



Дзей С. Е.

Левинская И. М.

Лубенская Л. М.

Николаенко А. П.

*Восточноукраинский  
национальный  
университет  
имени Владимира Даля*

УДК 621.9.048

## **АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ, СОЗДАВАЕМОГО РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ ОБРАБОТКИ В СВОБОДНЫХ АБРАЗИВАХ**

*У статті представлені результати дослідження впливу різних методів обробки у вільних абразивах на процес формування поверхневого шару деталей і розглянуті параметри шорсткості отримуваної поверхні і їх вплив на якість поверхневого шару.*

*The results of research by influence of different methods of treatment in free abrasives on the process of forming of superficial layer of details are presented and the roughness parameters of the got surface and their influence on quality of superficial layer are examined in the article.*

Для обеспечения того или иного эксплуатационного свойства изготавливаемой детали или узла необходимо обеспечить требуемые характеристики качества обрабатываемых поверхностей. Обработка деталей в свободных абразивах является эффективным средством получения поверхностного слоя изделий, который, как показывают результаты теоретических и экспериментальных исследований [1, 2, 3], оказывает значительное влияние на эксплуатационные свойства изделий.

Для решения задачи обеспечения эксплуатационных свойств следует знать зависимости, связывающие характеристики качества обрабатываемых поверхностей с условиями обработки, причем эти зависимости, как известно, отражают влияние технологической наследственности [4, 5], поэтому так важно выбирать метод обработки.

К основным методам обработки в свободных абразивах относятся: вибрационная обработка, турбоабразивная обработка, шпиндельная, гидроабразивная, магнитоабразивная и др. Причем первые три метода широко распространены в мировой практике и к их достоинству следует отнести то, что эти методы и соответствующее оборудование позволяют обрабатывать широкий спектр различных деталей сложной и простой формы, от достаточно мелких до

крупных изделий [6, 7]. Помимо отличающегося оборудования в этих методах используется и различный инструмент, так при вибрационной обработке – это абразивные и неабразивные гранулы, при шпиндельной обработке – абразивные и неабразивные гранулы и абразивное зерно и при турбоабразивной – только абразивное зерно.

Обработка в свободных абразивах, как не однократно указывалось авторами [8], характеризуется созданием определенного поверхностного слоя, способствующего повышению эксплуатационных свойств изделий за счет создания оригинального неповторимого микрорельефа, достоинством которого является отсутствие направленных следов инструмента, создание независимых впадин - масляемких карманов и прочее.

Целью работы является оценка и сравнение трех наиболее распространенных методов по 14 показателям качества поверхностного слоя с определением относительной опорной кривой профиля шероховатости, параметров ее начальных участков и радиусов выступов шероховатости.

Для проведения экспериментального исследования были предварительно подготовлены образцы одинаковой шероховатости из одного и того же материала с последующей обработкой по общепринятой для каждого конкретного метода методике.



В качестве образцов использовались полые цилиндры (рис. 1) из стали 40X, обработанные точением с начальными параметрами шероховатости:  $R_a = 3,5 - 4,0$  мкм;  $R_{max} = 32 - 40$  мкм;  $S_m = 100 - 105$  мкм;  $t_p = 5,13\%$ ;  $Q_p = 1,5$  мкм. Исследование шероховатости поверхности до и после обработки проводилось на профилометре с информационно-вычислительным комплексом, который применяется для анализа и измерения параметров шероховатости поверхности деталей, пример профилограммы поверхности образца после точения приведен на рис. 2.



Рис. 1. Образцы для измерения шероховатости

Воспользовавшись параметрами шероховатости поверхности, найденными из полученных профилограмм, была проведена

оценка микрогеометрии поверхностного слоя образцов после различных методов абразивной обработки. Для этого на основании анализа факторов, влияющих на эксплуатационные свойства изделий, были выбраны следующие параметры: среднеарифметическое отклонение профиля  $R_a$ , максимальная высота неровности  $R_{max}$ , максимальная высота выступа  $R_p$ , средний шаг неровности  $S_m$ , относительная опорная кривая профиля  $t_p$  на уровне 33%.

