

На рис. 2 наведено залежності  $(R/\omega_{\Sigma}) = f(n_{ef}, P)$  для адаптивної та різницево-адаптивної систем з кодуванням часу затримки для  $M_1=11$ ,  $M_a=4$  (а) та  $M_a=9$  (б). Видно, що різницево-адаптивна система для всіх значень  $n_{ef}=5-200$  при  $P=10^{-5}-10^{-2}$  ( $M_a=4$ ) переважає за критерієм мінімуму пропускної здатності каналу зв'язку аналогічну адаптивну в 1,1 – 1,6 разів, причому для  $P=10^{-3}-10^{-2}$  її ефективність різко падає при зростанні  $n_{ef}$ .

Для  $M_a=9$  описана система ефективніша від адаптивної при всіх  $P=10^{-5} - 10^{-2}$  в 1,1 – 1,5 разів, причому із зростанням  $P$  її ефективність зменшується, а при зростанні  $n_{ef}$  – практично не змінюється (за винятком  $P=10^{-2}$ ,  $n_{ef}>75$ ).

Найбільшу частку в сумарну похибку для  $M_a=4$  та  $P=10^{-5}-10^{-3}$  вносить похибка квантування, що змінюється в межах 42–51 %, 36–45 % та 27–32 %, відповідно. При  $P=10^{-5}$  другим за значущістю є внесок похибки від втрат у БЗП, що становить у середньому 23–25 %. Для  $P=10^{-2}$  домінуючими є внески похибок квантування, збою ПВЗ та від появи хибних відліків, причому при зміні  $n_{ef} = 5-200$  перша та друга складові зростають від 18 % до 36 % та від 22 % до 50 %, відповідно, а внесок третьої зростає при  $n_{ef} \leq 100$  від 9 % до 27 %, після чого зменшується до нуля. Для  $M_a=9$  та  $P = 10^{-5}-10^{-3}$  домінуючим є внесок похибки квантування, що становить 46–52 %, 40–48 % та 31–38 %. Для  $P=10^{-5}$  наступними за значущістю є частки похибок від втрат у БЗП 22-25 % та зсуву 13–23 %. При  $P=10^{-2}$  найбільший внесок у сумарну похибку дають похибки збоїв приростів 22–25 % та ПВЗ 28–35 %.

1. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. К., 1983. 2. Калашников И.Д., Степанов В.С., Чуркин А.В. Адаптивные системы сбора и передачи информации. М., 1975. 3. Ивахив О.В., Пучинский Б.В., Шигера И.Ю. Разностно-адаптивная измерительная система // Изв. вузов "Приборостроение". 1988. Т.31. С. 25–29. 4. Ивахив О.В., Шигера И. Різницево-адаптивна система з фіксованою кількістю приростів // Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні і приладобудуванні. 1996. № 305. С. 3–8.

УДК 621.923.7

О.З. Сорочак

Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра економіки підприємства і менеджменту

## КОНТРОЛЬ І АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ КЕРАМІЧНИХ ДЕТАЛЕЙ

© Сорочак О.З., 2001

**Розглянуто сучасні методи та прилади для контролю параметрів поверхонь прецизійних деталей. Наведені конкретні результати вимірювань параметрів шорсткості, зміни опорної поверхні та хвилястості керамічних пластин, одержаних доводкою вільними абразивами на вібровикінчувальних верстатах з коловими траєкторіями коливань притирів.**

**The modern methods and instruments for surfaces of precision parts parameters monitoring are reviewed. The roughness parameters, change of a bearing area of and waviness of ceramic plates obtained by operational development by free abrasives on vibration development machine tools with circular trajectories of oscillations flat are reduced in this paper.**

За останнє десятиліття в кілька разів виросли вимоги до точності виготовлення деталей у машино- і приладобудуванні. Усе більш широке застосування в техніці знаходять

різні прецизійні деталі з напівпровідникових і керамічних матеріалів, таких, як кремній, сапфір, полікор та ін. Але механічна обробка цих матеріалів через їхню високу твердість, крихкість і немагнітність вимагає розробки принципово нових технологічних процесів.

