

ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПРИ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

Аннотация.

Актуальность и цели. В качестве рабочего инструмента при гидроабразивной обработке используется вода с порошковым материалом. Качество обработки и ресурс оборудования зависит от характеристик поверхности и формы частиц абразивного материала, к которому предъявляется ряд существенных требований. Стоимость материалов достаточно велика. Целью работы являлось установление возможности повторного использования абразивного материала.

Материалы и методы. При проведении экспериментов в качестве основной рабочей среды применялся абразив GMA 80 MESH ТУ 3986-00176245879–2011 зернистостью основной фракции 0,8 мм. Обрабатываемая деталь – лист толщиной 20 мм из алюминиевого сплава Д16 ГОСТ17232-99. При компьютерном моделировании использовалась программа ПО АСКОН «Компас 3D».

Результаты. При гидроабразивной обработке значительно изменяются радиусы выступов зерен, которые являются основной характеристикой абразивной способности профиля. Это приводит к снижению их режущей способности и необходимости коррекции технологии гидроабразивной резки для обеспечения требуемого качества реза. Однако при разрушении зерен происходит формирование новых кромок с иными геометрическими характеристиками, что создает предпосылки для сохранения работоспособности зерен.

Выводы. Проанализированы изменения параметров абразивного зерна в порошке для гидроабразивной обработки после рабочего цикла для определения возможности его повторного применения. Изложены теоретические предпосылки к изменению характеристик поверхностей реза при повторном использовании зерна.

Ключевые слова: зерно, абразив, абразивные частицы, контур, радиус, гидроабразивная обработка.

A. E. Zverovshchikov, G. G. Lebedev, P. A. Gurin

THE RESEARCH OF CHANGES IN THE TECHNOLOGICAL ENVIRONMENT STATE DURING HYDROABRASIVE TREATMENT

Abstract.

Background. Water with a powder material is used as a working tool for hydroabrasive treatment. The quality of treatment and the service life of the equipment depends on the surface's characteristics and the shape of the abrasive material's parti-

cles, which is subject to a number of significant requirements. The cost of materials is quite high. The purpose of the work is to establish the possibility of reuse of abrasive material.

Materials and methods. The main machining medium in experiment was the abrasive GMA 80 MESH TR (technical requirements) 3986-00176245879–2011 with the grain size of the main fraction 0.8 mm. Work piece was 20 mm thick sheet of aluminum alloy D16 State Standart 17232-99. The computer simulation program “Kompas 3D” was used for ASCON.

Results. During hydroabrasive treatment, the radii of the grain protrusions, which are the main characteristic of the profile’s abrasive ability, significantly change. This leads to a reduction in their cutting capacity and the need to correct the hydroabrasive cutting technology to ensure the required cutting quality. However, when the grains are destroyed, new edges with different geometric characteristics are formed, which creates prerequisites for maintaining the grain’s performance.

Conclusions. Changes in the parameters of abrasive grains in powder for hydroabrasive treatment after a working cycle are analyzed to determine the possibility of its reuse. The theoretical prerequisites for the change in the characteristics of the cut surfaces when reusing grain are stated.

Keywords: grain, abrasive, abrasive particles, contour, radius, hydroabrasive treatment.

Введение

Гидроабразивная обработка широко и эффективно применяется при разрезании и раскрое самых разнообразных конструкционных материалов.

Рабочим инструментом данной технологии является техническая вода, играющая роль носителя порошкового материала, который осуществляет процесс абразивного резания. Качество обработки и ресурс оборудования зависит от качества и характеристик абразивного материала, к которому предъявляется ряд существенных требований.

Абразивной составляющей рабочей среды наиболее часто служит зерно граната зернистостью 0,80 мм. Абразивное зерно имеет специфическую для режущего материала округлую форму, сочетая режущие способности и обеспечивая щадящий режим эксплуатации систем подачи абразивного материала в зону резания. Производятся подобные материалы рядом ведущих зарубежных фирм: JH Mining (Китай), GMA Garnet (Австралия), Blastrite (Индия / Юап).

