

УДК 621.3.082

НОВЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИКОВ ПОСЛЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Куценко В.Н.

*ГОУ ВО «Луганский Государственный университет имени Владимира Даля», Луганск,
e-mail: dahl.univer@yandex.ru, dah.univer@yandex.ru*

В статье предложен новый расчетно-экспериментальный способ неразрушающего бесконтактного определения качества поверхности пьезоэлектриков после механической обработки. Экспериментальные исследования и математическая обработка данных выполнены на лабораторном и измерительно-компьютерном комплексах. Было выполнено четыре серии операций высокоскоростного резания пьезоэлектриков на пластины с различными физико-техническими характеристиками и их последующее шлифование. Работы выполнялись на лабораторном стенде для механической обработки материалов из пьезоэлектриков при разных режимах механической обработки. Для получения микроизображения поверхности пластин пьезоэлектриков применялся цифровой электронный микроскоп с 170 кратным оптическим увеличением с разрешением ПЗС матрицы 1280 x 720 точек, подключенный через интерфейсный кабель к компьютеру. Результаты математической обработки полученных данных визуализированы в виде графиков и представлены в таблице. На основании анализа полученных экспериментальных данных после их математической обработки способ позволяет определить качество поверхности пьезоэлектриков, оценить наличие дефектов и определить ее рельеф. Применение данного способа позволит контролировать качество поверхности при механической обработке и дальнейшей оптимизации технологического процесса для повышения производительности и эффективности производства изделий из пьезоэлектриков. Данный расчетно-экспериментальный способ можно применять при определении качества поверхности пластин различных материалов.

Ключевые слова: качество поверхности, пьезоэлектрик, механическая обработка, бесконтактный неразрушающий способ

A NEW METHOD FOR DETERMINING THE QUALITY OF PIEZOELECTRIC SURFACES AFTER MECHANICAL TREATMENT

Kutsenko V.N.

*Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk,
e-mail: dahl.univer@yandex.ru, dah.univer@yandex.ru*

The article proposes a new computational and experimental method for non-destructive non-contact determination of the surface quality of piezoelectrics after machining. Experimental studies and mathematical data processing were carried out on laboratory and measuring-computer complexes. Four series of operations of high-speed cutting of piezoelectrics into plates with different physical and technical characteristics and their subsequent grinding were performed. The work was carried out on a laboratory stand for mechanical processing of materials from piezoelectric materials under different modes of mechanical processing. To obtain a microimage of the surface of piezoelectric plates, a digital electron microscope with a 170-fold optical magnification with a CCD matrix resolution of 1280 x 720 pixels was used, connected via an interface cable to a computer. The results of mathematical processing of the obtained data are visualized in the form of graphs and presented in the table. Based on the analysis of the experimental data obtained after their mathematical processing, the method makes it possible to determine the surface quality of piezoelectrics, to assess the presence of defects, and to determine its relief. The use of this method will make it possible to control the quality of the surface during machining and further optimize the technological process to increase productivity and efficiency in the production of products from piezoelectrics. This calculation-experimental method can be used to determine the quality of the surface of plates of various materials.

Keywords: surface quality, piezoelectric, mechanical restoration, non-contact non-destructive way

В современном производстве электронного машиностроения все чаще применяются изделия из пьезоэлектриков, в частности пьезокерамика. Очень важен постоянный систематический контроль поверхности пьезоэлектриков в процессе обработки и в готовом изделии, так как состояние поверхности оказывает большое влияние на электрические, функциональные и эксплуатационные характеристики пьезоэлектриков.

Снижение шероховатости рабочих поверхностей изделий на основе пьезоэффекта, ведет к повышению добротности резонатора [1].

Вследствие прямой зависимости шероховатости поверхности и качества характеристик пьезоэлектриков и учитывая постоянно растущие требования к характеристикам изделий из пьезоэлектриков, необходимо проводить более всесторонние исследования поверхности, что требует разработки все более совершенных способов и средств его измерения и контроля в процессе производства изделий из пьезоэлектриков.