Итак, проводились исследования поверхности образцов после трех методов обработки – вибрационной, турбоабразивной, шпиндельной в свободных абразивах. При этом обработка проводилась по типовым техпроцессам, описанным ниже.

Вибрационная обработка образцов проводилась в два этапа:

- вибрационное шлифование на станке УВИ-25 в течение 60 минут в среде состоящей из боя шарошлифовальных кругов;
- вибрационное полирование на станке ВМИ-1003 в течение 30 минут в среде стальных шариков.

Изменение параметров шероховатости образцов, обработанных по данной схеме, представлено в табл. 1.

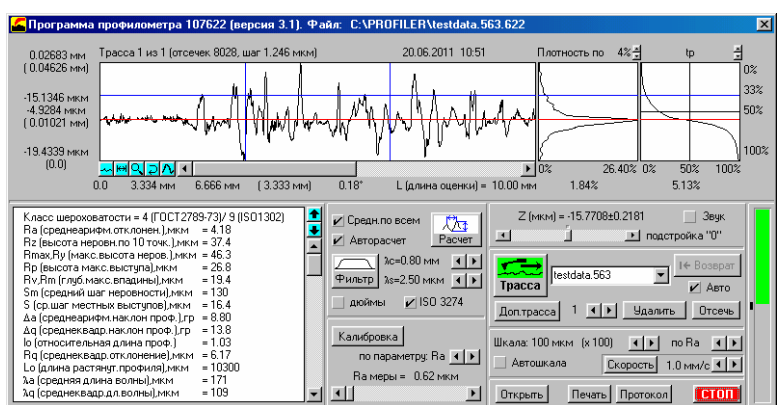
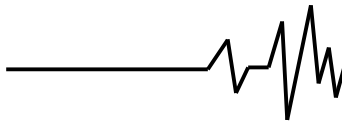


Рис. 2. Пример профилограммы их поверхности

Таблица 1  
Параметры шероховатости поверхности образцов после вибрационной обработки

Параметры, мкм		$R_a$	$R_{max}$	$R_p$	$S_m$	$t_p$	$Q_p$
Время обработки, мин	Виброшлифование 30	1,57	18,09	5,91	265	32,20	123,193
	60	1,25	10,52	4,34	292	32,44	182,7
	Виброполирование 30	1,13	8,43	3,6	314	40,78	316,64



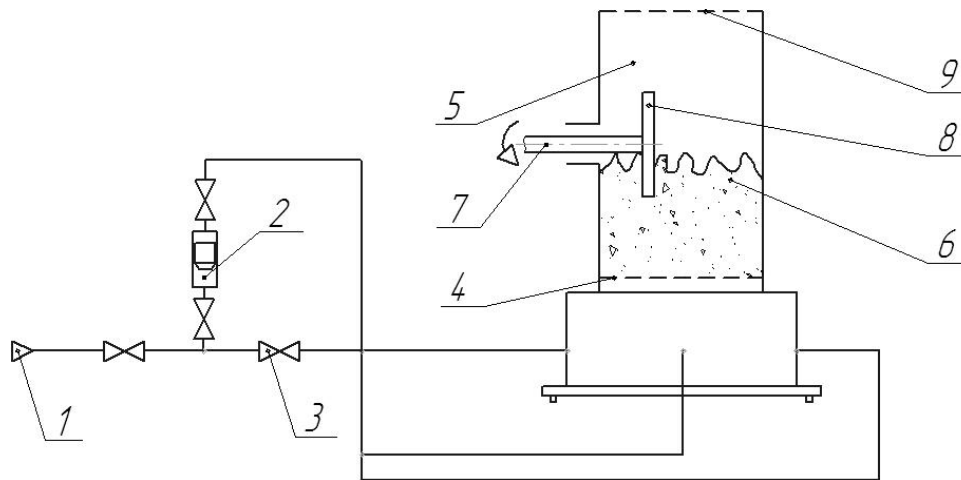
Как видно из представленных результатов происходило снижение высотных параметров шероховатости, а именно: параметр  $R_a$  снизился в 3 раза, а  $R_{max}$  – на 67%,  $R_p$  – 2,43 раза.

