

In the conditions of the modern market, the requirements for the manufacturer have changed significantly. To the usual requirements, such as quality and reasonable price, the requirement for the fastest development of new types of products was added. At the same time, the requirements for special technological equipment for the manufacture of metal structures have changed significantly. Including equipment for assembly and welding of large box-section beams.

To meet the demands of the market, a transition from specialized to universal technological equipment was required. This requirement also applies to the stands for automatic welding of box-section beams. At a universal automatic welding stand, it is necessary to be able to weld longitudinal (waist) joints of single beams of any section and length (which are manufactured in production) without any changeover, re-equipment or modernization of the welding stand and its equipment.

The article discusses the options for the layout of the main equipment of such a universal stand, made on the basis of various options for the mutual movement of the welding machine and the welded product and the main equipment necessary for this (welding portals, beam tilters, etc.). The optimal one was selected and characterized. The basic principles of design of universal stands for automatic welding of large-sized sheet beam structures of box section have been developed and systematized.

Keywords: *automatic welding stand, beam, box section, serial production, automatic welding machine, universal stand, welding portal, tilting machine.*

Стаття надійшла 17.04.2021 р.

УДК 621.923.74

doi.org/10.31498/2522-9990242021248704

Бурлаков В. І.

ПРОЦЕС ОБРОБКИ ВІБРО-МАГНІТНО-АБРАЗИВНИМ СПОСОБОМ НАДТВЕРДОЇ КЕРАМІКИ

В статті розкрито механізм взаємодії абразивних зерен при вібро-магнітно-абразивній обробці надтвердої кераміки. Показано вплив одиночного зерна на керамічну різальну поверхню. Розглянуто процес визначення кількості зерен, що приймають одночасно участь у обробці надтвердої кераміки. Розкрито механізм знімання матеріалу у процесі обробки надтвердої кераміки. Розраховано швидкість знімання матеріалу, знайдені значення складових сил різання. Знайдений об'єм матеріалу, що видаляється, з поверхні заготовки одним різальним зерном. Розраховано, що в процесі різання беруть участь N різальних зерен і знаходження об'єму матеріалу, що видаляється, з поверхні заготовки розташованими в ряд різальними зернами теж розрахована. Виявлено та розраховані діаметр елементарної плями контакту. Дані підстави для виявлення величини продуктивності вібро-магнітно-абразивної обробки надтвердої кераміки. Визначена площа контакту на поверхні надтвердої кераміки. Зроблено припущення про те що при обробці надтвердої кераміки приймають участь багата сукупність вершин абразивних зерен і вони можуть контактувати з поверхнею що оброблюється будь якою вершиною, ребром та гранню однаковою долею вірогідності. Показано за який рахунок може проводитися абразивна обробка надтвердої кераміки. Зроблено припущення про те, що мікропрофіль абразивних зерен під час обробки постійно обновлюється. Показано що знімання матеріалу проходить здебільш виступами мікро- і субмікрорельєфу. Поверхні абразивних зерен, а саме площа контакту яких із зразком може бути вирішальним чинником при визначенні якості і продуктивності алмазно-абразивної обробки надтвердої кераміки. Отримано експериментальні дані для складових сили різання на передній поверхні. Показана кількість виступів-контактів які залишали відбитки кристалів твердого і м'якого абразивних матеріалів на целофановій плівці.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Ключові слова: швидкість знімання матеріалу, поверхні абразивних зерен, абразивна обробка, надтверда кераміка, пляма контакту, сили різання, вібро-магнітно-абразивна обробка

