

Лубенская Л. М.

Нечай Е. В.

*Восточноукраинский
национальный
университет имени
Владимира Дала*

Бурлакова Г. Ю.

*Приазовский
государственный
технический
университет*

УДК 621.9.048

ОСОБЕННОСТИ ШПИНДЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ В СРЕДЕ СВОБОДНОГО АБРАЗИВА

У статті розглянуто процес шпіндельної обробки деталей в середовищі вільного абразиву та визначено основні параметри, що впливають на інтенсивність протікання та рівномірність обробки. Надано рекомендації щодо ліквідації недоліків існуючої схеми обробки.

In the article the process of arbor treatment of details in the environment of free abrasive is considered and, basic parameters, which influencing on intensity of flowing and evenness of treatment are determined. The recommendations on liquidation of lacks of existent chart of treatment are given.

Введение.

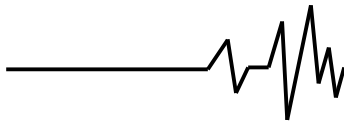
Одним из основных направлений в современной промышленности является повышение производительности производства с улучшением качества, долговечности и надежности деталей и машин. Определяющую роль в обеспечении эксплуатационных характеристик играет состояние поверхностного слоя. Изготовление деталей из одного и того же материала, но по различной технологии и с различными режимами приводит к резкому колебанию свойств поверхностного слоя [1]. Долговечность таких деталей отличается в десятки раз. Именно поэтому особенно важными являются финишные операции, в процессе которых окончательно формируются качественные характеристики поверхностного слоя [2].

В настоящее время довольно часто при финишной обработке ответственных деталей применяют методы обработки в свободных абразивах. По показателям производительности и универсальности обработка деталей в среде свободных абразивов превосходит большинство традиционных способов с жесткой кинематической связью между станком, инструментом и обрабатываемой деталью [3]. Эти методы обеспечивают получение качественных поверхностей изделий и позволяют обрабатывать детали с

поверхностями сложной формы. Однако обработка легкодеформируемых деталей сложного профиля данными методами без применения специальных приспособлений весьма трудоемка, а в ряде случаев невозможна [4, 5]. Обработку вышеуказанных деталей можно осуществлять с помощью шпindelльной обработки [6, 7].

1. Сущность и назначение шпindelльного метода обработки.

Сущность метода шпindelльной обработки заключается в следующем. Заготовки устанавливаются на специальных зажимных приспособлениях, закрепленных в шпинделе, который вращается с определенной скоростью и погружается в камеру с рабочей средой до определенной величины. Вследствие высоких относительных скоростей детали и рабочей среды (состоящей из различных единичных гранул или абразивных зерен с жидкостью или без), создаваемых вращением шпинделя в рабочей камере, происходит интенсивный съем мельчайших частиц металла с обрабатываемой поверхности. Шпindelльная обработка позволяет обрабатывать детали с достижением заданной шероховатости за 10-15 мин. в том случае, когда невозможна обработка в навал или требуется высокая производительность [6].



Шпиндельная обработка находит широкое применение в авиационной, автомобильной, металлургической, медицинской, приборостроительной, электромеханической, танкостроительной, инструментальной, трубной, подшипниковой и др. отраслях промышленности [8, 9]. В настоящее время данным методом обрабатывают тела вращения простой и сложной формы: кольца подшипников качения, шестерни и звездочки, червяки, винты, шкивы; плоские детали в виде дисков; гребенки, режущие инструменты и лезвия сельхозмашин; детали сложной конфигурации: лопатки турбин, мелкие гребные винты и др. [7, 10].

Несмотря на большое разнообразие технологических схем для реализации метода шпиндельной обработки, большинство из них широкого промышленного применения не получили. В основном имеются сведения о разработке преимущественно лабораторных установок или выпуске единичных экземпляров промышленных станков. Наиболее распространены следующие технологические схемы:

– во вращающуюся камеру, заполненную абразивной средой, погружается на определенную величину шпиндель с жестко закрепленной на оправке деталью (рис. 1, а);

– во вращающуюся камеру, заполненную абразивной средой, погружается шпиндель с жестко закрепленной на оправке деталью, совершающий возвратно-поступательное движение (рис. 1, б);

– во вращающуюся камеру, заполненную абразивной средой, погружается шпиндель с жестко закрепленной на оправке деталью, совершающий вращательное движение вокруг своей оси (рис. 1, в);

– в неподвижную камеру, заполненную абразивной средой, погружается шпиндель с жестко закрепленной на оправке деталью, совершающий вращательное движение вокруг своей оси (рис. 1, г).