В рамках импортозамещения отечественное предприятие ООО «Урал-грит» выпускает подобные абразивы для гидроабразивной резки [1]. Даже в условиях отечественного производства стоимость материалов достаточно велика и доходит до 65–70 % от всех технологических затрат.

Именно поэтому вопрос возможности повторного использования режущего материала является столь актуальным. Несмотря на то что на текущий момент известны различные установки и способы [2] для осуществления повторного использования абразива, нет количественных критериев оценки геометрии зерен порошкового материала для понимания применимости его в рассматриваемой технологии, а самое главное – изменений зерна в процессе резания, которые позволили бы определить их пригодность к вторичному использованию. Известны методики оценки размера зерна восстановленного абразива [3], но в них абразивная способность частиц, которая является функцией твердости и конфигурации режущего профиля, практически не учитывается.

1. Анализ состояния контура исходного зерна

При исследованиях в качестве исходной точки было выбрано состояние исходного зерна наиболее распространенного абразивного материала, применяемого для гидроабразивной обработки. Это обусловлено отсутствием в нормативной документации [4] соответствующих технических требований к профилю зерен, абразивной способности либо к каким-то иным технологическим характеристикам зерен абразивного порошка, обуславливающим эффективность резания в рассматриваемом процессе.

При проведении экспериментов по определению изменения состояния абразивных частиц материала при гидроабразивной резке в качестве основной рабочей среды применялся абразив GMA 80 MESH TU 3986-00176245879–2011 зернистостью основной фракции 0,8 мм. Генеральная совокупность параметров оценивалась по выборкам из 50 частиц из нескольких партий материала. Исследования контура проводились на оптическом микроскопе с 50-кратным увеличением.

Фотографии зерен импортировались в ПО АСКОН «Компас 3D» в масштабе, соответствующем известным размерам эталонного образца. Далее выполнена аппроксимация контура зерен массивом дуг различного радиуса. Статистический анализ показал, что контуры новых абразивных частиц (рис. 1) по совокупности участков могут с достаточной точностью быть аппроксимированы выпуклыми и вогнутыми дугами. Выполнена интервальная оценка параметров. Проверка однородности параметров интервальной оценки для выборок из различных партий показала отсутствие статистически значимых различий в геометрии профиля зерен порошка.

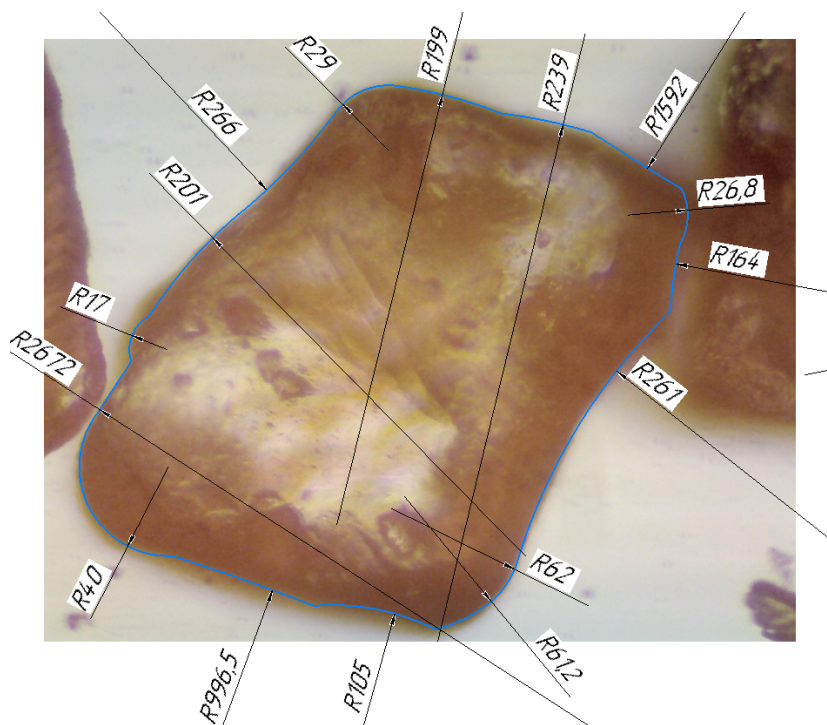


Рис. 1. Исходное зерно граната-альмандин (ТУ 3986-00176245879–2011) при построении контура