Происходило увеличение среднего шага неровностей  $S_m$  в 2,43 раза, относительной опорной длины профиля  $t_p$  в 1,78 раза, радиуса округления выступов шероховатости поверхности – в 38,42 раза.

Турбоабразивная обработка осуществлялась на экспериментальной установке (рис. 3).

Обработка на установке осуществляется следующим образом: обрабатываемая деталь устанавливается на шпindel, который приводится в движение от электропривода. Под слой абразива, в который частично погружена обрабатываемая деталь, через газораспределительную решетку подается воздух от компрессорной станции. Контроль за обеспечением стабильного давления воздуха от компрессора контролировался манометрами. В качестве инструмента использовался карбид кремния черного зернистостью 800-1000 мкм.

Изменение параметров шероховатости образцов обработанных по данной схеме представлено в табл. 2.



**Рис. 3. Принципиальная схема установки для турбоабразивной обработки:**  
 1 – источник воздуха; 2 – расходомер; 3 – запорные краны;  
 4 – газораспределительная решетка; 5 – рабочая камера; 6 – псевдооживленный слой абразива; 7 – шпindel обрабатываемой детали; 8 – обрабатываемая деталь;  
 9 – фильтр

**Таблица 2**  
**Параметры шероховатости поверхности образцов после турбоабразивной обработки**

Параметры, мкм	$R_a$	$R_{max}$	$R_p$	$S_m$	$t_p$	$Q_p$
Время обработки, мин						
5	1,52	11,6	7,8	115	17,6	5,39
10	1,14	10,02	4,55	103	37,24	17,96
20	0,55	6,56	1,89	58,7	66,53	19,16
30	0,83	11,4	4,55	48,6	20,83	1,64
40	0,78	6,79	3,02	59,1	19,94	9,96



Изменение параметров шероховатости при турбоабразивной обработке происходит за значительно более короткий промежуток времени, чем при вибрационной обработке. Что связано с более интенсивными режимами, а именно давлением, с которым подается абразивная среда составляет 0,3-0,4 МПа, а окружная скорость детали колеблется от 16 и до 22 м/с. При этом формируемый микрорельеф отличается характеристиками от микрорельефа, созданного при виброабразивной обработке. Так высотные параметры шероховатости снижаются в 2,3 раза уже через 5 минут обработки. Через 10 минут обработки достигается шероховатость Ra такая же как при вибрационной обработке в

течение 120 минут. При этом радиусы выступов шероховатости значительно меньше, чем получаемые при вибрационной обработке и соответствуют значениям, получаемым при традиционном шлифовании. Также по сравнению с вибрационной обработкой происходит уменьшение среднего шага неровностей. Если кривая опорной поверхности при вибрационной обработке характеризуется значительной гладкостью – пологостью, то при турбоабразивной она представляет собой частую острозубчатую поверхность (рис. 4). Однако относительная опорная длина профиля находится на высоком уровне, как и при вибрационной обработке.

