

### Литература

1. <http://www.anca.com/Applications/Articles/Medical-Applications/Knees-Please-Orthopedic-Implant-Grinding> (Колени Пожалуйста - Шлифование ортопедических имплантатов)
2. <http://www.sapr.ru/Article.aspx?id=6964> (Опыт использования Power Solution в инструментальном производстве).
3. [http://detc.usu.ru/assets/amath0021/l3\\_3.htm](http://detc.usu.ru/assets/amath0021/l3_3.htm) 3.3 (Графики в трехмерном пространстве).
4. Возный В.В. Построение лекальных кривых для моделирования рабочих поверхностей эндопротеза коленного сустава человека: Зб. науч. работ. - Харків НТУ «ХПИ»: 2007. – Вып. 2. -С. 64-71.

Поступила 06.05.11

УДК 66.933

Я. О. Подоба

*Институт надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, м. Київ*

### СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ І УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ЕЛЕКТРОСПІКАННЯ КАМ НА МЕТАЛЕВІЙ ЗВ'ЯЗЦІ

*Розроблена комп'ютеризована система моніторингу та керування процесом інтенсивного електроспікання, за допомогою якої було досліджено процеси ущільнення та консолідації порошкових композитів. Досліджено вплив тиску та щільності електричного струму на кінетику усадки композитних алмазовмісних матеріалів.*

**Ключові слова:** Система моніторингу, ущільнення, консолідація, порошкові композити.

Як альтернатива традиційним технологіям спікання композиційних алмазовмісних матеріалів (КАМ) з металевою матрицею, і насамперед гарячого пресування, в Інституті надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України розроблюють метод інтенсивного електроспікання під тиском до 500 МПа [1–4]. Відомий ще з тридцятих років минулого століття як «спікання опором», цей метод останнім часом набув широкого застосування (наприклад, [5–9]) завдяки малій енергомісткості, відсутності, на відміну від вільного спікання, зростання зерен та пор, що сприяє формуванню однорідної структури матеріалу. Технологія інтенсивного електроспікання за підвищеного тиску забезпечує виготовлення готового виробу за час від одиниць або десятків секунд. Короткотривалість інтенсивного електроспікання робить його перспективним зокрема для виготовлення виробів з алмазовмісних композитних матеріалів, забезпечуючи повніше порівняно з іншими методами збереження цілісності алмазів, а отже, підвищену працездатність і стійкість оснащеного ними інструмента. Втім, зауважемо, що належна якість виробів досягається лише за певної комбінації технологічних параметрів, зокрема сили струму і зумовленої нею потужності тепловиділення, тиску і тривалості процесу. Для забезпечення дотримання технологічних параметрів та реакції на їх зміну розроблено комп'ютеризовану систему моніторингу та управління інтенсивним електроспіканням.

#### Опис системи

*Апаратні засоби системи моніторингу.* Передбачено два основних режими роботи установки інтенсивного електроспікання. Згідно з першим жорстко задаються режим роботи і максимальні значення параметрів (сили струму, часу, енергії або усадки), після досягнення чого система моніторингу видає керуючий сигнал про вимкнення електричного струму. Як варіант передбачено двоетапний режим нагрівання, що реалізується шляхом відповідної комутації регуляторів  $R1$  і  $R2$ , включених в електричну схему установки (рис. 1).

