

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЛОСКОГО ШЛИФОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ КРУГОВ С АРС И ОСЦИЛЛЯЦИИ ЗАГОТОВКИ

А.А. Симаков, Ю.В. Василенко

*Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс,
Технологический институт им. Н.Н. Поликарпова, г. Орел*

Способ плоского шлифования с применением кругов с аксиально-смещенным режущим слоем (АРС) и осцилляции заготовки позволяет повысить производительность процесса обработки по сравнению с маятниковым шлифованием и получить на обработанной поверхности детали ненаправленный микрорельеф, что повышает ее износостойкость, маслостойкость и другие эксплуатационные характеристики.

В работе приведена методика экспериментальных исследований процесса обработки. Цель экспериментальных исследований состоит в проверке основных положений и результатов проведенных теоретических исследований и данных, полученных при помощи разработанной программы имитационного моделирования. Исследуется влияние глубины шлифования, числа проходов инструмента, скорости осцилляции и угла наклона шлифовального круга с АРС на шероховатость получаемой поверхности детали, а также на производительность обработки.

Обработка производится на плоскошлифовальном станке с применением пары шлифовальных кругов одной марки, из которых один круг прямого профиля, второй имеет аксиальное смещение. Заготовки для экспериментов проходили предварительную технологическую обработку с получением на рабочих поверхностях заданной шероховатости и соответствующей твердости. В процессе проведения исследований СОТС не используется в связи с отсутствием необходимости применения по результатам теоретических исследований, а также с целью устранения сбоя или снижения точности показаний применяемого датчика осцилляций.

Для сообщения осцилляций заготовке применяется оригинальная конструкция установки, имеющая инерционный источник колебаний. Привод осуществляется от коллекторного электродвигателя с возможностью бесступенчатой регулировки скорости вращения. Для контроля скорости вращения двигателя и амплитуды осцилляций применяется биполярный датчик Холла, устанавливаемый в паре с магнитом на подвижную и неподвижную плиты установки соответственно.

При помощи индикатора часового типа контролируется амплитуда колебаний магнитной плиты в вертикальном направлении. Шероховатость детали измеряется на профилографе-профилометре. Экспериментальные данные обрабатываются на ПЭВМ с применением многофакторного регрессионного анализа методом наименьших квадратов.

Приведенная методика позволяет с достаточной степенью точности получить экспериментальные данные процесса плоского шлифования с применением кругов с АРС и осцилляции заготовки и сопоставить их с результатами проведенных теоретических исследований процесса и установить адекватность полученных математических моделей и разработанной программы имитационного моделирования.

Ключевые слова: шлифование, микрорельеф, шероховатость, колебания, осцилляция, эксперимент, производительность, метод.

Износостойкость деталей и узлов машин существенно зависит от механических и геометрических параметров поверхностного слоя [1]. Эти параметры определяются технологией обработки деталей, в наибольшей степени на финишных операциях [2, 3]. Одними из важных геометрических показателей качества поверхности являются характер и величина направленности шероховатости. Наиболее эффективным с точки зрения износостойкости является шероховатость с произвольным направлением неровностей, т. е. ненаправленный микрорельеф.

В настоящее время получение ненаправленного микрорельефа осуществляется применением дополнительных отделочных операций механической или физико-химической обработки с соот-

ветствующим усложнением технологического процесса, либо использованием современных высокотехнологичных разработок. Это, например, вибродинамическая обработка поверхностно-пластическим деформированием, динамическое накатывание. Среди методов лезвийной обработки можно выделить комбинированные способы, совмещающие вращательные и поступательные движения, например, ротационное строгание или фрезоточение, а также различные способы обработки с наложением вибраций. К абразивным методам обработки, позволяющим получить ненаправленный микрорельеф, можно отнести различные способы хонингования и шлифования торцом круга [4–6], в том числе с наложением вибраций, обработку свободным абразивом [7].

Особое место занимает плоское шлифование периферией круга. Преимуществами данного вида обработки являются высокие показатели точности и шероховатости поверхности при достаточно высокой производительности. Для получения ненаправленного микрорельефа возможно применение способа плоского шлифования с осцилляцией заготовки [8], благодаря чему следы режущих зерен разнонаправлены и за счет взаимных пересечений образуют на поверхности сетку случайно направленных неровностей (рис. 1), т. е. ненаправленный микрорельеф, что обуславливает высокие эксплуатационные характеристики данной поверхности. При этом помимо повышения качества поверхности возрастает производительность обработки за счет большей длины контакта зерна с заготовкой, большего металлосъема и снижения числа проходов, необходимых для достижения заданных параметров шероховатости.