При проектуванні технологічних процесів вібродоводки площин вільними абразивами необхідно вирішити такі питання [1]:

- визначити час стійкості абразиву залежно від його марки і твердості оброблюваного матеріалу;
- визначити хвилинну продуктивність знімання матеріалу заготовок і “граничний” тиск обробки для різних режимів вібродоводки;
- визначити оптимальні припуски під обробку абразивами різної зернистості, враховуючи забезпечення необхідної точності виробів;
- спроектувати, залежно від призначених режимів різання, оснащення, тобто сепаратори, для реалізації “кінематичної правки” інструментів [2], та оптимальну форму робочої поверхні самих притирів [3];
- визначити необхідну кількість устаткування для кожного ступеня техпроцесу з урахуванням забезпечення принципу пропорційності виробництва;
- забезпечити ефективний контроль якості та точності поверхонь оброблюваних деталей на всіх ступінях техпроцесу доводки.

Тільки комплексне вирішення цих питань забезпечує високу ефективність розробленого технологічного процесу і задану точність оброблюваних поверхонь.

В цій статті зупинимось на сучасних методах контролю параметрів прецизійних поверхонь і приладах, за допомогою яких вони реалізуються.

Загальноприйняті у машинобудуванні двовимірні методи оцінки шорсткості та хвилястості поверхонь деталей мають суттєві недоліки, пов’язані з неможливістю представлення просторового поля реалізації випадкового процесу формоутворення поверхні деталі при доводці. Ці параметри, як правило, визначаються в одному, випадково вибраному перерізі, а використання ряду перерізів приводить лише до їх усереднення. Більш точні характеристики можна одержати при стереометричному дослідженні мікротопографій поверхонь деталей на сучасних комп’ютеризованих стереометричних профілометрах [4], зокрема фірми Rank Taylor Hobson Inc, зі скануючою головкою Talyscon. Поверхня, що вимірюється, сканується головкою з кроком квантування 1...2 мкм, а одержані результати заносяться в комп’ютер, де здійснюється їх обробка і вивід на екран чи друк. Це дозволяє отримувати цілком нову якісну і кількісну інформацію про поверхню, що в сумі дає можливість поєднати візуальний якісний аналіз мікротопографій на електронних скануючих мікроскопах з інструментальною точністю профілометричних методів. Такий прилад дає кольорове тривимірне аксонометричне зображення поверхні деталі площею до 1 мм<sup>2</sup> з можливістю його збільшення до 500 тисяч разів.

На рис. 1 показано аксонометричне зображення, розміром 0,998×0,998 мм, поверхні пластини з кераміки марки ВК-94-1 (старе позначення 22ХС), обробленої на вібровикінчувальному верстаті з коловими траєкторіями руху притирів. Основні об’ємні геометричні характеристики зображеної поверхні пластини згідно з позначеннями та рекомендаціями ISO 4288 такі: середнє арифметичне абсолютних відхилень профілю поверхні від середньої лінії становить  $P_a = 0,143$  мкм; максимальна глибина профілю нижче від середньої лінії в межах площі оцінки  $P_v = 2,475$  мкм; максимальна висота профілю над середньою лінією в

межах площі оцінки  $R_p = 0,626$  мкм; максимальний пік профілю (розмах) від тах западини до тах виступу в межах площі оцінки  $R_t = 3,06$  мкм; середнє квадратичне відхилення профілю від середньої лінії становить  $R_q = 0,203$  мкм; асиметрія і ексцес профілю становлять відповідно  $R_{sk} = -2,46$  і  $R_{ku} = 13,2$ . Середня лінія, згідно з ISO 11 562, визначається фільтрами, як така, що задовольняє умову найменших квадратів відхилень профілю від неї.

