

# ФИНИШНАЯ ОБРАБОТКА ШНЕКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОМЫШЛЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА

Н.В. Лаптев, Е.В. Столов, А.С. Бабаев, Н.С. Криницын  
Томский политехнический университет  
nikitalaptev77@gmail.com

## Введение

Конкурентоспособность – это один из важнейших факторов, заставляющих обновлять и автоматизировать производство. Уменьшение себестоимости и улучшение качества невозможны без применения современных средств автоматизации, которыми могут являться промышленные роботы манипуляторы. Разработка технологии для проведения механической обработки с применением промышленных манипуляторов сталкивается с многочисленными трудностями, связанными, в первую очередь, с выбором инструмента, режимов работы, калибровкой и т.д. [1-5].

Шнеки широко применяются для самых различных целей, они встречаются повсеместно: от пищевой промышленности до высокоточных медицинских дозаторов. Финишная обработка шнеков является сложной технической задачей [6-8]. Основными требованиями к поверхности данных элементов машин являются малая шероховатость, равномерность полученного в результате обработки профиля и отсутствие волнистости полученной поверхности. Для этого требуются специальное оборудование и сложные приспособления. В данной статье предлагается решение, связанное с использованием промышленного робота манипулятора.

## Материалы и методика

В качестве заготовки использовали шнек рис. 1 (сталь 37Cr4), применяемый для термопластавтомата при литье пластмасс в пресс-формы. Данная деталь проектируется индивидуально под указанное оборудование в зависимости от многих параметров литья пластмасс. Форма поверхности шнека представляет собой двузаходную винтовую поверхность с постоянным шагом в осевом сечении и постоянным углом наклона винта к оси.

Для выполнения шлифования винтовой поверхности использовали шлифовальный круг на вулканитовой связке (абразивное зерно Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> класс 14A) прямого профиля 150x10x32 мм. Данный инструмент был подобран из соображений обеспечения скорости шлифования не менее 20 м/с. Гибкая связка инструмента позволяет уменьшить образование температуры в зоне шлифования, а также снизить нагрузку при резании в сравнении с кругами на твёрдой связке. В будущем это позволило избежать таких дефектов на поверхности, как прижоги и термические трещины.

Применение роботизированного шлифования может быть успешно использовано в виду большого разнообразия конструкций данных шнеков и замены специальных резьбошлифовальных станков на одно универсальное решение. Важно обеспечить удаление грубых дефектов с поверхности и снизить шероховатость для продления срока службы шнека.

Всего для проведения экспериментальных работ было использовано 5 шнеков, полученных по одной технологии фрезерования. В работе исследовали совмещенное влияние траектории перемещения заготовки относительно инструмента и их пятно контакта на формирование новой поверхности и стабильность получаемых результатов шероховатости поверхности.

Для выполнения экспериментальных работ использовали следующее оборудование: робот KR 16-2 фирмы KUKA Robotics (Германия-Китай), напольных шлифовальный станок фирмы Roditor & Philadelphia s.r.l. (Италия). Измерения шероховатости проводили с использованием профилометра SJ-210 фирмы Mitutoyo (Япония) согласно EN ISO 4288 и EN ISO 3274. На каждой поверхности проводили не менее 5 измерений параметров Ra, Rp, Rt. Затем данные статистически обрабатывались.

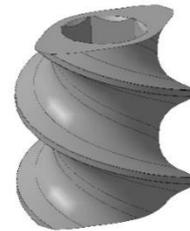
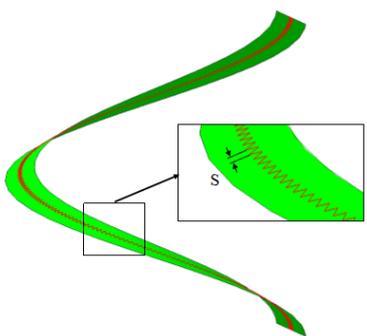
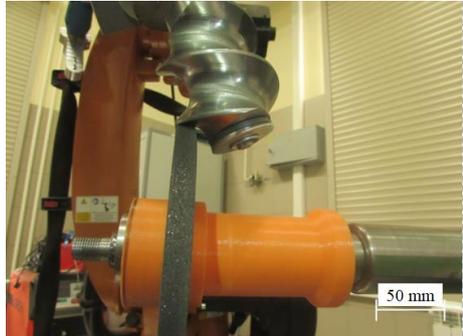
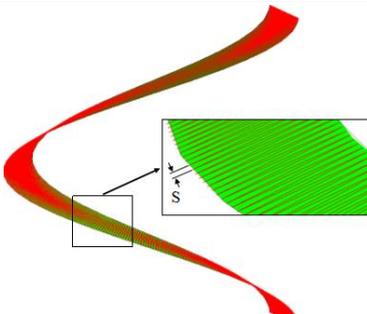


