

DOI 10.32820/2079-1747-2019-23-94-99

УДК 655.3.021

**РАЗРАБОТКА НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ  
ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ**

©Гордеев А.С.

*Украинская инженерно-педагогическая академия***Информация об авторе:**

**Гордеев Андрей Сергеевич:** ORCID: 0000-0001-6521-3937; [gordeew@ukr.net](mailto:gordeew@ukr.net); доктор технических наук; профессор кафедры информационных компьютерных технологий и математики; Украинская инженерно-педагогическая академия; ул. Университетская, 16, г. Харьков, 61003, Украина.

В статье была сформулирована система связей интегрального энергетического критерия процесса резания с режимами резания. При механической обработке расход энергии, необходимой на снятие стружки, уменьшается на 10-15%, если снимается не максимальный припуск, а вероятностный. Расход тепловой энергии, идущей на нагрев заготовки при точении уменьшается на 20%, при снятии действительного припуска.

**Ключевые слова:** механическая обработка, энергетический критерий, режимы резания, нормативная база.

*Гордеев А.С.* «Розробка нормативної бази ресурсозберігаючих технологій при механічній обробці».

Метою роботи є аналіз енергетичних перетворень при чистовому точінні сталей різцями з твердосплавними ріжучими пластинами з подальшою розробкою нормативної бази ресурсозберігаючих технологій при механічній обробці. Універсальні теоретичні моделі для визначення оптимальних режимів різання повинні базуватися на розгляді процесу різання як комплексу взаємопов'язаних явищ, інтенсивність кожного з яких може бути виражена через єдиний інтегральний енергетичний критерій. Значна кількість взаємопов'язаних фізичних процесів при точінні сталей твердосплавним інструментом зі зміцненням або зносостійким покриттям і залежність інтенсивності їх протікання від режимів різання і властивостей поверхневого шару інструменту, придбаних ним у результаті зміцнюючого впливу, вимагає всебічного аналізу системи зв'язків інтегрального енергетичного критерію процесу різання з режимами різання.

У статті була сформульована система зв'язків інтегрального енергетичного критерію процесу різання з режимами різання. При механічній обробці витрата енергії, необхідної на зняття стружки, зменшується на 10-15%, якщо знімається не максимальний припуск, а імовірнісний. Витрата теплової енергії, що йде на нагрів заготовки при точінні зменшується на 20%, при знятті дійсного припуску. Корисну частиною енергетичного балансу будемо вважати постійною для заданої пари «твердий сплав - опрацьований матеріал». Мінімум теплової енергії або будь-якого збільшення внутрішньої енергії, необхідний і достатній для утворення поверхні при знятті шару матеріалу з заданим перетином зрізу. Надлишок складової енергії, що перевищує цей мінімум, будемо вважати «шкідливою» частиною, яка витрачається на інтенсифікацію контактів процесів, і, відповідно, - на знос інструменту. У статті на основі аналізу енергетичних перетворень при чистовому точінні сталей різцями з твердосплавними ріжучими пластинами була сформульована система зв'язків ін-

тегрального енергетичного критерію процесу різання з режимами різання. При механічній обробці витрата енергії, необхідної на зняття стружки, зменшується, якщо знімається не максимальний припуск, а імовірнісний. Витрата теплової енергії, що йде на нагрів заготовки при точінні зменшується, при знятті дійсного припуску.

**Ключові слова:** механічна обробка, енергетичний критерій, режими різання, нормативна база.

**Gordeev A.** «Development of a normative base for resource-saving technologies in mechanical processing»

The aim of the work is to analyze energy transformations in the finishing turning of steel with carbide-tipped cutting blades with the subsequent development of the regulatory framework for resource-saving technologies for machining. Universal theoretical models for determining the optimal cutting conditions should be based on consideration of the cutting process as a complex of interrelated phenomena, the intensity of each of which can be expressed through a single integral energy criterion. A significant number of interconnected physical processes in steel turning with a carbide tool with reinforcement or wear-resistant coating and the dependence of their intensity on cutting conditions and properties of the surface layer of the tool acquired by it as a result of reinforcing effect requires a comprehensive analysis of the links of the integrated energy criterion of the cutting process with cutting conditions.