Наиболее широкое распространение на производстве получили станки, схема которых представлена на рис. 1, г. и поэтому для последующего рассмотрения была выбрана именно эта схема.

С целью анализа процесса, происходящего при шпиндельной обработке, в НИЛ ОСА ВНУ им. В. Даля был проведен ряд экспериментальных исследований по определению основных параметров, влияющих на этот процесс.

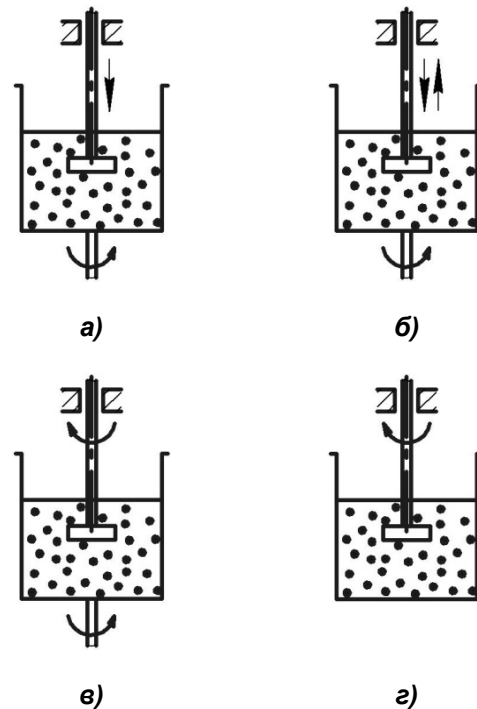


Рис. 1. Технологические схемы шпиндельной обработки

2. Экспериментальные исследования по определению параметров, влияющих на процесс шпиндельной обработки.

Обработка проводилась на лабораторной установке, изготовленной на базе вертикально-сверлильного станка мод. ВД13АВ ($n_{шп.} = 600, 900, 1250, 1750, 2600$ об/мин.). В качестве образцов, подвергаемых обработке, использовались группы латунных втулок различного наружного диаметра и длины (рис. 2 и табл. 1).



Рис. 2. Образцы для проведения экспериментальных исследований

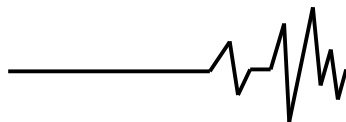


Таблица 1
Параметры исследуемых образцов

Параметры образцов	Номер группы образцов							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Наружный диаметр, мм	16	16	16	16	12	10	10	10
Внутренний диаметр, мм	13	11	14	14	7	7	5	5
Высота, мм	20	10	10	5	20	20	15	5

2.1. Влияние абразивной среды на процесс обработки.

Для качественной обработки сложнопрофильных поверхностей очень важным является подбор оптимальной абразивной среды. В первую очередь это связано с возможностью обтекания (одновременного контакта) элементами рабочей среды всей площади обрабатываемой детали. Поэтому исследования осуществлялись с использованием различных рабочих сред, обладающих высокой абразивной способностью, но имеющих в первую очередь различные размеры (рис. 3):

- формокорунд - цилиндр $\varnothing 2 \times 5 \dots 8$ мм;
- формованные гранулы Московского абразивного завода (абразивные зерна электрокорунда на керамической связке) в виде трехгранных призм - ПТ-10 (с зернистостью 10...20 и связкой СТ по ТУ 2-036-205-73) с высотой призм 10 мм;
- шлифзерно (ГОСТ 3647-80);
- волжский песок.