Одним из параметров, определяющих физико-технические характеристики пьезоэлектриков является состояние поверхности

сти, которое возникает вследствие влияния многочисленных взаимосвязанных факторов при механической обработке пьезоэлектриков. В соответствии с требованиями к поверхности пьезоэлектриков применяется тот или иной метод контроля обрабатываемой поверхности.

В научных исследованиях и в электронной промышленности для измерения шероховатости поверхности часто используют контактные методы контроля, например, профилометр TalySurf i-200 [2]. Прибор Solver HV позволяет проводить экспресс-диагностику наноразмерных особенностей поверхности и ее параметров, таких как шероховатость поверхности и общий уровень локальных перепадов высот, а также с его помощью выполнять визуализацию топографических изображений поверхности и определять среднюю шероховатость перепадов высот поверхности [3].

В научных исследованиях в электронной промышленности вместо контактных методов контроля шероховатости все больше применяются современные бесконтактные неразрушающие методы контроля.

Несмотря на многочисленные теоретические и экспериментальные исследования в настоящее время предварительный расчет высоты микронеровностей затруднен, из-за отсутствия обобщенных расчетных формул, учитывающих различные условия обработки. В отдельных случаях шероховатость поверхности детали может определяться по эмпирическим зависимостям [4].

В современном автоматизированном производстве, где количество безлюдных технологий неизменно растет, роль контроля за каким-либо процессом или результатом повышается в разы. В этой связи вопрос обеспечения качества обработанной поверхности в условиях автоматизированного производства остается актуальным и сегодня [5].

Визуальный анализ изображений поверхностей является наиболее простым и распространенным способом оценки шероховатости поверхностей. Развитие цифровой техники перевело задачи анализа изображений из качественной области в количественную, что, в свою очередь, потребовало решения целого комплекса проблем, связанных с особенностями обработки визуально интерпретируемой информации [6].

Целью работы является создание простого способа определения дефектов и качества поверхности пьезоэлектриков, с целью дальнейшей оптимизации технологического процесса механической обработки, для повышения эффективности и производительности при производстве изделий из пьезоэлектриков.

Материал и методы исследования

Экспериментальные исследования проводились на лабораторном и измерительно-компьютерном комплексах для механической обработки пьезоэлектриков. Для решения поставленной задачи были выполнены 4 серии по 4 резки пьезоэлектриков на пластины, при скорости вращения алмазного круга, равной 8500 об/мин с величиной подачи от 0,05 мм/мин до 0,1 мм/мин, диаметром 50 мм и высотой 0,7 мм, с зернистостью 50% и размером алмазных зерен от 10 до 50 мкм.

Анализ состояния поверхности пластин пьезоэлектриков после резания проводился на измерительно-компьютерном комплексе. Для снимков микроизображений отдельных характерных участков поверхности применялся цифровой электронный микроскоп с 170 кратным оптическим увеличением и разрешением ПЗС матрицы 1280 x 720 точек, подключенный через интерфейсный кабель к компьютеру.

Поверхность пьезоэлектриков состоит из хаотически расположенных, различных по высоте и ширине основных и местных выступов и впадин, поэтому пластину устанавливают на столик так, чтобы следы от механической обработки были расположены перпендикулярно источнику света, угол освещения был направлен под углом 30 градусов к поверхности.

При анализе микроизображений поверхности используются критерии визуального качества, связанные с особенностями зрения человека. Основными параметрами, по которым производится такая оценка, являются: разрешение, количество полутонов и динамический диапазон изображения. Эти понятия являются аналогами шага дискретизации, числа уровней и размера шкалы квантования, используемых в количественных методах анализа информации. Однако поскольку визуальное восприятие человека имеет свои особенности, их определение имеет определенную специфику [6].