The article formulated a system of links of the integral energy criterion of the cutting process with cutting conditions. During machining, the energy consumption required for chip removal is reduced by 10-15%, if not the maximum allowance is removed, but probabilistic. The consumption of thermal energy going to heat the workpiece when turning decreases by 20% when removing the actual allowance. A useful part of the energy balance will be considered constant for a given pair of "solid glow - processed material". The minimum of thermal energy or any increase in internal energy is required and sufficient to form a surface when removing the material layer with a given section of the cut. The surplus of the energy component that exceeds this minimum will be considered as a "harmful" part, which is spent on the intensification of contact processes, and, accordingly, on the demolition of the instrument. In the article on the basis of the analysis of energy transformations in the finishing of steel by cutters with carbide cutting plates, the system of connections of the integral energy criterion of cutting process with cutting modes was formulated. When machining the amount of energy needed to remove chips, it decreases if not the maximum allowable, but probabilistic. The consumption of heat energy, which goes to the heating of the workpiece at the precision, decreases, with the removal of the actual allowance.

**Key words:** *machining, energy criterion, cutting conditions, regulatory framework.*

### **Введение**

Неуклонное увеличение удельного веса чистовой токарной обработки в структуре технологических процессов изготовления стальных деталей тел вращения обуславливает актуальность разработки моделей для расчетно-аналитического определения оптимальных режимов резания при чистовом точении сталей резцами с твердосплавными пластинами.

Универсальные теоретические модели для определения оптимальных режимов резания должны базироваться на рассмотрении процесса резания как комплекса взаимосвязанных явлений, интенсивность каждого из которых может быть выражена через единый интегральный энергетический критерий. Значительное количество взаимосвязанных физических процессов при точении сталей твердосплавным инструментом с укреплением или износостойким покрытием и зависимость интенсивности их протекания от режимов резания и свойств поверхностного слоя инструмента, приобретенных им в результате упрочняющего воздействия, требует всестороннего анализа системы связей интегрального энергетического критерия процесса резания с режимами резания.

Учитывая широкое использование методов укрепления и нанесения износостойких покрытий для повышения стойкости твердосплавного инструмента, особенно актуальной является разработка подобных моделей для твердосплавного инструмента, подвергнутого предварительному упрочняющему энергетическому воздействию.

Рассмотрение процесса резания как комплекса взаимосвязанных и взаимообусловленных физических явлений является общей чертой работ В.Ф. Безъязычного [1], А. Л. Водолагина [2], А. М. Дальского [3], В. В. Закураева [4], В. К. Старкова [5], С. И. Тахмана [6], Л. Ш. Шустера [7], Ф. Я. Якубова [8] и других. В качестве параметров, обуславливающих интенсивность физических явлений при резании, в первую очередь - интенсивность износа инструмента, как основного фактора, определяющего работоспособность резцов при чистовом точении, в рассмотренных работах используются показатели, которые по своей сути являются энергетическими: температура резания (показатель, связан с количеством тепловой энергии в зоне резания) [3], накопленная внутренняя энергия поверхностного слоя инструмента [8], скрытая энергия деформирования срезаемого слоя и скрытая энергия деформирования поверхностного слоя обработанной детали [5]. Теоретические концепции и рекомендации, приведенные в работах [1-8], создают широкое поле решений для выбора оптимальных режимов резания при чистовом точении сталей твердосплавными резцами.

Вместе с тем, в перечисленных работах отсутствует исчерпывающий анализ взаимных связей всех физических процессов и энергетических преобразований в зоне резания. Акцент сделан на зависимости интенсивности износа инструмента от энергетического состояния зоны резания, каждый из которых не может быть признан интегральным энергетическим критерием в силу пренебрежения теми или иными физическими явлениями, признанными авторами концепций как малозначимые. Выше сказанное обуславливает необходимость разработки универсальной теоретической модели процесса резания, которая учитывала бы связи всех различных по природе физических явлений (и, соответственно, энергетических преобразований), которые влияют на интенсивность изнашивания инструмента.

Общие принципы разработки подобной модели процесса резания для чистового точения сталей твердосплавным инструментом с укреплением или износостойким покрытием приведены в работах авторов [9, 10]. В них предусматривается выражения целевой функции и системы ограничений через интегральный энергетический критерий процесса резания, ра-

вный соотношению удельной энергии отделения единицы массы (объема) обрабатываемого материала (или удельной энергии образования единицы площади обработанной поверхности), и удельной энергии диспергирования единицы массы (объема) твердого сплава при износе режущей пластины.

Целью работы является анализ энергетических преобразований при чистовом точении сталей резцами с твердосплавными режущими пластинами с последующей разработкой нормативной базы ресурсосберегающих технологий при механической обработке.

## **2. Анализ энергетических преобразований при чистовом точении сталей резцами с твердосплавными режущими пластинами**

При чистовом точении стойкость инструмента и технологические характеристики деталей определяются интенсивностью изнашивания резцов. Соответственно, условием оптимальности процесса резания должна быть наименьшая удельная интенсивность износа резцов при отделении единицы массы срезаемого слоя (или образовании единицы площади обработанной поверхности). Поэтому интегральный энергетический критерий определяем как:

$$E = E_{\min} + (E_{\max} - E_{\min})e^{-J}, \quad (1)$$

где  $E_{\min}$  – минимальный расход энергии, при котором еще возможно реализовать данную операцию;  $E_{\max}$  – расход энергии при консервативной (неполной) информации об объекте или процессе;  $J$  – информация, получаемая при измерениях;  $e$  – основание натуральных логарифмов.