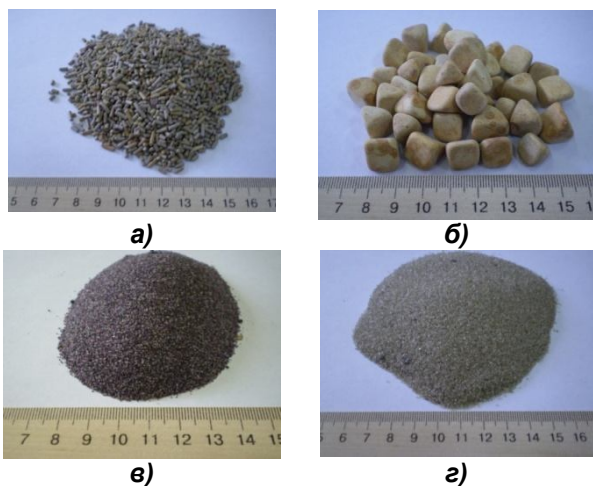


Рис. 3. Рабочие среды для обработки:
а – формокорунд - цилиндр $\varnothing 2 \times 5 \dots 8$ мм;
б – ПТ-10; в – шлифзерно;
г – волжский песок

Данный выбор обусловлен тем, что различные производители инструмента и исследователи предлагают обрабатывать детали различными по размерам средами, а именно [11] – средой, размеры гранул которой соразмеримы с гранулами формокорунда, [8] – с ПТ-10, [9] – с шлифзерном.

При изучении влияния абразивной среды на интенсивность протекания процесса оказалось, что обработка деталей в волжском песке неэффективна, и дальнейшие исследования по возможности его использования были прекращены. В то же время, несмотря на значительную массу единичной гранулы ПТ-10, по сравнению с формокорундом и шлифзерном, обработка не показала себя должным образом. Следовательно, в данном случае, в отличие от вибрационной обработки деталей в свободных абразивах, являющейся прототипом шпиндельной обработки, на съем металла преобладающее влияние оказывает не сила единичного взаимодействия гранулы с поверхностью, а скорость контакта общего потока гранул (зерен) с поверхностью детали (рис. 4).

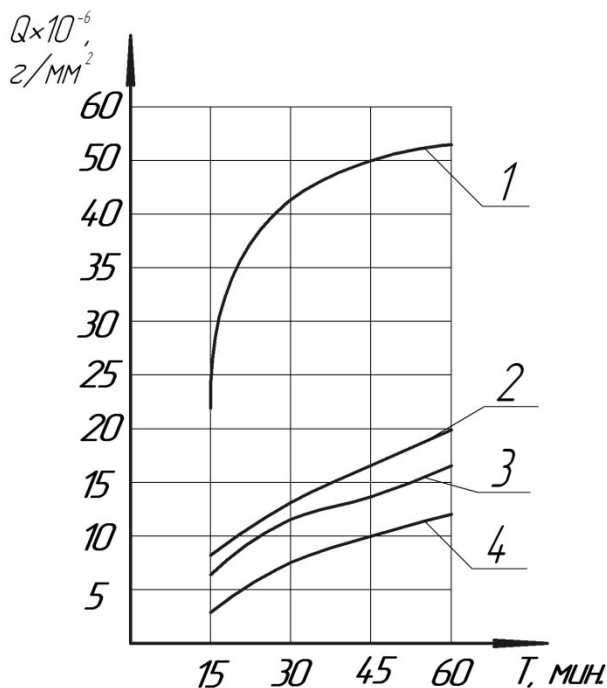
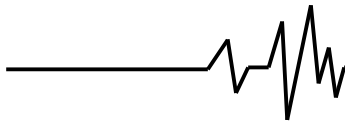


Рис. 4. Влияние абразивной среды на съем металла:

- 1 – шлифзерно; 2 – формокорунд – цилиндр; 3 – ПТ-10; 4 – волжский песок



2.2. Влияние конфигурации детали на равномерность обработки.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что на качество получаемой поверхности влияет конфигурация детали. Конфигурация сложнопрофильной детали имитировалась путем набора на оправку образцов различного диаметра. При наличии резких перепадов диаметров в форме созданного образца при неправильном подборе абразивной среды на детали появляются необработанные участки (рис. 5), так как не всякий абразив имеет доступ к затененным участкам, а следовательно гранула не может соприкоснуться со всеми участками обрабатываемой поверхности. Поэтому при выборе среды отдается предпочтение абразиву, меньшему по размерам.