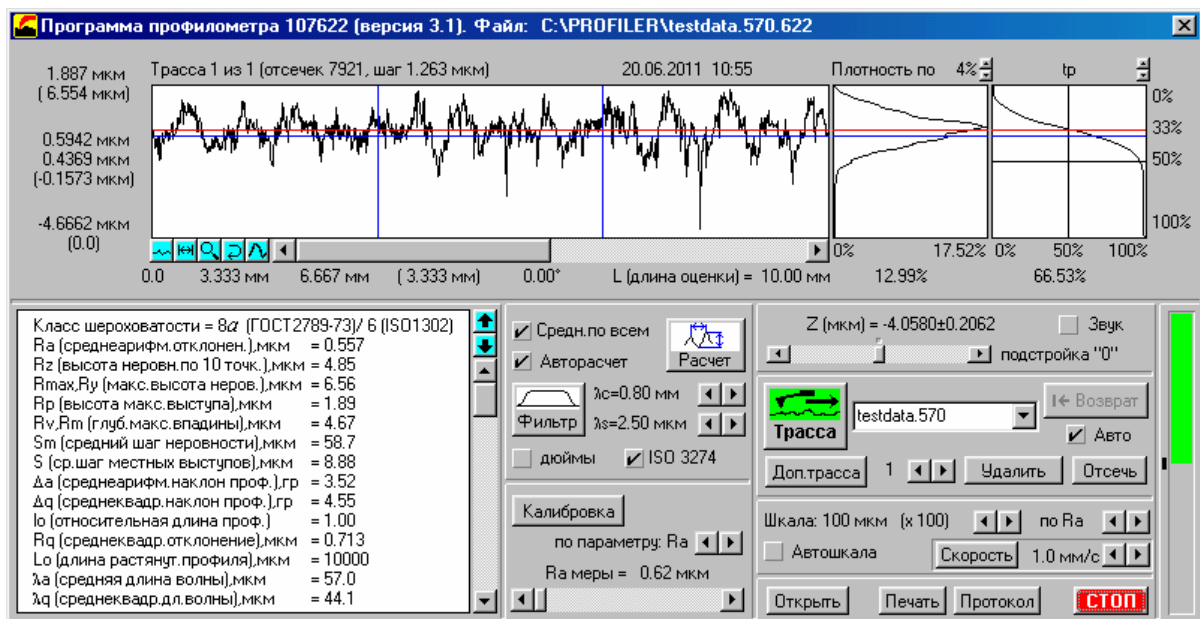


Рис. 4. Профилограмма поверхности образца после турбоабразивной обработки

Для оценки преимущества той или иной формы получаемого профиля следует, например, провести экспериментальные исследования по оценке прочности сцепления с покрытием, результаты которых будут приведены в следующей статье.

Шпиндельная обработка в свободном абразиве осуществлялась на лабораторной установке Л25, изготовленной на базе вертикально-сверлильного станка мод. ВД13АВ (рис. 5). В качестве абразивной среды использовалось абразивное зерно зернистостью 800-1000 мкм, то же, что и при турбоабразивной обработке.

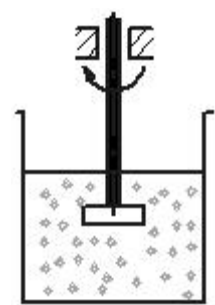


Рис. 5. Схема шпиндельной обработки деталей в свободном абразиве

Изменение параметров шероховатости образцов, обработанных по данной схеме, представлено в табл. 3.



Анализируя поверхность изделия, получаемую при шпиндельной обработке в свободном абразиве (в зарубежных источниках называемая буксировочной), следует отметить, что из полученных результатов видно, что этот метод по формированию микрорельефа поверхности наиболее близок к традиционному шлифованию (рис. 6).