Основной задачей чистовой токарной обработки, в отличие от черновой и получистовой, является не снятие наибольшего припуска, а образование большей площади новых поверхностей детали заданной точности и качества за единицу времени. Поскольку в зоне резания определяющим процессом является снятие материала заготовки с превращением его в стружку в результате пластической деформации. И именно на осуществление этой деформации расходуется наибольшая составляющая механической работы сил в зоне резания [5], то в промежуточных расчетах при формировании теоретической модели процесса резания может использоваться формула (1).

Информация об измеряемом параметре при равноточных и независимых измерениях с учетом случайной составляющей погрешности измерительного прибора подчиняется закону нормального распределения

$$J = \ln \sqrt{\frac{0.5 \cdot \pi \cdot e}{C_e^2 n^{2N}} \left( C_{mp}^2 + \frac{T^2}{n} \right)}, \quad (2)$$

где  $C_{mp}$  – цена деления измерительного прибора;  $T$  – допуск на измерение;  $n$  – число измерений или объем выборки измеряемых деталей;  $C_e$  – коэффициент, зависящий от закона распределения измеряемой величины;  $N$  – показатель степени.

Критерии в выражениях (1) и (2) трактуем как соотношение «полезного» и «вредной» составляющих энергии процесса резания. «Полезная» составляющая энергии расходуется на образование новой поверхности, «вредная» - на износ инструмента. Оптимальным условиям резания соответствует максимум, т.е. наибольшая удельная доля «полезной» составляющей в общем энергетическом балансе зоны резания.

Приведенный вид уравнения (2) учитывает все энергетические факторы процесса резания различной физической природы.

«Полезную» частью энергетического баланса будем считать постоянной для заданной пары «твердый сплав - обрабатываемый материал». Минимум тепловой энергии или любого приращение внутренней энергии, необходим и достаточен для образования поверхности при снятии слоя материала с заданным сечением среза. Избыток составляющей энергии, превышающей этот минимум, будем считать «вредной» частью, которая тратится на интенсификацию контактов процессов, и, соответственно, - на износ инструмента.

### **Выводы**

В статье на основе анализа энергетических преобразований при чистовом точении сталей резцами с твердосплавными режущими пластинами была сформулирована система связей интегрального энергетического критерия процесса резания с режимами резания. При механической обработке расход энергии, необходимой на снятие стружки, уменьшается на 10-15%, если снимается не максимальный припуск, а вероятностный. Расход тепловой энергии, идущей на нагрев заготовки при точении уменьшается на 20%, при снятии действительного припуска.

### **Список использованных источников:**

1. Татьяначенко А. Г. Особенности развития тепловых процессов при чистовой обработке отверстий комбинированным осевым инструментом / А. Г. Татьяначенко, И. Н. Лаппо // *Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Сер. Машиноприладобудування та транспорт.* – Севастополь. – 2013. – Вып. 140. – С. 178-183.
2. Резников А. Н. Термоупругие деформации изделия и инструмента в процессе развертывания / А. Н. Резников, Л. Е. Яценко // *Теплофизика технологических процессов : межвед. науч. сб.* – Саратов : Изд. Саратовского ун-та, 1973. – Вып. 1. – С. 24-35.
3. Татьяначенко О. Г. Теоретичні основи прогнозування термопружних деформацій осевого інструменту і деталі і їх вплив на точність обробки отворів : автореф. дис. д-ра техн. наук : 05.03.01 «Процеси механічної обробки, верстати і інструменти» / О. Г. Татьяначенко. – Донецьк : ДонНТУ, 2006. – 36 с.
4. Tatiachenko A.G. Perspectives of heightening of exactitude fair handlings of holes by the axial instrument / A. G. Tatiachenko, I. N. Lappo, T. M. Brizhan // IX Международная конференция «Strategy of Quality in Industry and Education»: Материалы. В 3-х томах. – Варна. – 2013. – Т. 3. – С. 202-207.
5. Малышко И. А. Температурные деформации детали при обработке отверстий / И. А. Малышко, А. Г. Татьяначенко // *Прогрессивные технологии и системы машиностроения : международный сб. науч. тр.* – Донецк, 2001. – Вып. 17. – С. 45-51.
6. Малышко И. А. Температурное состояние детали при развертывании отверстий / А. И. Малышко, А. Г. Татьяначенко, С. И. Бочаров // *Вісник інженерної академії.* – Київ, 2001. – № 3. – С. 231-233.
7. Лаппо І. М. Удосконалення нормативної документації забезпечення якості лезової обробки отворів : дис.. канд. техн. наук : 05.01.02 / Лаппо Ірина Миколаївна. – Харків, 2016. – 181 с.
8. Даниелян А. М. Резание металлов и инструмент / А. М. Даниелян. – М. : Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1950. – 454 с.
9. Розенберг Ю. А. Резание материалов : учебник для вузов / Ю. А. Розенберг. – Курган : Полиграфический комбинат, 2007. – 294 с.