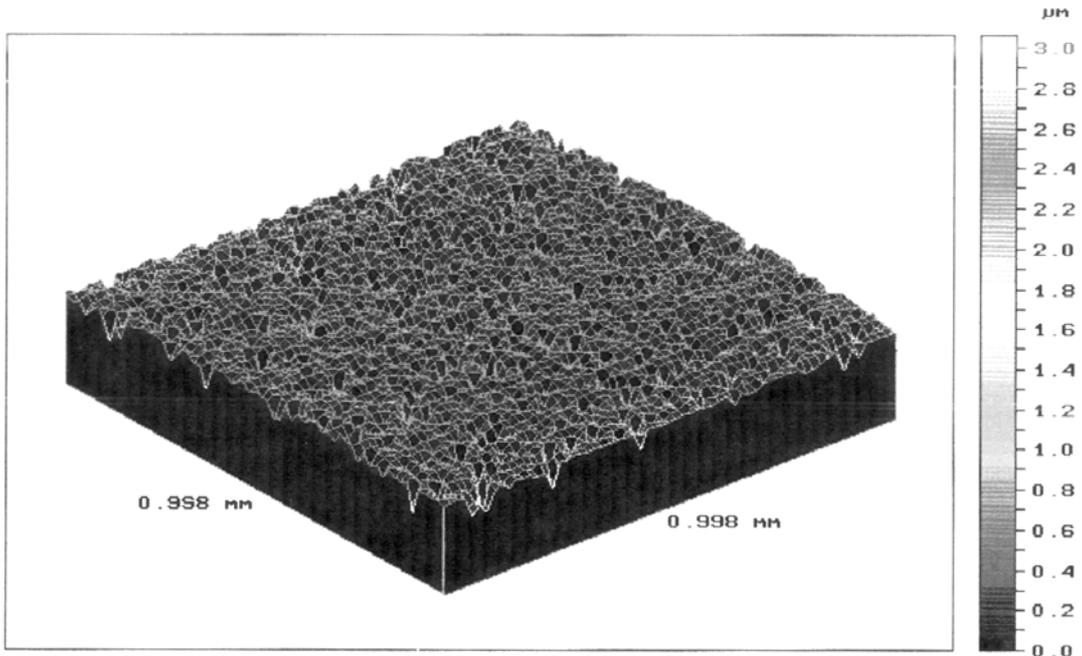


Рис. 1. Аксонометричне зображення поверхні керамічної пластини

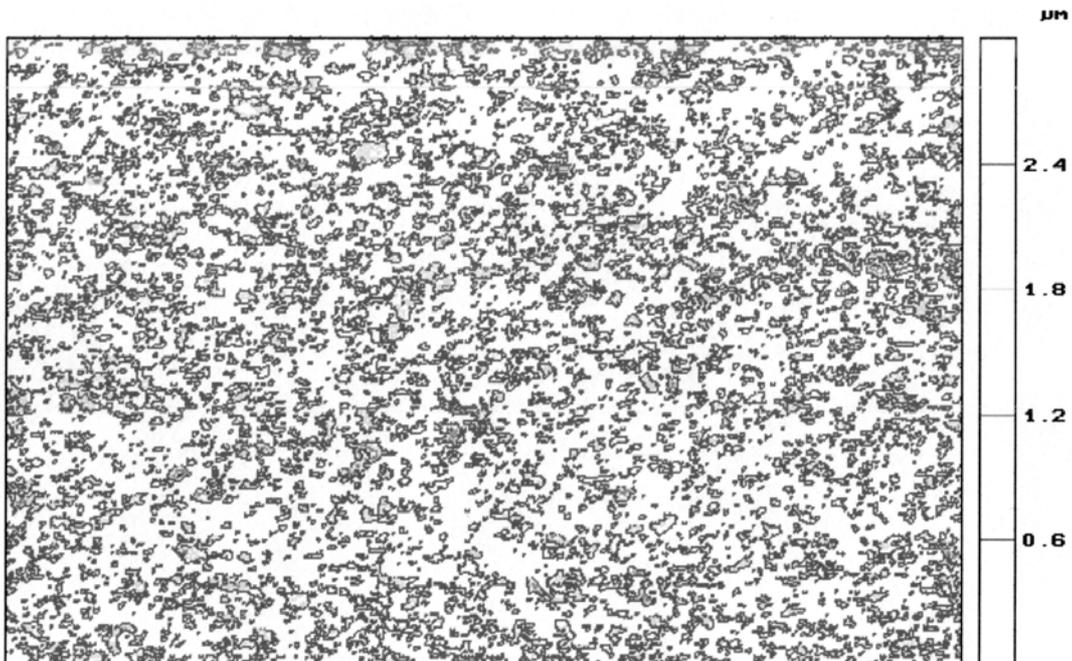


Рис. 2. Топографічна карта поверхні пластини, показаної на рис. 1

Топографічна карта цієї поверхні, зображена на рис. 2, виконана з кольоровим кодуванням рівня висот через 0,6 мкм. Така карта, або, як її ще називають, контурна діаграма, дає змогу якісно та кількісно оцінити розподіл виступів і западин поверхні, їх форму, висоту та глибину. Як видно, для досліджуваної поверхні цей розподіл є рівномірним. Корисним в цьому плані є також вивернуте аксонометричне зображення поверхні відносно показаного на рис. 1, яке дозволяє проаналізувати розміри та форму западин (з огляду обмежень на обсяг статті та адекватність рис.1 воно не наводиться в цій статі).