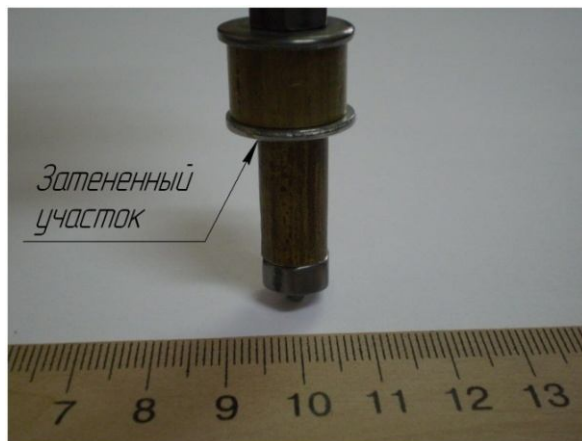


Рис. 5. Имитация детали сложного профиля

При этом следует отметить, что необработанные участки присутствуют как на деталях сложной формы, так и простой, но на определенных участках. При обработке деталей простой формы, возможно, что данное явление возникает из-за достаточно высоких скоростей вращения шпинделя. Хотелось отметить, что в большинстве работ по изучению шпиндельной обработки, где обработка производилась с использованием сверлильного станка, исследователи не указывают о существовании данной проблемы, с которой столкнулись авторы этой статьи, и которая существует (рис. 6). Так, например, в работе [12] обработка происходила с частотой вращения шпинделя $n_{шп} = 800 \dots 4500$ об/мин, а в работе [4] указывается, что использовался вертикально-сверлильный станок 2А135 с частотой вращения $n_{шп} = 31 \dots 1400$ об/мин. Однако автор этой работы не указывает на

каких частотах производилась обработка, но предлагает для улучшения качества и производительности процесса производить поджатие рабочей среды, тем самым косвенно указывает на возникновение воздушного зазора в зоне контакта вращающейся детали со свободно загруженным в камеру абразивным зерном.

Из наблюдений при обработке на всех оборотах вращения шпинделя следует, что вращающаяся деталь отбрасывает абразивную среду от центра к стенке камеры, уплотняет ее, создавая, таким образом, вокруг себя воздушную прослойку, при этом низкая текучесть рабочей среды не позволяет при используемых скоростях вращения вернуться ей на место, вследствие чего на детали образуются непрошлифованные участки. Следовательно, необходимо производить подбор режимов обработки, обеспечивающих производительный съем металла и формирование равномерного микрорельефа поверхности детали.



Рис. 6. Неравномерность обработки деталей

2.3. Влияние места расположения детали в камере на съем металла.

Следует отметить, что большое значение имеет глубина погружения детали при их обработке в свободных абразивах (виброабразивная, центробежно-ротационная, турбоабразивная и другие методы) [4]. Для шпиндельной обработки это имеет особое значение, так как деталь, в отличие от вышеуказанных методов, где детали имеют возможность перемещаться по камере, жестко закреплена на шпинделе. В зависимости от глубины погружения обрабатываемой детали в рабочую камеру изменяется съем металла. Схема обработки приведена на рис. 7.

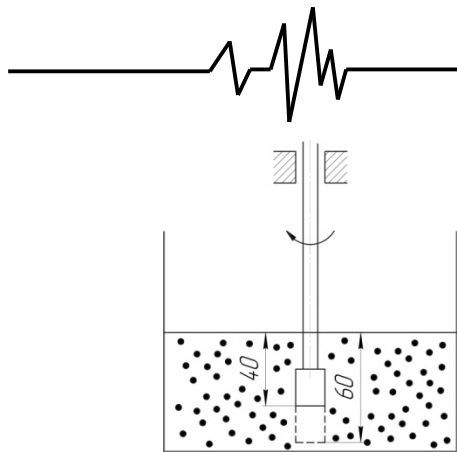


Рис. 7. Принципиальная схема для определения влияния глубины погружения детали на съём металла на лабораторной установке

На графике (рис. 8) приведены результаты исследований по обработке образцов с различной глубиной погружения, из которых следует, что с изменением глубины на 50 % – 20 мм, съём увеличивается в 1,5 – 2 раза. А, следовательно, для изделий со значительными размерами, съём и формирование микрорельефа будет происходить неравномерно по высоте детали, что необходимо учитывать при разработке технологии шпиндельной обработки.