Постановка проблеми. проблема якості виробів та продуктивності виробництва на даний час стоїть у нашій країні дуже гостро. Вирішувати таку проблему потрібно і чим скоріш тим краще. Але вирішувати проблему необхідно з використанням нового прогресивного інструменту. В нашій країні відсоток використання такого інструменту (різальні пластини з надтвердої кераміки) дуже низький по рівнянню з країнами Європейського союзу, Північної Америки та ведучих країн сходу. Ще одна складова цієї проблеми – труднощі обробки таких різальних пластин. Але, якщо використовувати прогресивні методи обробки таких пластин, то впровадження у виробництво їх значно прискориться.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для вдосконалення обробки різальних пластин з надтвердої кераміки працювало багато вчених з України та багатьох країн світу. Такі вчені, наприклад як: К. Slipchenko, V. Turkevich [1], І. А. Петруша, В. М. Бушля, О. С. Осіпов [2], Y. K. Chou, C. J. Evans [3], T. Halpin, G. Byrne, J. Barry, E. A. Ahearne [4], S. A. Klimenko, Y. A. Mukovoz, V. A. Lyashko, A. N. Vashchenko, V. V. Ogorodnik [5], J. Johansson, Jan-Eric Ståhlb, H. Yamaguchi, A. K. Srivastava, M. Tan, F. Hashimoto [6], Y. Feng, J. Zhang, L. Wang, W. Zhang, Y. Tian, X. Kong [7], T. Sugihara, H. Tanaka, T. Enomoto, [8], S. M. Abhijeet, J. Wenping, W. D. Brown, P. M. Ajay [9]. У своїх роботах вони виявляли ступінь зносу надтвердої кераміки, описали якості надтвердої кераміки, використання надтвердої кераміки, режими її обробки, вплив мікрорельєфу поверхні інструменту, магнітно-абразивну обробку різальних інструментів, високошвидкісну обробку, продуктивність та якість поверхні що оброблена. Але процес взаємодії абразивного зерна з керамічною поверхнею, який дозволяє зрозуміти механізм дії різних видів обробки, до кінця розкритий не був. Тому тема яка піднята у статті є актуальною.

Мета досліджень. дослідити процес обробки надтвердої кераміки на прикладі взаємодії одиничного зерна з поверхнею надтвердої кераміки

Основний матеріал досліджень. При обробці надтвердої кераміки бере участь численна сукупність вершин абразивних зерен. При цьому одночасно бере участь в обробці значне число зерен, частина з яких, проходячи зону контакту, виробляє різання і знімає поодинокі стружки, що визначають продуктивність процесу шліфування. У зв'язку з цим оцінку продуктивності процесу шліфування виробляють за сукупним зніманням металу ріжучими зернами в зоні контакту, або за характеристиками мікрорізання одного одиничного зерна, моделюючи для нього реальні умови шліфування.

Щільність контактування ущільненого абразивного шару з оброблюваної поверхнею при камерної обробки значно вище, ніж при обробці інструментами з пов'язаними абразивними частинками.

Знімання металу проводиться за рахунок мікрорізання виступами мікрорельєфу абразивних зерен, в результаті чого має місце дуже тонка диспергування металу. При цьому утворюються мікроскопічні стружки, за параметрами яких важко дати точну відносну оцінку продуктивності процесу. Тому більш точною і зручною оцінкою продуктивності є розрахунок масового знімання металу на основі середньостатистичних показників одиничних ріжучих елементів і розмірів подряпин на оброблюваної поверхні, що залишаються поодинокими мікровиступів абразивних зерен.

В умовах мікрорізання, коли розміри виступів мікрорельєфу малі, в процесі різання металу одночасно можуть брати участь кілька ріжучих крайок, тобто мікровиступів на кожному абразивному зерні.

При цьому знімання металу відбувається переважно виступами мікро- і субмікрорельєфа поверхні абразивних зерен.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Одним з основних показників процесу обробно-зачисної обробки деталей в середовищі вільного абразиву (віброобробка, відцентрово-ротаційна, відцентрово-планетарна обробка, камерна обробка та ін.) є продуктивність, що оцінюється інтенсивністю знімання металу з оброблюваних поверхонь.

При цьому на знімання металу впливає велика кількість змінних факторів, що характеризують властивості обробних середовищ і матеріалу деталі, режими і умови обробки. Знімання металу здійснюється при взаємодії мікро- і субмікрорельєфу абразивних зерен з поверхнею оброблюваної деталі і може бути відповідним чином змодельоване [1]. При впровадженні в оброблювану поверхню і переміщенні виступу абразивного зерна на поверхні утворюється напівхвиля деформованого металу, частина якого видаляється у вигляді стружки (рис. 1).

