за счет отсутствия ударных нагрузок.

В качестве параметра регулирования в адаптивной системе используем мощность и силу резания. Этот параметр предопределяет удельную работу формообразования при обработке металлов резанием и представляет собой энергетические затраты в единичном объеме удаляемого материала.

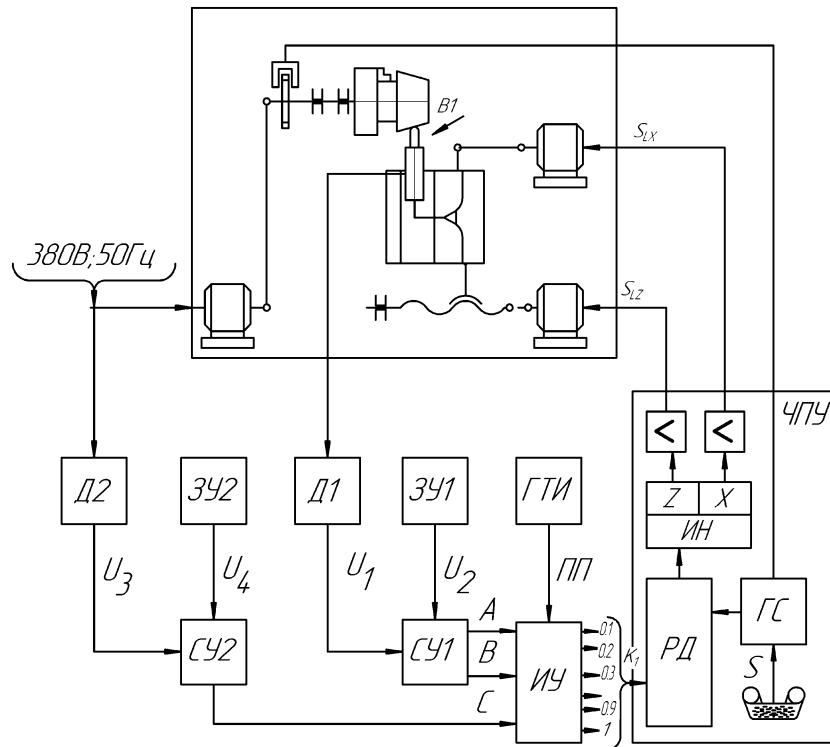


Рис. 3 – Структура системы адаптивной следящей системы стабилизации параметров резания на многооперационном станке, модели gamma 2000 TC серии СТХ

Известно [8, 9], что:

$$A_y = \frac{N_A}{Q}, \tag{13}$$

где  $A_y$  – удельная работа резания, Дж/м<sup>3</sup>;  $N_A$  – мощность резания;  $Q$  – сьем металла за единицу времени, м<sup>3</sup>/с.

Мощность резания:

$$N_A = P_z \cdot V, \tag{14}$$

где  $P_z$  – тангенциальная составляющая силы резания, Н;  $V$  – скорость резания, м/с;

Производительность обработки:

$$Q = S_{\text{срез}} \cdot V = S \cdot t \cdot V, \tag{15}$$

где  $S_{\text{срез}}$  – площадь поперечного сечения среза, м<sup>2</sup>;  $S$  – подача, м/с;  $t$  – глубина резания, мм.

Выражение (13) позволяет оптимизировать режимы обработки путем контроля силового параметра резания и автоматического регулирования соответствующих подач на многооперационном станке модели gamma 2000 TC серии СТХ.

**Выводы:**

1. На основании анализа баланса точности механической обработки разработана методика расчета настроечного размера.
2. Разработанная схема адаптивной системы стабилизации процесса резания на многооперационном станке СТХ gamma 2000 TC позволяет повысить точность обработки деталей за счет сокращения мгновенного поля рассеяния размеров.

