

Лавриненко С.Н., канд. техн. наук, Харьков, Запороженко Е.Е., канд. физ.-мат. наук, Сазонова М.С., канд. физ.-мат. наук, Днепропетровск, Украина, Мамалис А.Г., д-р техн. наук, Афины, Греция

## АНАЛИЗ МИКРОГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ УЛЬТРАПРЕЦИЗИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

*При механічній обробці полімерних матеріалів якість поверхневого шару, що формується у процесі контролюемого спрямованого руйнування припуску на обробку, є вирішальним фактором, який зумовлює високий рівень експлуатаційних характеристик готових виробів. Одним з показників заданої якості є мікрогеометрія сформованого профілю обробленої поверхні.*

*При механической обработке полимерных материалов качество поверхностного слоя формируется в процессе контролируемого направленного разрушения припуска на обработку и является решающим фактором, который обуславливает высокий уровень эксплуатационных характеристик готовых изделий. Одним из показателей заданного качества является микрогеометрия сформированного профиля обработанной поверхности.*

S.N. LAVRINENKO, E.E. ZAPOROZHCHENKO, M.S. SAZONOVA, A.G. MAMALIS  
THE ANALYSIS OF A MICROGEOMETRICAL STRUCTURE OF ULTRAPRECISION POLYMERIC PRODUCTS SURFACES

*In mechanical machining of polymeric materials the surface layer quality as result of cut over-measure directional controlled fracture process is decisive factor which determined and provided the high level of operating characteristics of complete product. The microgeometry of finished surface formed profile is an index of adjusted quality.*

Высокие требования к определенной микро- и наноггеометрии формируемых в процессе резания функциональных поверхностей, характер которых определяется геометрией режущей кромки инструмента, а также варьированием параметрами режима резания, предопределяют особый интерес к вопросу влияния этих факторов на формирование различных вариантов распределения высот неровностей получаемого профиля, который, в свою очередь, определяет функциональные характеристики сформированных обработанных поверхностей готовых изделий оптического и биоинженерного назначения.

Анализ микрогеометрического профиля производился по двумерным и трехмерным топограммам и соответствующим им профилограммам, отражающих рельеф поверхности любого заданного участка обработанной поверхности образца, что позволяет определять важные эксплуатационные характеристики готовых полимерных изделий, а также получать соответствующие гистограммы обработанной поверхности готового изделия. Профилограммы и гистограммы обрабатывались по методике Vision<sup>TM</sup> [1].

На рис. 1 показаны 2D и 3D топограммы и профилограммы со значениями шероховатости поверхности заготовки из полистирола, обработанной тонким шлифованием алмазным кругом по параметру среднеарифметическо-

го отклонения профиля по соответствующим осям координат  $Ra_x = 1,82$  нм и  $Ra_y = 1,66$  нм.

Следует отметить, что трудности изучения законов распределения заставляют ограничиться рассмотрением закона нормального распределения. Этому закону распределения очень хорошо подчиняется описание высоты неровностей поверхностей, обработанных тонким шлифованием (полированием), т. е. относительно "гладких" и "ровных" поверхностей с нерегулярным (или - в случае связанного абразива - псевдорегулярным) профилем, при компьютерной обработке таких профилограмм по программе Vision<sup>TM</sup> отсутствует даже показатель параметра шероховатости по высоте неровностей профиля по десяти точкам - Rz (см. рис. 1,а).

На топограмме отчетливо видны следы шаржирования обработанной поверхности абразивными зёрнами (светлые точки). Несмотря на малые размеры этих зёрен, они могут негативным образом влиять на эксплуатационные характеристики готовых полимерных изделий и на их долговечность, т.е.:

- служить концентраторами внутренних напряжений, приводящих к возникновению трещин серебра в процессе эксплуатации и потере функциональных свойств;
- абразивно разрушать контактирующие с готовым изделием поверхности;
- нарушать физико-химические характеристики поверхностного слоя готовых изделий, например, поверхностную энергию биоинтактных материалов и т.д.

