

## ВІБРАЦІЙНЕ СВЕРДЛІННЯ – ЕФЕКТИВНИЙ СПОСІБ ОТРИМАННЯ ОТВОРІВ У ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ МАТЕРІАЛАХ

Вінницький національний технічний університет

*Проаналізовано основні тенденції створення та розвитку способів і пристроїв для вібраційного свердління. Обґрунтовано переваги вібраційного свердління перед традиційними способами оброблення матеріалів.*

### ВСТУП

Свердління глибоких отворів та отворів малого діаметра є технологічно складним механічним процесом обробки матеріалів різанням, особливо під час свердління в'язких тугоплавких матеріалів таких як нержавіючі сталі, кольорові метали, кобальтові та вольфрамові сплави і т. ін., через утворення безперервної (зливної) стружки. Головною проблемою цього процесу є ускладнення видалення стружки із зони різання, тому що, зазвичай, стружка не ламається та залишається в оброблюваному отворі, створюючи ефект ущільнення, що призводить до надлишкового напруження та нагрівання інструмента, і може спричинити поломку свердла.

Одним із найбільш ефективних методів подрібнення неперервної стружки є застосування вібраційного свердління (вібросвердління) [1–6], що гарантовано забезпечує подрібнення неперервної стружки будь-якого матеріалу за будь-яких режимів різання. Широке впровадження вібросвердління в матеріалообробці стримується відсутністю простих у виготовленні та експлуатації пристроїв. Тому аналіз існуючих способів і пристроїв для вібросвердління є актуальною науковою та інженерною задачею.

### ОСНОВНА ЧАСТИНА

В залежності від частоти вібрації вібросвердління умовно поділяють на: низькочастотне (до 200 Гц), високочастотне (200...15000 Гц) та ультразвукове (понад 15 000 Гц) [1]. Ультразвукове вібросвердління використовують для обробки глибоких отворів малого діаметра та отворів високої точності (4–5 квалітетів) у твердих важкооброблюваних матеріалах, оскільки вібрації якісно впливають на механізм стружкоутворення, підвищуючи шорсткість і точність обробки деталі [3]. Низькочастотне вібросвердління використовують для подрібнення неперервної стружки, оскільки під час вібросвердління утворюється сегментна стружка, яка відносно легко видаляється із робочої зони.

Аналіз останніх публікацій [3–7] показав, що область використання вібраційного свердління за останні 20 років значно зросло. Це пов'язано із появою нових матеріалів та підвищення вимог до точності оброблення отворів.

Згідно з результатами досліджень процесу вібросвердління встановлено, що використання вібрацій дозволяє зменшити силу різання, необхідну для оброблення матеріалу на 60–70 % та осьове навантаження на інструмент на 25–30 %. Такі висновки зроблені в результаті аналізу проведених експериментальних досліджень, під час яких оброблялись отвори діаметром 9,5 мм, глибиною 20 мм та подачею 0,05 мм/с за частоти до 100 Гц [3] у скляній заготовці. Отримані результати дослідження наведено у вигляді діаграми залежності сили різання від глибини оброблюваного отвору на рисунку 1. Зменшення сили різання під час вібросвердління дозволяє збільшити довговічність та довжину свердл, що було підтверджено експериментально з використанням свердл довжиною 25 мм [3]. Результати проведених дослідів показані на рисунку 2. Збільшення довговічності інструмента також підтверджено експериментальними дослідженнями японських вчених під час обробки тонкого листового металу, для виготовлення комп'ютерних плат, товщиною 2,5 мм свердлом, діаметр якого становив 0,7 мм. Отримані результати наведені на рисунку 3 [2].

Завдяки зменшенню осьового навантаження та крутного моменту на свердло, можлива зміна режиму оброблення шляхом збільшення швидкості свердління. За рахунок більшої подачі без поломки інструмента. Одним свердлом можна виготовити більшу кількість отворів, що підтверджено експериментально [3]. Отримано також результати [3] збільшення довговічності свердла під час вібросвердління за більшої подачі порівняно зі звичайним свердлінням (рисунок 4).