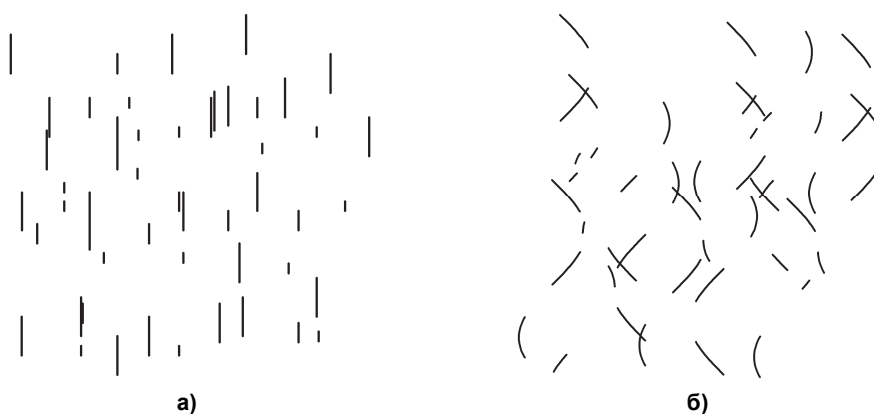


Рис. 1. Следы от абразивных зерен при маятниковом (а) и вибрационном (б) шлифовании

Для дополнительного повышения производительности предлагается использование шлифовального круга с аксиально смещенным режущим слоем (АРС) [9]. За счет постоянного смещения зоны обработки при шлифовании данным кругом снижается сила резания, тепловыделение и износ инструмента при повышении рабочих подач (рис. 2) [10].

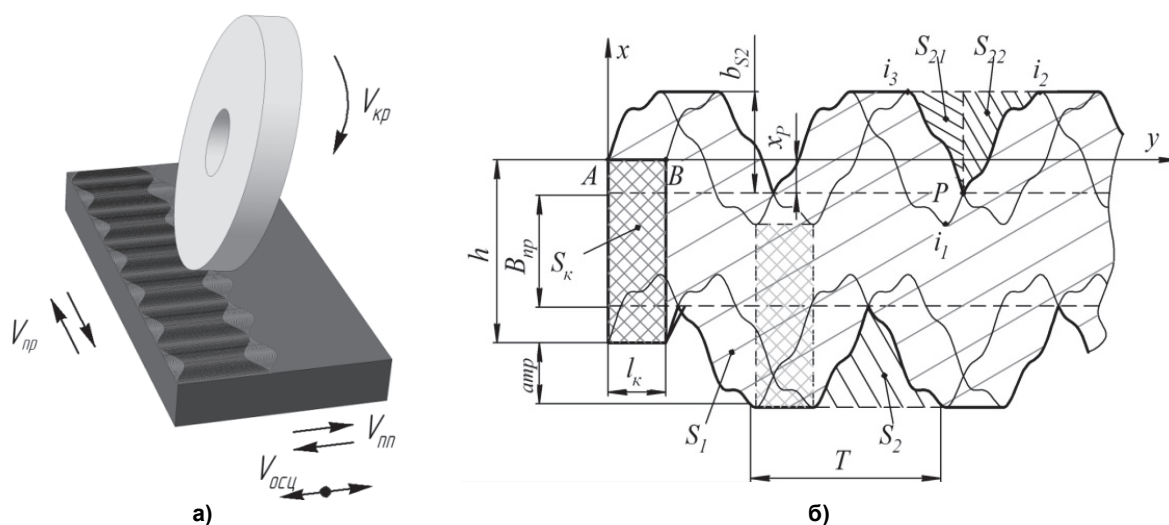


Рис. 2. Кинематика (а) и зона (б) обработки предлагаемым способом

По результатам теоретического исследования комбинированного процесса плоского шлифования кругами с АРС и осцилляцией заготовки были получены:

- кинематическая модель процесса, устанавливающая взаимосвязь конструкторско-технологических параметров процесса с кинематическими;
- математическая модель определения шероховатости поверхности, получаемой в результате обработки предлагаемым способом.

