

ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОГО ПРОФИЛЯ

В. А. Скрыбин

*ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет»
(г. Пенза, Россия)*

В статье приведены особенности обработки поверхностей деталей со сложным профилем незакрепленным шлифовальным материалом. В предыдущих исследованиях были определены интервалы изменения давления абразивной среды на обрабатываемую поверхность, а также скорости резания, при которых обеспечивается возможность высокой производительности и качества процесса обработки и исключается появление брака вследствие перегрева детали. Исследования обработки деталей типа дисков и кулачков осуществлялись на экспериментальной установке, которая зафиксирована на столе вертикально-сверлильного станка или радиально-сверлильного станка и соединена с его шпинделем. Работа такого устройства осуществляется следующим образом. Обрабатываемую деталь закрепляют на специальной оправке, которая устанавливается на вал ротора. Перемещение оси оправки относительно оси ротора обеспечивается шарнирным поводком с шариками. Ротор помещают в камеру с эластичными стенками, заполненную абразивной средой, и сообщают ему вращение с определенной угловой скоростью ω . В кольцевую полость камеры подают воздух под давлением, в результате чего среда уплотняется, а камере сообщается вращательное движение посредством зубчатой передачи. Кроме этого, она совершает возвратно-поступательное движение вдоль оси вращения, перемещаясь относительно неподвижных кулачков. Для уменьшения нагрузки на кулачки служит демпфирующая пружина. Проведенные экспериментальные исследования показывают, что на качество формируемой поверхности детали при камерной обработке оказывают влияние в основном следующие параметры: давление воздуха, прикладываемое к эластичной оболочке, зернистость абразивного материала, твердость детали, соотношение диаметральных размеров детали и эластичной оболочки при обработке. В статье представлены результаты практической реализации финишной обработки, которые позволяют получить заданную величину шероховатости обрабатываемых поверхностей.

Ключевые слова: деталь со сложным профилем, незакрепленный шлифовальный материал, метод обработки, шероховатость, поверхность, обработка деталей типа дисков и кулачков, экспериментальная установка, параметры обработки, результаты практической реализации, заданная величина шероховатости обрабатываемых поверхностей

BASIC PARAMETERS EFFECT OF TREATMENT PROCESS ON INTRICATE-SHAPED PARTS' SURFACES ROUGHNESS

V. A. Skryabin

Penza State University (Penza, Russia)

The article presents the particular surface treatment of complex profile parts with loose abrasives. In previous studies we have defined ranges of pressure abrasive onto the surface, and the cutting speed at which high productivity and quality of the processing are obtained, and scrapping of details due to overheating is eliminated. Researches of such de-



tails as disks and cams were carried out in a test unit, which is fixed on a table of a vertical drilling machine or radial drilling machine and connected to its stem. The workpiece for such research is fixed on a special holder, which is mounted on the rotor shaft. Lead balls allow moving the mandrel axis relatively to the hinge axis of the rotor. The rotor is placed in a chamber with elastic walls filled with abrasive medium and imparts a rotation with a certain angular velocity. The annular chamber cavity supplied with air under pressure, as a result of which the medium is condensed, and the chamber communicates rotational movement through a gear. In addition, it performs a reciprocating motion along the rotation axis, moving relative to the fixed jaw. There is a damping spring designed to reduce the load on the cams. The experimental results show that the surface quality of the parts formed in the processing chamber is influenced mainly by the following parameters: the air pressure applied to the elastic shell grit abrasive, hardness of the part, the ratio of the diametral dimensions of the part and the elastic sheath during processing. The article also presents the results of the practical implementation of finishing treatments which allow to obtain a predetermined value of roughness of processed surfaces.

Keywords: intricate-shaped details, loose abrasive, methods of treatment, roughness, surface, treatment of disk-type of cam-type details, test unit, basic parameters of treatment, results of practical implementation, predetermined value of roughness of the processed surfaces

Высокая эффективность финишной обработки деталей типа тел вращения со сложным профилем может быть достигнута незакрепленным абразивным материалом, уплотненным в камере статическим давлением сжатого воздуха через эластичную оболочку [3–5].

В предыдущих исследованиях [6; 8] были определены интервалы изменения давления абразивной среды на обрабатываемую поверхность, а также скорости резания, при которых обеспечивается возможность высокой производительности обработки и исключается появление брака вследствие перегрева детали. Полученные результаты послужили основой для исследований производительности процесса обработки в уплотненной абразивной среде. Они осуществлялись на экспериментальной установке, схема которой представлена на рис. 1–2 соответственно [5; 7].