Гистограмма для данной обработанной поверхности изображена на рис. 1,б.

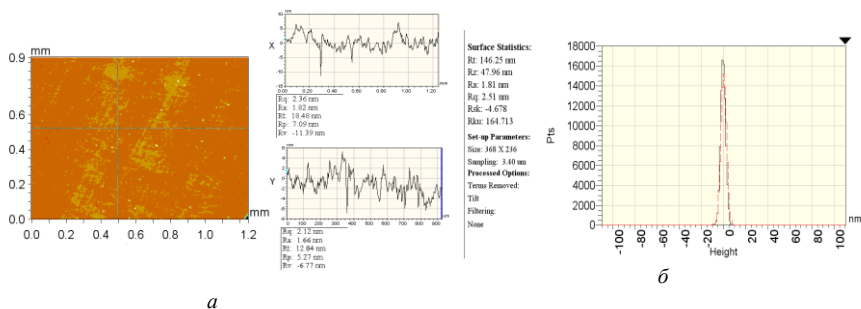


Рисунок 1 – Топограмма (а) и гистограмма распределения высот неровностей профиля (б) поверхности полистирола, обработанная полированием свободным абразивом

Для ультрапрецизионной лезвийной алмазной обработки, в результате которой предполагается формирование функциональных поверхностей со строго регулярным микрогеометрическим профилем, согласовать законы распределения шероховатости по высоте профиля с нормальным законом распределения представляется более сложной задачей. Таким образом, возникает необходимость тщательного анализа законов распределения высоты неровностей обработанных поверхностей конкретных полимерных изделий с задан-

ным регулярным профилем, а также создания соответствующей математической модели.

Законы распределения точек экстремумов высот и впадин неровностей профиля могут быть различными и при этом характер их распределения на обработанной поверхности может отличаться от нормального закона. Для установления реального закона распределения ординат высот микронеровностей с регулярным, т.е. периодическим профилем экспериментально было получено большое количество профилограмм, на которых были отображены стандартные параметры шероховатости в двух взаимно перпендикулярных по отношению к направлению следа движения режущего клина алмазного инструмента (в направлениях главного движения резания  $D_r$  и движения продольной подачи  $D_s$ ) на поверхностях образцов, полученных при различных параметрах режима ультрапрезизионного фрезерования.

Для характеристики соотношения случайной  $r(x)$  регулярной  $h(x)$  составляющей в реальном профиле вводится коэффициент геометрической регулярности профиля  $K_p$  :

$$K_p = \frac{R_h^2}{R_r^2}, \quad (1)$$

где  $R_h$  – среднее квадратичное отклонение всего профиля;  $R_r$  – среднее квадратичное отклонение случайной составляющей профиля.

При идеально регулярном профиле поверхности коэффициент регулярности профиля  $K_p = 1,0$ , а при идеальном случайном профиле  $K_p = 0$ . Условно профили поверхности в зависимости от величины коэффициента  $K_p$  можно разделить на регулярные ( $0,7 \leq K_p < 1$ ), периодические ( $0,3 \leq K_p \leq 0,7$ ) и случайные ( $0 < K_p \leq 0,3$ ). Коэффициент регулярности в первую очередь характеризует условия обработки и обрабатываемый материал и для полимерных материалов, который копирует контур режущей кромки инструмента почти без искажений периодическая составляющая играет решающую роль. Случайные составляющие в данном случае приводят к нарушению внутреннего отражения рабочих поверхностей оптических изделий, рассеивая световой пучок и снижая световой выход детекторов и световодов, а также ухудшая оптические характеристики линз. Полирование поверхностей, имеющих высокий показатель коэффициента регулярности ( $K_p > 0,5$ ), не устраняет полностью светорассеивающий характер случайных составляющих микро- и наногеометрического профиля и ведет к снижению уровня эксплуатационных показателей готовых изделий - светопропускания и светового выхода. При увеличении доли периодической составляющей с заранее заданной геометрией формообразования поверхности за счет геометрии режущего клина и заданной периодичностью профиля за счет определенной величины подачи появляется возможность создавать такой профиль поверхности, который бы способствовал однонаправленному ходу лучей в блоке детектора с наименьшими потерями в "рабочем" направлении.

