

УДК 621.923.74

Бурлаков В. І.

### БАЛАНС ТЕПЛА В ЗОНІ РІЗАННЯ ПРИ ВІБРОМАГНІТНОАБРАЗИВНОЇ ОБРОБЦІ НАДТВЕРДОЇ КЕРАМІКИ

*В процесі різання, при будь-якому виді обробки виділяється велика кількість тепла. Тепло, що утворилося, поширюється з центрів теплоутворення до холодніших областей, перерозподіляючись між стружкою, деталлю, інструментом і докільям. Велика частина теплоти, що виділяється в площині різання, йде на нагрів стружки і відноситься нею із зони різання. Частина теплоти, що виділяється на абразивному інструменті, накопичується на різальній частині інструменту і поступово поширюється за усім обсягом. Абразивний інструмент є провідником другого потоку теплоти, що відводиться. Частина теплоти, що виділяється в області обробки, деяка частина теплоти, що виділяється на поверхні абразивного інструменту, проникає в оброблюваний матеріал заготовки і нагріває її.*

*Частина загальної кількості теплоти відводиться із зони обробки в докілья. При різанні без використання ЗОР ця теплота відводиться в докілья випромінюванням. Але, як вже відмічено, частина тепла переходить в заготовку, і цей факт є негативним. У випадку ж з надтвердою керамікою негатив обумовлений ще і тим, що кераміка не повинна перегріватися при обробці. Використовуючи процес вібромагнітноабразивної обробки для роботи з надтвердою керамікою ця проблема стає ще актуальнішою оскільки процес відбувається в закритій робочій камері без підведення ЗОР.*

*У статті даний аналіз розподілу теплових потоків при вібромагнітноабразивної обробці. Показано, за допомогою математичної моделі, що теплові потоки практично не впливають на нагрів заготовки з надтвердої кераміки. Показана кількість тепла, яке виникає в процесу абразивної обробки і підтверджено, що нагрів надтвердої нітридної кераміки не перевищує допустимі норми. Таким чином, у статті була спроба показати, що вібромагнітноабразивна обробка здатна обробляти надтверду кераміку не порушуючи її внутрішньої будови і не змінювати її геометричної форми.*

**Ключові слова:** *вібромагнітноабразивна обробка, нагрів заготовки, надтверда кераміка, абразивна обробка, тепло, що виділяється, процес різання, нітридна кераміка.*

**Постановка проблеми.** Проблема є в тому, при значному перегріві кераміки при її обробці вона може змінити свої геометричні форми та почати кришитися.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Ця проблема постійно викликала науковий інтерес різних дослідників таких як В. С. Майборода, В. Я. Лебедев, А. М. Клімов [1] які займалися магнітно-абразивною обробкою і процесами, що відбуваються при її реалізації, О. О. Якімов, Г. В. Новіков, С. Г. Зимін, В. А. Вайсман [2]. Вони досліджували теплові процеси при різанні, В. А. Сіпайлов [3] що досліджував теплові процеси при шліфуванні матеріалів.

**Мета статті:** Необхідно довести, що при вібромагнітноабразивній обробці тепло з зони різання відводиться рівномірно і перегріву не спостерігається.

**Виклад основного матеріалу.** Після формування різального абразивного інструменту магнітним полем змінюються умови зняття припуску з зразків, так як зерна, розташовуючись на різних рівнях від днища робочої камери, поступово видаляють припуск окремими тонкими шарами. Різальні зерна, розташовані на нижчій кромці фронтальної ділянки виступу, зрізують верхній шар. При цьому тепло  $q_{дет}$ , що виділилося, поширюється в глибинні шари інструменту. Однак високі температури не встигають поширитися на глибину загального припуску  $t$ , що знімається, так як наступна група різальних зерен, розташована

## Машинобудування і зварювальне виробництво

вище, видаляє прогріті шари оброблюваного матеріалу. При пошаровому видаленні припуску збільшується кількість тепла  $q_{\text{стр}}$ , що поглинається стружкою відколу, і зменшується кількість тепла, що йде в зразок (рис. 1). Експериментально встановлено [1], що при вібромагнітнообразивній обробці кількість тепла, що поглинається заготівкою, значно менше, ніж в процесі шліфування суцільним кругом.

