

В приведённой структуре наиболее значимым признаком является схема обработки. Схема обработки определяет возможности поляризации колебаний волновода-концентратора и индентора относительно обрабатываемой поверхности, а также характер его перемещения. В свою

очередь характер перемещения определяет выбор способов одно- и многоэлементной обработки.

Группировка способов по другим признакам, связанным с формой поверхности и характером получаемого микрорельефа, представлена на схеме (рис. 5).

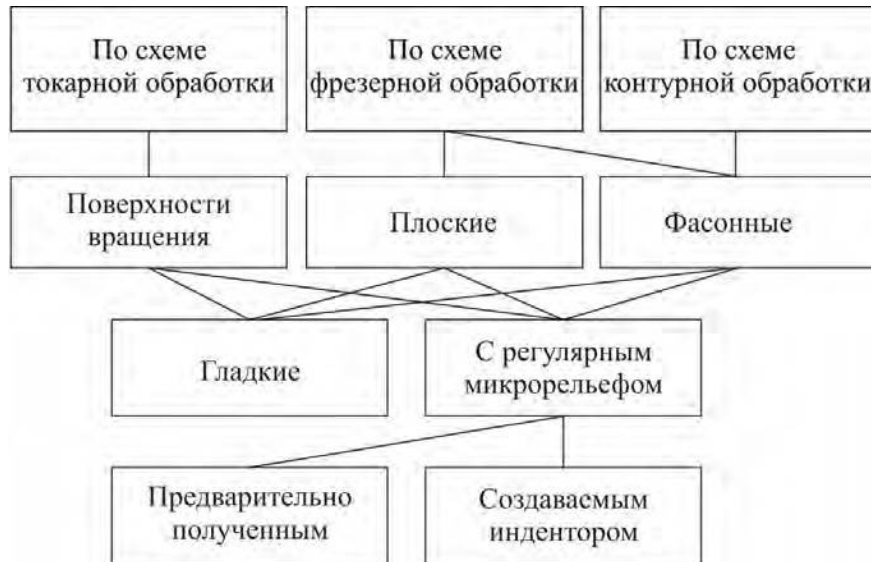


Рис. 5. Группировка способов УППД по форме поверхности и характеру получаемого микрорельефа

Так же как и на предыдущей схеме, возможности УППД по обработке поверхностей разных форм в большей степени определяются применяемой схемой обработки. Степень воздействия на материал в основном зависит от параметров обработки и использования типа индентора.

Заключение

Проведённый анализ способов УППД показывает, что составление единственной иерархической структуры классификации затруднительно. Ввиду большого количества классификационных признаков в данном случае больше подходит множественная иерархия. Предлагаемые в статье классификационные признаки могут быть положены в основу создания общей классификации способов УППД.

Создание классификации способов УППД позволяет осуществлять системный выбор схемы обработки, оборудования и технологических параметров. Анализ классификационных признаков может быть использован при модернизации существующих и создании новых технологий ультразвукового поверхностного пластического деформирования,

а также создании гибридных технологий, основанных на комбинации механических, электрофизикохимических и химико-термическими методов обработки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Мощный** ультразвук в металлургии и машиностроении / В.О. Абрамов, О.В. Абрамов, В.В. Артемьев [и др.]; под общ. ред. О.В. Абрамова и В.М. Приходько. – Москва: Янус-К, 2006. – 687 с.
2. **Инженерия** поверхности деталей / Колл. авт.; под ред. А.Г. Сулова. – М.: Машиностроение. 2008. – 320 с.
3. **Крылова, Н.А., Шуваев, В.Г.** Обеспечение надежности и качества поверхностей деталей ультразвуковым поверхностным пластическим деформированием // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 2018. – Т. 2. – С. 205-206.
4. **Нигметзянов, Р.И., Сундуков, С.К., Фатюхин, Д.С.** Влияние частоты колебаний на эффективность ультразвукового упрочнения // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2017. – №12 (207). – С. 25-27.
5. **Ultrasonic Surface Rolling Process: Properties, Characterization, and Applications** / John, M., Ralls, A.M. et al. // Appl. Sci. 2021, 11(22), 10986.
6. **Chi Ma, Yalin Dong, Chang Ye** Improving Surface Finish of 3D-printed Metals by Ultrasonic Nanocrystal Surface Modification, Procedia CIRP, Vol. 45, 2016, PP. 319-322.