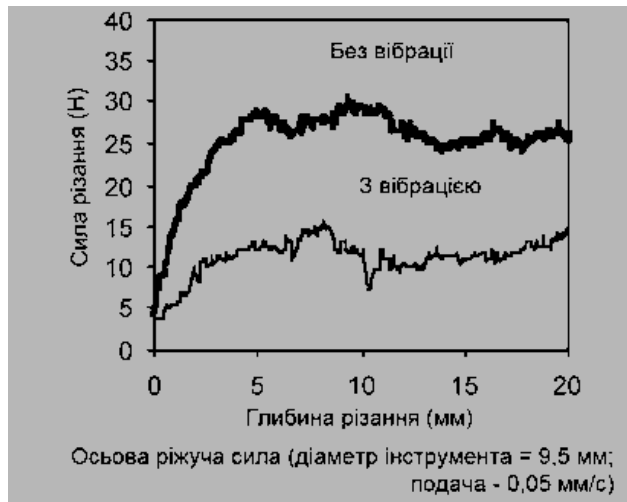


Рисунок 1 – Залежність сили різання від глибини різання під час свердління із застосуванням вібрацій і без них

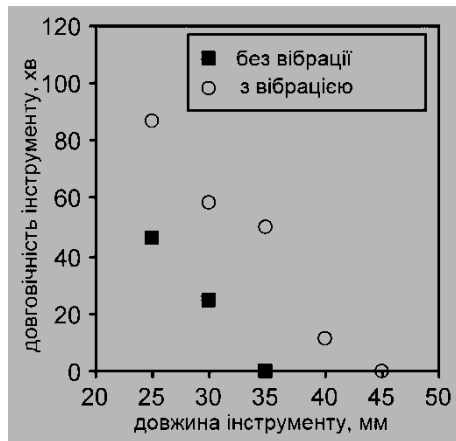


Рисунок 2 – Залежність довговічності інструмента від його довжини під час свердління із застосуванням вібрацій і без них

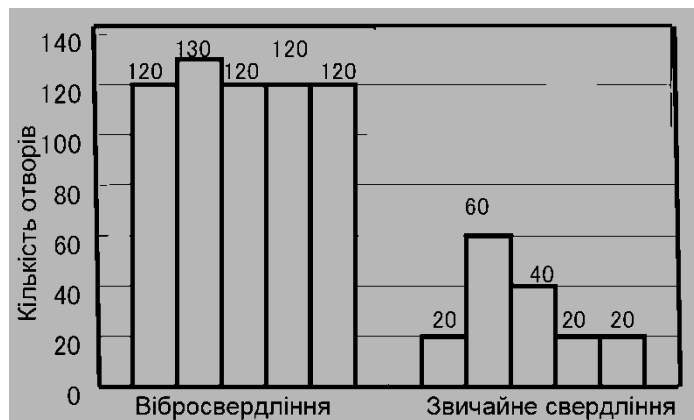


Рисунок 3 – Кількості отворів, виготовлених вібраційним та звичайним свердлінням за різних параметрів

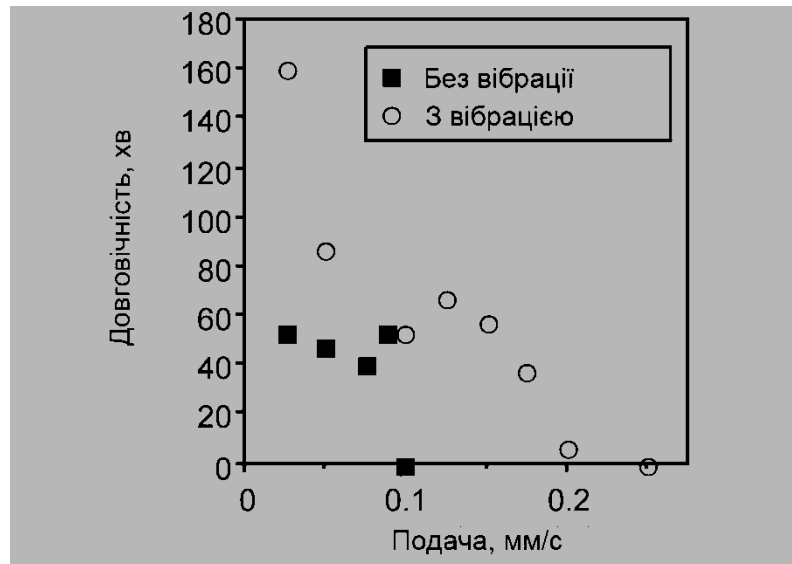


Рисунок 4 – Залежність довговічності свердла від його подачі для випадків свердління з вібрацією та без неї

Експериментальними дослідженнями наведеними в роботі [3], було встановлено, що виконання мікроотворів за допомогою віброствердління дозволяє отримати більш точні поверхні, ніж під час оброблення без вібрацій. Результати цих досліджень показані на фотознімках (рисунок 5). Дослідженнями авторів роботи [3] доведено доцільність використання віброствердління для оброблення глухих отворів, оскільки під час віброствердління на дні отвору не утворюються сліди оброблення у вигляді концентричних кіл (рисунок 6), що підвищує точність обробленої поверхні.