Частка тепла, що уходить в стружку, зростає зі збільшенням глибини різання. Зменшення кількості тепла, що поглинається заготівкою, зменшує температуру в зоні контакту інструмента і оброблюваної поверхні.

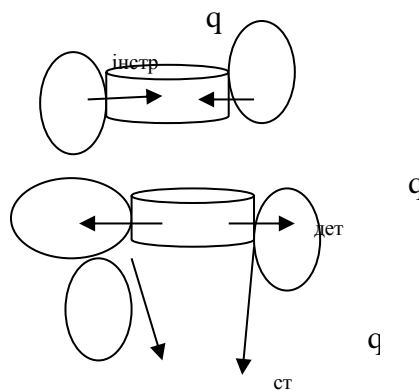


Рисунок 1 – Схема циркуляції теплових потоків, що виникають при різанні кераміки ВіМАО (вібромагнітнообразивна обробка):  
 $q_{\text{ст}}$  – тепло, що відводиться стружкою;  $q_{\text{дет}}$  – тепло, що поглинається деталлю;  
 $q_{\text{інстр}}$  – тепло, що поглинається інструментом

Математична модель явища теплопровідності включає безпосередньо рівняння, що характеризує даний процес (рівняння теплопровідності) і систему рівнянь, якими описуються крайові умови. Рівняння теплопровідності є частиною злучаємо рівняння енергії і є диференціальним рівнянням другого порядку з приватними похідними [1].

Поширення тепла за законом Фур'є це диференціальне рівняння теплопровідності Фур'є описує механізм явища перерозподілу тепла в речовому середовищі і конкретно в зоні різання ВіМАО.

Оскільки тепловий потік, що проходить через усі поверхні, однаковий при стаціонарному процесі теплообміну, то відповідно до закону теплопровідності [1] Фур'є запишемо:

$$Q = -\lambda \text{grad}T, \quad (1)$$

де  $Q$  — потік тепла;  $T$  – температура;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності.

У якості прикладу можливо розглянути рівняння теплопровідності:

$$c\rho \frac{dU(M,t)}{dt} \text{div}(\lambda \text{grad}U) + F(M,t) \quad (2)$$

де  $M(x, y, z)$  – точка у просторі;  $U(M, t)$  – температура;  $c$  – питома теплоємність;  $\rho$  – щільність речовини;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності;  $F(M, t)$  – щільність джерел тепла.

Рахуємо, що  $c$ ,  $\rho$  та  $\lambda$  – постійні, і перетворимо рівняння до виду:

Машинобудування і зварювальне виробництво

$$\frac{dU(M,t)}{dt} = a\Delta U(M, t) + \frac{1}{c\rho} F(M, t) \quad (3)$$

де  $a = \frac{\lambda}{c\rho}$   $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$  – оператор Лапласа.

Отримуємо тривимірне рівняння в частинних похідних, рішення якого знаходиться за певних початкових і крайових умов [1]. Перше крайове завдання для одновимірного рівняння теплопровідності:

$$\frac{dU(x,t)}{dt} = \frac{d^2U(x,t)}{dx^2} + f(x, t) \quad 0 < x < l$$

$$U(x,0) = \varphi(x); U(0,t) = \mu_1(t) \quad U(l,t) = \mu_2(t)$$

Це завдання є моделлю поширення тепла в тонкому не теплоізованому псевдостержнем завдовжки  $l$  з початковим розподілом температури  $\varphi(x)$ , і на кінцях якого заданий режим зміни температури, визначуваний функціями  $m_1$  ( $\mu_1(t)$ ) і ( $\mu_2(t)$ )