Данные математические модели имеют допущения. Поэтому целью экспериментальных исследований является проверка основных положений и результатов проведенных теоретических исследований данного процесса [11].

Для достижения поставленной цели проводятся следующие экспериментальные исследования [12–14]:

1. Определение влияния конструкторско-технологических факторов на шероховатость поверхности, обработанной предлагаемым способом. Сущность данного исследования сводится к получению регрессионной математической модели определения шероховатости обработанной поверхности в зависимости от глубины шлифования, скорости осцилляции и угла наклона круга с АРС, а также проверке адекватности теоретических зависимостей и данных, полученных при помощи программы имитационного моделирования, разработанной для анализа процесса обработки предложенным способом.

2. Определение влияния конструкторско-технологических факторов на производительность комбинированного процесса плоского шлифования. Сущность данного исследования сводится к получению регрессионной математической модели определения шероховатости обрабатываемой поверхности в зависимости от числа проходов инструмента, а также сравнению полученных данных с расчетными, полученными при помощи теоретических зависимостей и программы имитационного моделирования.

Экспериментальные исследования проводятся на плоскошлифовальном станке модели 3Е711ВФ1, с установленным на его шпинделе шлифовальным кругом марки 1-250×25×76 91А F60 К 9 V 35 м/с 2, в условиях лаборатории «Металлорежущие станки» ТИ Госуниверситет – УНПК. Используется комплект из пары инструментов одной марки: стандартный круг прямого профиля и круг с АРС, имеющий угол наклона 10°.

Правка абразивного круга производится перед каждой серией экспериментов и осуществляется алмазным карандашом марки 3908-0061 исп. А тип 04 ГОСТ 607-80 с переориентированными алмазными зёрнами (тип Н). Карандаш, закрепленный в оправке, устанавливается на магнитной плите шлифовального станка и производится правка абразивного инструмента. Режимы правки приведены в таблице [15].

Режимы правки абразивного круга

Правящий инструмент	Переход	Продольная подача, м/мин	Поперечная подача, мм/ход стола	Число одинарных ходов
Алмаз	Предварительный	0,2–0,4	0,02–0,03	3–5
	Окончательный	0,05–0,15	0–0,01	1–2

Эксперименты проводятся на образцах из материала сталь 40Х ГОСТ 4543-71 (HRC 46...48) и сталь ШХ15 ГОСТ 801-78 (HRC 61...63).

Образцы для испытаний изготавливаются на предприятии Филиал Орловский ОАО «Северсталь-метиз», где они прошли всю необходимую технологическую обработку, соответствующую нормативным требованиям. Предварительно с образцов снимается слой толщиной 0,1...0,15 мм для исключения влияния технологической наследственности.

Образцы, используемые в экспериментальных исследованиях должны отвечать ряду требований [12]:

- иметь одинаковую форму и геометрические размеры в пределах одного класса;
- твердость образцов должна находиться в заданных пределах, а допустимое отклонение среднего арифметического значения твердости $\pm 5\%$;
- все образцы должны иметь однородную структуру по химическому составу и физико-химическим свойствам;

Технология

– все образцы до проведения испытаний должны быть промаркированы, чтобы избежать при их дальнейшем исследовании возможных ошибок.

Режимы обработки выбираются в соответствии с [16, 17].

В процессе экспериментальных исследований производится шлифование без использования СОТС. Это связано с рядом причин:

1) полученные теоретические модели позволяют сделать вывод об эффективности способа обработки без использования СОТС; следовательно улучшение условий обработки применением СОТС покажет результат с заведомо более высокими характеристиками;

2) экспериментальная установка выполнена при условии максимального удобства настройки и подналадки, а также оснащена приводом и датчиком осцилляций, не защищенными от жидкости; при этом использование СОТС может привести к сбою или снижению точности показаний датчика.

Установка для реализации процесса плоского шлифования периферией круга с ПОЗ, установленная на станке мод. 3Е711ВФ1, представлена на рис. 3 [18].