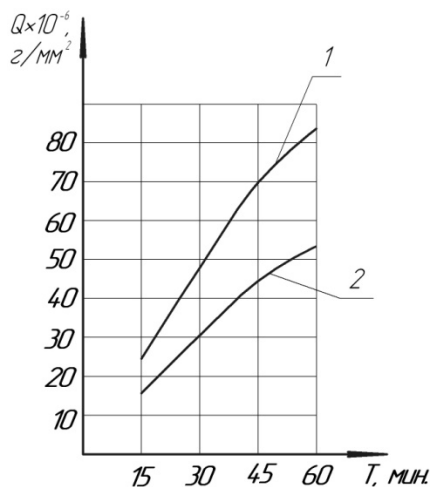


Рис. 8. Влияние глубины погружения детали на съём металла:
1 – заглубление детали на 60 мм;
2 – заглубление детали на 40 мм.

Однако в большинстве работ, и в том числе в информации, распространяемой фирмами ROSLER, WALTHER TROWAL [8, 9] и т.д., не указывается, что глубина погружения деталей в рабочую среду оказывает немаловажное значение на технологический результат (возможно, в их случае, требуется в первую очередь создание декоративного поверхностного слоя). В качестве предполагаемого решения ликвидации влияния

глубины погружения на качество поверхности следует добиваться погружения детали на одинаковую глубину, что можно достичь, например, маятниковым движением шпинделя, созданием дополнительного движения камеры или среды и рядом других конструктивных решений.

Также немаловажно нахождение деталей в различных зонах по поперечному сечению рабочей камеры. Исследования были проведены для одних и тех же образцов, одинаковых по форме, размерам и массе. Результаты проведенных экспериментальных исследований приведены на рис. 9.

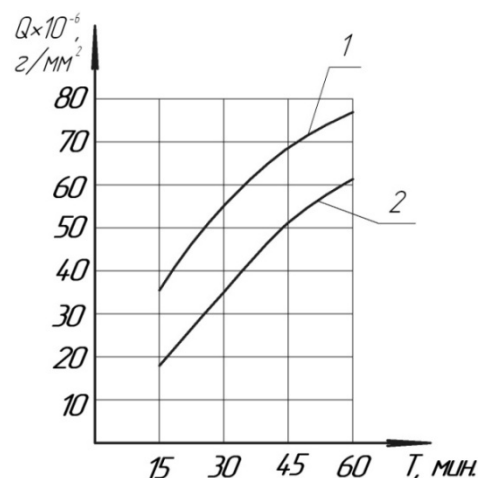


Рис. 9. Влияние положения детали по периметру камеры на съём металла:
1 – на периферии камеры; 2 – в центре камеры

Как видно, сдвиг по поперечному сечению камеры от центра к ее периферии на 75% увеличивает съём в 2,5 – 3 раза. Это можно объяснить тем, что давления, создаваемые в различных зонах камеры различны, а следовательно, в процессе обработки должно меняться место положения детали в камере. Установлено, что это явление сказывается на обработке деталей сложной конфигурации, а именно, выступающие их участки обрабатываются более интенсивно. Следовательно, для производительной обработки необходимо создание планетарного движения вдоль камеры с дополнительным движением, о котором говорилось выше, что отображено на рис. 10. Данное усложнение конструкции станка для шпиндельной обработки будет способствовать не только повышению интенсивности, но и созданию равномерного съема металла с соответствующим микрорельефом обрабатываемой поверхности.