3. Полученное математическое выражение для удельной работы при точении в зависимости от силовых параметров резания позволяет:
  - 3.1. Оптимизировать режимы резания;
  - 3.2. Сократить затраты на режущий инструмент и вспомогательное время на его замену;
  - 3.3. Увеличить производительность обработки на следующей операции.

#### Список использованных источников:

1. Балакшин Б.С. Адаптивное управление станками : монография / Б.С. Балакшин. – М. : Машиностроение, 1973. – 688 с.
2. Базров Б.М. Технологические основы проектирования самоподстраивающихся станков / Б.М. Базров. – М. : Машиностроение, 1978. – 216 с.
3. Комиссаров В.И. Размерная наладка универсальных металлорежущих станков / В.И. Комиссаров, В.И. Леонтьев, В.Г. Старостин. – М. : Машиностроение, 1968. – 206 с.
4. Адаптивное управление технологическими процессами / Соломенцев Ю.М. [и др.]. – М. : Машиностроение, 1980. – 536 с.
5. Плотников А.Л. Управление режимами резания на токарных станках с ЧПУ : монография / А.Л. Плотников, А.О. Таубе. – Волгоград : Волгогр. науч. изд-во, 2003. – 184 с.
6. Шарабура С.Н. Система адаптивного управления процессом обработки деталей на станках с ЧПУ / С.Н. Шарабура В.В. Шевченко // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – № 6, ч. 1. – Режим доступа – <http://web.snauka.ru/issues/2014/06/34729>.
7. Додонов В.В. Повышение точности обработки на станках с числовым программным управлением / В.В. Додонов // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2016. – Вып. 6. – С. 1-17. – Режим доступа: DOI: 10.18698/2308-6033-2016-06-1506.
8. Лищенко Н.В. Силовые параметры резания в системах адаптивного управления станками / Н.В. Лищенко // Новые и нетрадиционные технологии в ресурс- и энергосбережении: межд. науч.-техн. конф. : сб. тр. – Киев : АТМ Украины, 2010. – С. 77-81.
9. Иванов И.Е. Высокоэффективная технология изготовления резьбовых отверстий в горловинах баллонов на автоматических линиях : монография / И.Е. Иванов, Ф.В. Новиков, Е.И. Иванов. – Мариуполь : ПГТУ, 2011. – 209 с.

#### References:

1. Balakshin B.S. *Adaptivnoye upravleniye stankami* [The necessity to equip the software with adaptive control systems]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1973. 688 p. (Rus.).
2. Bazrov B.M. *Tekhnologicheskiye osnovy proyektirovaniya samopodstrayvayushchikhsya stankov* [Technological bases of designing self-adjusting machine tools]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1978. 216 p. (Rus.).
3. Komissarov V.I., Leontiev V.I., Starostin V.G. *Razmernaya naladka universal'nykh metallorezhushchikh stankov* [Dimensional adjustment of universal metal-cutting machines]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1968. 206 p. (Rus.).
4. Solomentsev Iu.M., Mitrofanov V.G., Protopopov S.P. *Adaptivnoye upravleniye tekhnologicheskimi protsessami* [Adaptive control of technological processes]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1980. 536 p. (Rus.).
5. Plotnikov A.L., Taube, A.O. *Upravleniye rezhimami rezaniya na tokarnykh stankakh s CHPU* [Control of cutting regimes on CNC lathes]. Volgograd : Volgogr. nauch. izd-vo Publ., 2003. 184 p. (Rus.).
6. Sharabura S.N., Shevchenko V.V. Sistema adaptivnogo upravleniya protsessom obrabotki detaley na stankakh s CHPU [The system of adaptive control of the process of processing details on CNC machines]. *Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii – Modern scientific researches and innovations*, 2014, no. 6, vol. 1 Available at: <http://web.snauka.ru/issues/2014/06/34729> (accessed 15.10.2018). (Rus.).
7. Dodonov V.V. Povysheniye tochnosti obrabotki na stankakh s chislovyim programmnyim upravleniyem. [Increase the accuracy of processing on machines with computer numerical control]. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii – Engineering Journal: Science and Innovation*, 2016, no. 6, pp. 1-17. doi: 10.18698/2308-6033-2016-06-1506. (Rus.).
8. Lishenko N.V. Silovye parametry rezaniia v sistemakh adaptivnogo upravleniia stankami. *Ano-*