7. Приходько, В.М., Нигметзянов, Р.И., Сундуков, С.К., Фатюхин, Д.С. Инновационные технологические процессы с использованием ультразвука // Научные технологии в машиностроении. – 2017. – №7 (73). – С. 11-14.

8. Приходько, В.М., Нигметзянов, Р.И., Сундуков, С.К., Фатюхин, Д.С. Технологические возможности применения ультразвука для повышения эксплуатационных свойств изделий транспортного машиностроения // Научные технологии в машиностроении. – 2019. – №7 (97). – С. 9-15.

REFERENCES

1. Powerful ultrasound in metallurgy and mechanical engineering / V. O. Abramov, O. V. Abramov, V. V. Artemiev [and others]; under total ed. O. V. Abramova and V. M. Prikhodko. - Moscow: Janus-K, 2006. - 687 p. – ISBN 5-8037-0314-1.

2. Part Surface Engineering / Col. ed.; ed. A.G. Suslova. M.: Mashinostroenie. 2008. - 320 p.: ill.

3. Krylova, N.A., Shuvaev V.G. Ensuring the reliability and quality of surfaces of parts by ultrasonic surface plastic deformation // Proceedings of the International Symposium «Reliability and Quality». - 2018. - V. 2. - P. 205-206.

4. Nigmatzyanov, R. I., Sundukov S. K., Fatyukhin D. S. Influence of oscillation frequency on the efficiency of ultrasonic hardening // Proceedings of the Volgograd State Technical University. - 2017. - V. 12(207). - P. 25-27.

5. John, M.; Ralls, A.M.; Dooley, S.C.; Thazhathidathil, A.K.V.; Perka, A.K.; Kuruveri, U.B.; Menezes, P.L. Ultrasonic Surface Rolling Process: Properties, Characterization, and Applications. Appl. Sci. 2021, 11, 10986. <https://doi.org/10.3390/app112210986>

6. Chi Ma, Yalin Dong, Chang Ye, Improving Surface Finish of 3D-printed Metals by Ultrasonic Nanocrystal Surface Modification, Procedia CIRP, Volume 45, 2016, Pages 319-322, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.339>

7. Innovative technological processes using ultrasound / V. M. Prikhodko, R. I. Nigmatzyanov, S. K. Sundukov, D. S. Fatyukhin // Science intensive technologies in mechanical engineering. - 2017. - V. 7(73). - P. 11-14.

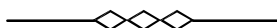
8. Prikhodko V. M., Nigmatzyanov R. I., Sundukov S. K., Fatyukhin D. S. Technological possibilities of using ultrasound to improve the performance properties of transport engineering products // Science intensive technologies in mechanical engineering. - 2019. - V. 7(97). - P. 9-15. – DOI 10.30987/article_5cf7bd2f98e797.67795796. – EDN PMFERQ.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 29.04.2022; одобрена после рецензирования 14.05.2022; принята к публикации 17.05.2022.

The article was submitted 29.04.2022; approved after reviewing 14.05.2022; accepted for publication 17.05.2022.



Научноёмкие технологии в машиностроении. 2022. №7 (133). С. 40-48.
Science intensive technologies in mechanical engineering. 2022. №7 (133). P. 40-48.

Научная статья
УДК 621.31
doi: 10.30987/2223-4608-2022-1-7-40-48

Моделирование и управление точностью шлифовальных операций

Гасан Ахмед оглы Гусейнов, д.т.н.
Азербайджанский технический университет, г. Баку, Азербайджан
tk_xt2001@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Аннотация. Рассмотрены вопросы моделирования и управления точностью процессов шлифования путем введения в ее структуру новых технологических единиц, технологических примитивов, способствующих качественному и количественному обеспечению требуемых функциональных свойств элементов поверхности в рамках отдельных методов обработки.

Ключевые слова: технологический примитив, шлифование, программное устройство, погрешности формы, числовое управление

Для цитирования: Гусейнов Г.А. Моделирование и управление точностью шлифовальных операций // Научноёмкие технологии в машиностроении. – 2022. – №7 (133). – С. 40-48. doi: 10.30987/2223-4608-2022-1-7-40-48

Original article

Modeling and management of grinding process accuracy

Hasan Ahmed ogly Huseynov, Dr. Sc. Tech.
Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan
tk_xt2001@mail.ru

Annotation. The problems of modeling and grinding processes accuracy management by adding new technological elements in the structure, technological primitive attributes contributing to the high-quality and a good number of the required functional properties of the surface elements within individual processing methods, are viewed.