Установка зафиксирована на столе вертикально-сверлильного станка или радиально-сверлильного станка и соединена с его шпинделем. Работа такого устройства осуществляется следующим образом. Обрабатываемую деталь 2 закрепляют на оправке 3, которая устанавливается на вал ротора 10. Перемещение оси оправки относительно оси ротора обеспечивается шарнирным поводком 9 с шариками 8. Ротор помещают в камеру 7 с эластичными стенками 6,

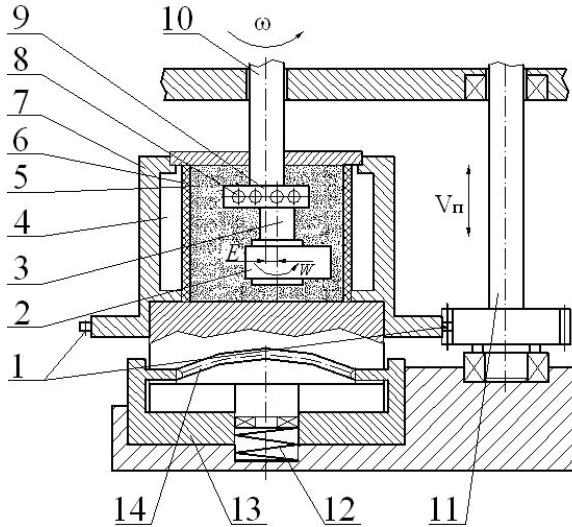
заполненную абразивной средой 5, и сообщают ему вращение со скоростью $\dot{E} = V / (E + R)$. Максимальная величина угловой скорости составляет 10 рад/с. В кольцевую полость камеры 4 подают воздух под давлением, в результате чего среда 5 уплотняется и точно копирует форму профиля погруженной в нее детали. Камере 7 посредством зубчатой передачи 1 сообщается вращательное движение от приводного вала 11. При этом она совершает возвратно-поступательное движение вдоль оси вращения, перемещаясь относительно неподвижных кулачков 13, входящих в зацепление с кулачковой прорезью 14 камеры. Для уменьшения нагрузки на кулачки служит демпфирующая пружина 12.

Необходимо отметить, что угловую скорость выбирают в зависимости от твердости материала детали. Однако при высокой угловой скорости вращения детали этого недостаточно, чтобы гарантировать равномерность обработки всего контура. В этом случае на качество обработки начинает оказывать влияние даже незначительное отклонение контура от круглости, а инерционность абразивной среды не позволяет уменьшить время выравнивания давления до определенной величины.

Время выравнивания давления (заполнения возникшего зазора между поверхностью детали и абразивной

средой) зависит от инерционности среды. Для эффективной обработки всего контура, имеющего отклонение от круглости, требуется обеспечить равномерную интенсивность воздейст-

вия на все его точки. Для этого необходимо определить эксцентриситет E оси оправки относительно оси ротора. Эксцентриситет определяется следующим образом (рис. 1).



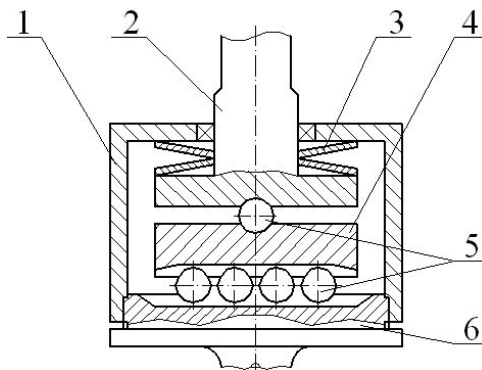
Р и с. 1. Схема установки, реализующей способ обработки
 F i g. 1. Scheme of installation for processing method implementing

$$E = 0,5D - r, \quad (1)$$

где D – диаметр описанной окружности, $\text{м} \cdot 10^{-3}$; r – радиус смещения, $\text{м} \cdot 10^{-3}$.

Для обеспечения непрерывности контакта поверхности детали с абра-

зивной средой предлагается крепить деталь на роторе посредством эксцентричной оправки, самоустанавливающейся под воздействием сил резания. Конструкция такой оправки приведена на рис. 2.



Р и с. 2. Конструкция самоустанавливающейся оправки
 F i g. 2. Design of the self-adjusting mandrel



В ее корпусе 1 монтируется хвостовик 2 с тарельчатыми пружинами 3. В пазах поводка 4 оправки установлены два ряда шариков 5 перпендикулярно друг другу, которые входят в пазы оправки, на которой крепится деталь. Такая конструкция обеспечивает перемещение оси оправки относительно оси ротора и контакт поверхности детали с абразивной средой 6.

Необходимо отметить, что процесс обработки протекает стабильно при условии непрерывного контактирования абразивной среды и участка контура с отклонением от круглости в течение оборота вокруг собственной оси ротора с деталями (или большего времени). Эксперименты с использованием деталей с различным профилем (например, кулачков) свидетельствуют, что ударный характер взаимодействия поверхности кулачка и уплотненной абразивной среды не проявляется при ограничении угловой скорости ротора в пределах 10 рад/с, скорости возвратно-поступательного движения относительно оси вращения детали $V_n = (0,1-0,5) \cdot 10^{-3}$ м/с и применении самоустанавливающейся эксцентриковой оправки [3; 9].