Рішення задачі можна отримати аналітично у вигляді ряду Фур'є і чисельно, використовуючи метод кінцевих різниць [2]. Аналітичне рішення має вигляд:

$$U(0,t) = \mu_1(t) + \frac{x}{l} (\mu_2(t) - \mu_1(t)) + \sum_{n=1}^{\infty} e^{-\left(\frac{n\pi}{l}\right)^2 t} \sin \frac{n\pi x}{l} \left( \varphi_n - \frac{2}{\pi n} (\mu_1(0) - (-1)^n \mu_2(0)) \right) +$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} e^{-\left(\frac{n\pi}{l}\right)^2 t} \sin \frac{n\pi x}{l} \int_0^t e^{\left(\frac{n\pi}{l}\right)^2 \tau} \left( f_n(\tau) - \frac{2}{\pi n} (\mu_1(\tau) - (-1)^n \mu_2(\tau)) \right) d\tau$$

де  $\varphi_n(t) = \frac{2}{l} \int_0^l \varphi(x) \sin \frac{n\pi x}{l} dx$   $f_n(t) = \frac{2}{l} \int_0^l f(x, t) \sin \frac{n\pi x}{l} dx$

Чисельне рішення методом кінцевих різниць отримують, замінюючи саме рівняння, а також початкові і крайові умови різницевиими аналогами. Для побудови різницевої схеми скористаємося рівномірною сіткою з кроком  $h$  по  $x$  і кроком  $\tau$  по  $t$  [2]:

$$h = \frac{l}{n} \text{ и } \tau m = T$$

У явних схемах значення сіткової функції на наступному тимчасовому шарі сітки явно виражається через значення на попередньому шарі. Це має місце, наприклад, при використанні шаблону.

Різницеве рівняння має [2] вигляд:

$$\frac{U_i^{j+1} - U_i^j}{\tau} = \frac{U_{i+1}^j - 2U_i^j + U_{i-1}^j}{h^2} + \widetilde{f}_i^j$$

$$U_i^{j+1} = U_i^j + \left(\frac{\tau}{h^2}\right) (U_{i+1}^j - 2U_i^j + U_{i-1}^j) + \tau \widetilde{f}_i^j$$

$I = 1, 2, \dots, n-1; j=0, 1, 2, \dots, m-1;$

$$U_0^j = \mu_1(t_j) = \mu_1^j \quad U_n^j = \mu_2(t_j) = \mu_2^j \quad j = 0, 1, \dots, m$$

$$U_i^0 = \varphi(t_i) = \varphi_i \quad I = 1, \dots, n-1;$$

Тому отримане диференціальне рівняння є найбільш загальним зв'язком між істотними для явища величинами і характеризує властивості, властиві усім явищам при

## Машинобудування і зварювальне виробництво

різанні абразивом. Рішення диференціального рівняння теплопровідності Фур'є дає рішення, придатне в загальному випадку для опису відведення тепла із зони різання, а саме для теплопровідності при нагріві стружки, абразиву, оброблюваної деталі.

З граничних умов відомі значення  $T_1$  і  $T_2$  на поверхнях стінки, тоді можна вичислити величину  $Q$ , а потім знайти розподіл температури по товщині шару матеріалу [3].

$$\int_1^{T(z)} \lambda(T) dT = -Q \int_1^z \frac{d\zeta}{s(\zeta)} \quad (4)$$

Це рівність дозволяє встановити розподіл температури зоні різання, знаючи величину  $Q$  за допомогою граничних умов [3].

Таким чином рішенням рівняння є знаходження температури заготовки ( $T = 303\text{K}$ ), температури стружки ( $T = 294\text{K}$ ) і температури абразивного середовища ( $T = 327\text{K}$ ).

Розрахунками встановлено, що «температура обробки» буде в допустимих межах.

### ВИСНОВКИ

1. Тепло, що утворюється при ВіМАО, є не настільки значним, як при звичайному шліфуванні, і відводиться набагато інтенсивніше за рахунок сипучого середовища.