Средний радиус выступов на массиве выборок составляет $R_{\text{вс}} = 0,089 \pm 0,02$ мм, при размахе радиусов $W_{\text{вс}} = 0,6 \pm 0,05$ мм, дисперсия радиусов $S_{\text{вс}}^2 = 0,08$ (рис. 2).

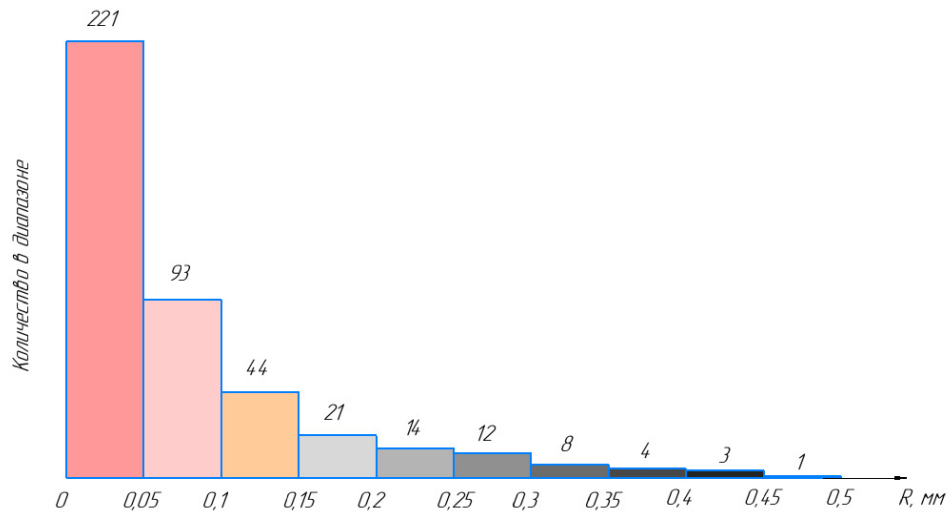


Рис. 2. Радиусы выступов контура частицы до обработки

Закон распределения радиусов выпуклых участков близок к нормальному.

Впадины имеют контур с дугами средним радиусом $R_{\text{вп}} = 0,112$ мм, размахом радиусов $W_{\text{вп}} = 0,49$ мм, дисперсией $S_{\text{вп}}^2 = 0,014$ (рис. 3).