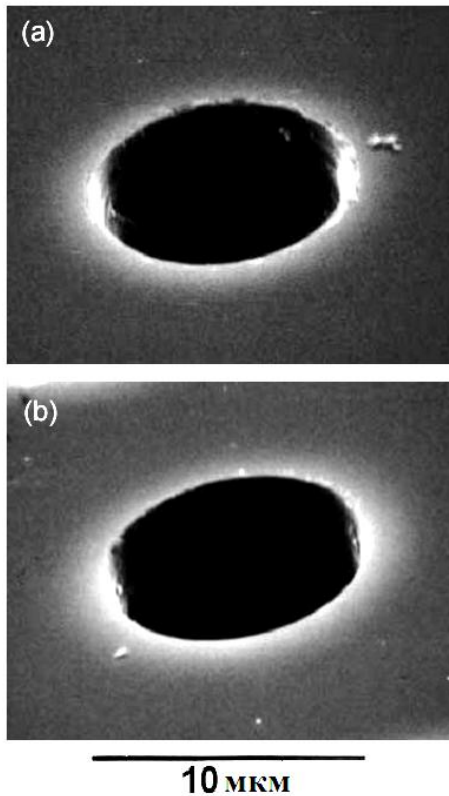


Рисунок 5 – Фотознімки мікроотворів діаметром 10 мкм та глибиною 20 мкм утворених без вібрацій (а) і з ними (б).

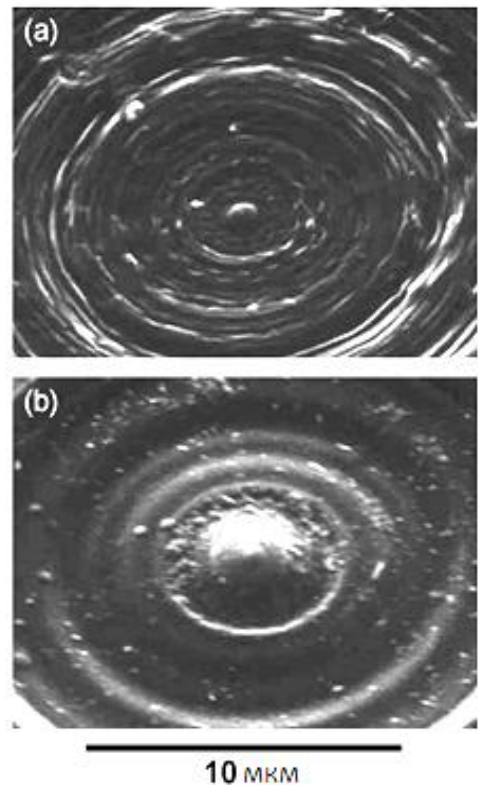


Рисунок 6 – Фотознімки дна глухого отвору під час свердління без вібрацій (а) і з ними (б).

Після оброблення отворів звичайним свердлінням на поверхні заготовки (див. рисунок 5а) утворюються задирки, утворення яких є одним з негативних аспектів процесу свердління. Вібросвердління дозволяє зменшити висоту задирок, що встановлено під час експериментальних досліджень, результати яких наведені в роботі [4] (рисунок 7). В роботі [4] описано експериментальне свердління в алюмінієвій заготовці деякої кількості отворів свердлом діаметром 5 мм з частотою вібрацій до 100 Гц. З фотознімків поперечних перерізів отворів (див. рисунок 7) видно, що розміри задирок значно менші у випадку вібросвердління, що є ефективним методом боротьби із задирками, що утворюються під час свердління на вході та виході отвору. Це дозволяє спростити операції зачищення отворів після свердління та зменшити час на виготовлення деталей.