Зміну опорної поверхні профілю зображено на рис.3. Вона визначається як відсоток від довжини оцінки (базової довжини)  $L$  поверхні на рівні  $r$  нижче від найвищого її піку і позначається, згідно з ISO 4288,  $t_r$ . Значення цього параметра для досліджуваної керамічної пластини такі (рис. 3):  $t_{15} = 42\%$ ,  $t_{20} = 64\%$ ,  $t_{25} = 90\%$ ,  $t_{30} = 95\%$ . Тобто вже на рівні 1 мкм від найвищого піку опорна поверхня профілю становить 95 %.

Рис. 4 ілюструє амплітудний розподіл профілю пластини і вказує на його гостровершинність ( $P_{ku} = 13,2 > 3$ ) та високу ( $|P_{sk} = -2,46| > 0,5$ ) лівосторонню асиметрію. Середня глибина впадин профілю становить  $R_{tm} = 626,25$  нм.

Переріз відфільтрованого профілю поверхні з кроком 0,333 мм, зображений на рис. 5, характеризує хвилястість пластини. Як видно з кривої, хвилястість є незначною (її параметри вказані під рисунком). Це підтверджує опорна поверхня хвилястості (рис. 6), виконана на стандартному 30% рівні. Відхилення форми поверхні керамічної пластини від площинності, як видно з цього рисунка, становить 0,32 мкм, а досліджувана ділянка має сідловидну форму.