10. Ящерицын Т. И. Теория резания : учеб. / П. И. Ящерицын, Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – 2-е изд., испр. и доп. – Минск : Новое знание, 2006. – 512 с.
11. Методические указания. Выбор универсальных средств измерения линейных размеров до 500 мм. (По применению ГОСТ 8.051–81): РД 50–98–89 – М. : Изд-во стандартов. – 1987. – 80 с.
12. Силин Р. И. Анализ процесса снятия стружки металла режущим клином / Р. И. Силин, А. А. Мясичев, С. С. Ковальчук // Известия вузов. – Машиностроение. – 1989. – № 2. – С. 145-148.
13. Zenzemi F et al. Identification of a friction model at tool/chip/workpiece interfaces in dry machining of AISI 4142 treated steels. *J. Mater. Process. Technol.* 2009; 209:3978-3990.
14. Brocail J et al. Identification of a friction model for modelling of orthogonal cutting. *Int. J. Mach. Tool Manuf.* 2010; 50:807-814.

### *References*

1. Tatjanchenko, AG & Lappo, IN 2013, 'Osobennosti razvitiya teplovyh processov pri chistovoj obrabotke otverstij kombinirovannym osevim instrumentom', *Visnyk Sevastopolskoho natsionalnogo tekhnicheskoho uniersytetu, Serii Mashynopryladobuduvannia ta transport, Sevastopol*, iss. 140, pp. 178-183.
2. Reznikov, AN & Jacenko, LE 1973, 'Termouprugie deformacii izdelija i instrumenta v processe razvertyvaniya', *Teplofizika tehnologicheskikh processov, Izdatelstvo Saratovskogo universiteta, Saratov*, iss. 1, pp. 24-35.
3. Tatiachenko, OH 2006, 'Teoretychni osnovy prohnozuvannia termopruznykh deformatsii osovoho instrumentu i detali i yikh vplyv na tochnist obrobky otvoriv', *Doct.tech.n. abstract, Donetskyy natsionalnyi tekhnichnyi universytet, Donetsk*.
4. Tatiachenko, AG, Lappo, IN & Brizhan, TM 2013, 'Perspectives of heightening of exactitude fair handlings of holes by the axial instrument', *Strategy of Quality in Industry and Education, Varna*, vol. 3, pp. 202-207.
5. Malyshko, IA & Tatjanchenko, AG 2001, 'Temperaturnye deformacii detali pri obrabotke otverstij', *Progressivnye tehnologii i sistemy mashinostroenija, Doneck*, iss. 17, pp. 45-51.
6. Malyshko, IA, Tatjanchenko, AG & Bocharov, SI 2001, 'Temperaturnoe sostojanie detali pri razvertyvanii otverstij', *Visnyk inzhenernoi akademii, Kyiv*, no. 3, pp. 231-233.
7. Lappo, IM 2016, 'Udoskonalennia normatyvnoi dokumentatsii zabezpechennia yakosti lezovoi obrobky otvoriv', *Kand.tech.n. thesis, Kharkiv*.
8. Danieljan, AM 1950, *Rezanie metallov i instrument, Gosudarstvennoe nauchno-tekhnicheskoe izdatelstvo mashinostroitelnoj literatury, Moskva*.
9. Rozenberg, JuA 2007, *Rezanie materialov, Poligraficheskij kombinat, Kurgan*.
10. Jashhericyn, TI, Feldshtejn, EJe & Kornievich, MA 2006, *Teorija rezanija*, 2nd edn, *Novoe znanie, Minsk*.
11. Metodicheskie ukazaniya. Vybor universalnyh sredstv izmerenija linejnyh razmerov do 500 mm. (Po primeneniju GOST 8.051–81): RD 50–98–89 1987, *Izdatelstvo standartov, Moskva*.
12. Silin, RI, Mjasishhev, AA & Kovalchuk, SS 1989, 'Analiz processa snjatija struzhki metala rezhushhim klinom', *Izvestija vuzov, Mashinostroenie*, no. 2, pp. 145-148.

Стаття надійшла до редакції 16 квітня 2019 р.