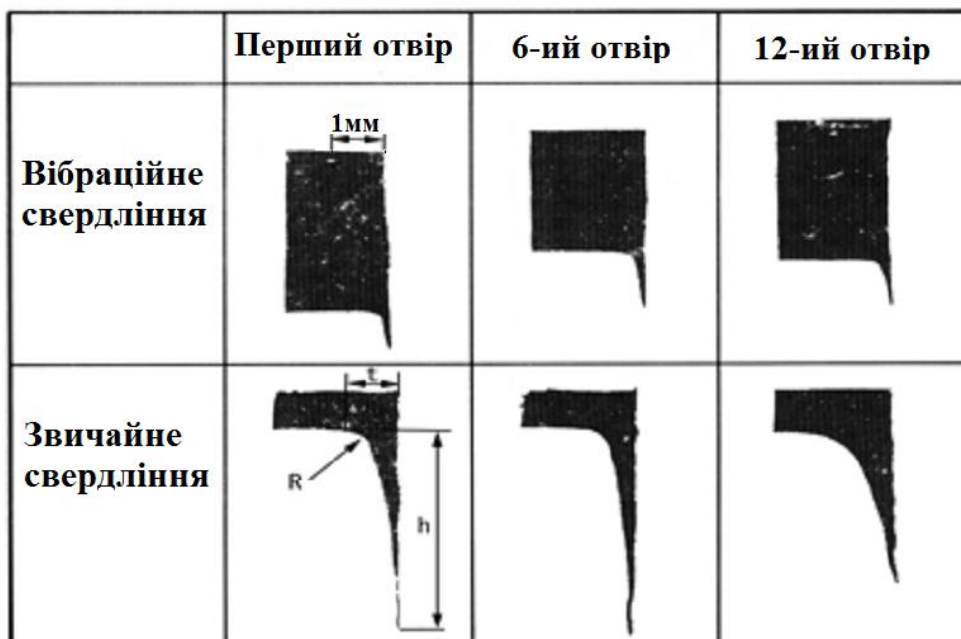


Рисунок 7 – Поперечні перерізи утворених задирок під час свердління з вібраціями та без них

Наведені вище результати досліджень вібросвердління та аналіз способів віброрізання та пристроїв для їх реалізації, виконаний авторами цієї статті в роботах [1, 9–10] показали, що в загальному обсязі використання процесів вібросвердління найбільшу «вагу» має низькочастотне вібросвердління.

Пристрої для низькочастотного вібросвердління можуть будуватись з різними типами приводів – механічними, гідравлічними, електричними, електромагнітними та пневматичними [1]. Якщо до процесу вібросвердління не висуваються особливі вимоги, то найбільш швидко можуть бути впроваджені у виробництво прості механічні пристрої типу вібропатронів, які приводяться в дію від шпинделя свердлильного верстата.

Авторами запропоновано просту конструкцію пристрою для низькочастотного віброрізання (вібропатрон) з силовою ланкою у вигляді прорізної пружини. Конструкція вібропатрона захищена патентом України [10].

Конструкцію пристрою зображено на рисунку 8. Пристрій кріпиться у патроні верстата натискним хвостовиком 2 за допомогою конуса Морзе. Інший кінець хвостовика, оформлений у вигляді циліндричного грибка, розташовано в розточці корпусу 1. Циліндрична частина хвостовика 2 направляється в отворі гвинтом 4, вкрученим в корпус пристрою 1. Гвинт 4 також притискає хвостовик 2 за допомогою прорізної пружини 7 до інструментального хвостовика 3. Для запобігання викручування гвинта 4 з корпусу 1, він фіксується гайкою 5 і штопорною шайбою 9 натискного хвостовика 2. На торці плоскій поверхні грибка утворено глухі отвори, в яких розташовано кульки 6. Кульки 6 виступають з натискного хвостовика на  $\sim 0,67$  мм і опираються у заглибини конічної форми, виконанні в грибку інструментального хвостовика 3, інший кінець якого оформлено з внутрішнім конусом Морзе, в який вставляється свердло.

З метою зменшення сили тертя між поверхнями гвинта 4 та пружини 7 під час регулювання її деформації, між гвинтом 4 і пружиною 7 встановлено підшипник ковзання 8, виготовлений з

висоякісної сталі для забезпечення достатньої зносостійкості. Поверхні контакту підшипника 8 мають антифрикційне покриття.