Keywords: technological primitive attribute, grinding, software device, poor shape precision, numerical control

For citation: Huseynov H.A. Modeling and management of grinding process accuracy. / Science intensive technologies in Mechanical Engineering, 2022, no.7 (133), pp. 40-48. doi: 10.30987/2223-4608-2022-1-7-40-48

Введение

В современной технологической науке одним из актуальных направлений является углубление иерархической декомпозиции технологического процесса, с введением в его структуру новых технологических единиц, способствующих качественному и количественному обеспечению требуемых функциональ-

ных свойств элементов поверхности в рамках отдельных методов обработки. Соответствующий подход, в направлении детализации технологического процесса помимо моделирования и управления процессом, делает актуальным и возможным решение проблемы обеспечения требуемого качества не по всей поверхности детали, а при необходимости непосредственно в ее

исполнительной части.

Следовательно, рассмотрение механизма образования поверхностей при различных видах механической обработки в рамках технологических единиц более низкого уровня может способствовать к повышению как качества, так и экономичности технологических разработок, при этом создавая рациональные условия для моделирования и оптимизации процесса, а также его автоматизированного проектирования и управления.

Задачи исследования

Формирование геометрических параметров поверхностей и физико-механических свойств поверхностных слоёв деталей машин в основном происходит на финишных операциях. Одним из важнейших видов чистовой обработки является шлифование. На сегодняшний день исследованиями ученых как технологически развитых западных стран, так и стран постсоветского пространства установлены основополагающие научные положения механизма формирования поверхностей при различных видах шлифования. Однако в существующих исследованиях в основном рассматривались частные случаи процесса шлифования.

Проведение исследований на основе обобщенной и наиболее совершенной схемы образования поверхностей деталей машин и оборудования может значительно облегчить задачу внедрения в технологическую практику как известных, так и вновь разрабатываемых в процессе исследований научно-технологических основ процесса шлифования.

Декомпозиция

В традиционной классификации самым низким уровнем иерархической декомпозиции технологической операции являются проходы. Однако при применении более детерминированных методов исследований такая классификация не является достаточным. Требуется более глубокая детализация технологических единиц исходя из механизмов формирования микро- и макрогеометрии поверхностей, разбивая проходы на прямые и обратные и конфигурацию шлифуемой поверхности, на отдельные зоны, технологические примитивы.

Сформулировав вышеизложенное, технологическим примитивом назовем часть технологического перехода, в пределах которого происходит формирования систематически закономерно-изменяющихся погрешностей геометрической формы, где функциональная связь между входными и

и выходными параметрами процесса может быть представлена единой математической моделью.

В качестве примера произведем декомпозицию технологического перехода плоского шлифования периферией круга уплотнительных поверхностей шибера 5 ЗМ 001, прямоточной задвижки ЗМ65-350, на более низкие технологические единицы, структурная схема которого представлена в виде графа (рис. 1).