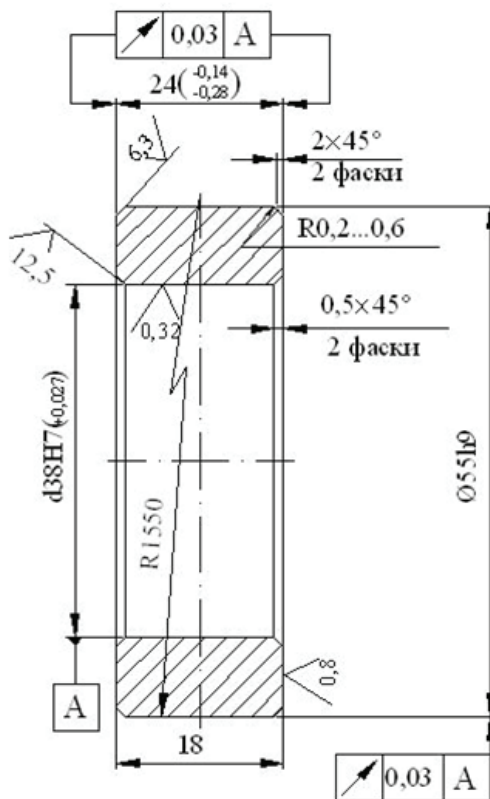
Изменение величины подводимого давления сжатого воздуха осуществлялось редукционным пневмоклапаном 122-12-У4 ГОСТ 18468-79. Регистрация давления осуществляется манометром МВПС_д-100-ОМ-2 ГОСТ 12733-79 с ценой деления 0,005 МПа.

Описанная экспериментальная установка позволяет обрабатывать широкую номенклатуру деталей начиная от дисков и кулачков и заканчивая плоскими деталями при соответствующей модернизации установки. Образцы деталей для исследования производительности и шероховатости обработки приведены на рис. 3-4. Образцы изготавливались из стали 12ХНМА и 18Х2Н4МА с твердостью 57-63 HRC и исходной шероховатостью поверхности $R_a = 0,6-0,8$ мкм.

В качестве абразивных сред использовались порошки электрокорунда марки 14А различных зернистостей с объемной влажностью 20 %. Жидкой составляющей среды служил 2%-ный водный раствор тринатрийфосфата.

Производительность обработки оценивалась по величине массового съема металла с единицы площади обрабатываемой поверхности и измерялась путем сравнения массы детали до и после обработки.

Взвешивание образцов производилось на микроаналитических весах АДВ-200М с точностью до 0,0001 г.