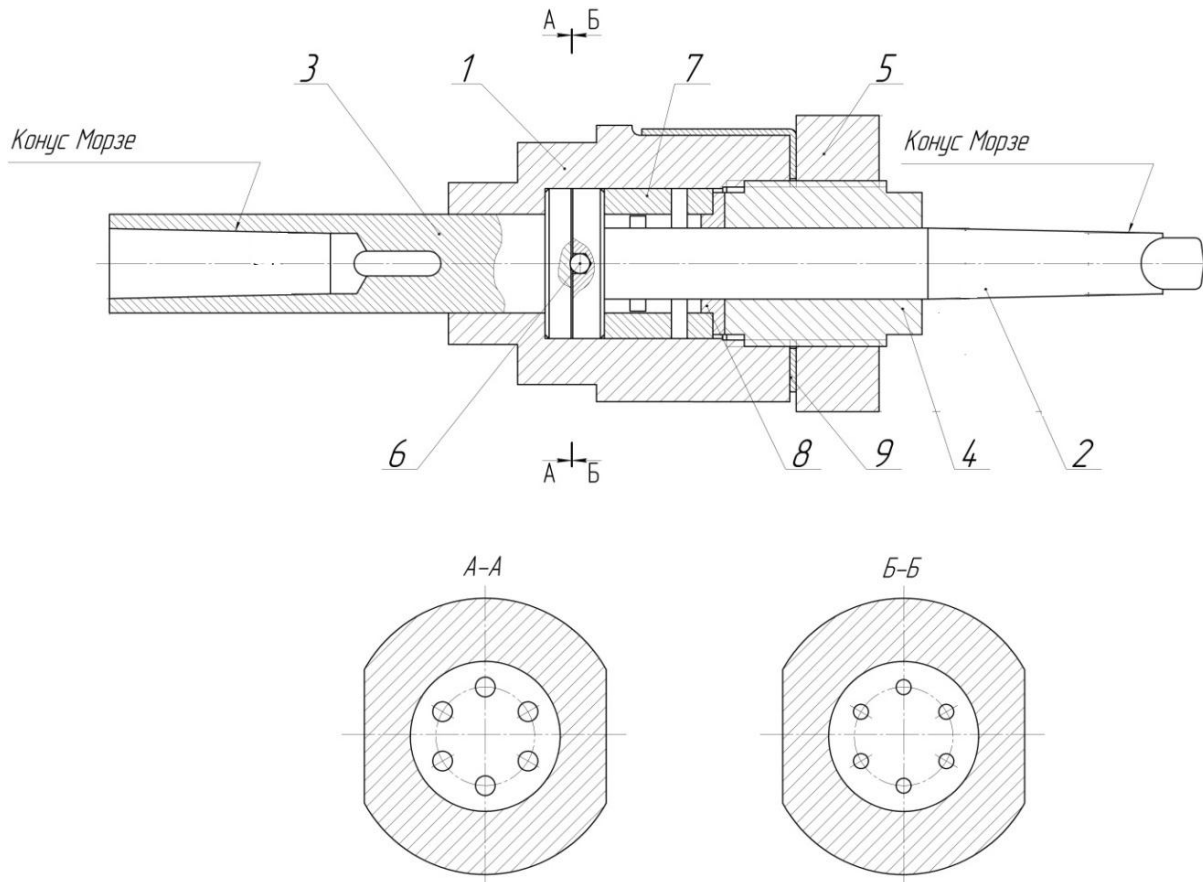


Рисунок 9 – Конструкція пристрою (вібропатрона) для низькочастотного віброствердління

Вібропатрон працює так. Сила, з якою прорізна пружина 7 притискає грибок натискного хвостовика 2 до грибка інструментального грибка 3, визначається через момент свердління  $T_{св}$  та момент тертя  $T_f$ , що утримує кульки 6 в конічних заглибинах, утворених на плоскій поверхні грибка інструментального хвостовика 3. Умова безвібраційного свердління  $T_{св} \leq T_f$ . У випадку порушення цієї умови ( $T_{св} > T_f$ ), кульки 6 виходять із заглибини на торці грибка інструментального хвостовика 3 і відбувається переривання процесу різання. Періодичний вихід кульок 6 із заглибини і повертання їх разом із натискним хвостовиком 2 в коловому напрямку відносно інструментального хвостовика 3 спричиняють вібраційне навантаження свердла з амплітудою (~0,25 мм), що визначається глибиною конічних заглибин на торці грибка інструментального хвостовика 3, та частотою обертання шпинделя свердлильного верстата. Конічні заглибини на торці грибка інструментального хвостовика 3 за суттю є похилими площинами – своєрідними плоскими кулачками. Момент тертя  $T_f$  регулюється силою притискання прорізної пружини 7.