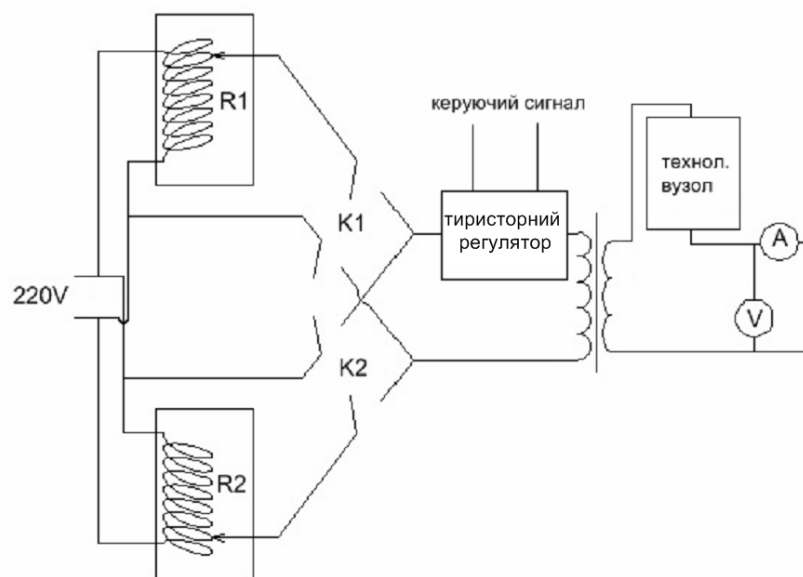


Рис. 1. Електрична схема установки для інтенсивного електроспінання

З огляду на викладене, після виходу процесу на потрібний температурний режим він підтримується деякий час на постійному рівні шляхом зменшення потужності джерела струму. У другому варіанті рішення про завершення електроспінання приймає програмне забезпечення на підставі моделювання в режимі реального часу процесу ущільнення заготовки після досягнення критерієм якості КАМ певного значення (рис. 2).

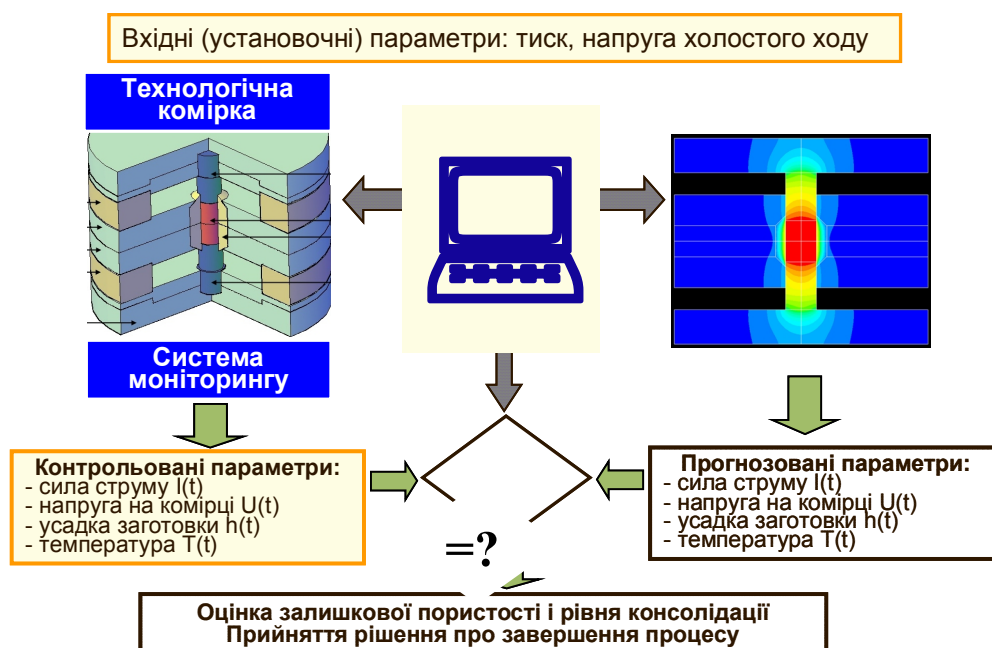


Рис. 2. Блок-схема системи комп'ютеризованого управління електроспінанням

З метою управління силою струму в режимі реального часу на установці змонтований блок управління на базі тиристорного регулятора БС1100 з контролером VIPA 100 та додаткових блоків до нього, а також ЦАП і-7120 фірми ICP DAC. Завдання цього блоку – стабілізація заданої сили струму, що протікає технологічним вузлом, або напруги, безпосередньо прикладеної до комірки.