Микроизображения от цифрового электронного микроскопа в цифровом виде передавались в компьютер, где сохранялись в базе данных. Математическая обработка микроизображений характерных участков поверхности пьезоэлектриков выполнялась в математической среде MATLAB.

Результаты исследования и их обсуждение

При визуальном анализе изображений обычный человек может определить около 15 уровней градаций серого, что недоста-

точно для количественного анализа поверхностного слоя.

На практике обычно используют более 64 уровней градаций серого, что объясняется необходимостью предупреждения различных артефактов отображения, таких, например, как появление ложных контуров и пикселизации изображений, характеризуемых малыми изменениями сигналов на больших площадях [6].

При математической обработке микроизображений, в расчетах применялась 255-уровневая градация серого, что вполне достаточно для визуализации результатов экспериментов и их дальнейшего их анализа.

Для получения количественной характеристики качества поверхности пьезоэлектриков вычисляем стандартное отклонение значения параметра яркости микроизображения поверхности пластины от среднего значения. Стандартное отклонение значения яркости микроизображения поверхности пластины пьезоэлектрика вычисляем по формуле 1.

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (r_n - r)^2} \quad (1)$$

где R_q – стандартное отклонение значения яркости микроизображения поверхности;

N – количество точек микроизображения поверхности пластины;

r_n – величина, характеризующая яркость точки микроизображения поверхности;

r – среднеарифметическое значение яркости микроизображения поверхности.

После математической обработки микроизображений поверхности пластины пьезоэлектриков результаты экспериментов и исследований визуализированы в виде графиков и представлены в таблице.

На необработанной поверхности пьезоэлектрика присутствуют значительные дефекты и количество различных по высоте выступов и впадин (рис. 1).

После высокоскоростного резания при величине подачи 0,1 мм/мин алмазного круга на поверхности пластины пьезоэлектрика увеличивается количество микроучастков с близким уровнем яркости, отсутствуют значительные перепады высот и впадин (рис. 2).

По результатам экспериментов и анализа полученных результатов, можно сделать вывод, что при высокоскоростном резании пьезоэлектриков на пластины, при уменьшении подачи алмазного круга с 0,1 мм/мин до 0,05 мм/мин шероховатость поверхности пластины улучшается на 42%.

В большей степени шероховатость поверхности зависит от величины подачи алмазного круга, при ее уменьшении шероховатость обработанной поверхности повышается [7], что хорошо согласуется с полученными результатами, полученными в результате математической обработки микроизображений поверхности пьезоэлектриков.

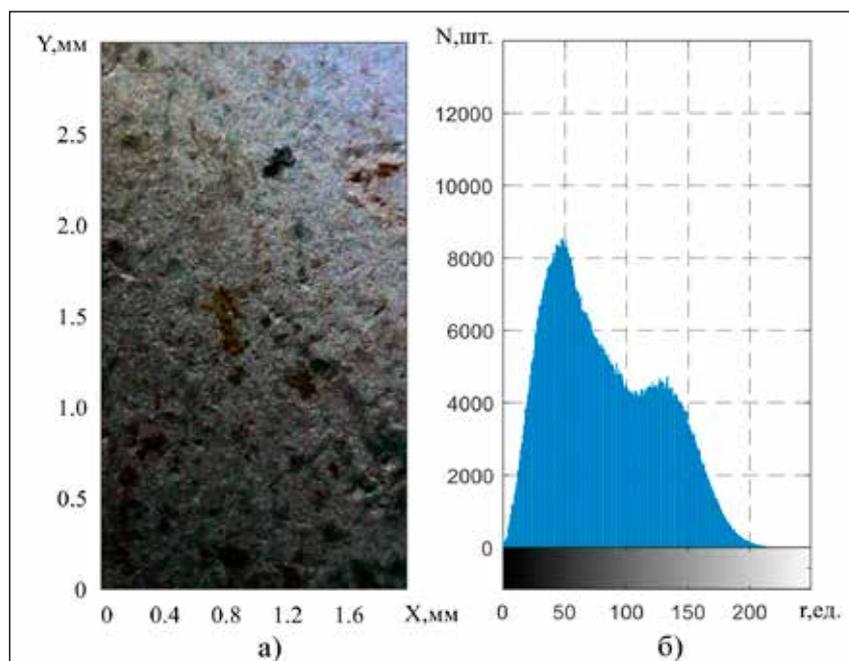


Рис. 1. Необработанная поверхность пьезоэлектрика PZT-4, размером 1,8х3,2 мм:
а) – микроизображение и б) – график яркости микроизображения