Рис. 1. 3D модель шнека

Траектории T1-T5 (таб.1) расположены на обрабатываемой поверхности. Для определения координат точек траектории была реконструирована модель обрабатываемой поверхности. Исходные данные поверхности представлены в формате STEP ISO 10303 как рациональная поверхность, описываемой формулой:

$$\sigma(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^{K1} \sum_{j=0}^{K2} w_{ij} P_{ij} N_i^{d1}(u) N_j^{d2}(v)}{\sum_{i=0}^{K1} \sum_{j=0}^{K2} w_{ij} N_i^{d1}(u) N_j^{d2}(v)}, \quad (1)$$

Табл.1 Фрагмент модели компонент подсистемы контроля целостности где  $K1$  – количество контрольных точек в направлении  $u$ ;  $K2$  - количество контрольных точек в направлении  $v$ ;  $P_{ij}$  - массив (двумерный) контрольных точек, определяющих геометрию поверхности;  $w_{ij}$  - вес;  $d1$  - степень базисных функций в  $u$ ;  $d2$  - степень базисных функций по  $v$ ;  $N_i^d$  -  $i$ -я нормализованная базисная функция В-сплайна степени  $d$ .

| Тип траектории | Схема  | Шаг зигзага или ёлочки, мм | Участок круга   |
|----------------|--|----------------------------|---|
| T1             |   | 2                          |   |
| T2             |  | 1                          |   |
| T3             |  | 1                          |   |
| T4             |  | 2                          |   |
| T5             |  | 4                          |  |

### Заключение

По результатам проведенных экспериментов можно сделать вывод, что применение промышленных роботов манипуляторов возможно для финишной обработки шнеков. По результатам измерений, шероховатость снизилась до 2 раз в среднем с  $Ra1,5$  мкм до  $Ra0,75$  мкм, характерная поверхность после фрезерования в виде ступенек отсутствует. Однако при работе фаской происходит её истирание и изменение геометрической формы, что может сказываться на образовании ряда погрешностей. Это, в свою очередь, приводит к изменению пятна контакта между поверхностями заготовки и круга. Тем самым изменяется фактическое давление и сила шлифования.

Работа периферией круга может обеспечить значительный съём материала с формированием новой поверхности со стабильными параметрами шероховатости. При шлифовании фаской стоит использовать эту схему только для окончательного чистового прохода после шлифования периферией круга.

### Список использованных источников

1. T. Fengjie, L. Chong, L. Zhengu, and L. Guangbao, "Modeling and control of robotic automatic polishing for curved surfaces", *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, vol. 14, pp 55-64, August 2016.
2. E. Villagrossi, L. Simoni, M. Beschi, N. Pedrocchi, A. Marini, L. Molinari Tosatti, A. Visioli, "A

virtual force sensor for interaction tasks with conventional industrial robots", *Mechatronics*, vol. 50, pp. 78-86, April 2018.

3. X. Xu, D. Zhu, J. Wang, S. Yan, H. Ding, "Calibration and accuracy analysis of robotic belt grinding system using the ruby probe and criteria sphere", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 51, pp. 189-201, June 2018.
4. Петрушин С. И., Оголь И. И., Мухолзоев А. В. Разработка алгоритма генерации управляющей программы обработки винтовой поверхности шнека для станка с ЧПУ // *Проблемы информатики*. – 2012. – №. 5. – С. 52-57.
5. K. Wu, C. Krewet, B. Kuhlenkötter, "Dynamic performance of industrial robot in corner path with CNC controller", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 54, pp. 156-161, December 2018.
6. S. Xing-Wei, G. Qin-Yuan, Y. He-Ran and Z. Zheng-Qing, "Research on Forming and Polishing Technology Based on Belt Flap Wheel", *Journal of Applied Mechanical Engineering*, vol. 6, pp. 294-299, November 2017.
7. J. Wei and G. Zhang, "A precision grinding method for screw rotors using CBN grinding wheel", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 48, pp. 495-503, October 2009.
8. "KUKA System Software 5.5. Operating and Programming Instructions for System Integrators", KUKA Roboter GmbH, Augsburg, Germany, pp. 403, 2010.