Апаратні засоби системи моніторингу забезпечують збирання та первинне оброблення аналогових сигналів, які після відцифрування блоком АЦП надсилаються інтерфейсом RS-232 до комп'ютера. На рис. 3 зображено основні складові системи та канали взаємозв'язку між ними.

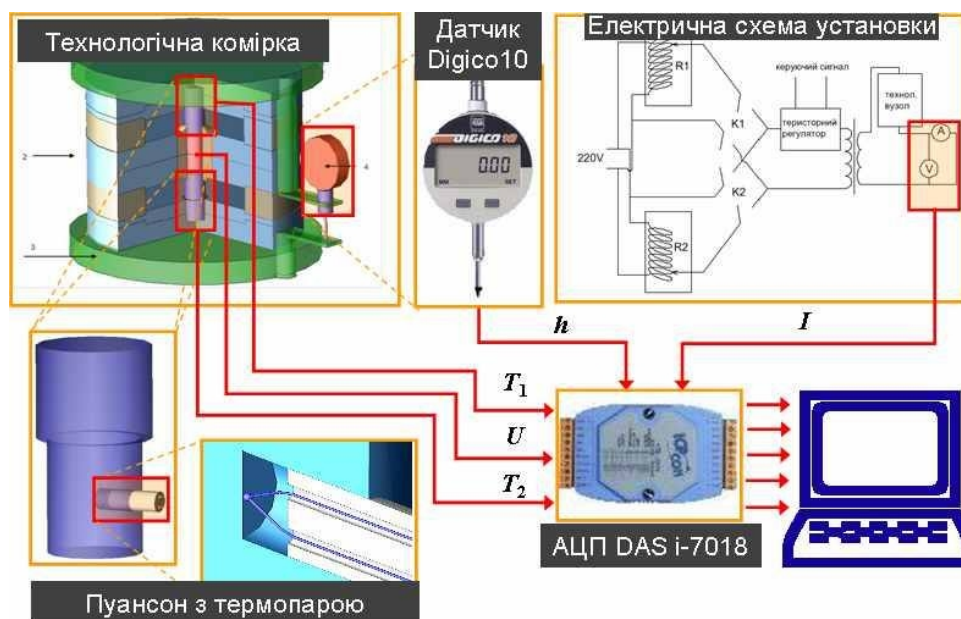


Рис. 3. Блок-схема апаратних засобів системи моніторингу

Зазначимо, що температура та різниця потенціалів знімаються безпосередньо з пуансонів, таким чином опір, системи складається лише з опору зразка, контактного опору між зразком та пуансоном та опору частини пуансона. Аналогові значення напруги, температури, сили струму, зняті з трансформатора струму, надсилаються до АЦП і після відцифрування сигналів надходять інтерфейсом RS-485 до конвертора інтерфейсу, що перетворює інтерфейс RS-485 на RS-232, зрозумілий комп'ютеру. Значення величини усадки фіксується датчиком лінійних переміщень Digico 10 і портом RS-232 надходить до комп'ютера. Оскільки установка для інтенсивного електроспінання використовує змінну силу струму промислової частоти, потрібно перетворити її на постійну. Це виконує блок попереднього оброблення сигналів, причому постійну силу струму, яку видає блок, дорівнює діючому значенню змінного струму. Отже, до АЦП надходить сигнал, що відповідає діючому значенню сили струму.

**Програмне забезпечення.** Зазначимо, що, як і в [10], маємо три основні складові комп'ютерної системи управління, а саме реологічну модель матеріалу, модель техпроцесу і програмні засоби моніторингу та управління. В основу комп'ютерного коду покладено модельні уявлення, що забезпечують прогнозування в режимі реального часу еволюції технологічних параметрів процесу, а також кінетики усадки однофазних і композитних порошкових заготовок як на етапі холодного пресування, так і ущільнення за інтенсивного електронагрівання. Вхідними параметрами моделі є технологічні параметри управління (осьовий тиск і сила струму), геометрія технологічного вузла й властивості матеріалу заготовки. Одночасно з проведенням експерименту проводиться аналіз комбінованої одновимірної моделі технологічного процесу (час, необхідний для її розв'язання, значно менший за дискретність виміру по часу для даної системи), звідки визначаються розрахункові значення технологічних параметрів таких як усадка, сила струму, напруга на комірці, температура. Різниця між модельними значеннями і поточними величинами технологічних параметрів є керуючим сигналом для зміни останніх. За розбіжності параметрів наперед задане значення програма видає коригуючий сигнал на цифро-аналоговий перетворювач, який, у свою чергу, передає сигнал на тиристорний регулятор, що змінює напругу холостого ходу трансформатора або силу струму, що протікає через зразок. Розв'язком задачі є розподіл температури по зразку, а також поточна оцінка залишкової пористості та ступеня консолідації зразка. Досягнення цими параметрами наперед заданого значення можна використовувати як умову завершення спікання.