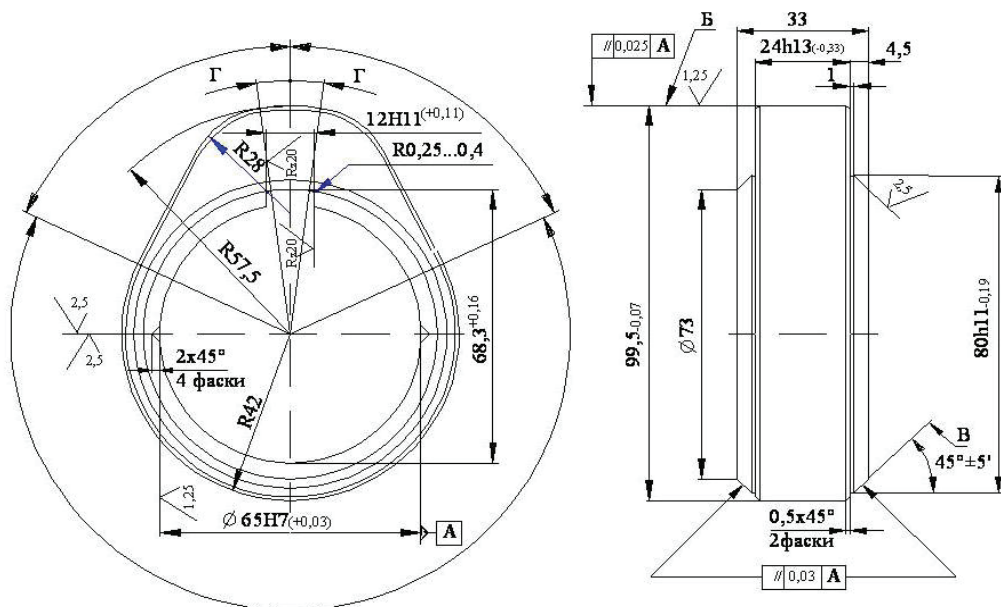


Р и с. 3. Ролик механизма газораспределения дизеля

Fig. 3. Roller of the diesel valve timing gear

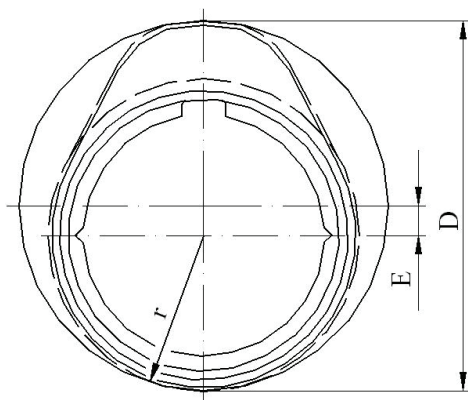
Исследования шероховатости поверхности детали проводились на экспериментальной установке, общий вид которой показан на рис. 5. Измерение высоты неровностей поверхности производилось по параметру R_a на профилометре модели 283 завода

«Калибр». Исследование производительности и шероховатости обработки осуществлялось с использованием методики многофакторного планирования эксперимента. На рис. 5 приведена схема для определения эксцентриситета E .



Р и с. 4. Опытный образец детали (кулачек распредвала дизеля 1 – 517ПДГ.92.15), использованный при проведении исследований

F i g. 4. Prototype parts (cam of diesel camshaft 1 – 517PDG.92.15) used in the research



Р и с. 5. Схема для определения эксцентриситета оси оправки относительно оси ротора

F i g. 5. Scheme for mandrel axis eccentricity determining about rotor axis

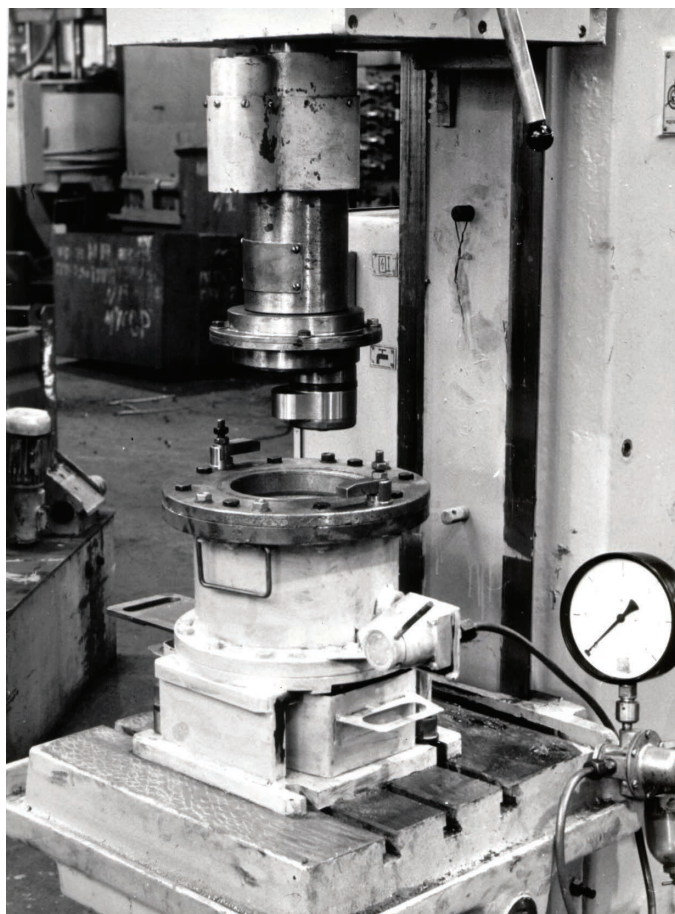


Предлагаемое устройство для полирования деталей камерным способом состоит из камеры, блока подготовки воздуха, шпинделя и эксцентричной оправки (рис. 6).

Для обеспечения работы устройства требуется источник сжатого воздуха с давлением не ниже 0,2 МПа.

Камера, через пневмораспределитель соединенная с блоком подготовки воздуха, устанавливается на столе вертикально-сверлильного станка и кре-

пится болтами. Блок подготовки воздуха включает в себя: вентиль муфтовый РУ16ДУ ГОСТ 9086–74, клапан 122–12 ГОСТ 18468–79, манометр МТ–1Ф60–10–74 ГОСТ 8628–77, фильтр влагоотделитель 22–10–80 ГОСТ 17437–81, обратный клапан 10–2–УХЛ4 ГОСТ 21324–83. Он монтируется на корпусе станка в месте, удобном для обслуживания, и соединяется с источником сжатого воздуха.



Р и с. 6. Общий вид варианта промышленной установки для полирования деталей предлагаемым камерным способом в уплотненной обрабатывающей среде

F i g. 6. General view of industrial unit for parts polishing by offered chamber method in compacted processing substance



Основные данные установки.