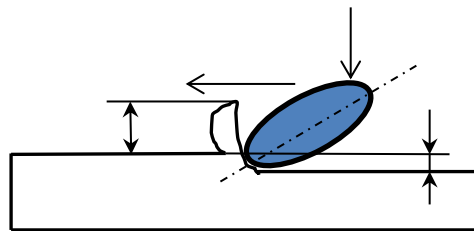


Рисунок 1 – Схема втілення еліпсоїдного зерна при ВіМАО у поверхню надтвердої кераміки

Площа сегменту еліпсоїду різального зерна у осьовому перерізі рівна [2]:

$$S_{\text{сегм}} = a b \arctg \frac{b t g \alpha}{a} - r_0^2 \sin \alpha \cos \alpha, \quad \alpha = \arctg \frac{x_0}{y_0} \quad (1)$$

Для обліку усіх чинників, що впливають на обробку введемо коефіцієнт залежний від утворення стружки k_c , рівний відношенню фактичної площі металу, що знімається, з урахуванням пружно-пластичних деформацій оброблюваного матеріалу до площі сегменту різального зерна. Чисельне значення коефіцієнта k_c визначається по довідниках операцій абразивної обробки.

Тоді об'єм матеріалу, що видаляється, з поверхні заготовлі одним різальним зерном буде рівний:

$$V_c = S_c a k_c = \left[a b \arctg \frac{b t g \alpha}{a} - r_0^2 \sin \alpha \cos \alpha \right] a k_c \quad (2)$$

Знаючи сумарний обсяг деформованого матеріалу, що дорівнює об'єму подряпини, геометричні параметри абразивних частинок, фізико-механічні характеристики оброблюваного матеріалу, коефіцієнт стружкоутворення K_c , а також режими і умови обробки, можна визначити з'їм металу і прогнозувати продуктивність обробно-зачисної обробки деталей вільним абразивом [3].

За відомим характеристикам процесу субмікрорезання одним зерном, фізико-механічними властивостями оброблюваного матеріалу і матеріалу абразивних частинок, а також режимів різання, часу обробки і умов обробки можна дати оцінку продуктивності процесу знімання металу сукупністю абразивних зерен.

Сумарна кількість зерен N на дузі контакту визначається наступним чином. Зважаючи на те, що Глибина шліфування незмірно мала в порівнянні з площею шліфування, а оброблюваний матеріал в трьох безпосередньо однорідній, можна стверджувати, що, площа контакту абразиву із зразки може бути вирішальним Чинник при визначенні якості і продуктивності алмазно-абразивної обробки надтвердої кераміки [4].

Машинобудування і зварювальне виробництво

Якщо мікрогеометрія зерен практично однакова, то діаметр елементарної плями контакту знайдемо по формулі:

$$d = \frac{V\Delta t}{2} \quad (3)$$

де Δt – час контактування абразиву з поверхнею зразка.

Площу елементарної плями контакту знайдемо по формулі [5]:

$$\Delta A_r = \frac{\pi}{16} V^2 \Delta t^2 \quad (4)$$

А площу контакту абразиву і зразка в процесі руху вчислимо:

$$A_r = n' \Delta A_r = \frac{\pi}{16} V^2 \Delta t^2 n' \quad (5)$$

де n' - число виступів зерен, що входили в контакт.

Час контакту із зразком визначається виходячи з повного оберту валу електродвигуна з ексцентриком, оскільки обробка велася тільки при проходженні керамічного зразка через стовпці абразиву, а проходження здійснювалося за рахунок вібраційної дії. Кількість виступів-контактів визначалася шляхом дослідження відбитків декількох кристалів твердого і м'якого абразивних матеріалів на целофанірованій плівці. Плівка закладалася між абразивом і пресом, і відбувалося вантаження (див. рис. 2).

У процесі різання беруть участь N різальних зерен, тому формула для знаходження об'єму матеріалу, що видаляється, з поверхні заготівлі розташованими в ряд різальними зернами матиме вигляд [6]:

$$V_p = V_c N = \left[a b a r \operatorname{ctg} \frac{b t g \alpha}{a} - r_0^2 \sin \alpha \cos \alpha \right] \frac{a k_c b N}{2 k_m} \quad (6)$$

Знаючи щільність оброблюваного матеріалу ρ , можна вчислити швидкість знімання ΔQ , виражену через масу, з поверхні заготівлі розташованими в ряд різальними зернами:

$$\Delta Q = \Delta V_p = \left[a b a r \operatorname{ctg} \frac{b t g \alpha}{a} - r_0^2 \sin \alpha \cos \alpha \right] \frac{a k_c b N \pi r \rho}{r} \quad (7)$$