У випадку малих свердел замість прорізної пружини 7 можна використовувати виті циліндричні пружини. Для свердел середніх діаметрів можна застосовувати пакети тарілчастих пружин.

## ВИСНОВКИ

Теоретичними та експериментальними дослідженнями, проведеними зарубіжними та вітчизняними вченими, доведено переваги віброствердління порівняно з традиційним (безвібраційним).

Установлено, що віброствердління особливо ефективно під час обробки важкооброблюваних матеріалів, яке запобігає утворенню зливної стружки та підвищує точність оброблення.

Реалізація віброствердління може здійснюватись пристроями з різними типами приводів, з яких, за умови відсутності особливих вимог до процесу віброствердління, найбільш простими та компактними є вібропатрони з механічним приводом від шпинделя свердлильного верстата.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Обертюх Р. Р. Пристрої для віброточіння на базі гідроімпульсного приводу / Р. Р. Обертюх, А. В. Слабкий. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 164 с.
2. H. Yagishita. Effect of ultrasonic torsional mode vibration cutting on drilling in CFRP Laminates, - Vice President of Numazu National Colleg of Technogy, Japan. – 2008. Режим доступу: [http://www.aspe.net/publications/Spring\\_2007/Spr07Ab/2103-Yagishita.pdf](http://www.aspe.net/publications/Spring_2007/Spr07Ab/2103-Yagishita.pdf).
3. K. Egashira Ultrasonic vibration drilling of microholes in glass / K. Egashira, K. Mizutani: [submitted by T. Nagao]. – Kinki University, Uchita, Tosayamada, Kochi, Japan. Режим доступу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850607615315>.
4. K. Adachi. Astudy on burr low frequency vibratory drilling / K. Adachi, A. Yoshikawa, K. Sakurai [edited by J. F. Nie, A. J. Morton and B. C. Mudle]. – Inststute of Materials Engineering Australasia Ltd, Materials forum. – Volume 28. – Published 2004.
5. Повышение эффективности вибрационной обработки глубоких отверстий / О. И. Драчев, Г. В. Тараненко, В. А. Тараненко, А. Свиць // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 2008, – Т. LXI, № 2.
6. Кумабэ Д. Вибрационное резание / Д. Кумабэ ; пер. с яп. С. Л. Масленникова ; под ред. И. И. Портнова, В. В. Белова. – М. : Машиностроение, 1985. – 424 с.
7. Пестунов В. М. Використання методів вібраційного свердління в сільськогосподарському машинобудуванні / В. М. Пестунов, В. В. Свяцький, Л. П. Свяцька. Режим доступу: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP\\_meta&C21COM=S&2\\_S21P03=FILA=&2\\_S21STR=Zmntz\\_2010\\_40\(2\)\\_\\_33](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=Zmntz_2010_40(2)__33).
8. Существующие методы обеспечения низкочастотных вибраций инструмента с целью дробления стружки при сверление глубоких отверстий / С. А. Воронов, А. М. Гуськов, И. И. Иванов, и др. // Наука и Образование. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – № 12 . – С. 842 – 857. Режим доступу: <http://technomag.bmstu.ru/doc/748342.html>.
9. Обертюх Р. Р. Пристрій для віброточіння / Р.Р. Обертюх, М. В. Насонов, А. В. Слабкий // Сучасні технології в промисловому виробництві : матеріали міжвузівської науково-технічної конференції. – Суми : СумДУ, 2012. – Ч. 1.– С. 76 – 77.
10. Пат. №69738 Україна, МПК (2012.01) B23B47/00. Пристрій для віброточіння / Обертюх Р. Р., Слабкий А. В., Архипчук М. Р., Міськов В. П., заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u 2011 12869 ; заявл. 02.11.2011 ; опуб. 10.05.2012, Бюл. №9.