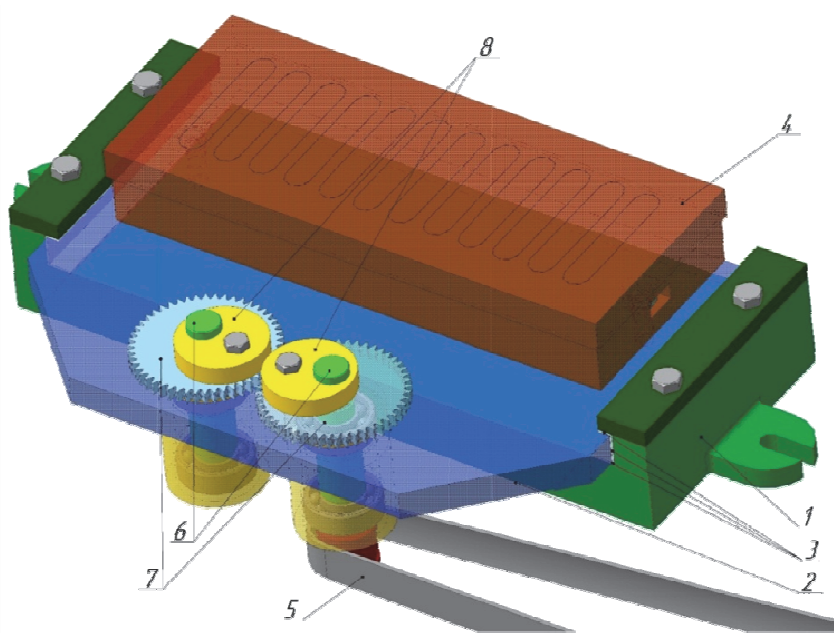


Рис. 3. Конструкция установки для поперечной осцилляции заготовки

На основании 1 установки подвижная плита 2 может совершать поперечные перемещения по направляющим, при этом в качестве опоры используются плоские фторопластовые подшипники скольжения 3. Смонтированная на подвижной плите 2 магнитная плита 4 используется для закрепления заготовки. Источник колебаний, также смонтированный на подвижной плите 2, представляет собой пару маховиков-эксцентров 8, установленных на валах 6 и вращающихся в одной фазе, но в противоположных направлениях, за счет согласования парой зубчатых колес 7. При этом в направлении продольной оси маховики уравнивают друг друга, а в направлении поперечной оси происходят колебания двух неуравновешенных масс, что вызывает периодическую силу инерции $F_{и}$, под действием которой подвижная плита с магнитной плитой 4 и заготовкой на ней совершает поперечные колебания.

Подвижные части установки защищены от попадания шлама и СОТС кожухом, на рис. 3 не показанном. Предусмотрена возможность монтажа пружин-ограничителей, установленных таким образом, что в нормальном режиме работы они не оказывают влияния на работу установки, а служат для ограничения перемещений осциллятора в аварийном режиме работы, т. е. при превышении заданного значения амплитуды.

Привод валов осциллятора осуществляется при помощи коллекторного электродвигателя с коническим редуктором, обеспечивающим рабочую частоту вращения в пределах 2800...9000 об/мин (47...150 Гц). Ременная передача с отношением 2:1 обеспечивает повышение частоты осцилля-

ций до 94...300 Гц. Электродвигатель имеет возможность бесступенчатой регулировки скорости вращения, но не имеет механизма точной ее установки.

Вследствие этого, а также в связи с необходимостью контроля амплитуды осцилляций, получаемых, исходя из соотношения массы эксцентрик и массы подвижной части установки, необходима установка измерительного устройства. В качестве последнего используется биполярный датчик Холла модели SS495A, устанавливаемый непосредственно на подвижную часть установки и неодимовый магнит, устанавливаемый на неподвижную плиту в зоне чувствительности датчика (рис. 4). Показания с прибора регистрируются при помощи аналого-цифрового преобразователя L-Card E-440 и обрабатываются в реальном времени при помощи программы LabView®.