2. Отримана математична модель розподілення теплового балансу ВіМАО, за рахунок якої можливо встановити рівномірність відводу тепла з зони різання.

3. Розрахунками встановлено, що температура в зоні різання буде в допустимих межах

### Список використаних джерел:

1. Майборода В. С. Магнитно-абразивная обработка многогранных твердосплавных пластин / В. С. Майборода, В. Я. Лебедев, А. Н. Климов // Машиностроение : респ. межвед. сб. науч. тр. / под. ред. Б. М. Хрусталева. – Минск, 2009. – Вып. 25. – С. 85–89.

2. Тепловые и механические процессы при резании металлов : учеб. пособие / Ф. В. Новиков [и др.]. – Одесса: ОГПУ, 1997. – 179 с.

3. Сипайлов, В. А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности / В. А. Сипайлов. – М. : Машиностроение, 1978. – 166 с.

**Бурлаков В. И.**

### БАЛАНС ТЕПЛА В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ ПРИ ВИБРОМАГНИТНОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ СВЕРХТВЕРДОЙ КЕРАМИКИ

*В процессе резания, при любом виде обработки выделяется большое количество тепла. Образовавшееся тепло распространяется из очагов теплообразования к более холодным областям, перераспределяясь между стружкой, деталью, инструментом и окружающей средой.*

*Большая часть выделяющейся в плоскости резания теплоты идет на нагрев стружки и уносится ею из зоны резания.*

*Часть теплоты, выделяющейся на абразивном инструменте, накапливается на режущей части инструмента и постепенно распространяется по всему объему. Абразивный инструмент является проводником второго потока отводимой теплоты.*

## Машинобудування і зварювальне виробництво

*Часть выделяющейся в области обработки теплоты, некоторая часть теплоты, выделяющейся на поверхности абразивного инструмента, проникает в обрабатываемый материал заготовки и нагревает ее.*

*Часть общего количества теплоты отводится из зоны обработки в окружающую среду. При резании без использования СОЖ эта теплота отводится в окружающую воздушную среду излучением. Но, как уже отмечено, часть тепла переходит в заготовку, и этот факт является негативным. В случае же со сверхтвердой керамикой негатив обусловлен еще и тем, что керамика не должна перегреваться при обработке. Используя процесс вибромагнитноабразивной обработки для работы со сверхтвердой керамикой эта проблема становится еще более актуальной так как процесс происходит в закрытой рабочей камере без подвода СОЖ.*

*В статье дан анализ распределение тепловых потоков при вибромагнитноабразивной обработке. Показано при помощи математической модели, что тепловые потоки практически не влияют на нагрев заготовки из сверхтвердой керамики. Показано количество тепла, которое возникает в процессе абразивной обработки и подтверждено, что нагрев сверхтвердой нитридной керамики не превышает допустимые нормы. Таким образом, была попытка показать, что вибромагнитноабразивная обработка способна обрабатывать сверхтвердую керамику, не нарушая ее внутреннего строения и изменения геометрической формы.*

**Ключевые слова:** *вибромагнитноабразивная обработка, нагрев заготовки, сверхтвердая керамика, абразивная обработка, выделяющееся тепло, процесс резания, нитридная керамика.*

**Burlakov V. I.**

### **EQUILIBRIUM OF HEAT IN THE ZONE OF CUTTING AT OSCILLATION MAGNETIC ABRASIVE TREATMENT OF SUPER HARD CERAMICS**

*In the process of cutting, at any type of treatment plenty of heat is distinguished. An appearing heat spreads from the hearths of thermogenesis to more cold areas, redistributed between shaving, detail, instrument and environment. Greater part of the warmth distinguished inplane cutting goes to heating of shaving and speeds away by her from the zone of cutting. Part of the warmth distinguished on an abrasive instrument accumulates on cutting part of instrument and gradually spreads on all volume. An abrasive instrument is the explorer of the second stream of the taken warmth. Part of the warmth distinguished in area of treatment, some part of the warmth distinguished on the surface of abrasive instrument, gets to the processed material of purveyance and heats her.*