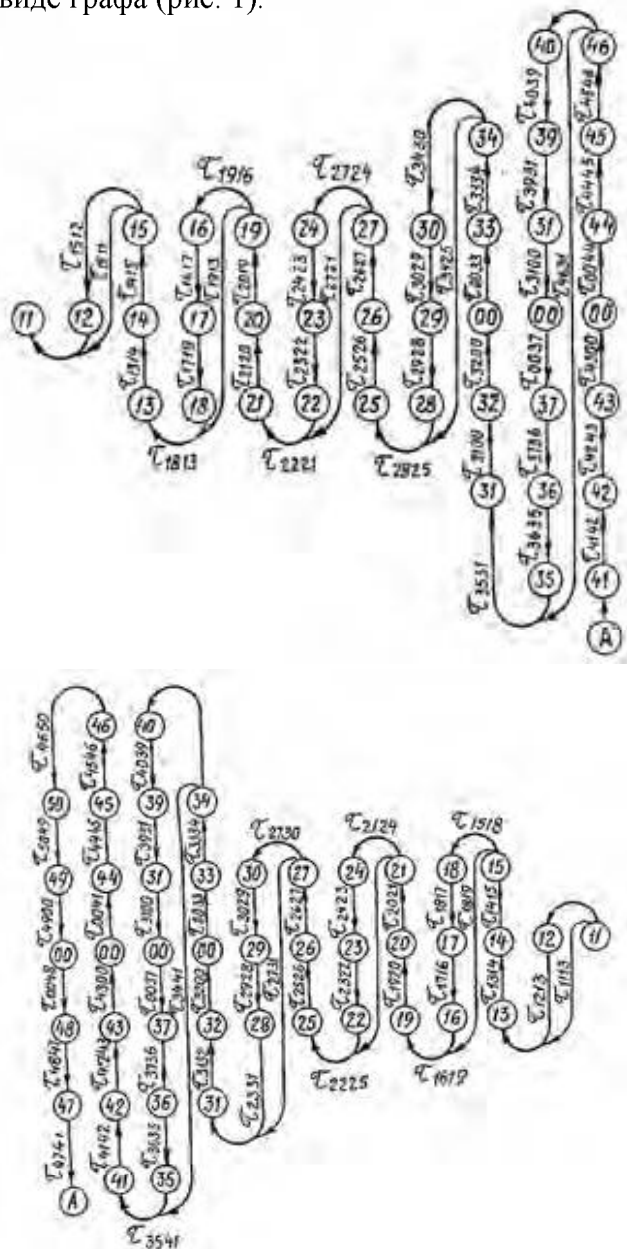


Рис. 1. Граф технологического перехода операции плоского шлифования периферией круга

Вершины графа обозначают технологические примитивы, а ребра – последовательность их расположения по ходу выполнения процесса шлифования. Граф состоит из отдельных столбцов, представляющих собой прямые и

обратные ходы. В качестве начальной вершины графа выбирают первый ход технологического перехода. У поверхностей симметричной формы по отношению координатных осей структура технологического перехода также имеет симметричную форму. В рассматриваемом случае технологические примитивы или ходы симметричные по отношению оси OX являются идентичными. Предварительный анализ показывает, что в рассматриваемых условиях технологический переход состоит из 24-х технологических ходов, из них 12 прямые и 12 обратные ходы и 50 технологических примитивов. При этом в составе наиболее сложного хода имеются 7 технологических примитивов.

Разнообразие плоских поверхностей высокоточных деталей машин, способов и режимов плоского шлифования, форм, размеров и характеристик шлифовальных кругов определяет множество технологических примитивов, на которые делятся технологические переходы. Система управления точностью процесса плоского шлифования предполагает составление для каждого технологического примитива соответствующих аналитических зависимостей, характеризующих процесс шлифования в пределах этого примитива.

В связи с этим возникает необходимость в типизации технологических примитивов в пределах одного метода шлифования безотносительно от их положения в технологическом переходе. При этом соответствующая аналитическая зависимость будет использоваться для характеристики процесса шлифования однотипных примитивов. Другими словами, в качестве эквивалента технологическим примитивам можно применить характеризующих их аналитические зависимости с соответствующими условиями применимости.

Для систематизации подобных аналогий произведена классификация технологических примитивов, характерных для высокоточных плит, применяемых в нефтепромысловом машиностроении. Каталоги технологических примитивов плоского шлифования периферией и торцом круга представлены соответственно в таблицах [2]. При этом сформированный код технологических примитивов и показатели, указанные в ведомости исходных данных, служат ключом для поиска соответствующей аналитической зависимости, которая является основой управляющей программы.

Моделирование

Известно [4], что при различных методах шлифования работа резания в основном

выполняется зернами, расположенными на фронтальной части рабочей поверхности круга соответствующей величине: поперечной подачи на ход (или дв. ход) при плоском шлифовании периферией круга, продольной подачи на оборот круга при плоском шлифовании торцом круга, продольной подачи на оборот детали при наружном круглом, внутреннем круглом, и бесцентровом круглом шлифовании.

Прорезанный участок поверхности детали в последующих подачах повторно встречается с рабочей поверхностью круга, что способствует снижению параметров шероховатости обработанной поверхности. При каждой повторной встрече прорезанного участка с рабочей поверхностью круга, часть активных зерен попадают в уже срезанные канавки, что приводит к неравномерному погружению по высоте круга, увеличению работы внешнего трения зерен и связки о поверхность металла и повышению температурного воздействия на обрабатываемую поверхность.