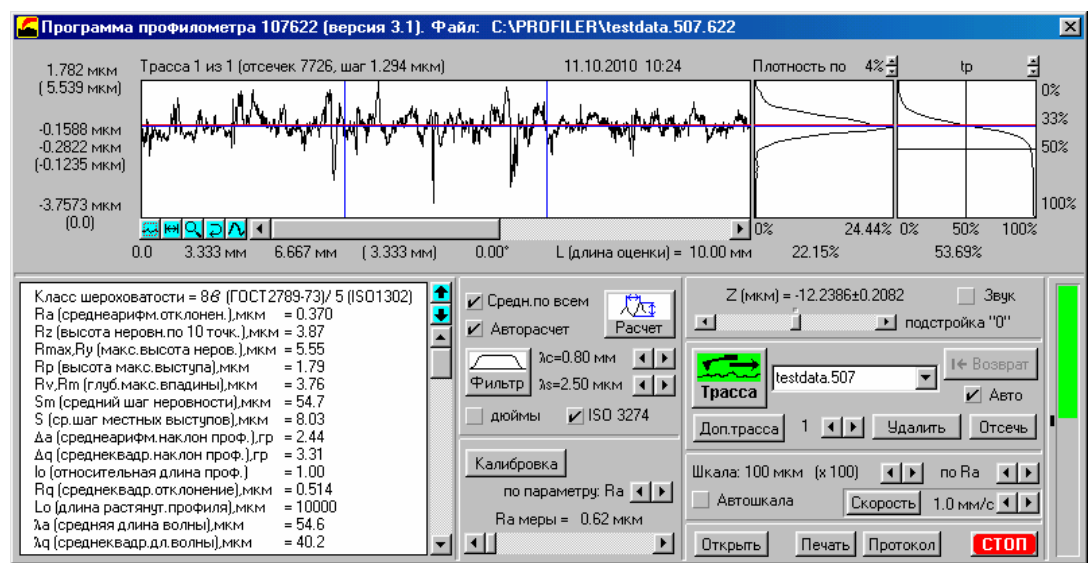
Так, например, при традиционном шлифовании параметры шероховатости в среднем имеют следующие значения: Ra = 0,2 – 1,25 мкм, шаг неровностей Sm = 25 – 100 мкм, относительная опорная кривая tp = 10 – 20 мкм, радиусы выступов 10 – 20 мкм [10].

И это понятно потому, что деталь вращается практически в неподвижной абразивной среде, отсюда и формируемая поверхность детали имеет направленные следы. При этом высотные параметры

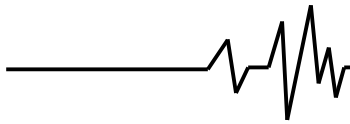
снижаются с такой же скоростью, как и при турбоабразивной обработке. Следовательно, выбирая метод обработки нужно понимать, какие эксплуатационные характеристики в конечном итоге необходимо получить. Из этих результатов видно, что в качестве конечного результата мы получаем различные эксплуатационные характеристики, хотя неоднократно указывалось, что все эти методы дают практически одинаковый результат [11]. Следовательно, не всегда один метод можно заменить другим. Есть определенные ограничения в выборе метода в зависимости от формы и размера детали. Наиболее часто вибрационная обработка внавал применяется для деталей до 3 - 7 кг, при этом следует контролировать, чтобы детали, склонные к повреждаемости, не сталкивались друг с другом (рис. 7).

**Таблица 3**  
**Параметры шероховатости поверхности образцов после шпиндельной обработки**

Параметры, мкм	Ra	Rp	Sm	tp	Qp
Время обработки, мин					
15	0,41	2,41	54,7	26,45	6,96
30	0,37	1,79	57,7	33,69	3,56
45	0,24	1,53	43,7	48,02	2,75
60	0,22	1,49	35,9	58,24	1,7
75	0,32	1,87	52,7	48,84	4,23
90	0,68	2,34	80,1	38,71	26,17