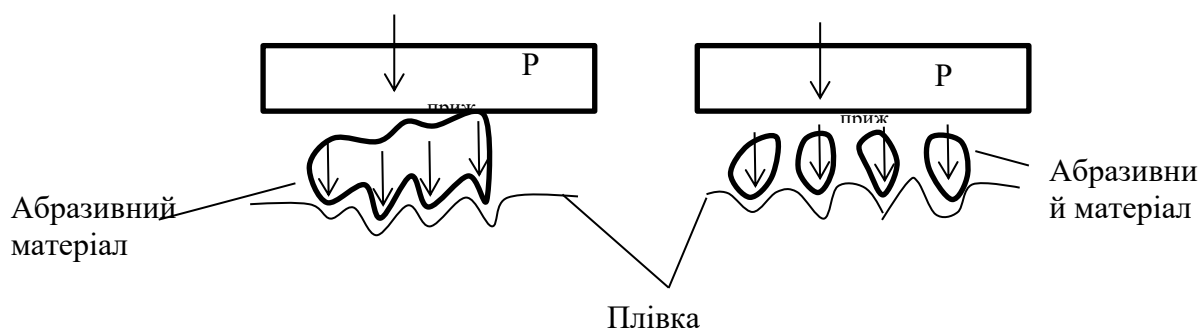


Рисунок 2 – Схема визначення кількості зерен-контактів при алмазній обробці

При впровадженні абразивних зерен в оброблювану поверхню і їх відносному русі виникають сили різання, що визначають характер відносного положення абразивних зерен. Якщо сила різання перевищить силу нормального тиску абразивного зерна на оброблювану поверхню, то воно повернеться до цієї поверхні іншою гранню або вершиною. При цьому, оскільки абразивні

Машинобудування і зварювальне виробництво

частинки знаходяться в ущільненому шарі в стані щільної упаковки, зміна положення одного зерна може привести до відносного зміщення межують з ним зерен. У цих умовах абразивні частинки можуть займати в зоні контакту довільне положення по відношенню до оброблюваної поверхні. Було встановлено, що розташування зерен на оброблюваної поверхні носить одноімовірнісний характер, якщо розглядати не одиначне зерно, а їх сукупність в ущільненому стані. Отже, абразивні зерна можуть контактувати з оброблюваної поверхнею будь-вершиною, ребром і гранню з однаковою ймовірністю [7].

При повороті абразивних частинок в процесі різання має місце часткове сколювання і викришування окремих вершин. При цьому мікропрофіль зерен оновлюється і його ріжучі властивості підтримуються на постійному рівні. Поворот абразивних частинок сприяє підвищенню величини знімання металу при обробці, яке враховується коефіцієнтом повороту. Крім того, на знімання металу впливає якийсь коефіцієнт K_u . Збільшення ріжучої здатності частинок за рахунок дрібних відколів мікрорельєфу, що враховується таким собі коефіцієнтом K_u .

Проведені дослідження дозволили оцінити особливості та можливості обробки деталей при дозованої або порціонної завантаженні абразивної суміші. Виявилось, що вести обробку деталей таким способом цілком можливо і в окремих випадках це дає певні переваги. У початковий період циклу обробки, коли на поверхні зерен буде вихідний мікрорельєф, він переважно своїм субмікрорельєфом видаляє основну частину нерівностей шорсткості оброблюваної поверхні [8].

Після декількох хвилин обробки вихідний мікрорельєф абразивних частинок замінюється робочим мікрорельєфом, а подальший з'їм металу до кінця циклу обробки буде визначатися параметрами цього мікрорельєфу. В цьому випадку шорсткість обробленої поверхні і з'їм металу будуть визначатися впливом на робочу поверхню абразивних зерен з робочим мікрорельєфом і дрібних відколів зерен утворюються в результаті їх викришування при терті між сусідніми зернами і об поверхню оброблюваної деталі. В цьому випадку дрібні відколи є продуктами зносу абразивних зерен. При цьому відбувається процес аналогічний виходжування поверхні, що дозволяє отримати оброблену поверхню з більш високими якісними характеристиками [9].