1. Класс точности станка – Н
2. Объем рабочей камеры, л: 2,5; 4,5; 7,0
3. Объем контейнера для сбора наполнителя, л: 2,5; 4,5; 7,0
4. Наибольшая масса обрабатываемых деталей, кг – 5,0
5. Суммарная масса обрабатываемых деталей, не более, кг – 5,0
6. Длина обрабатываемой детали, наибольшая, мм – 400
7. Диаметр цилиндрических деталей, не более, мм – 300
8. Частота вращения ротора, мин⁻¹: 68, 100, 140, 195, 275, 400, 530, 750, 1100
9. Давление воздуха в сети, МПа – 0,4–0,6
10. Количество одновременно обрабатываемых деталей, шт. – 1–80
11. Потребляемая мощность, кВт – 1,5–3
12. Род тока: трехфазный, переменный
13. Напряжение, В – 380
14. Масса установки, кг – 25
15. Машинное время обработки, мин – 1–5
16. Габаритные размеры, мм – 415×300×670.

При эксплуатации установок подобного типа перед началом работы необходимо проверить надежность крепления камеры на столе станка. Затем необходимо приготовить рабочую смесь и засыпать ее внутрь камеры, очистить оправку от загрязнений, установить и закрепить на ней деталь. В дальнейшем нужно опустить шпиндель станка вниз до упора, после чего зажать верхнюю крышку специальными поворотными рычагами. После этого следует установить с помощью клапана 122–12 ГОСТ 18468–79 и манометра МТ–1 (Ф–60–10–4) ГОСТ 8628–77 требуемую величину давления воздуха, подводимого к эластичной стенке камеры и частоту вращения шпинделя. Установка давления воздуха и частоты вращения шпинделя про-

изводится перед началом каждой рабочей смены. После этого необходимо включить привод станка и произвести обработку деталей.

По окончании цикла обработки нужно отключить подачу воздуха, выключить вращение шпинделя станка, раскрыть крышку и освободить деталь. Следует отметить, что отсчет времени обработки выполняется специальным реле времени.

Замена рабочей среды производится после сильного ее истирания или загрязнения. Для этого необходимо выдвинуть отсекагель, освободить окно в нижней части рабочей емкости и протолкнуть рабочую среду в выдвижной ящик, находящийся под камерой. После этого отсекагель задвигается и производится новая загрузка рабочей среды в камеру установки.

Проведенные экспериментальные исследования показывают, что на качество формируемой поверхности детали при камерной обработке оказывают влияние в основном следующие параметры: давление воздуха, прикладываемое к эластичной оболочке, зернистость абразивного материала, твердость детали, соотношение диаметральных размеров детали и эластичной оболочки при обработке.

Уплотненный абразивный слой обладает определенной инерционностью. При взаимодействии с поверхностью детали типа кулачка в первую очередь обрабатывается участки поверхности максимального диаметра, а участки поверхности минимального диаметра – настолько, насколько позволяет инерционность уплотняющей среды. Исходя из того, что основное абразивное воздействие оказывается на деталь уплотненной обрабатывающей средой, для обеспечения всесторонней обработки поверхности необходимо при ее вращении осуществлять разрушение уплотненного абразивного слоя относительно контура детали.



Одной из основных динамических характеристик процесса обработки деталей в уплотненной обрабатываемой среде является давление среды на ее поверхности посредством эластичной оболочки. Оно определяет характер протекания абразивного воздействия. Поэтому исследование динамических характеристик метода обработки необходимо начинать с определения давления абразивной среды на деталь.

Необходимо отметить, что для решения поставленной задачи в первом приближении могут быть применены уравнения теории упругости [1; 9–10]. Это связано в первую очередь со спецификой свойств зернистых сред, которые при всестороннем сжатии ведут себя как упругодеформируемые твердые тела.

Как уже отмечалось ранее, основными параметрами камерного способа обработки являются давление, подводимое к эластичной оболочке, и со-

отношение радиальных размеров эластичной оболочки и обрабатываемой детали. На основании теоретических исследований с целью проверки их результатов были проведены экспериментальные исследования.

Эксперименты проводились при обработке роликов механизма газораспределения дизеля, изготовленных из стали 18Х2Н4МА с исходной шероховатостью поверхности $R_a = 0,32-0,28$ мкм и твердостью поверхности 58–60 HRC. Обработка осуществлялась в камерном устройстве с радиусом эластичной оболочки $R_l = 100$ мм.

Режимные параметры были следующими: частота вращения деталей – $n = 125$ мин⁻¹; абразивный материал – электрокорунд белый марки 25А; жидкая фаза – 1,5–2 % водный раствор Na_2CO_3 ; продолжительность обработки – 4 мин. Остальные исходные данные, а также результаты экспериментов приведены в табл. 1–2.