*Part of general amount of warmth is taken from the zone of treatment in an environment. At cutting without the use OCL this warmth is taken in an air environment by a radiation. But, as it is already marked, part of heat passes to the purveyance, and this fact is negative. In case with super hard ceramics a negative is conditioned yet and by that ceramics must not overheat at treatment. Using the process of oscillation magnetic abrasive treatment for work with super hard ceramics this problem becomes yet more actual because a process takes place in the closed working chamber without admission OCL. In the article an analysis is given distribution of thermal streams at oscillation magnetic abrasive treatment. It is shown through a mathematical model that thermal streams practically do not influence on heating of purveyance from super hard ceramics. The amount of heat is shown that arises up in process it is confirmed abrasive treatment, that heating of super hard nitride of ceramics does not exceed possible norms. Thus, there was attempt to show*

## Машинобудування і зварювальне виробництво

*that oscillation magnetic abrasive treatment is able to process super hard ceramics not violating her internal structure and change of geometrical form.*

**Keywords:** *oscillation magnetic abrasive treatment, warming purveyances, super hard ceramics, abrasive treatment, distinguished heat, process of cutting, nitride of ceramic.*

Рецензент: С. С. Самоутугін  
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»  
Стаття надійшла

УДК 629.5.035.8: 539.422.24

Сагиров И. В., Гаркуша Г. Г., Власов В. Т., Жерлицина О. В.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ СУДОВЫХ ГРЕБНЫХ ВАЛОВ

*В статье обобщена статистика поврежденных гребных валов судов. Сделаны выводы об основных причинах повреждений судовых валов, выявлены области повреждений.*

*Установлено, что разрушение валов происходит из-за появления усталостных микротрещин. Наиболее опасным местом усталостного повреждения является зона перехода цилиндрической части вала в коническую. Выделены главные закономерности в появлении и развитии трещин. Проведены испытания на усталостную прочность и электронная микроскопия изломов, восстановленных наплавкой судовых валов.*

**Ключевые слова:** *причины аварий, валопровод, гребной вал, усталостная трещина, характер разрушения.*

#### **Постановка проблемы.**

Увеличение количества перевозимых грузов морским транспортом, при одновременном усилении безопасности морских перевозок является важной и сложной задачей. Проблемы безопасности человеческой жизни и защиты окружающей среды отражены в регламентирующих документах международных конвенций МАРПОЛ-73/78 и СОЛАС-74. К основным видам опасностей, возникающих при эксплуатации речных и морских судов, и причин аварий по статистике [1] можно отнести: повреждения корпуса, опрокидывание и затопление судна, потеря хода, потеря управляемости, пожар, контакт с внешними объектами и т. д. В то же время потеря хода и потеря управляемости, т.е. повреждения пропульсивного комплекса судна (рис. 1), составляют 50 % всех причин аварий. А около 18 % всех повреждений деталей пропульсивного комплекса судна составляют повреждения валопроводов, что составляет около 10 % всех причин аварий.

#### **Анализ последних публикаций.**

Повышение долговечности судовых валов рассматривалась многими авторами, такими как Кравцов Т. Г., Голобородько Ж. Г., Филимонов Г. Н., Балацкий Л. Т., Лысенков П. Н., Абрамович С. Ф., Румб В. К., и др. По статистике и литературным данным наиболее уязвимым и подверженным разрушению в валопроводе является гребной вал [2].

Судовой валопровод представляет собой систему валов, соединенных между собой, и передает крутящий момент от главного двигателя (ГД) к движителям (гребным винтам). Валопроводы и дейдвудные устройства на судах отличаются большим конструктивным разнообразием [3]. При этом, независимо от расположения в корпусе судна, валопровод состоит из характерных элементов (рис. 2).