Експериментальні дані для складових сили різання на передній поверхні, отримані екстраполяцією на нуль товщини зрізу становлять – $P_z = 282$ Н, $P_y = 122$ Н (ширина зрізу 1,9 мм). Похибки розрахункових даних у порівнянні із експериментальними даними складає 7 % для складової P_z , та 30 % для P_y (велика похибка для P_y пояснюється тим, що при екстраполяції на нуль товщини зрізу з експериментальних даних виключається вплив радіуса заокруглення різальної та фаски зносу по задній поверхні). Нижня оцінка впливу коефіцієнту тертя на компоненти сили різання (по P_z) демонструє приріст P_z на 30 % при збільшенні коефіцієнту тертя μ у 3 рази.

Зміна величин сили різання є наслідком зміни характеристик процесу стружки утворення. Залежність сил різання від коефіцієнту тертя лінійна, тому розглянемо лише крайні точки чисельного експерименту – $\mu=0,1$ та $\mu=0,3$. Усадка стружки – параметр зв'язаний з відносною деформацією матеріалу – зростає від 2,8 до 3,22, довжина контакту стружки з передньою поверхнею зростає з 0,10 мм до 0,15 мм.

ВИСНОВКИ

Різальні інструменти, оснащені пластинами, що виготовлені із ПКНБ, дозволяють проводити високоефективну чистову лезову обробку виробів з Fe-C сплавів високої твердості (56–64 HRC), таких як загартовані леговані сталі, леговані та вибілені чавуни.

Різальні пластини із ПКНБ після додаткової фінішної обробки робочих поверхонь, дозволяють ефективно проводити чистове точіння загартованих сталей (ХВГ, ШХ15, 30ХГСА, 40Х, У8), чавунів (СЧ 18, ІЧХ 12, ІЧХ 22) твердістю 60–64 HRC при високих швидкостях різання

Машинобудування і зварювальне виробництво

$v = 200\text{--}300$ м/хв. Це дозволяє підвищити продуктивність обробки в 30-40 % у порівнянні із пластинами стандартного виконання.

При обробці з ударом найбільш перспективним є застосування різальних пластин після ВіМАО, що дозволяє отримати інструменти із зміцнюючою фаскою, такий інструмент за інтенсивністю зношування не поступаються світовим аналогам.

При високошвидкісному точінні забезпечується шорсткість обробленої поверхні на рівні $Ra\ 0,32\text{--}0,63$, $Rz\ 4\text{--}6$, що в ряді випадків дозволяє замінити на етапі чистової обробки операцію шліфування точінням інструментом, оснащеними композитами на основі кубічного нітриду бору.

Використання стандартних різальних пластин, виготовлених за вдосконаленою технологією, при високошвидкісній обробці забезпечує 8–12 періодів стійкості тривалістю 30–40 хв., що дозволяє виконувати обробку великогабаритних виробів за один прохід без зміни різального інструменту.

Список використаних джерел:

1. Investigation of the mechanical properties and cutting performance of cBN-based cutting tools with Cr_3C_2 binder phase / K. Slipchenko, I. Petrusha, V. Turkevich, J. Johansson, V. Bushlya, Jan-Eric Ståhlb // *Procedia CIRP*. – 2018. – Vol. 72. – P. 1433–1438.
2. Термобаричне спікання і працездатність різального композиту cBN-TiC групи VL при точінні загартованої сталі Caldie / I. A. Петруша [та ін.] // *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения* : сб. науч. тр. / ИСМ им. В. Н. Бакуля, НАН Украины. – К., 2015. – 548 с. – Вып. 18. – С. 338–345.
3. Chou, Y. K. Cubic boron nitride tool wear in interrupted hard cutting / Y. K. Chou, C. J. Evans // *Wear*. – 1999. – N 299. – P. 234–245.
4. The performance of polycrystalline cubic boron nitride tools in continuous, semi-interrupted, and interrupted hard machining / T. Halpin, G. Byrne, J. Barry, E. Ahearne // *Proc. IMechE*. – 2009. – Vol. 223, pt. B : J. Engineering Manufacture. – P. 947–953.
5. On the wear mechanisms of cubic boron nitride base cutting tool / S. A. Klimenko [et al.] // *Wear*. – 1992. – № 157. – P. 1–7.
6. Magnetic Abrasive Finishing of cutting tools for high-speed machining of titanium alloys / H. Yamaguchi [et al.] // *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. – 2014. – № 7 (4). – P. 299–304.
7. Fabrication techniques and cutting performance of micro-textured self-lubricating ceramic cutting tools by in-situ forming of $Al_2O_3\text{-TiC}$ / Y. Feng, Zhang [et al.] // *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. – 2017. – № 68. – P. 121–129.
8. Sugihara, T. Development of Novel CBN Cutting Tool for High Speed Machining of Inconel 718 Focusing on Coolant Behaviors / T. Sugihara, H. Tanaka, T. Enomoto // *Procedia Manufacturing*. – 2017. – №10. – P. 436–442.
9. Tool Wear and Machining Performance of cBN-TiN Coated Carbide Inserts and PCBN Compact Inserts in Turning AISI 4340 Hardened Steel / S. M. Abhijeet, J. Wenping, W. D. Brown, P. M. Ajay // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2006. – Vol. 180. – P. 253–262.