Указанные явления приводят к неравномерному абразивному воздействию на протяжении всего контакта с обрабатываемой поверхностью, способствуя при этом формированию нестационарной микрогеометрии в пределах соответствующих технологических примитивов. Помимо этого, в технологических примитивах входа шлифовального круга в контакт и выхода из него, и на участках изменении конфигурации шлифуемой поверхности имеет место изменение площади контакта шлифовального круга с обрабатываемой поверхностью. При этом происходит нарушение макро геометрии шлифованной поверхности, приводя к образованию погрешности геометрической формы.

Для объяснения физической сущности процесса неравномерного абразивного воздействия на обрабатываемую поверхность и его аналитического описания рабочую поверхность шлифовального круга, в зависимости от степени абразивного воздействия на обрабатываемую поверхность, условно делим на отдельные полосы с шириной соответствующей подачи в зависимости от метода шлифования. Число полос определяется соотношением высоты круга к подаче H/s .

При этом следует иметь в виду, что при каждой повторной встрече абразивного круга с уже срезанной поверхностью, часть активных абразивных зерен попадает на уже срезанные участки, т.е. каждая условная полоса в порядке нахождения от фронтальной полосы имеет повторные встречи с обрабатываемой поверхностью. Следовательно,

первая полоса является фронтальной и выполняет режущую функцию, встречаясь с необработанной поверхностью, а последующие полосы по порядку нахождения от него повторно встречаясь с уже обработанной поверхностью выполняют работу выхаживания.

Учитывая то, что плоское шлифование периферией круга является одним из широко распространенных методов шлифования и обобщает основных особенностей других методов, проанализируем механизм неравномерного абразивного воздействия на его примере.

Суммарное количество фактически работающих зерен по рабочей поверхности шлифовального круга определяется по формуле [3]:

$$i_{\phi} = i + iq + iq^2 + iq^3 + \dots + iq^{\frac{H}{s_n} - 1} \quad (1)$$

где i – число фактически работающих зерен на фронтальной полосе с шириной поперечной подачи s_n ; q – коэффициент, учитывающий попадание режущих зерен на имеющие срезы [4];

$$i_k = 0,167 \frac{\beta}{\alpha^{3/4} \sqrt{\text{tg } \gamma}} \frac{\sqrt{k}}{X^2 \sqrt{1-\varepsilon}} \sqrt{\frac{\omega}{1000 v_k}} s_n \left(1 \pm \frac{v_u}{60 v_k} \right) \sqrt{Dt} \left(\frac{1 - q^{\frac{x_i}{s_n}}}{1 - q} \right) \quad (3)$$

где β – поправка на симметричное расположение кривой распределения вылетов вершин зерен в рабочем слое круга; γ – половина средневероятного значения угла режущей вершинки зерна; v_k – скорость шлифовального круга, м/с; ω – удельная производительность, мм/с; k – концентрация, %; α – коэффициент формы зерна; X – среднее значение размера зерен шлифопорошков; v_d – скорость детали, м/мин; t – глубина резания, мм, знак «+» принимается при встречном шлифовании, знак «-» при попутном.

Таким образом, количество фактически работающих абразивных зерен в зоне контакта абразивного круга с обрабатываемой поверхностью, в пределах технологического примитива входа увеличивается от нуля до установившейся величины. В технологическом примитиве установившегося шлифования количество фактически работающих абразивных зерен стабилизируется и остается постоянным. В технологическом примитиве выхода происходит обратный процесс, т.е. первым из контакта выходит режущая фронтальная полоса с превалирующим числом активных зерен рабочей высоты шлифовального

H – высота шлифовального круга, мм.

Как видно, формула (1) представляет из себя геометрическую прогрессию. Знаменателем геометрической прогрессии является коэффициент q . По рекомендации [4] значение q берется $q = 0,4 \dots 0,60$, $q < 1$, т.е. данная геометрическая прогрессия является убывающей.