#### Можливості системи

Система забезпечує контроль технологічних параметрів процесу таких як сила струму (в інтервалі 0 – 2,5 кА) та напруга (0 – 3,5 В) з похибкою до 3%, усадка (0 – 25 мм) з похибкою 0,1%, температура (в інтервалі від 20 до 1200 °С) - 2%. Для прийняття рішення про завершення процесу інтенсивного електроспінання системі потрібно близько 0,2 с. Як вхідні параметри система використовує силу струму, усадку та напруги, які визначаються безпосередньо під час експерименту, причому зна-

чення сили струму та напруги беруться в аналоговому вигляді. За вхідними даними будуються залежності сили струму, усадки, напруги, опору, провідності та питомого опору. Типові часові залежності контрольованих параметрів, одержаних системою моніторингу при електроспінанні кобальтової пресовки зображені на рис. 4.

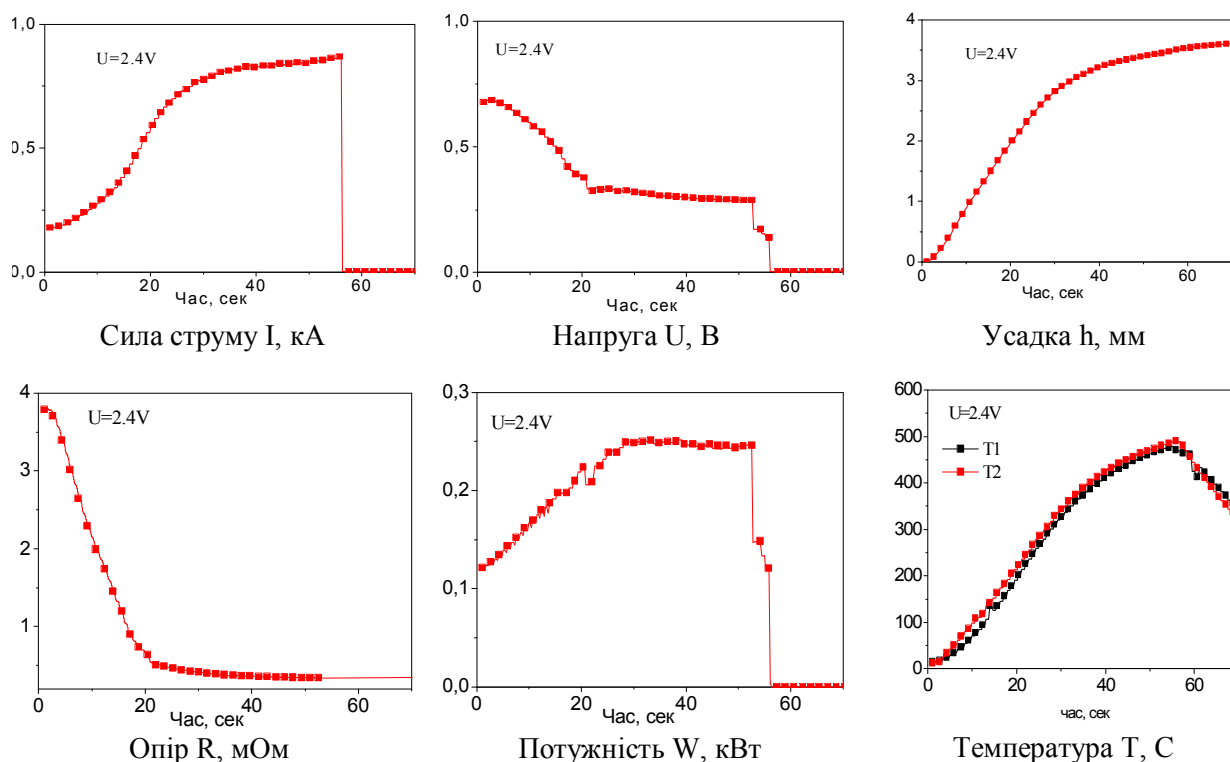


Рис. 4. Часові залежності сили струму, напруги, усадки, електроопору, потужності та температури, одержані системою моніторингу процесу інтенсивного електроспінання

### Приклад застосування системи

Аналіз даних, одержаних з допомогою системи моніторингу, дає змогу одержати інформацію про механізми і закономірності поведінки одно- та багатокомпонентних порошкових систем при інтенсивному електроспінанні. Зокрема, про температурну залежність межі плинності порошкового матеріалу. На рис. 5 наведено часові залежності усадки, відповідно, для значень осьового тиску від 150 до 300 МПа і  $U_0 = 2.8V$ . Заготовки КАМ з 75% умовною концентрацією ( $c = 0.187$ ) алмазів одержано холодним пресуванням в закритій прес-формі тиском  $P_0 = 500$  МПа, що значно перевищує тиск при спіканні. Як видно з рисунків, тиск суттєво впливає на хід процесу, зокрема, з рис. 5 видно, що має місце затримка початку пластичної течії і зумовлених нею усадки і ущільнення, при цьому затримка збільшується з ростом ( $P_0 - P$ ) і визначається моментом, коли внаслідок нагрівання межа плинності матеріалу основи зменшиться настільки, щоби для пористого КАМ виконалась умова макро пластичності. Так, для  $P = 150$  МПа така затримка складає більше 30 секунд, тоді як для  $P = 300$  МПа - близько 3 секунд. Це дає, крім усього іншого, простий метод, шляхом співставлення з показами термопар системи моніторингу, визначення температурної залежності межі плинності пористого КАМ.