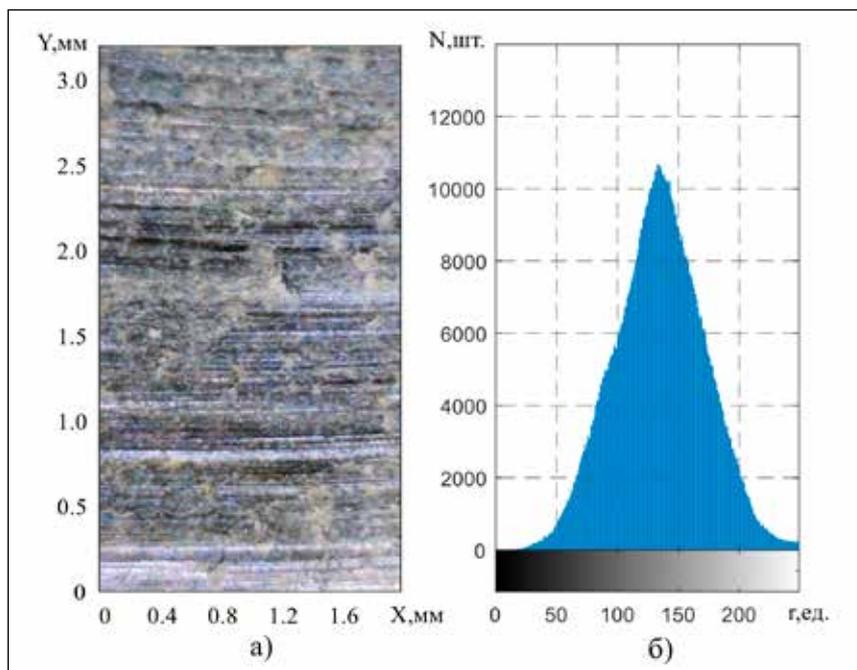


Рис. 2. Поверхность пьезоэлектрика PZT-4, размером 1,8x3,2 мм, после высокоскоростного резания при величине подачи $S=0,1$ мм/мин: а) – микроизображение и б) – график яркости микроизображения