Таким образом, суммарное число фактически работающих абразивных зерен можно определить по формуле:

$$i_{\phi} = \frac{i \left(1 - q^{\frac{H}{s_n}} \right)}{1 - q} \quad (2)$$

С учетом вероятностных связей между параметрами кривой распределения по массе зерен и кривой нормального распределения по их количеству предложенной в работе [6] определено аналитическое выражение текущего значения количества фактически работающих абразивных зерен в пределах площади контакта i_k .

круга, а далее выхаживающие полосы с убывающей степенью абразивного воздействия на уже срезанные участки.

Анализ закономерности (3) изменения количества фактически работающих абразивных зерен показывает, что сущность этого явления вытекает из кинематических особенностей самого процесса плоского шлифования на проход. При этом следует подчеркнуть, что на интенсивность изменения количества, фактически работающих абразивных зерен и тем самым на интенсивность съема припуска в пределах того или иного технологического примитива влияют почти все параметры процесса шлифования, начиная от характеристики и структуры шлифовального круга и кончая элементами режима резания.

Все эти особенности в совокупности приводят к неравномерному абразивному воздействию на обрабатываемую поверхность в процессе шлифования.

Силу резания при шлифовании целесообразно рассматривать как сумма сил микрорезания отдельных единичных зерен на площади контакта [5].

Имея в виду, что количество фактически

работающих зерен изменяется в пределах каждого технологического примитива, можно полагать, что изменение силы резания в пределах технологических примитивов также происходит по определенной закономерности:

– для технологического примитива входа:

$$P_{y_{\text{вх}}} = 0,167 \frac{\beta}{\alpha^{3/4} \sqrt{\text{tg} \gamma}} \frac{\sqrt{k}}{\bar{X}^2 \sqrt{1-\varepsilon}} \sqrt{\frac{\omega}{1000 v_k}} \rho_{\text{cp}} \left(1 \pm \frac{v_d}{60 v_k} \right) \sqrt{D t s_n} \left(\frac{1-q \frac{X_i}{s_n}}{1-q} \right) \quad (4)$$

$$0 < X_i \leq H,$$

– для участка установившегося шлифования:

$$P_{y_{\text{уст}}} = 0,167 \frac{\beta}{\alpha^{3/4} \sqrt{\text{tg} \gamma}} \frac{\sqrt{k}}{\bar{X}^2 \sqrt{1-\varepsilon}} \sqrt{\frac{\omega}{1000 v_k}} \rho_{\text{cp}} \left(1 \pm \frac{v_u}{60 v_k} \right) \sqrt{D t s_n} \left(\frac{1-q \frac{H}{s_n}}{1-q} \right) \quad (5)$$

$$H < X_i \leq B,$$

– для участка выхода:

$$P_{y_{\text{вых}}} = 0,167 \frac{\beta}{\alpha^{3/4} \sqrt{\text{tg} \gamma}} \frac{\sqrt{k}}{\bar{X}^2 \sqrt{1-\varepsilon}} \sqrt{\frac{\omega}{1000 v_k}} \rho_{\text{cp}} \left(1 \pm \frac{v_u}{60 v_k} \right) \sqrt{D t s_n} q^{\frac{X_i}{s_n}} \left(\frac{1-q \frac{H-X_i}{s_n}}{1-q} \right) \quad (6)$$

$$0 < X_i \leq H.$$

При шлифовании деталей типа шибера прямоочной задвижки, с характерным центровым отверстием в середине уплотнительной поверхности, наибольшая величина погрешностей геометрической формы получается в осевом сечении отверстия, в пределе технологического примитива отверстия (рис. 2).