REFERENCES

1. Obertyuh R .R. Pristroyi dlya vIbrotochinnya na bazi gidroimpulsnogo privoda / R. R. Obertyuh, A. V. Slabkiy. – Vinnitsya: VNTU, 2015. –164s. (Ukr)
2. H. Yagishita. Effect of ultrasonic torsional mode vibration cutting on drilling in CFRP Laminates, - Vice President of Numazu National Colleg of Technogy, Japan. – 2008. Режим доступу: [http://www.aspe.net/publications/Spring\\_2007/Spr07Ab/2103-Yagishita.pdf](http://www.aspe.net/publications/Spring_2007/Spr07Ab/2103-Yagishita.pdf). (Eng)
3. K. Egashira Ultrasonic vibration drilling of microholes in glass / K. Egashira, K. Mizutani: [submitted by T. Nagao]. – Kinki University, Uchita, Tosayamada, Kochi, Japan. Режим доступу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850607615315>. (Eng)
4. K. Adachi. Astudy on burr low frequency vibratory drilling / K. Adachi, A. Yoshikawa, K. Sakurai [edited by J. F. Nie, A. J. Morton and B. C. Mudle]. – Inststute of Materials Engineering Australasia Ltd, Materials forum. – Volume 28. – Published 2004. (Eng)
5. Drachev O. I. Povishenie efektivnosti vibratsionnoy obrobotki glubokih otverstiy / O. I. Drachev, G. V. Taranenko, V. A. Taranenko, A. Svits // izv. NAN RA i GIUA. Ser. TN. 2008, T. LXI, №2. (Rus)
6. Kumabe D. Vibratsionnoe rezanie: Per. s yap. S. L. Maslennikova ; pod red. I. I. Portnova, V. V. Belova. – M.: Mashinostroenie, 1985. – 424 s. (Rus)
7. Pestunov V. M. Viktoristannya metodiv vibratsiyynogo sverdlinnya v silkogospodarskomu mashinobuduvanni / V. M. Pestunov, V. V. Svyatskiy, L. P. Svyatchka. Rezhim dostupu: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP\\_meta&C21COM=S&2\\_S21P03=FILA=&2\\_S21STR=Zmntz\\_2010\\_40\(2\)\\_\\_33](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=Zmntz_2010_40(2)__33). (Rus)
8. Sushhestvuyushhy`e metodyi obespecheny`ya ny`zkochastonyix vybracyj ynstrumenta s celyu drobleny`ya struzhky` pry` sverleny`e gluboky`x otversty`j / S. A. Voronov, A. M. Gus`kov, I. I. Ivanov, i

dr. // Nauka y` Obrozovany`e. MGTU y`m. N. E. Baumana, 2014. – № 12 . – S. 842 – 857. Rezhim dostupu: <http://technomag.bmstu.ru/doc/748342.html>. (Rus)

9. Obertyuh R. R. Pristriy dlya vibrosverdlinnya / R.R. Obertyuh, M .V. Nasonov, A. V. Slabkiy // Suchasni tehnologiyi v promislovomu virobnitstvi : materiali mizhvuzivskoyi naukovo-tehnichnoyi konferentsiyi. – Sumi : SumDU, 2012. – Ch. 1.– S 76 –77. (Ukr)

10. Pat. №69738 Ukrayina, MPK (2012.01) V23V47/00. Pristriy dlya vibrosverdlinnya/ Obertyuh R. R., Slabkiy A. V., Arhipchuk M. R., Miskov V. P. zayavnik i patentovlasnik Vinnitskiy natsionalniy tehnichniy univesitet. – № u 2011 12869 ; zayavl. 02.11.2011 ; opub. 10.05.2012, Byul. №9. (Ukr)

**Р. Р. Обертюх, А. В. Слабкий**

## **ВІБРАЦІЙНЕ СВЕРДЛІННЯ – ЕФЕКТИВНИЙ СПОСІБ ОТРИМАННЯ ОТВОРІВ У ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ МАТЕРІАЛАХ**

Вінницький національний технічний університет

Об'єкт дослідження – пристрої для вібраційного свердління.

Мета роботи – аналіз результатів досліджень зарубіжних та вітчизняних вчених в області оброблення отворів за допомогою вібраційного свердління.

Аналіз теоретичних та експериментальних досліджень оброблення отворів в металах та неметалах за допомогою вібраційного свердління показав суттєві переваги над традиційними методами отримання отворів. Встановлено, що під час використання вібросвердління забезпечується підвищення якості та точності обробленні поверхні зі збільшенням при цьому довговічності різального інструменту.