Таблица 1

Table 1

Исходные данные и результаты экспериментов

Initial data and results of experiments

№	Зернистость абразива Z, мкм	Радиус детали R_2 , мм	Давление на эластичную стенку P , МПа	Значение шероховатости поверхности R_a (мкм) в эксперименте №					Среднее значение R_a , мкм
				1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	10	20	0,01	0,32	0,32	0,32	0,30	0,30	0,311
2	10	20	0,02	0,29	0,28	0,27	0,28	0,28	0,280
3	10	20	0,03	0,28	0,27	0,28	0,28	0,26	0,274
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	10	20	0,04	0,24	0,22	0,23	0,23	0,22	0,228
5	10	20	0,05	0,18	0,18	0,17	0,20	0,22	0,190
6	10	20	0,06	0,18	0,16	0,16	0,19	0,15	0,168
7	10	20	0,07	0,14	0,12	0,13	0,13	0,12	0,128
8	10	20	0,08	0,072	0,075	0,078	0,074	0,075	0,0748
9	10	20	0,09	0,062	0,060	0,055	0,052	0,054	0,0566
10	10	20	0,1	0,055	0,06	0,05	0,048	0,051	0,0528
11	10	20	0,11	0,052	0,054	0,055	0,058	0,060	0,0558
12	10	20	0,12	0,061	0,065	0,062	0,066	0,067	0,0642
13	10	20	0,13	0,072	0,075	0,077	0,076	0,072	0,0744
14	10	20	0,14	0,11	0,12	0,12	0,11	0,10	0,1120
15	10	20	0,15	0,17	0,18	0,16	0,18	0,15	0,168
16	10	20	0,16	0,26	0,24	0,23	0,26	0,24	0,2460
17	10	20	0,17	0,28	0,27	0,29	0,28	0,28	0,28
18	10	20	0,18	0,29	0,30	0,28	0,31	0,32	0,300
19	10	20	0,19	0,28	0,27	0,30	0,31	0,30	0,2920
20	10	20	0,20	0,28	0,27	0,30	0,31	0,30	0,2920
21	10	20	0,21	0,29	0,32	0,27	0,30	0,32	0,2920



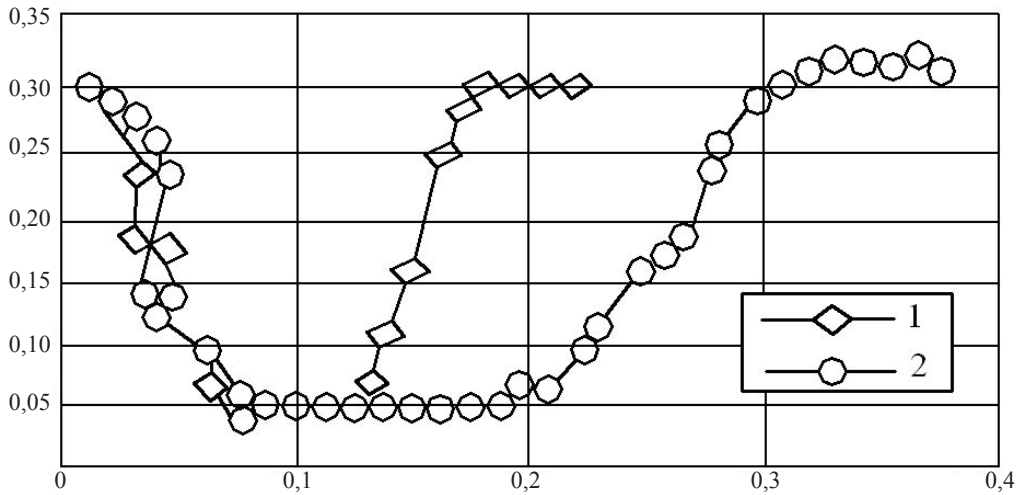
Исходные данные и результаты экспериментов

Initial data and results of experiments

№	Зерни- стость абра- зива Z, мкм	Ра- диус детали R_2 , мм	Давле- ние на эла- стич- ную стенку P, МПа	Значение шероховатости поверхности R_a (мкм) в эксперименте №					Среднее значение R_a , мкм
				1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	10	80	0,01	0,30	0,32	0,29	0,31	0,30	0,3040
2	10	80	0,02	0,29	0,32	0,28	0,31	0,30	0,3000
3	10	80	0,03	0,27	0,30	0,29	0,30	0,27	0,2860
4	10	80	0,04	0,27	0,26	0,28	0,26	0,25	0,2640
5	10	80	0,05	0,23	0,25	0,22	0,25	0,24	0,2380
6	10	80	0,06	0,14	0,13	0,12	0,13	0,13	0,1300
7	10	80	0,07	0,15	0,12	0,14	0,13	0,14	0,1360
8	10	80	0,08	0,12	0,089	0,11	0,098	0,11	0,1054
9	10	80	0,09	0,082	0,076	0,072	0,080	0,074	0,0768
10	10	80	0,1	0,055	0,050	0,048	0,056	0,058	0,0534
11	10	80	0,11	0,052	0,048	0,05	0,056	0,048	0,0498
12	10	80	0,12	0,051	0,055	0,049	0,052	0,05	0,0514
13	10	80	0,13	0,052	0,054	0,048	0,053	0,054	0,0522
14	10	80	0,14	0,050	0,055	0,05	0,054	0,055	0,0528
15	10	80	0,15	0,051	0,054	0,052	0,056	0,06	0,0546
16	10	80	0,16	0,052	0,055	0,054	0,058	0,055	0,0548
17	10	80	0,17	0,050	0,052	0,055	0,058	0,055	0,0540
18	10	80	0,18	0,055	0,055	0,058	0,060	0,060	0,0576
19	10	80	0,19	0,070	0,075	0,074	0,076	0,075	0,0740