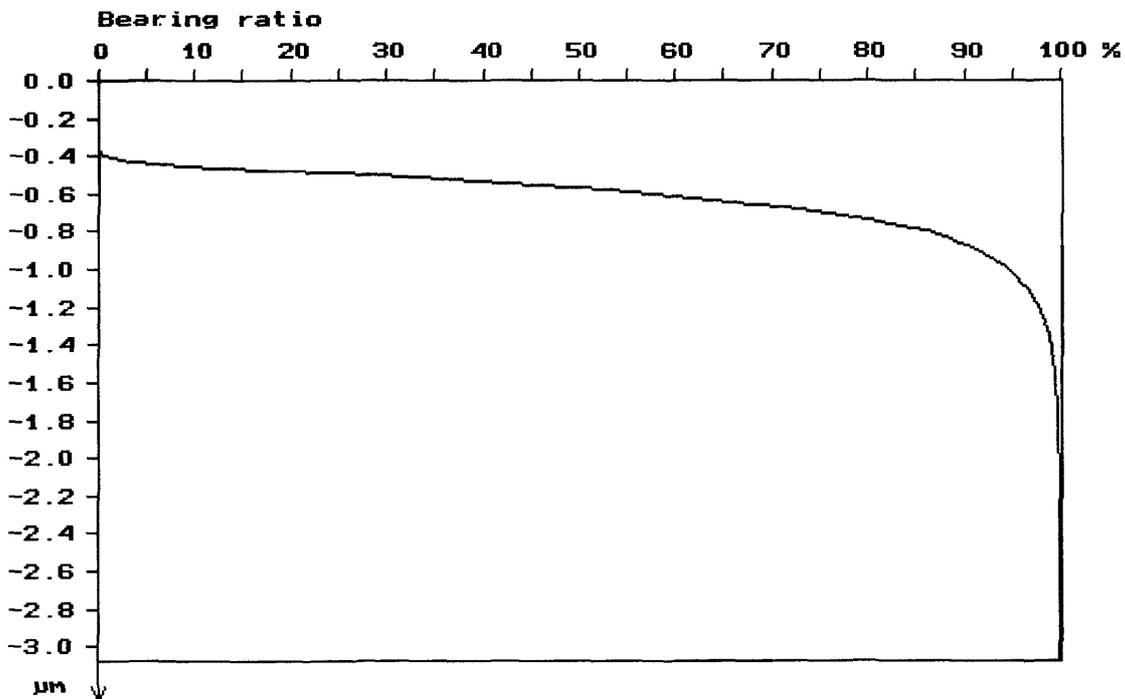


Рис. 3. Характеристика опорної поверхні профілю керамічної пластини

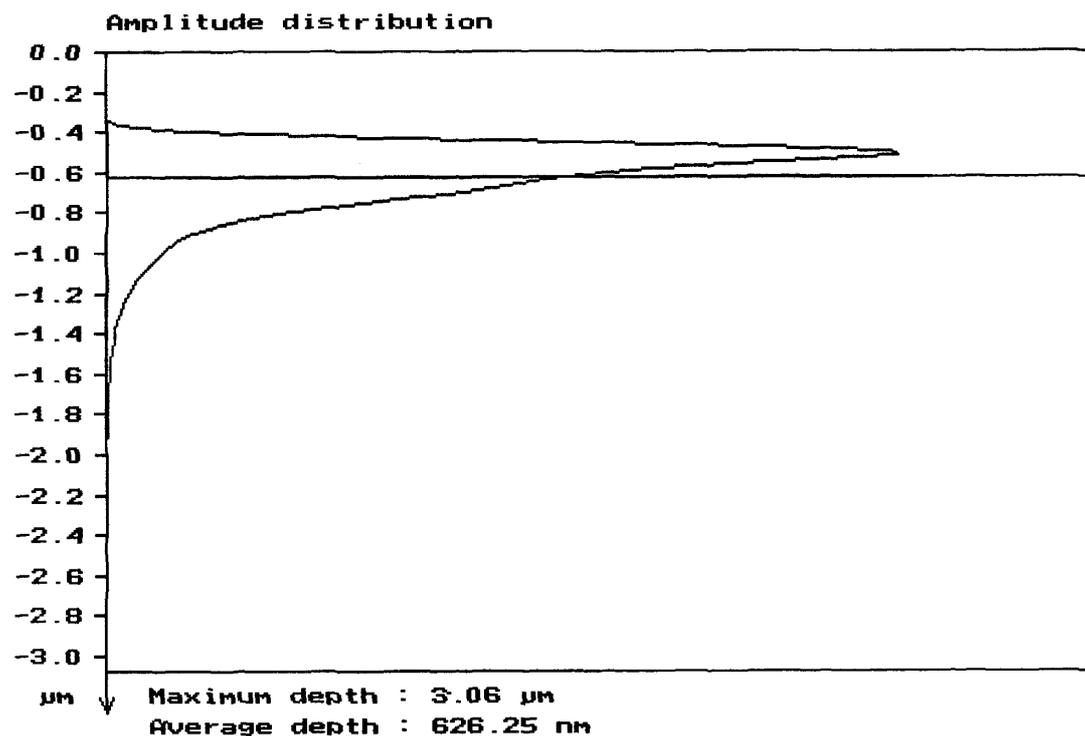


Рис. 4. Амплітудний розподіл профілю керамічної пластини

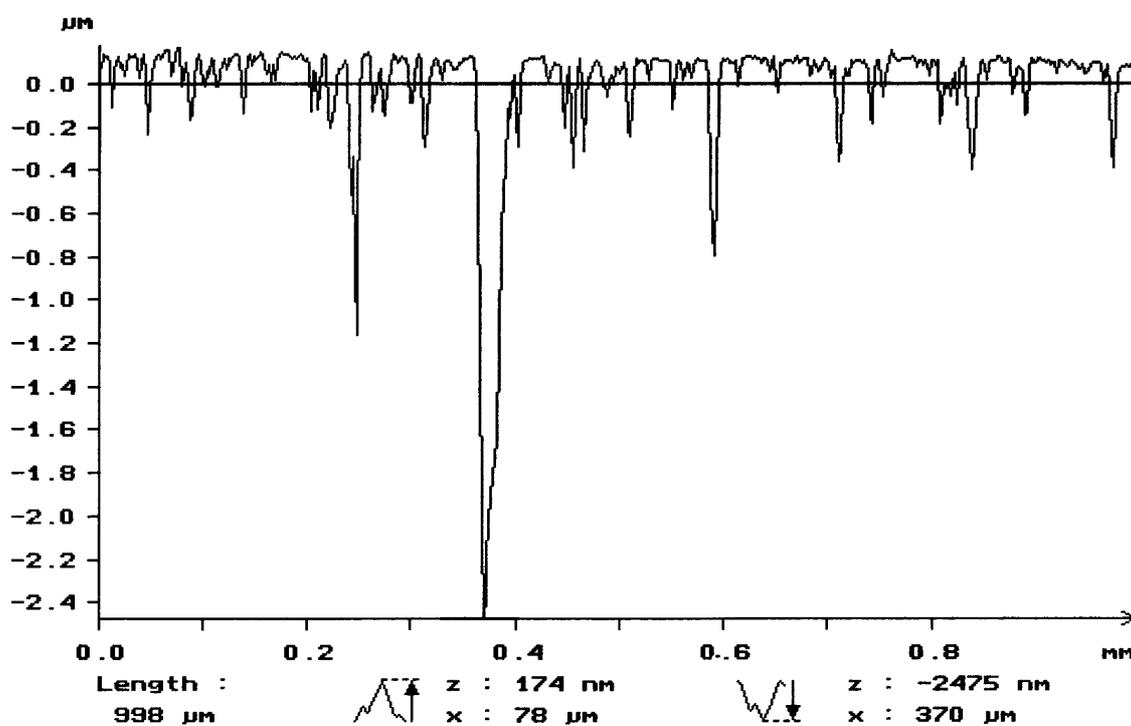


Рис. 5. Переріз відфільтрованого профілю поверхні з кроком 0,333 мм

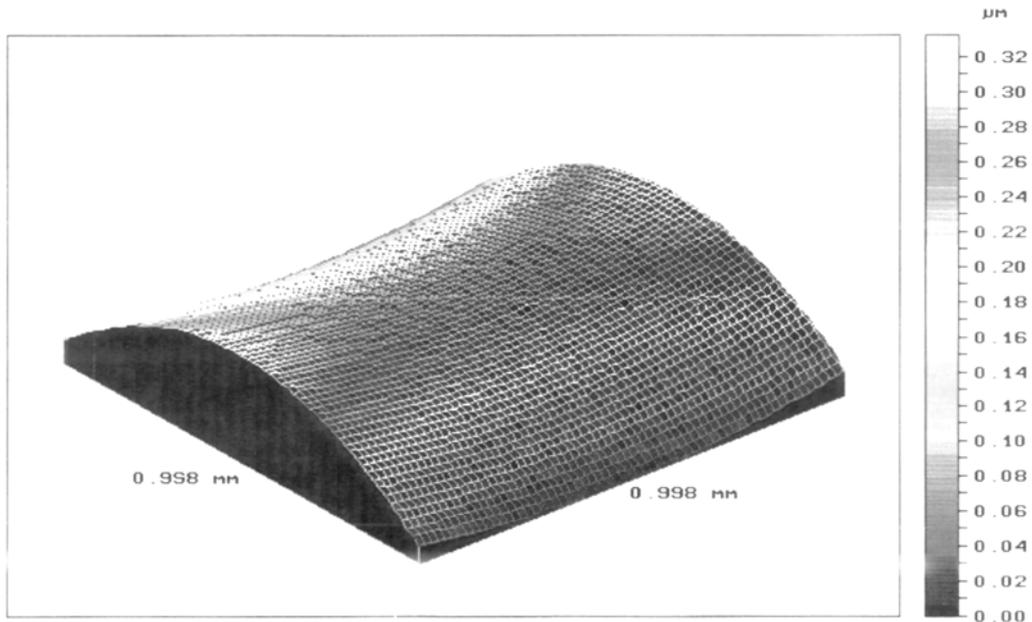


Рис. 6. Відхилення форми поверхні пластини від площинності

Представлені вище параметри та зображення поверхні, що досліджується, дають комплексну її характеристику, а, в результаті, можливість цілеспрямованої розробки технологічних процесів вібродоводки пластин вільними абразивами та одержання керамічних деталей заданої точності. Зокрема, параметри дослідженої в цій статті поверхні відповідають рівню кінцевих мір довжини 1 класу.

Оскільки технологічний процес отримання прецизійних плоских поверхонь є багаступінчастим, тобто кожний наступний етап обробки здійснюється алмазними пастами все дрібнішої зернистості, то застосування описаного методу контролю дозволяє більш точно і обґрунтовано визначити моменти суміщення цих етапів, а отже, підвищити ефективність процесів доводки.

1. Повідайло В.О. Сорочак О.З. Технологія обробки точних керамічних деталей на вібраційному доводочному верстаті // Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль в машинобудуванні і приладобудуванні. 1995. N 290. С. 65–70. 2. Повідайло В.А., Сорочак О.З. Пути підвищення точності плоскопаралельної обробки деталей на вібродоводочних станках // Вибрації в техніці і технологіях. 1996. N1(3). С. 17–20. 3. Sorochak O., Szabajkiewicz W. Urządzenia do przygotowania powierzchni połączeń klejowych elementów niemetalowych. Kwartalnik naukowo-techniczny // Technologia i automatyzacja montaż. 1996. Nr4(14). OBR TEKOMA P. 47–49. 4. Lonardo P.M. Trumpld H. Chiffre L.De Progress in 3D Surface Microtopography Characterization // Analis of the CIRP. 1996. Vol. 45/2.