*tatsii dopovidei Mizhn. nauk.-tekh. konf. «Novyye i netraditsionnyye tekhnologii v resurso- i energoberezhenii»* [Power parameters of cutting in adaptive machine control systems. Abstracts of Int. sci.-techn. conf. «New and non-traditional technologies in resource and energy saving»]. Kiev, 2010, pp. 77-81. (Rus.).

9. Ivanov I.E., Novikov F.V., Ivanov E.I. *Vysokoeffektivnaya tekhnologiya izgotovleniya rez'bovykh otverstiy v gorlovinakh ballonov na avtomaticheskikh liniyakh* [Highly efficient technology for manufacturing threaded holes in the neck of cylinders on automatic lines]. Mariupol, PSTU Publ., 2011. 209 p. (Rus.).

Рецензент: С.С. Самогугин  
д-р техн. наук, проф, ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 23.04.2018

УДК 621.923.74

doi: 10.31498/2225-6733.36.2018.142543

© Бурлаков В.И.<sup>1</sup>, Матейко Я.В.<sup>2</sup>

### ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ОБРАБОТКИ ОБРАЗЦА ИЗ СВЕРХТВЕРДОЙ КЕРАМИКИ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ И РАДИУС СКРУГЛЕНИЯ КРОМКИ

*В статье показаны исследования влияния времени обработки вибрационным способом абразивной смесью, состоящей из 15% алмазного зерна марки УДА и монокорунда, на качество поверхности образца, выполненного из сверхтвердой керамики, и на получаемый радиус скругления кромки.*

**Ключевые слова:** *вибрационная обработка, монокорунд, поверхность образца, сверхтвердая керамика, радиус скругления кромки.*

**Бурлаков В.И., Матейко Я.В. Вплив часу обробки зразка з надтвердої кераміки на якість поверхні та радіус округлення країв.** У статті показані дослідження впливу часу обробки вібраційним способом абразивною сумішшю, що складається з 15% алмазного зерна марки УДА і монокорунду, на якість поверхні зразка, виконаного з надтвердої кераміки, і на одержуваний радіус заокруглення кромки. Зразки досліджувалися з кубічного нітриду бору, який має виняткову твердість в гарячому стані, що дозволяє використовувати його при дуже високих швидкостях різання. Він також характеризується доброю міцністю і термостійкістю. Важливе місце в дослідженні процесу вібраційної обробки надтвердої кераміки займає дослідження якості обробленої поверхні, яке оцінювали величиною залишкової задирки, висотою мікро-нерівностей поверхні деталі. При вібраційній обробці підвищення продуктивності обробки не тягне погіршення шорсткості поверхні у зв'язку зі здійсненням процесу притирання, що досягалося шляхом підбору амплітуди вібрації. У процесі зняття стружки при алмазному шліфуванні кераміки беруть участь окремі алмазні зерна в сукупності зі зв'язкою кола. При вивченні характеру руйнування поверхні кераміки алмазним зерном встановили, що зерно на початку і в кінці подряпини залишає чіткий слід без явних відколів по краях сліду. Алмазне зерно, володіючи достатньою твердістю, відразу ж при контакті з матеріалом починає зрізати стружку. Середня ж частина подряпини на всьому протязі має по краях значні вириви. Поява відколів при досягненні певної глибини впровадження зерна пояснюється тим, що зі збільшенням глибини різання в роботу вступають все нові кромки алмазного зер-

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Мариуполь

<sup>2</sup> студент, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Мариуполь.