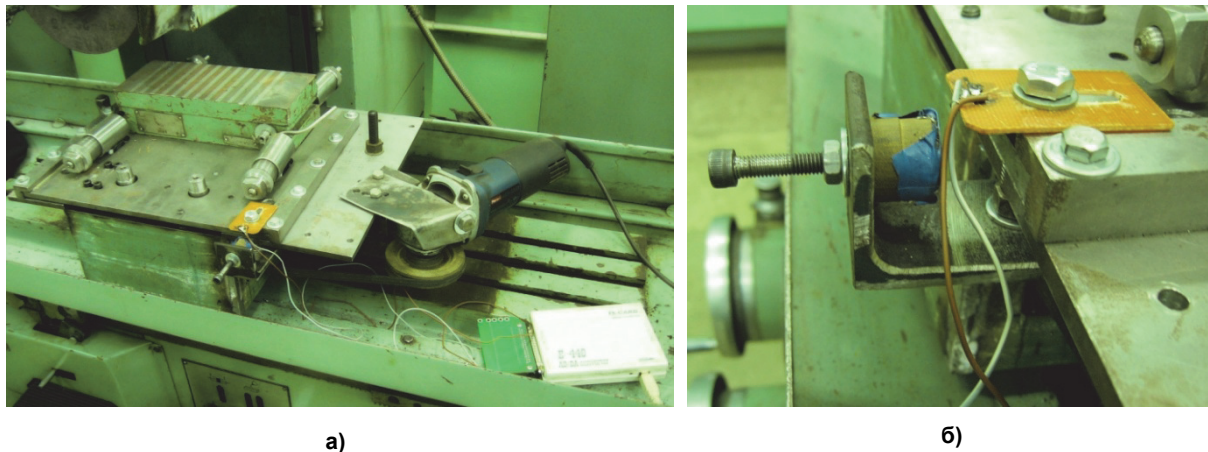


Рис. 4. Установка с датчиком осцилляций: а – общий вид на столе станка; б – приспособление с датчиком

Настройки программы после тарирования позволяют в процессе работы установки непосредственно контролировать частоту и амплитуду осцилляций подвижной плиты, а также регистрировать ее линейную скорость.

Тарирование производится установкой подвижной плиты в крайние положения в зоне чувствительности датчика.

Процесс тарировки включает в себя ряд последовательных действий:

- 1) максимальное приближение датчика Холла к магниту;
- 2) регистрация получаемого выходного сигнала U_1 с АЦП;
- 3) измерение расстояния d_1 между контрольными точками подвижной и неподвижной плит установки;
- 4) максимальное отдаление датчика от магнита в пределах заявленной зоны и в соответствии с показаниями на АЦП;
- 5) регистрация получаемого выходного сигнала U_2 с АЦП;
- 6) измерение расстояния d_2 между контрольными точками;
- 7) обработка зарегистрированных данных.

Используя полученные данные, строится тарировочный график (рис. 5, а), а затем получается тарировочный коэффициент (коэффициент усиления). Заявленная передаточная характеристика в рабочем диапазоне датчика имеет линейный вид (рис. 5, б), поэтому для тарирования достаточно показаний в двух крайних точках d_1 и d_2 . Для контроля характеристики производится фиксирование показаний в промежуточной точке d_3 .

Для реализации предлагаемого способа обработки необходима минимизация колебаний в вертикальном направлении. Для контроля данного требования используется настройка установки (рис. 6), которая заключается в измерении амплитуды колебаний в вертикальном направлении в различных точках магнитной плиты при помощи индикатора часового типа ИЧ-50 ГОСТ 577-68 и регулировке зазора в направляющих.

Среднеарифметическое отклонение профиля шлифованной поверхности измеряется на профилографе-профилометре модели АБРИС-ПМ 7.2 (рис. 7).

Технология

Статистическая обработка экспериментальных данных производится на ПЭВМ с помощью программы Statistica ® StatSoftInc., многофакторного регрессионного анализа методом наименьших квадратов [19].