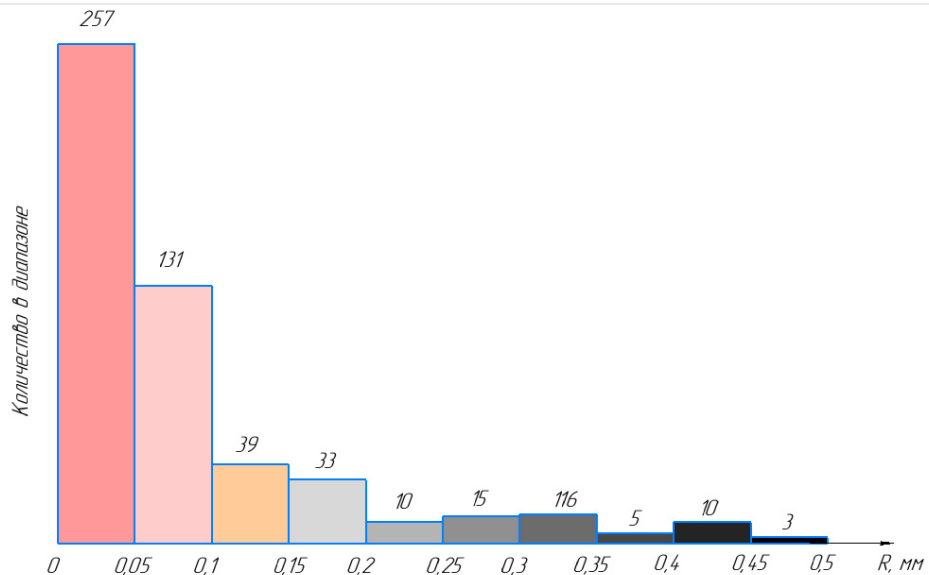


Рис. 3. Радиусы впадин участков контура частицы до обработки

2. Анализ контура и общего состояния использованного зерна

После исследования исходных характеристик абразива гранатовым зерном был обработан лист толщиной 20 мм из алюминиевого сплава Д16 ГОСТ17232–99 при скорости реза 280 мм/мин и расходе абразивного материала 450 г/мин (давление 6000 бар). После нескольких экспериментов состояние зерна оценивалось по аналогичным выборкам.

На фотографиях наряду с зернами основной фракции присутствуют частицы шлама разрушенных абразивных зерен и микростружка, образованная при резании (рис. 4). Микростружка имеет на фото темную окраску. Средние размеры микростружки составляют 18–35 мкм в поперечнике.

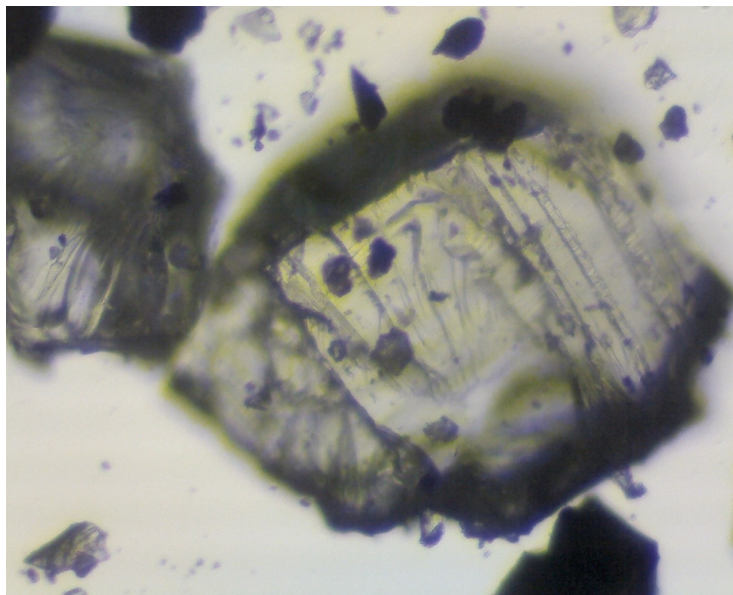


Рис. 4. Зерно использованного граната-альмандин и шлам (50-кратное увеличение)

Абразивный шлам имеет остроугольную форму частиц и средний размер в поперечнике 11,5 мкм.

Указанные размеры микростружки и абразивного шлама позволяют утверждать, что преимущественным процессом, определяющим производительность и качество поверхностей при гидроабразивной обработке, является микрорезание вершинами зерен. Следовательно, для описания процесса применимы расчетные и теоретические положения, разработанные для данного процесса.

Форма зерна использованного абразивного материала по визуальной оценке не претерпела принципиальных изменений. Однако на поверхностях имеют место выраженные хрупкие сколы. Конфигурация линии, характеризующей внешний контур, отличается от контура исходного зерна.

Для принятия решения о повторном использовании необходима количественная оценка произошедших изменений контура и размеров зерен.

В результате получены следующие распределения (рис. 5).

Среднее значение радиуса выступов составило $R_{\text{вс}} = 0,121$ мм, впадин $R_{\text{вп}} = 116$ мкм, соответственно размах и дисперсия упомянутых показателей

составили 0,561 и 0,014 мм² для выступов, 0,581 и 0,018 мм² – для впадин (табл. 1).