Ґрунтуючись на отриманих результатах запропоновано нову конструкцію механічного пристрою для вібраційного свердління, який монтується безпосередньо в шпинделі верстата без зміни його конструкції.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ВІБРАЦІЙНЕ СВЕРДЛІННЯ, ОТВІР, ВІБРАЦІЇ, СИЛА РІЗАННЯ, СВЕРДЛО, ОБРОБЛЕННЯ

Обертюх Роман Романович, кандидат технічних наук, доцент, Вінницький національний технічний університет, професор кафедри металорізальних верстатів та обладнання автоматизованих виробництв ВНТУ, e-mail: obertyuh557@gmail.com, тел. +380432598523, Україна, 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, кімн. 1204.

Слабкий Андрій Валентинович, кандидат технічних наук, Вінницький національний технічний університет, старший викладач кафедри металорізальних верстатів та обладнання автоматизованих виробництв ВНТУ, e-mail: SlabkiyAndrey@gmail.com, тел. +380432598523, Україна, 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, кімн. 1204.

**R. R. Obertykh, A. V Slabkiy**

## **VIBRATING DRILLING – AN EFFICIENT METHOD FOR HOLES IN HARD MATERIALS**

Vinnitsia National Technical University

A research object is the devices for vibration drilling.

Purpose of the work – examine the results of studies of foreign and domestic scientists in the field of cutting holes using vibration drilling.

Analysis of theoretical and experimental studies of processing holes in metals and non-metals using vibration drilling has shown significant advantages over traditional methods of obtaining holes. Established that the when using vibration drilling is ensured by improving the quality and accuracy of processing surface with increased longevity of cutting tools.

Based on the got results the offered new construction of mechanical device for the vibration drilling, which is assembled directly in spindle of machine-tool without the change of his construction.

KEYWORDS: VIBRATION DRILLING, HOLE, VIBRATION, CUTTING FORCE, DRILLS, PROCESSING.

Obertykh Roman R., Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Vinnytsia National Technical University, Professor of department of machine tools and automated production equipment VNTU, e-mail: obertyuh557@gmail.com, tel. +380432598523, Ukraine, 21021, Vinnitsa, 95, Khmelnytsky Highway St., apt. 1204.

Slabkiy Andrey V., Cand. Sc. (Eng.), Vinnytsia National Technical University, Senior lecturer of department of machine tools and automated production equipment VNTU, e-mail: SlabkiyAndrey@gmail.com, tel. +380432598523, Ukraine, 21021, Vinnitsa, 95, Khmelnytsky Highway St., apt. 1204.

**Р. Р. Обертюх, А. В. Слабкий**

## **ВИБРАЦИОННЫЕ СВЕРЛЕНИЯ – ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ В ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛАХ**

Винницкий национальный технический университет

Объект исследования – устройства для вибрационного сверления.

Цель работы – анализ результатов исследований зарубежных и отечественных ученых в области обработки отверстий с помощью вибрационного сверления.

Анализ теоретических и экспериментальных исследований обработки отверстий в металлах и неметаллах с помощью вибрационного сверления показал существенные преимущества перед традиционными методами получения отверстий. Установлено, что при использовании вибросверления обеспечивается повышение качества и точности обработки поверхности с увеличением при этом долговечности инструмента.

Основываясь на полученных результатах предложена новая конструкция механического устройства для вибрационного сверления, которое монтируется непосредственно в шпинделе станка без изменения его конструкции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ВИБРАЦИОННОЕ СВЕРЛЕНИЯ, ОТВЕРСТИЕ, ВИБРАЦИИ, СИЛА РЕЗАНИЯ, СВЕРЛО, ОБРАБОТКА.

Обертюх Роман Романович, кандидат технических наук, доцент, Винницкий национальный технический университет, профессор кафедры металлорежущих станков и оборудования автоматизированных производств ВНТУ, e-mail: obertyuh557@gmail.com, тел. +380432598523, Украина, 21021, г. Винница, ул. Хмельницкое шоссе, 95, комн. 1204.

Слабкий Андрей Валентинович, кандидат технических наук, Винницкий национальный технический университет, старший преподаватель кафедры металлорежущих станков и оборудования автоматизированных производств ВНТУ, e-mail: SlabkiyAndrey@gmail.com, тел. +380432598523, Украина, 21021, г. Винница, ул. Хмельницкое шоссе, 95, комн. 1204.