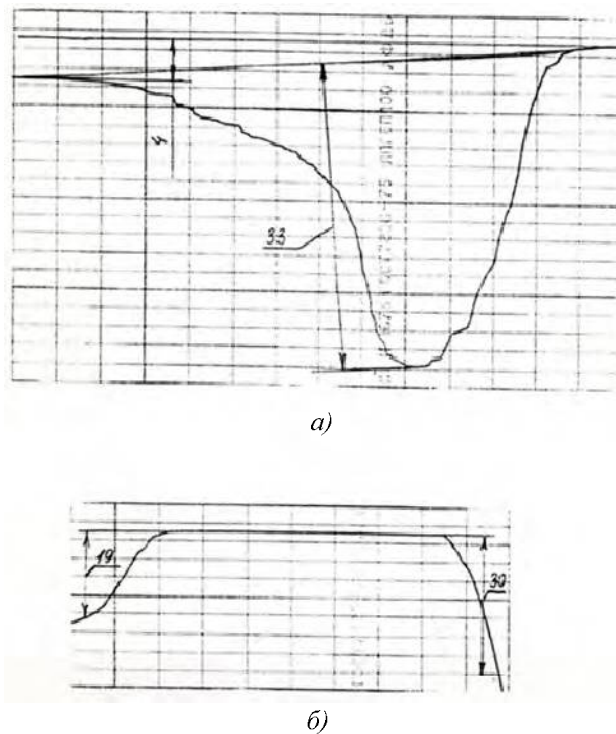


Рис. 2. Профилограммы непрямолинейности уплотнительной поверхности шибера шлифованной периферией круга:

а – в продольном сечении; *б* – в поперечном сечении ($v_d = 12$ м/мин; $s_b = 30$ мкм/проход; $s_p = 5$ мм/ход)

Перепад радиальной составляющей силы резания по длине обработки в зоне отверстия можно представить следующей формулой:

$$\Delta P_{y_{\text{вых. мин}}} = i \rho_{\text{ср}} \left(1 \pm \frac{v_u}{60v_k} \right) \sqrt{D_{\text{кр}} t s_n} \left(\frac{1 - q^{\frac{H - 0,5 B + r}{s_n}}}{1 - q} \right) \quad (7)$$

где B – ширина детали, мм; r – радиус центрального отверстия на шлифуемой поверхности, мм.

Анализ профилограмм непрямолинейности показывает, что при плоским периферийном шлифовании уплотнительных поверхностей деталей типа шибера имеет отклонения от геометрически правильной формы как по длине (см. рис. 2, а), так и по ширине обработки (см. рис. 2, б), которые приводят непосредственно к снижению герметизирующих свойств этих поверхностей на соответствующих участках.

Управление

Разбивка технологического перехода на технологические примитивы и установление аналитических связей между их входными и выходными параметрами открывает широкие перспективы для управления точностью процесса посредством программного изменения его параметров.

Авторами разработаны два способа управления точностью процессов механообработки:

- на базе жестких программ носителей, посредством программных устройств;
- путем числового программного управления.

По первому направлению были разработаны многочисленные программные устройства к плоскошлифовальным станкам торцом круга и периферией круга, к круглошлифовальным станкам внутреннего и наружного шлифования. Эти устройства были внедрены в производство с положительным технико-экономическим эффектом, в частности с четырехкратным повышением точности геометрической формы и сокращением основного технологического времени в 1,8 раз.

Для наглядности вышеизложенного проанализируем конструктивные особенности двухкоординатного программного устройства для станка 3Е71 (рис. 3).

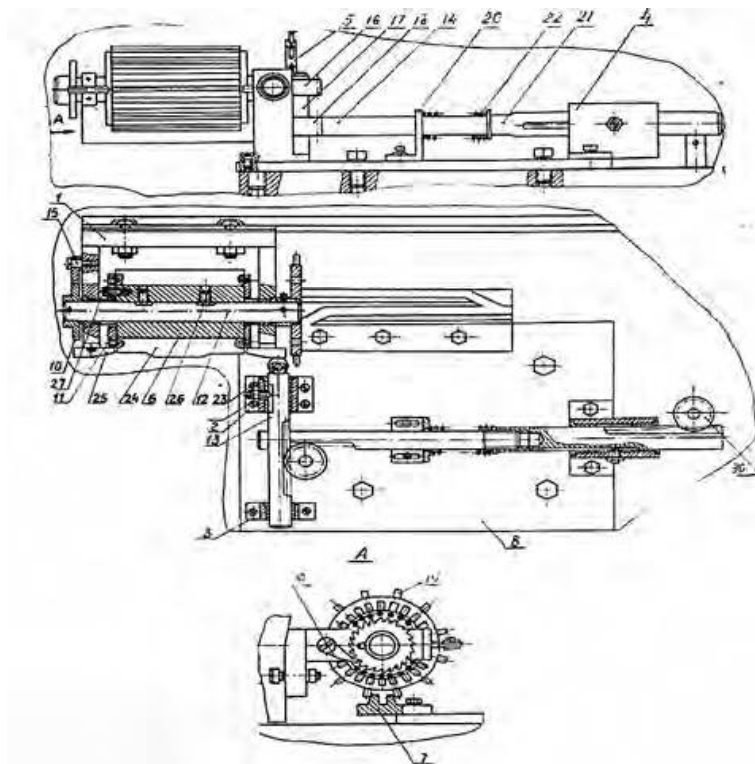


Рис. 3. Двухкоординатное программное устройство к плоскошлифовальному станку мод. 3Е71