**Рис. 6. Профилограмма поверхности образца после шпиндельной обработки в свободном абразиве**



**Рис. 7. Примеры деталей, подлежащих вибрационной обработке**

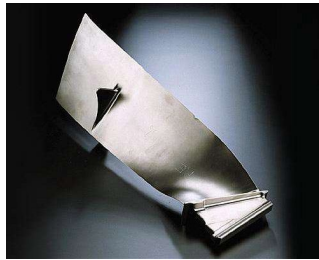
Турбоабразивная и шпиндельная обработки в свободном абразиве позволяют обрабатывать как тяжелые, так и легко повреждаемые изделия. Однако чаще всего детали обрабатываются в единичном количестве, хотя при шпиндельной обработке наблюдается установка и нескольких деталей. Таким образом начинает теряться преимущество этих методов перед вибрационным. Проведя анализ деталей, обрабатываемых этими методами (на основании материалов, предлагаемых ведущими мировыми производителями), следует отметить, что есть группы деталей, которые можно обрабатывать всеми методами (о чем указывалось выше). Но сегодня, чтобы конкурировать на мировом рынке, производителю необходимо точно указывать преимущества того или иного метода и сопутствующего ему оборудования для той или иной детали, что требует от исследователей разработки соответствующего классификатора деталей, аналогичного машиностроительному. Ниже приведены примеры деталей для различных методов: для турбоабразивной обработки – это детали в первую очередь шестерни, детали летательных аппаратов и др. (рис. 8).

Для шпиндельной обработки в свободном абразиве – это кольца подшипников качения, шестерни и звездочки, червяки, винты,

шкивы, режущие инструменты, лопатки турбин, имплантаты и др. [12, 13] (рис. 9).



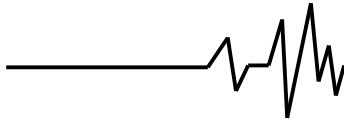
**Крыльчатки турбин**



**Лопатки вентиляторов**

**Рис. 8. Примеры деталей, подлежащих турбоабразивной обработке**

Как видно из этих примеров – подтверждается идея о необходимости создания классификатора деталей, обрабатываемых в свободных абразивах.



Лопатки турбин

Клапаны  
шаровых крановСепараторы шаровых  
шарнировЗубчатые  
колеса

Рис. 9. Примеры деталей, подлежащих шпиндельной обработке

### Література

1. Демкин Н.Б. Контактное шлифование шероховатых поверхностей / Демкин Н.Б. – М.: Машиностроение, 1970 – 227с.

2. Кобалов В.С. Влияние шероховатости и твердости на трение и износ / Кобалов В.С. – М.: Машиностроение, 1997. – 110 с.

3. Рыжов Э.В. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин / Рыжов Э.В., Суслов А.Г., Федоров В.П. – М.: Машиностроение, 1979 – 176 с.

4. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки компрессора вентилятора. Часть I / Богуслаев В.А., Муравченко Ф.И., Жеманюк П.Д. и др. – Запорожье: ООО «Мотор Сич», 2003. – 396 с.

5. Тылкин М.А. Повышение долговечности деталей металлургического оборудования / Тылкин М.А. – М.:Металлургия,1971. – 210 с.

6. Левинская И.М. К вопросу обработки деталей турбоабразивным способом / И.М. Левинская // Вибрации в технике и технологиях. – 2010. – № 2 (58). – С. 111-119.

7. Нечай Е.В. Анализ финишных методов обработки деталей в среде свободного абразива / Е. В. Нечай, Н.И. Пичугин //

Вибрации в технике и технологиях. – 2010. – № 2 (58). – С. 152-166.

8. Проволоцкий А.Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин / А.Е. Проволоцкий.– Киев: Техника, 1989. – 276 с.

9. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей машин и их соединений / Суслов А.Г., Федоров В.П., Горленко О.А. и др. – М.: Машиностроение, 2006. – 448 с.

10. Справочник технолога-машиностроителя: в 2х т. / [Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М.: Машиностроение, 1986– – Т. 2. – 1986. – 496 с.

11. Тамаркин М.А. Теоретические основы оптимизации процессов обработки деталей свободными абразивами: дис. ... доктора. техн. наук: 05.02.08 / Тамаркин Михаил Аркадьевич. – Ростов н/Д, 1995. – 298 с.

12. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии / Бабичев А.П., Бабичев И. А. – Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 2008. – 694 с.

13. Чирков О. И. Совершенствование технологии шпиндельной центробежно-ротационной обработки деталей: дис... канд. техн. наук: 05.02.08 / Чирков Олег Игоревич; Пензенский гос. ун-т. – Пенза, 2005. – 197 с.