На рисунках 2 - 7 представлены 2D и 3D топограммы и соответствующие им гистограммы поверхностей, полученных при торцовом фрезеровании полимерных материалов на основе полистирола (ПС) и полиметилметакрилата (ПММА) однозубой фрезой с режовой вставкой, оснащенной природным монокристаллом алмаза и с одинаковыми параметрами режима резания:  $v = 1$  м/с;  $S_z = 10$  мкм/зуб;  $t = 30$  мкм.

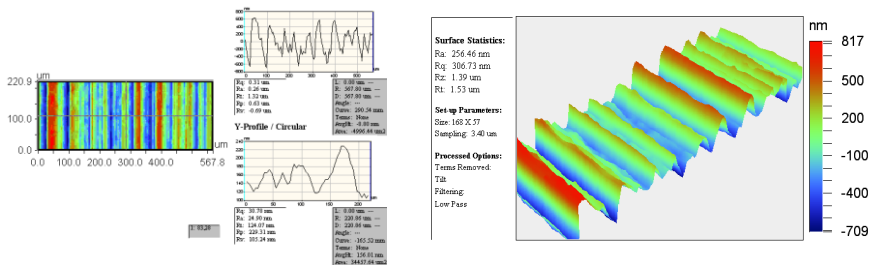


Рисунок 2 – 2D и 3D топограммы поверхности, полученной при торцовом фрезеровании полистирола однозубой фрезой с алмазной режовой вставкой

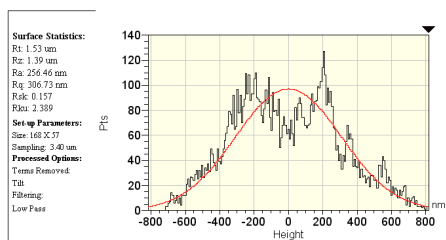


Рисунок 3 – Гистограмма поверхности изделия из полистирола (по рис. 3)

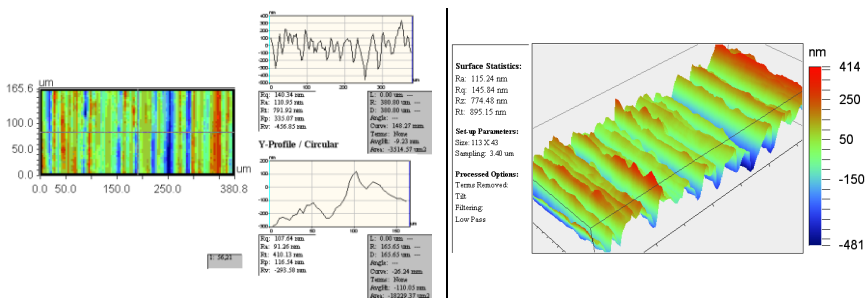


Рисунок 4 – 2D и 3D топограммы, полученные при торцовом фрезеровании полимерного материала на основе ПММА однозубой фрезой с алмазной режовой вставкой

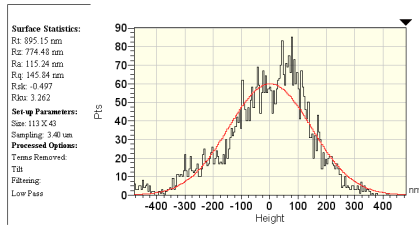


Рисунок 5 – Гистограмма поверхности изделия из ПММА, профилограмма которой представлена на рис. 6

Если включить в технологический процесс дополнительно операции доводки связанным абразивом или полирования свободным абразивом поверхностей, полученных при чистовом фрезеровании, то это приведет к тому, что в общем профиле обработанной поверхности будет доминировать случайная составляющая, наличие которой подтверждается величиной коэффициента регулярности  $K_p = 0,25 \dots 0,1$ , а также характером топограмм поверхности и соответствующих им гистограмм (рис. 6 и рис. 7).