При проектировании были применены рациональные конструктивные решения, позволяющие избегать затруднений, встречаемых при разработке однокоординатных программных устройств. Сущность этих решений заключается в том, что кулачок типа коноида заменяется кулачком барабанного типа 6, имеющего в своем составе нескольких плоских кулачков 24. Каждому ходу по поперечной подаче приходится соответствующий плоский кулачок с профилем, воспроизводящим закономерность изменения скорости стола в продольном направлении.

Количество кулачков на барабане соответствует количеству ходов в технологическом переходе. В барабане вытачиваются канавки, в которые входит базовая часть кулачка и прикрепляется винтами, что обеспечивает сменяемость кулачков и тем самым повышает гибкость, переналаживаемость и ремонтпригодность программного устройства. Барабан закрепляется на валу 12. Связь барабана с валом осуществляется шпонкой 26. На валу перед барабаном установлен специальный штурвал, у которого количество и шаг рукояток определяются исходя из количества и шага кулачков на барабане и у дополнительного кулачка 7, узел барабана жестко соединен со столом станка и вместе с ним производит поступательное движение. В конце каждого хода, как прямого, так и обратного, происходит поворот барабана вокруг своей оси на один шаг. Таким образом, в контакт с толкателем 13 входит кулачок, профиль которого соответствует закономерности изменения скорости стола выполняемого хода.

Рукоятки штурвала имеют кинематическое замыкание с дополнительным кулачком 7, который установлен и закреплен на плоскости параллельной к поверхности стола станка и служит для воспроизведения поворота барабана на один шаг. На другом конце барабана установлен храповой механизм 10, который фиксирует четкость шага барабана и предотвращает его поворот на противоположную сторону. В конце каждого хода в зависимости от направления хода толкатель 13 мгновенно замирает на опорах 25, за это время дополнительный кулачок 7 при помощи штурвала 19 осуществляет поворот барабана на один шаг. При движении стола станка вместе с жестко установленным на нем барабаном относительно шлифовального круга прямолинейное движение толкателя 13 через две пары зацепления «рейка-колесо» превращается на вращательное движение колеса 22 установленного на рычаге регулирования скорости стола.

Программное управление точностью процесса плоского шлифования на базе жестких программ носителей таких как кулачки, копиры и др. характерно в основном для крупносерийного и массового производств, где материальные и временные затраты, связанные с проектированием и изготовлением программ носителей для каждой конкретной поверхности, окупаются. В условиях единичного и мелкосерийного производства, одной из характерных особенностей которых является многономенклатурность, оснащение каждой шлифовальной операции индивидуальным программ носителем является нецелесообразным. Следовательно, возникает необходимость в поисках более гибких условий программного управления точностью процесса, обеспечивающих резкое сокращение средств и сроков подготовки управляющих программ.

С применением микропроцессорной техники становится возможным числовые методы управления точностью. Разработка такой системы помимо общеизвестных и уже проработанных задач автоматизированного проектирования шлифовальных операций, требует решения и ряда других задач, связанных с разработкой управляющего лингвистического обеспечения, методов представления технологической информации, формирования управляющей программы и ее реализации.

Из этих соображений разработана концептуальная схема процесса плоского шлифования (рис. 4), которая была использована при построении информационной модели базы знаний системы.

Разнообразие плоских поверхностей высокоточных деталей машин, способов и режимов плоского шлифования, форм, размеров и характеристик шлифовальных кругов определяет множество технологических примитивов. Система управления точностью процесса плоского шлифования предполагает составление для каждого технологического примитива соответствующую математическую модель. На основе анализа данной модели вырабатывается необходимая интеллектуальная информация для управления процессом в пределах соответствующего примитива.

Существует различные формы представления технологического обеспечения системы, включающего в себя типовые решения и правила их принятия. Анализ показал, что наиболее приемлемой формой представления технологического обеспечения данной системы являются таблицы соответствий.

В соответствии с результатами декомпози-