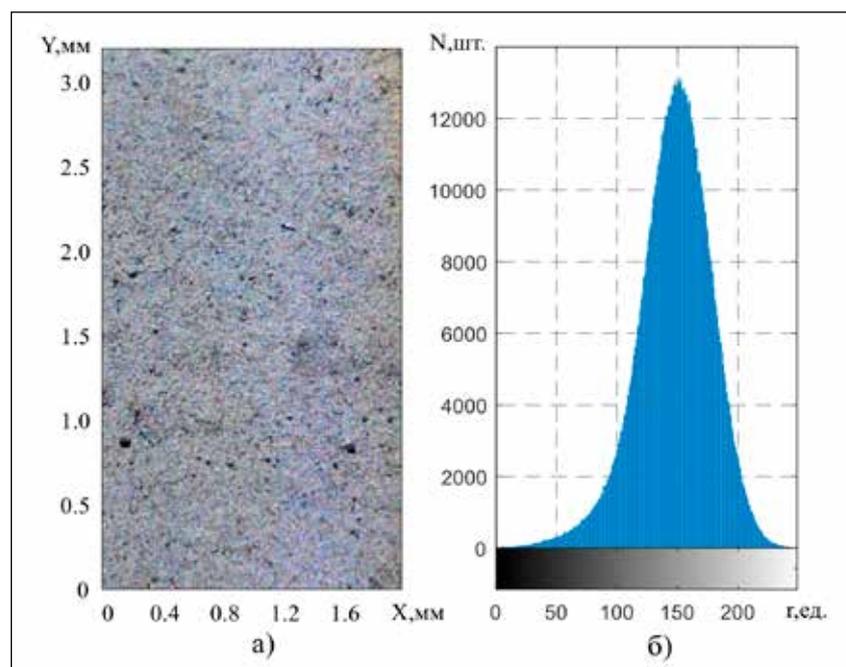


Рис. 3. Поверхность пьезоэлектрика PZT-4, размером 1,8x3,2 мм, после шлифования: а) – микроизображение и б) – график яркости микроизображения

После шлифования поверхности пластины пьезоэлектрика продолжает увеличиваться количество микроучастков с близким уровнем яркости и уменьшается количество

затемненных микроучастков, которое можно объяснить уменьшением высоты выступов и впадин (рис. 3), а шероховатость поверхности улучшается на 6%.

Значение яркости поверхности пьезоэлектрика от направленного источника света, марки PZT-4, до и после механической обработки

| | Не обработанная | После резания, скорость подачи S=0,1мм/мин | После резания, скорость подачи S=0,05мм/мин | После шлифования |
|--|-----------------|--|---|------------------|
| Стандартное отклонение, R _q | 1985 | 1402 | 1008 | 949 |

Незначительное улучшение шероховатости поверхности пьезоэлектрика объясняется внутренней структурой пьезоэлектрика, поэтому необходимо полирование поверхности до максимально возможного количества микрочастков на поверхности с близким уровнем яркости, равной 150 единиц (рис. 3).

Заключение

Предложенный неразрушающий бесконтактный способ позволит сократить трудозатраты при определении параметров качества и дефектов поверхности пьезоэлектриков, необходимые для выбора оптимальных режимов обработки пьезоэлектриков, что позволит повысить производительность и эффективность производства изделий из пьезоэлектриков.

Предложенный способ определения количественных параметров поверхности пьезоэлектриков обладает хорошей наглядностью и информативностью.

Данный способ возможно применять в неразрушающих бесконтактных автоматических системах контроля поверхности различных материалов с компьютерной обработкой результатов.

Список литературы

1. Чернов С.П., Митина Л.Н., Носенко В.А. Влияние абразивного и химического полирования на состояние рельефа поверхности кварцевой пластины // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=19034> (дата обращения: 04.02.2022).
2. Пономарев Б.Б., Нгуен Ш.Х. Оценка шероховатости при пятикоординатном чистовом фрезеровании поверхностей сфероцилиндрической фрезой // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2020. № 5. С. 21–31.
3. Бабаханова Х.А., Галимова З.К., Абдуназаров М.М., Исмоилов И.И. Исследование шероховатости бумаги из вторичного сырья методом атомно-силовой микроскопии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2020. Т. 20. № 5. С. 661–666. DOI: 10.17586/2226-1494-2020-20-5-661-666.
4. Фесенко А.В., Ушаков А.Н., Евсюкова Ф.М., Слипенченко С.Е. Выбор усилия резания при получении заданных параметров шлифования // Вестник Национального технического университета ХПИ Технологии в машиностроении. 2020. № 1. С. 42–48.
5. Саблин П.А., Щетинин В.С. Многофакторное влияние на шероховатость обработанной поверхности // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 2. С. 161–171.
6. Григорьев А.Я. Физика и микрогеометрия технических поверхностей. Минск: Белорусская наука, 2016. 247 с.
7. Жуков Э.Л., Любомудров С.А., Радкевич М.М., Ротаренко О.Ю. Влияние параметров резания на качество поверхности сталей из перспективных труднообрабатываемых сплавов. // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2014. № 2(195). С. 187–193.