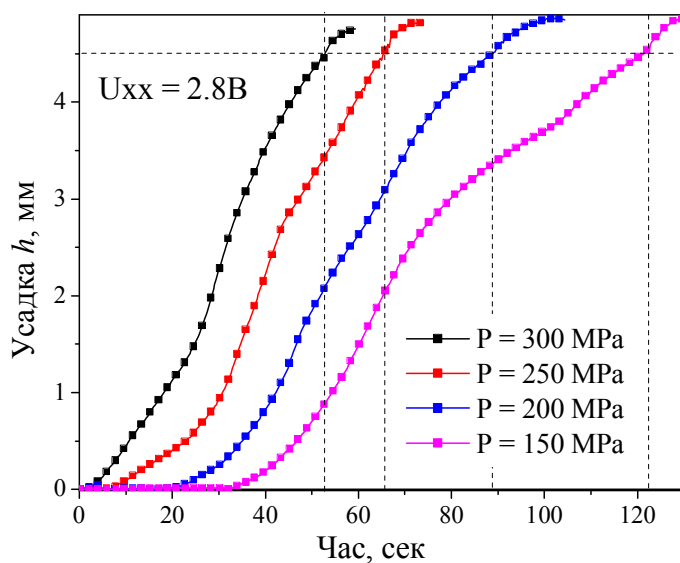


Рис. 5. Усадка як функція часу: вплив тиску

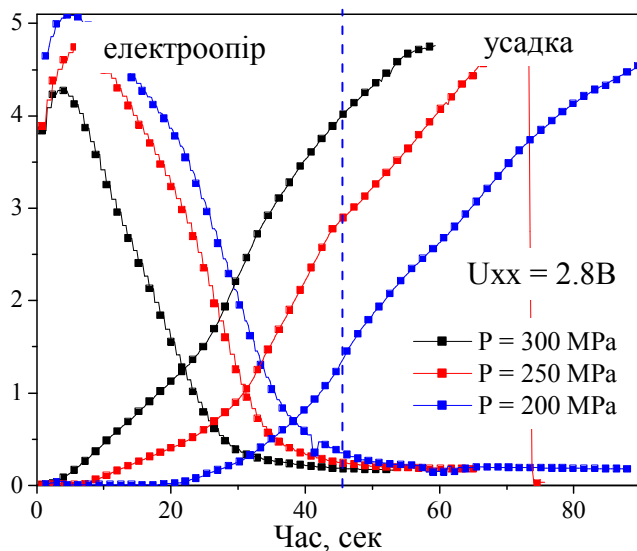


Рис. 6. Залежності усадки і електроопору (уцільнення і консолідація)

Крім безпосереднього впливу на пластичне деформування пористого зразка, тиск впливає також на його електропровідність, а також на контактні опори: зі збільшенням тиску зменшується опір, підвищуючи тим самим силу струму, потужність теплових джерел і зрештою швидкість нагрівання. Температура, у свою чергу, впливає на швидкість усадки і консолідації, що спричинює до подальше зменшення електроопору і так далі. В результаті стрімко знижується опір заготовки і збільшується сила струму вже на початковій стадії спікання: інтенсивність цих процесів, як і усадки, залежить від прикладеного тиску. Так, на рис. 6 бачимо, що хоча в момент часу  $t = 45$  с. порівнювані зразки знаходяться на різних стадіях уцільнення, їх опір є практично однаковим (втім, найнижчий для зразка, що спікається під найвищим тиском).

Це свідчить про те, що консолідація пористого матеріалу відбувається вже на початковій стадії спікання і при температурах 250 – 300 °С (схему вимірювання температури див. на рис. 3).

#### Висновки

Розроблена комп'ютерна система моніторингу і управління інтенсивним електроспіканням, по суті є автоматизованим робочим місцем дослідника-матеріалознавця і водночас засобом дослідження уцільнення та консолідації електропровідних порошкових систем і композитних матеріалів при інтенсивному термобаричному навантаженні. За допомогою цієї системи досліджено кінетику уцільнення та консолідації КАМ на кобальтовій зв'язці, її залежність від тиску пресування і інтенсивності електронагріву. Шляхом комп'ютерного експерименту визначено оптимальні параметри технологічного процесу, які забезпечують належну якість КАМ.