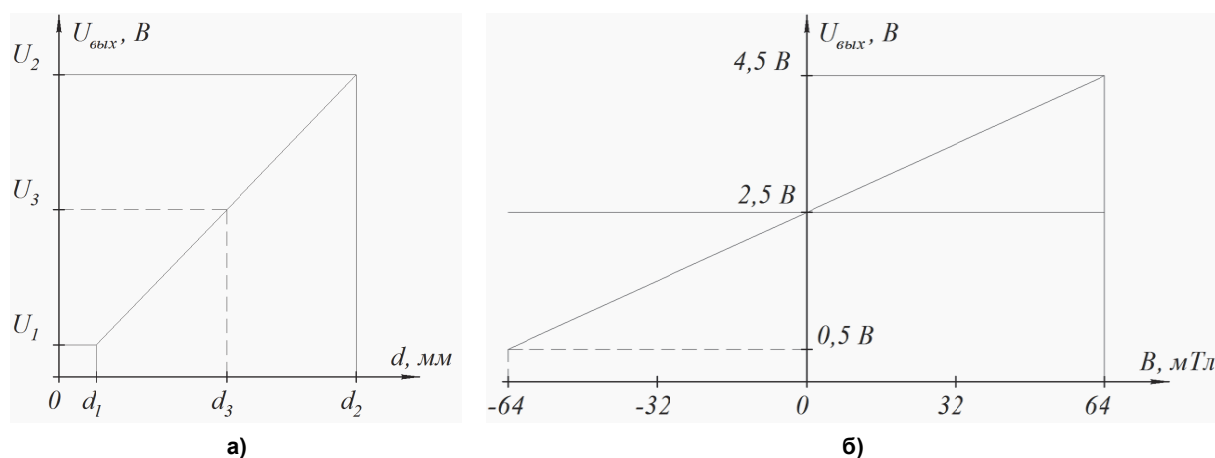


Рис. 5. Тарировочный график (а) и передаточная характеристика (б) датчика SS495A



Рис. 6. Установка индикатора ИЧ-50 на станке



Рис. 7. Общий вид измерительного комплекса АБРИС – ПМ 7.2

Приведенная методика экспериментальных исследований позволяет с достаточной степенью точности получить экспериментальные данные исследования процесса плоского шлифования с применением кругов с АРС и осцилляции заготовки и сопоставить их с результатами проведенных теоретических исследований данного процесса и установить адекватность полученных математических моделей и разработанной программы имитационного моделирования.

Контрольно-измерительное оборудование, используемое в работе, предоставлено Центром коллективного пользования ФГБОУ ВПО «Государственный университет – УНПК».

Исследования проводятся при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (программа УМНИК).

Литература

1. Zhou, X. Modeling and Predicting Surface Roughness of the Grinding Process / X. Zhou, F. Xi // *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. – 2002. – Vol. 42. – P. 969–977.
2. Hecker, R.L. Predictive Modeling of Surface Roughness in Grinding / R.L. Hecker, S.Y. Liang // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2003. – Vol. 43. – P. 755–761.
3. Salisbury, E.J. A Three-Dimensional Model for the Surface Texture in Surface Grinding, Part 2: Grinding Wheel Surface Texture Model / E.J. Salisbury, K.V. Domala, K.S. Moonet al. // *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*. – 2001. – Vol. 123(4). – P.582–590. DOI: 10.1115/1.1391428
4. Nguyen, T.A. Simulation of Surface Grinding Process, Part 2: Interaction of the Abrasive Grain With the Workpiece / T.A. Nguyen, D.L. Butler // *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. – 2005. – Vol. 45 (11). – P. 1329–1336.
5. Tang, J. Modeling and Experimental Study of Grinding Forces in Surface Grinding / J. Tang, J. Du, Y. Chen // *Journal of materials processing technology*. – 2009. – Vol. 209. (2009). –P. 2847–2854.
6. Advances in Modeling and Simulation of Grinding Processes / E. Brinksmeier, J.C. Aurich, E. Govekar et al. // *Annals of the CIRP*. – 2006. – Vol. 55(2). – P. 667–696.
7. Козлов, А.М. Повышение качества и точности цилиндрических деталей при шлифовании / А.М. Козлов. – Липецк: ЛГТУ, 2004. – 181 с.
8. Василенко, Ю.В. Плоское виброшлифование с сообщением колебаний обрабатываемой заготовке / Ю.В. Василенко, А.В. Воронков, О.С. Заброта // *Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии»*. – 2008. – №3-3/271(546). – С. 8–9.
9. Степанов, Ю.С. Абразивный инструмент для формирования знакопеременных деформаций в поверхностном слое при шлифовании / Ю.С. Степанов // *Technology – 2000: тр. междунар. науч.-техн. конф.* – Орел: ОрелГТУ, 2000. – С. 232–235.
10. Симаков, А.А. Методика повышения эффективности плоского виброшлифования периферией круга / А.А. Симаков, Ю.В. Василенко // *Молодые ученые – основа будущего машиностроения и строительства: сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. конф.* – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2014. – С. 332–335.
11. Экспериментальные исследования шероховатости при плоском шлифовании с поперечной осциллирующей заготовки / А.В. Воронков, А.А. Симаков, О.А. Василенко и др. // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2012. – № 3-3 (293). – С. 100–105.
12. Рогов, В.А. Методика и практика технических экспериментов / В.А. Рогов, Г.Г. Позняк. – М.: Академия, 2005. – 288 с.
13. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
14. Спиридонов, А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.
15. Кремень, З.И. Технология шлифования в машиностроении / З.И. Кремень, В.Г. Юрьев, А.Ф. Бабошкин. – СПб.: Политехника, 2007. – 424 с.
16. Дальский, А.М. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под общ. ред. А.М.Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мецеракова, А.Г. Сулова. – 5-е изд. – М.: Машиностроение – 1, 2001. – 912 с.
17. Филимонов, Л.Н. Высокоскоростное шлифование / Л.Н. Филимонов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1979. – 248 с.
18. Симаков, А.А. Инерционная установка для плоского виброшлифования периферией круга / А.А. Симаков, Ю.В. Василенко // *Известия Самар. науч. центра Рос. акад. наук*. – 2013. – Т. 15, № 4 (2). – С. 412–415.
19. Львовский, Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул / Е.Н. Львовский. – М.: Высш. шк., 1988. – 239 с.