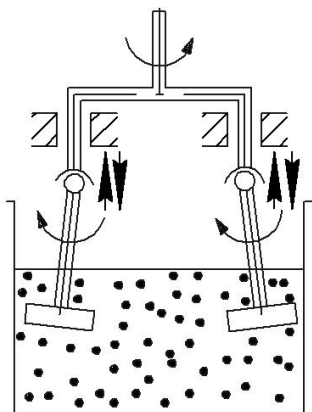
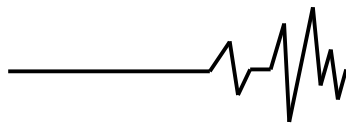


Рис. 10. Модернизированный вариант схемы для шпиндельной обработки деталей

Выводы

1. Установлено, что при шпиндельном методе обработка изделия происходит неравномерно и зависит от его глубины погружения и места положения по периметру камеры:

– изменение глубины погружения детали всего лишь на 20 мм приводит к увеличению съема в 1,5 – 2 раза;

– съем с образцов, расположенных на периферии камеры в 2,5 – 3 раза выше, чем с образцов, расположенных в центре контейнера.

2. С уменьшением размера абразивной среды интенсивность обработки возрастает в 2,5 – 3,5 раза.

3. Установлено, что для обработки деталей, имеющих сложную конфигурацию, в том числе затененные участки, необходим подбор абразивной среды, обеспечивающей контакт в этих зонах.

4. Установлено, что наиболее интенсивно происходит обработка выступающих участков профиля деталей сложной формы.

5. Предложены пути ликвидации недостатков, возникающих при шпиндельной обработке, по схеме, представленной на рис. 1,г путем конструкторских решений, предложенных на рис. 10.

Литература

1. Гах В.М. Виброабразивная обработка твердосплавного инструмента: монография/ В.М. Гах. – Краматорск: ДГМА, 2009. – 220 с.

2. Николаенко А.П., Покинтелица Н.И., Нехлопочин А.С. Влияние шероховатости поверхности на эксплуатационные свойства изделий // Ресурсозберігаючі технології

виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні. – Збірник наукових праць, Луганськ, 2008. – с. 115-120.

3. Калмиков М.О. Підвищення ефективності процесу вібраційної обробки великогабаритних виробів: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.03.01 / Калмиков Михайло Олександрович; Національний технічний ун-т "Харківський політехнічний ін-т". - Х., 2006. - 20с.

4. Зверовщиков А.В. Совершенствование технологии шпиндельной обработки деталей при уплотнении шлифовального материала внешним давлением: дис... канд. техн. наук: 05.02.08 / Зверовщиков Анатолий Владимирович; Пензенский гос. ун-т. – Пенза, 2004. – 270 с.

5. 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.

6. Лубенская Л.М., Мелконов Л.Д., Нечай Е.В. К вопросу обоснования выбора метода отделочно-зачистных операций // Авиационно-космическая техника и технология. - № 2/59, 2009. – с. 21 – 26.

7. Справочник инженера-технолога в машиностроении / А.П. Бабичев и ДР. – Ростов н/Д: Феникс, 2005. – 541 с.

8. ROSLER finding a better way... [Электронный ресурс]: Vibratory Finishing/ Drag Finishing Machines. – Режим доступа: http://www.rosler.com/www_roesler2004/drag_finishing_machines_742_128_0_f.htm, свободный. – Загл. с экрана.

9. WALTHER TROWAL! [Электронный ресурс]: Produkte/Gleitschleiftechnik/Schleppscheifenanlage n. – Режим доступа: <http://www.walther-trowal.de/produkte/gleitschleiftechnik/schleppscheifenanlagen/>, свободный. – Загл. с экрана.

10. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии / Бабичев А.П., Бабичев И. А. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2008. – 694 с.

11. Multifinish [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.galtovka.ru/barabanm.html>, свободный. – Загл. с экрана.

12. Георгиев В.М. Исследование шпиндельной виброотделки наружных поверхностей деталей тел вращения: дис... канд. техн. наук: 05.02.08 / Георгиев Виктор Михайлович; Ростовский-на-Дону институт сельскохозяйственного машиностроения. – Ростов-на-Дону, 1978. – 192 с.