Створені апаратні і програмні засоби системи забезпечують інструментальний контроль технологічних параметрів процесу в реальному масштабі часу, а отже, стабільну якість спечених зразків КАМ.

Розвинуті принципи побудови програмного забезпечення моніторингу та управління інтенсивним електроспіканням, а також підхід до його оптимізації можна застосувати при розв'язанні задач оптимізації технологічних процесів у суміжних областях.

*Разработана компьютеризированная система контроля и мониторинга процесса интенсивного электроспекания с помощью, которой были исследованы процессы уплотнения и консолидации порошковых композитов. Исследовано влияние давления и плотности электрического тока на кинетику усадки композитных алмазосодержащих материалов на кобальтовой связке.*

**Ключевые слова:** Система мониторинга, уплотнение, консолидация, порошковые композиты.

*The computer-aided monitoring and control system for the intensive electro sintering technology has been developed. It provides studying the densification and consolidation of composite powder compacts due to intensive thermobaric loading. An effect of pressure and current density on the densification kinetics of diamond containing composite material with cobalt matrix has been investigated.*

**Key words:** Monitoring system, densification, consolidation, composite powder compacts.

#### Література

1. Майстренко А. Л., Иванов С. А., Переяслов В. П. Алмазно-твердосплавные композиционные материалы, получаемые методом скоростного электроспекания // Новейшие процессы и материалы в порошковой металлургии РМ 97: Тез. докл. междунар. конф. – К. 1997. – С. 332.
2. Интенсивное электроспекание алмазосодержащих композиционных материалов / А. Л. Майстренко, С. А. Иванов, В. П. Переяслов, М. Н. Волошин // Сверхтвердые материалы. – 2000. – № 5. – С. 39–45.