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20	10	80	0,20	0,075	0,075	0,080	0,082	0,082	0,0763
21	10	80	0,21	0,11	0,10	0,12	0,10	0,11	0,1080
22	10	80	0,22	0,12	0,13	0,11	0,13	0,13	0,1240
23	10	80	0,23	0,15	0,18	0,17	0,18	0,17	0,17
24	10	80	0,24	0,17	0,18	0,18	0,19	0,16	0,1760
25	10	80	0,25	0,18	0,17	0,17	0,19	0,19	0,1800
26	10	80	0,26	0,19	0,18	0,22	0,23	0,23	0,2100
27	10	80	0,27	0,24	0,22	0,22	0,24	0,25	0,2340
28	10	80	0,28	0,26	0,27	0,28	0,29	0,28	0,2760

На рис. 7 приведены графические результаты экспериментов. Кривая 1 соответствует отношению $R_2/R_1 = 0,2$, а кривая 2 – отношению $R_2/R_1 = 0,8$.



Р и с. 7. Графические зависимости шероховатости обрабатываемой поверхности детали от давления уплотненной обрабатывающей среды при различных соотношениях радиальных размеров детали и эластичной оболочки камерного устройства

F i g. 7. Characteristics curve of part surface roughness depending on pressure of compacted abrasive substance with different ratios of radial dimensions of part and elastic membrane of chamber device



Анализируя приведенные графические зависимости, можно отметить следующее.

1. При использовании камерного способа полирования деталей необходимо правильно выбирать соотношение диаметральных размеров детали и оболочки устройства. Это обеспечит стабильное протекание процесса полирования в более широком диапазоне давлений. В нашем случае при соотношении радиальных размеров и эластичной оболочки $R_2/R_1 = 0,2$ соответственно стабильное протекание процесса обеспечивается при диапазоне давлений $P = 0,08-0,12$ МПа, а при соотношении $R_2/R_1 = 0,8$ при $P = 0,09-0,19$ МПа. Бо-

лее широкий оптимальный диапазон давлений обеспечит возможность обработки деталей с большим перепадом обрабатываемых диаметров.

2. В каждом конкретном случае существует определенный предел давления, при котором процесс полирования практически не осуществляется. При соотношении $R_2/R_1 = 0,2$ это давление $P \cong 0,18$ МПа, а при соотношении $R_2/R_1 = 0,8$ давление $P \cong 0,32$ МПа.

3. При использовании давления меньше оптимального возможно получение более низкой шероховатости поверхности, однако в этом случае резко снижается производительность обработки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Голушкевич, С. С. Плоская задача теории предельного равновесия сыпучей среды / С. С. Голушкевич. – Ленинград ; Москва : Гостехиздат, 1948. – 148 с.
2. Мартынов, А. Н. Основы метода обработки деталей свободным абразивом, уплотненным инерционными силами / А. Н. Мартынов. – Саратов : Изд-во Саратов. Гос. техн. ун-та, 1981. – 212 с.
3. Патент Российская Федерация, МКИ В 24 В 31/104. Способ обработки деталей / В. А. Скрябин. – №1803308, опубл. 23.03.93. Бюл. № 11.
4. Скрябин, В. А. Основы процесса субмикрорезания при обработке деталей незакрепленным абразивом : монография / В. А. Скрябин. – Пенза : Изд-во ПВАИУ, 1992. – 120 с.
5. Скрябин, В. А. Технологическое обеспечение качества обработки сложнопрофильных деталей уплотненными мелкодисперсными средами : монография / В. А. Скрябин, А. Г. Схиртладзе. – Старый Оскол : Тонкие наукоемкие технологии, 2015. – 240 с.
6. Скрябин, В. А. Новый метод финишной обработки деталей свободными мелкодисперсными средами / В. А. Скрябин, Ю. В. Рыбаков // Машиностроитель. – 2000. – № 2. – С. 16–17.
7. Скрябин, В. А. Камерный способ обработки сложнопрофильных деталей уплотненным мелкодисперсным абразивом / В. А. Скрябин, А. Г. Схиртладзе, Ю. В. Рыбаков // Технология металлов. – 2003. – № 1. – С. 19–24.
8. Скрябин, В. А. Экспериментальные исследования производительности финишной абразивной обработки деталей с различным профилем / В. А. Скрябин, Г. И. Свечникова // Машиностроитель. – 2011. – № 4. – С. 18–22.
9. Скрябин, В. А. Исследование влияния технологических факторов и условий финишной абразивной обработки на шероховатость обрабатываемых поверхностей деталей с различным профилем / В. А. Скрябин // Машиностроитель. – 2011. – № 3. – С. 18–22.
10. Тимошенко, С. П. Теория упругости / С. П. Тимошенко, Д. Ж. Гудьер. – Москва : Наука, 1985. – 576 с.