Симаков Александр Александрович. Соискатель, старший преподаватель кафедры «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, Технологический институт им. Н.Н. Поликарпова, г. Орел, regustrat@ya.ru.

Василенко Юрий Валерьевич. Кандидат технических наук, доцент, директор, Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, Технологический институт им. Н.Н. Поликарпова, г. Орел, vyuv-post@yandex.ru.

Поступила в редакцию 11 ноября 2014 г.

METHOD OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF FLAT GRINDING WITH ACL WHEELS AND WORKPIECE OSCILLATION

*A.A. Simakov, State University – Education-Science-Production Complex, Polikarpov Technological Institute, Orel, Russian Federation, peructpat@ya.ru,
Yu.V. Vasilenko, State University – Education-Science-Production Complex, Polikarpov Technological Institute, Orel, Russian Federation, vyuv-post@yandex.ru*

A method of flat grinding with axially shifted cutting layer (ACL) and workpiece oscillation allow increase of the process efficiency compared with the pendulum grinding and obtain the undirected detail microrelief.

The paper contents a method of experimental research of machining process. The purpose of experimental research is to verify the basic provisions and the results of theoretical research and the obtained data using the developed simulation-modeling program. Investigated influence for the received workpiece surface roughness and processing performance of the grinding depth, of number of passes, of oscillation speed and inclination of the ACL grinding wheel.

Processing performed on the flat-grinding machine using a pair of grinding wheels of same mark, one of which has a straight profile, the second has an axial shift. Workpieces are pre-processed with specified roughness and hardness of surface. In the process of research, lubricate-cooling technical environment not used due to lack of need by results of theoretical research, as well as to eliminate failures or accuracy reduction of the oscillations sensor.

For the workpiece oscillations used the original design of the set with an inertial vibration source. Set driven by the commutator motor with the infinitely variable speed control. For monitoring of the engine speed and the oscillation amplitude is applied bipolar Hall effect sensor, in a pair with the magnet and mounted on the one movable and one fixed installation plates. Vertical oscillations amplitude of magnetic plate monitored with a dial indicator. The roughness of the items measured on profilometer. Experimental data processed on a PC using a multivariate regression analysis with the least squares method.

Presented method allows to reliably obtain experimental data of the flat grinding with using of ACL wheels and the workpiece oscillations and to compare them with the results of theoretical research and to establish adequacy of the developed mathematical models and simulation-modeling program.

Keywords: grinding, microrelief, roughness, vibration, oscillation, experiment, productivity, method.