3. Пат. 20674 А Україна, МПК В22F 3/14. Технологічний вузол для електроспінання алмазовміс-тких виробів / В. П. Переяслов, А. Л. Майстренко, С. А. Иванов. – Заявл. 14.03.97, Опубл. 15.10.01. Бюл. № 9.
4. Пат. 57471 А Україна, МПК В22F 3/14, В01J3/06. Технологічний вузол для електроспінання / В. П. Переяслов, С. А. Иванов, А. Л. Майстренко, Р. І. Соробей.– Заявл. 24.10.02, Опубл. 16.06.03. Бюл. № 6.
1. 5. Application of resistance sintering technique to fabrication of metal matrix composites. Maki S. et al // Journal of Materials Processing Technology. – 2001. – 119. – 210 – 215.
5. Maki S., Harada Y., Mori K. Sinter-joining of different metal powder compacts using resistance heating // Journal of Materials Processing Technology. – 2003. – 143–144. – P. 561–566.
6. Huang S., Van der Biest O., Vleugels J. Pulsed electric current sintered Fe<sub>3</sub>Al bonded WC composites // Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials. – 2009. – 27. – P. 1019–1023.
7. Linke Fabrication and characterization of ultra-fine grained tungsten by resistance sintering under ultra-high pressure. Z. Zhou, Y. Maa, J. Dua, J.// Materials Science and Engineering. – 2009. – A505. – P. 131–135.
8. Groza J., Zavaliangos A. Nanostructure bulk solids by field activated sintering // Rev. Adv. Mat. Sci. – 2003. – 5. – P. 24–33.
9. Трехуровневая компьютерная система для прогнозирования процессов при горячем изостатическом прессовании / А. М. Лаптев, В. Н. Самаров, П. В. Васильев и др. // Порошковая металлургия. – 1996. – № 1–2. – С. 114–118.

Поступила 31.05.11

УДК 679.8

С. Н. Дуб<sup>1</sup>, канд. техн. наук, Р. С. Шмегера<sup>1</sup>, В. В. Пегловский<sup>2</sup>, канд. техн. наук, В. Н. Ляхов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

<sup>2</sup>Научно-технологический алмазный концерн «Алкон» НАН Украины, г. Киев

## ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД И МИНЕРАЛОВ

*В результате проведенных экспериментальных исследований определены значения микротвердости около 30 видов горных пород и минералов*

**Ключевые слова:** микротвердость, горные породы, минералы.

Известно, что производительность обработки (шлифования) различных материалов в значительной степени зависит от их прочностных свойств [1], что в полной мере относится к обработке природных декоративных и полудрагоценных камней (горных пород и минералов). К основным прочностным свойствам таких камней относятся предел прочности при одноосном сжатии, твердость по шкале Мооса и микротвердость (твердость по Викерсу) [2–5]. И если предел прочности при сжатии для многих горных пород и твердость по шкале Мооса для большинства минералов известны [2; 4; 5], микротвердость определена в основном для минералов, являющихся эталонными материалами шкалы Мооса [2]. Причем этот показатель не является обязательным при диагностике и экспертизе большой группы природных камней, относящихся к полудрагоценным [4; 6].

В связи с изложенным исследование одного из основных прочностных показателей – микротвердости является актуальной задачей камнеобрабатывающего производства.

### Методика исследований

В соответствии с общепринятой терминологией горными породами называют агрегаты минералов, образующие геологические тела значительной протяженности, а минералами – однородные природные неорганические соединения, имеющие постоянные физические свойства и химический состав [7].

Одним из важных показателей, характеризующих горные породы, является минералогический состав, т. е. процентное содержание в составе горных пород различных минералов. Минералогический состав приблизительно постоянный для камня одного вида [2; 7]. Минералы с наибольшим со-