Поступила 06.05.2015 г.

Об авторе:

Скрябин Владимир Александрович, профессор кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет» (Россия, г. Пенза, ул. Красная, д. 40), доктор технических наук, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7156-9198>, vs_51@list.ru



Для цитирования: Скрябин, В. А. Влияние основных параметров процесса обработки на шероховатость поверхностей деталей сложного профиля / В. А. Скрябин // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 4. – С. 90–102. DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.090

REFERENCES

1. Golushkevich S. S. Ploskaya zadacha teorii predelnogo ravnesiya sypuchey sredy [Flat task of theory of maximum equilibrium of friable environment]. Leningrad; Moscow: Gostehizdat Publ., 1948, 148 p.
2. Martinov A. N. Osnovy metoda obrabotki detaley svobodnym abrazivom, uplotnennym inertsiyami silami [Bases of method of treatment of details a free abrasive close-settled inertia forces]. Saratov: Sarat. State University Publ., 1981, 212 p.
3. Pat. RF 1803308, МКИ: B24B 31/104. Method of treatment of details. Of V. A. Skryabin. 23.03.93, no. 11.
4. Skryabin V. A. Osnovy protsessa submikrorezaniya pri obrabotke detaley nezakreplennym abrazivom: monografiya [Bases of process of submicrometre at treatment of details an unsupported abrasive: monography]. Penza: PVAIU Publ., 1992, 120 p.
5. Skryabin V. A., Shirladze A. G. Tekhnologicheskoye obespecheniye kachestva obrabotki slozhno-profilnykh detaley uplotnennymi melkodispersnymi sredami: monografiya [Technological providing of treatment quality of intricate shape detail by sealed small-size dispersion materials: monography]. Staryy Oskol: Thin knowledge-based technologies Publ., 2015, 240 p.
6. Skryabin V. A., Rybakov Yu. V. Novyy metod finishnoy obrabotki detaley svobodnymi melkodispersnymi sredami [New method of detail finish treatment by small-size dispersion abrasive]. *Mashinostroitel* [Machine Engineer]. Moscow: Turn-center Publ., 2000, no. 2, pp.16–17.
7. Skryabin V. A., Shirladze A. G., Rybakov Yu. V. Kamernyy sposob obrabotki slozhnoprofilnykh detaley uplotnennym melkodispersnym abrazivom [Vitrol-chamber of treatment of figurine details the close-settled fine abrasiveIntricate shape detail vitro-chamber process by sealed small-size dispersion abrasive]. *Tekhnologiya metallov* [Technology of metals]. Moscow: Science and technologies Publ., 2003, no. 1, pp.19–24.
8. Skryabin V. A., Svechnikova G. I. Eksperimentalnyye issledovaniya proizvoditelnosti finishnoy abrazivnoy obrabotki detaley s razlichnym profilem [Experimental researches of the productivity of finish abrasive treatment of details with the different profile]. *Mashinostroitel* [Machine Engineer]. Moscow: Turn-center Publ., 2011, no. 4, pp. 18–22.
9. Skryabin V. A. Issledovaniye vliyaniya tekhnologicheskikh faktorov i usloviy finishnoy abrazivnoy obrabotki na sherokhovatost obrabatyvayemykh poverkhnostey detaley s razlichnym profilem [Research of influence of technological factors and the conditions of finish abrasive treatment on the roughness of processed surfaces of details with the different profile]. *Mashinostroitel* [Machine Engineer]. Moscow: Turn-center Publ., 2011, no. 3, pp.18–22.
10. Tymoshenko S. P., Gudyer D. G. Teoriya uprugosti [Theory of resiliency]. Moscow: Science Publ., 1985, 576 p.

Submitted 06.05.2015

About the author:

Skryabin Vladimir Aleksandrovich, professor of chair of Machine Engineering Technology of Penza State University (40, Krasnaya Str., Penza, Russia), Dr.Sci. (Engineering), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7156-9198>**, vs_51@list.ru

For citation: Skryabin V. A. Basic parameters effect of treatment process on intricate-shaped parts' surfaces roughness. *Vestnik Mordovskogo universiteta* [Mordovia University Bulletin]. 2015, vol. 25, no. 4, pp. 90–102. DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.090