References

1. Zhou X., Xi F. Modeling and Predicting Surface Roughness of the Grinding Process. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2002, Vol. 42, pp. 969–977.
2. Hecker R.L., Liang S.Y. Predictive Modeling of Surface Roughness in Grinding. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2003, Vol. 43, pp. 755–761.
3. Salisbury E.J., Domala K.V., Moon K.S., Miller M.H., Sutherland J.W. A Three-Dimensional Model for the Surface Texture in Surface Grinding, Part 2: Grinding Wheel Surface Texture Model. *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*, 2001, Vol. 123 (4), pp. 582–590. DOI: 10.1115/1.1391428

4. Nguyen T.A., Butler D.L. Simulation of Surface Grinding Process, Part 2: Interaction of the Abrasive Grain With the Workpiece. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2005, Vol. 45 (11), pp. 1329–1336.
5. Tang J., Du J., Chen Y. Modeling and Experimental Study of Grinding Forces in Surface Grinding. *Journal of materials processing technology*, 2009, Vol. 209, pp. 2847–2854.
6. Brinksmeier E., Aurich J.C., Govekar E., Heinzl C. et al. Advances in Modeling and Simulation of Grinding Processes. *Annals of the CIRP*, 2006, Vol. 55(2), pp. 667–696.
7. Kozlov A.M. *Povyshenie kachestva i tochnosti tsilindricheskikh detaley pri shlifovanii* [Increasing of the Quality and Accuracy of Cylindrical Parts During Grinding]. Lipetsk, Lipetsk St. Tech. Univ. Publ., 2004. 181 p.
8. Vasilenko Yu.V., Voronkov A.V., Zabroda O.S. [Flat Vibrating Grinding with Reporting Vibrations to the Processed Work Material]. *Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology*, 2008, no. 3-3/271(546), pp. 8–9. (in Russ.)
9. Stepanov Yu.S. [Abrasive Tool for Forming of Alternating Deformations in the Surface Layer During Grinding]. *Technology – 2000: Papers of intern. conf.* Orel, Orel St. Tech. Univ. Publ., 2000, pp. 232–235. (in Russ.)
10. Simakov A.A., Vasilenko Yu.V. [Method of Increasing of Efficiency of Flat Vibrogrinding by Wheel Periphery]. *Molodye uchenye – osnova budushchego mashinostroeniya i stroitel'stva*. Kursk, South-West St. Univ. Publ., 2014, pp. 332–335. (in Russ.)
11. Voronkov A.V., Simakov A.A., Vasilenko O.A., Vasilenko Yu.V. [Roughness Experimental Research by Flat Grinding with Cross-Section Oscillation of Workpiece]. *Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology*, 2012, no. 3-3 (293), pp. 100–105. (in Russ.)
12. Rogov V.A., Poznyak G.G. *Metodika i praktika tekhnicheskikh eksperimentov* [Methodology and Practice of Technical Experiments]. Moscow, Akademiya Publ., 2005. 288 p.
13. Adler Yu.P., Markova E.V., Granovskiy Yu.V. *Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nykh usloviy* [Planning of Experiment when Searching for the Optimal Conditions]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 280 p.
14. Spiridonov A.A. *Planirovanie eksperimenta pri issledovanii tekhnologicheskikh protsessov* [Planning of Experiment in the Investigation of Technological Processes]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1981. 184 p.
15. Kremen' Z.I., Yur'ev V.G., Baboshkin A.F. *Tekhnologiya shlifovaniya v mashinostroenii* [Grinding Technology in Mechanical Engineering]. St. Petersburg, Politehnika Publ., 2007. 424 p.
16. Dal'skiy A.M., Kosilova A.G., Meshcheryakov R.K., Suslov A.G. *Spravochnik tekhnologamashinostroytelya* [Handbook of Mechanical Engineer]. Moscow, Mashinostroenie – 1 Publ., 2001. 912 p.
17. Filimonov L.N. *Vysokoskorostnoe shlifovanie* [High-Speed Grinding]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1979. 248 p.
18. Simakov A.A., Vasilenko Yu.V. [Inertial Unit for the Flat Vibrogrindings by the Grinding Wheel Periphery]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2013, vol. 15, no. 4 (2), pp. 412–415. (in Russ.)
19. L'vovskiy E.N. *Statisticheskie metody postroyeniya empiricheskikh formul* [Statistical Methods for Constructing of Empirical Formulas]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1988. 239 p.

Received 11 November 2014

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Симаков, А.А. Методика проведения экспериментальных исследований плоского шлифования с применением кругов с АРС и осцилляции заготовки / А.А. Симаков, Ю.В. Василенко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2015. – Т. 15, № 2. – С. 61–69.

REFERENCE TO ARTICLE

Simakov A.A., Vasilenko Yu.V. Method of Experimental Research of Flat Grinding with ACL Wheels and Workpiece Oscillation. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2015, vol. 15, no. 2, pp. 61–69. (in Russ.)