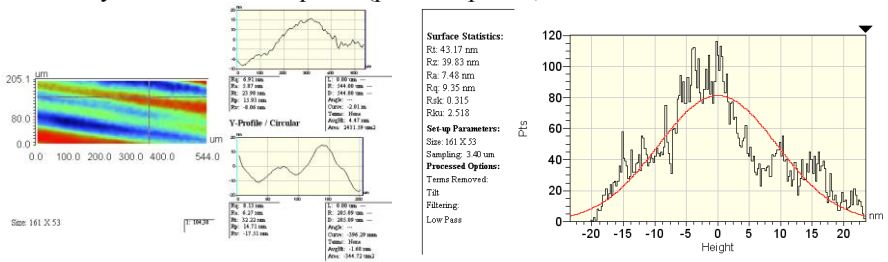


Рисунок 6 – 2D топограмма и гистограмма поверхности полимерной композиции на основе ПС, отполированная связанным абразивом

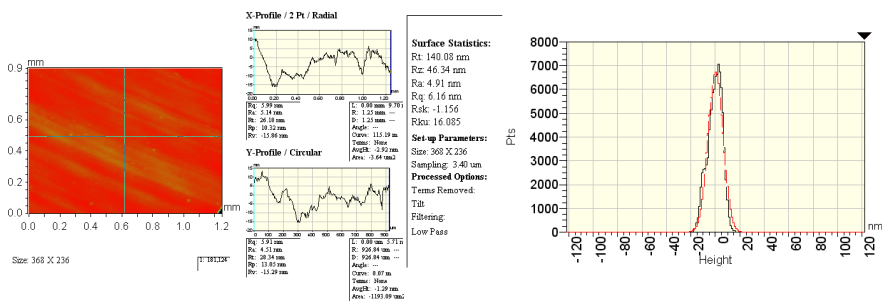


Рисунок 7 – 2D топограмма и гистограмма поверхности полимерной композиции на основе ПММА, отполированная свободным абразивом

На рис. 8 представлен характер изменения показателя светового выхода ( $C$ ) готовых изделий типа сцинтилляционных детекторов с разным качеством обработки поверхности в зависимости от их длины ( $L$ ). Как видно из представленных зависимостей одновременное соблюдение критерия оптимальной шероховатости и критерия функционального микрорельефа обработанной поверхности позволяет обеспечить требуемые значения светового выхода при значительно большей (приблизительно в три раза) длине готового изделия, чем при соблюдении только одного критерия оптимальной шероховатости.

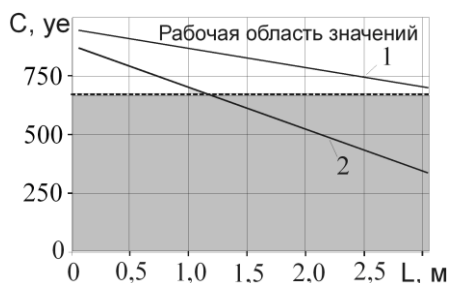


Рисунок 8 – Изменение показателя светового выхода ( $C$ ) готовых изделий в зависимости от их длины ( $L$ ): 1 – при условии соблюдения критерия оптимальной шероховатости и критерия функционального микрорельефа; 2 – при соблюдении только критерия оптимальной шероховатости

Таким образом, можно сделать вывод, что при достижении высокого качества регулярного формообразования на этапе ультрапрецизионной алмазной лезвийной обработки инструментом заданной геометрии можно гарантированно исключать из технологического цикла не только операции шлифования, но и операции полирования, а в случае необходимости - просветлять только участки входа и выхода лучевого потока.

**Список использованных источников:** 1. WYKO Corporation. RST 500 Operator's Guide / Version 1.60 – 980–082 A – 47 p.

*Поступила в редколлегию 25.05.11*

**Bibliography (transliterated):** 1. WYKO Corporation. RST 500 Operator's Guide / Version 1.60 – 980–082 A – 47 p.