Бурлаков В. И.

ПРОЦЕСС ОБРАБОТКИ ВИБРО-МАГНИТНО-АБРАЗИВНЫМ СПОСОБОМ СВЕРХТВЕРДОЙ КЕРАМИКИ

В статье раскрыт механизм взаимодействия абразивных зерен при вибро-магнитно-абразивной обработке сверхтвердой керамики. Показано влияние единичного зерна на керамическую режущую поверхность. Рассмотрен процесс определения количества зерен, принимающих одновременно участие в обработке сверхтвердой керамики. Найден объем материала, удаляемого с поверхности заготовки одним режущим зерном. Сделано предположение о том, что при обработке сверхтвердой керамики принимают участие богатая совокупность вершин абразивных зерен, и они могут контактировать с поверхностью обрабатываемой какой-либо вершиной, ребром и гранью с одинаковой долей вероятности. Поверхности абразивных зерен, а именно площадь контакта которых с образцом может быть решающим фактором при определении качества и производительности алмазно-абразивной обработки сверхтвердой керамики.

Ключевые слова: *скорость съема материала, поверхности абразивных зерен, абразивная обработка, сверхтвердая керамика, пятно контакта, силы резания, вибро-магнитно-абразивная обработка.*

Burlakov V. I.

PROCESS OF PROCESSING BY VIBRO-MAGNETIC-ABRASIVE METHOD OF SUPERHARD CERAMICS

The mechanism of interaction of abrasive grains at vibro-magnetic-abrasive processing of superhard ceramics is opened in the article. The influence of a single grain on a ceramic cutting surface is shown. The process of determining the number of grains that simultaneously participate in the processing of superhard ceramics is considered. The mechanism of material removal in the process of processing superhard ceramics is revealed. The speed of material removal is calculated, the values of the components of cutting forces are found. The volume of material to be removed from the workpiece surface by one cutting grain was found. It is calculated that in the cutting process involved N cutting grains and finding the volume of material to be removed from the workpiece surface arranged in a row of cutting grains is also calculated. The diameter of the elementary contact spot was detected and calculated. The bases for revealing of size of productivity of vibro-magnetic-abrasive processing of superhard ceramics are given. The contact area on the surface of superhard ceramics is determined. It is assumed that in the processing of superhard ceramics involved a rich set of tops of abrasive grains and they can come into contact with the surface treated by any vertex, edge and face with the same probability. It is shown at what expense abrasive processing of superhard ceramics can be carried out. It is assumed that the microprofile of abrasive grains is constantly updated during processing. It is shown that the removal of the material takes place mostly by protrusions of micro- and submicro-relief. The surface of abrasive grains, namely the area of contact with the sample can be a decisive factor in determining the quality and productivity of diamond-abrasive processing of superhard ceramics. Experimental data for the components of the cutting force on the front surface were obtained. The number of protrusions-contacts which left imprints of crystals of hard and soft abrasive materials on a cellophane film is shown.

Keywords: *material removal rate, abrasive grain surfaces, abrasive treatment, superhard ceramics, contact spot, cutting forces, vibro-magnetic-abrasive treatment*

Стаття надійшла 20.05.2021 р.