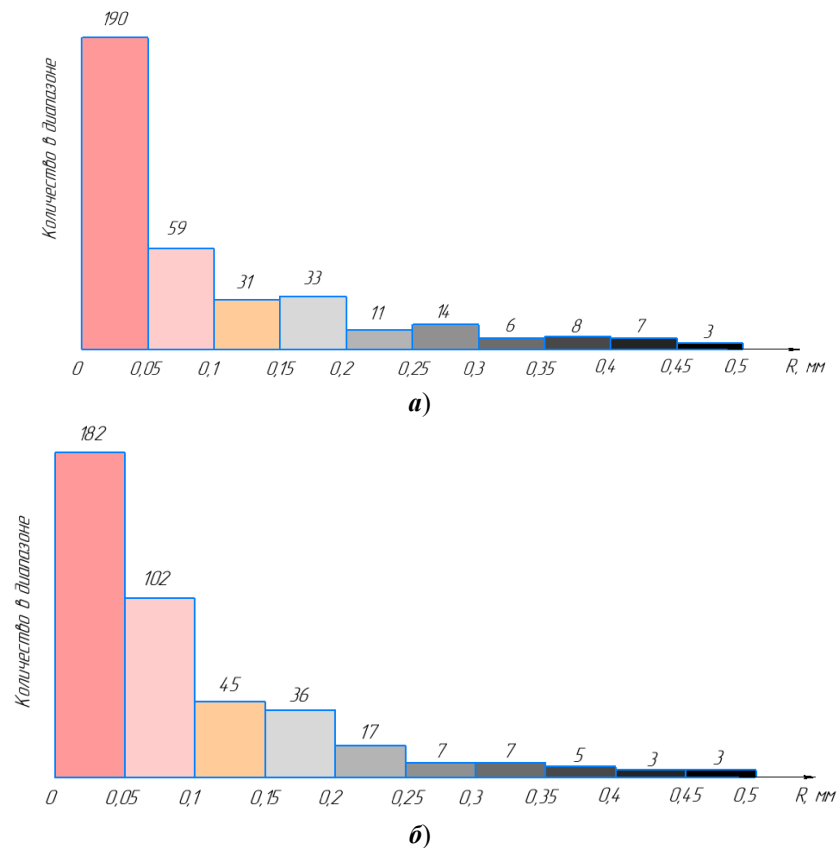


Рис. 5. Распределение размеров контура: **а** – радиусы выступов абразивного зерна; **б** – радиусы впадин абразивного зерна

Таблица 1

Характеристики контура абразивного зерна

	Выпуклые			Вогнутые		
	$R_{\text{вс}}$, мм	$W_{\text{вс}}$, мм	$S_{\text{вс}}^2$	$R_{\text{вс}}$, мм	$W_{\text{вс}}$, мм	$S_{\text{вс}}^2$
Новое зерно	0,093	0,551	0,011	0,104	0,582	0,014
Зерно после 1 цикла обработки	0,121	0,561	0,014	0,116	0,581	0,018

Проверка однородности дисперсий выпуклых участков по критерию Фишера при уровне значимости 0,05 выявила статистическую однородность дисперсий, что свидетельствует об отсутствии неучтенных факторов.

Проверка однородности средних значений выступов и впадин по критерию Стьюдента при уровне значимости 0,05 доказала, что расхождение между средними значениями до и после обработки значимо. В то же время статистического различия внутри выборок новых и использованных зерен для

рассматриваемых параметров не выявлено. Таким образом, изменения контура профиля зерна после цикла однократной обработки являются существенными.

Данные изменения контура профиля меняют технологические характеристики зерна гранатового порошка.

Во-первых, усилие, необходимое для внедрения вершины зерна в поверхность заготовки и достаточное для перехода от упругой деформации к пластической и далее к процессу резания вырастет пропорционально радиусу выступа частицы [5]. Это приведет к необходимости повышения кинетической энергии частицы в момент взаимодействия с поверхностью. По приближенным подсчетам, увеличение скорости гидроабразивной струи для сохранения прежней производительности, достигаемой на новом зерне, должно составить 5–7 % от исходной. Либо для формирования одинаковой шероховатости должна быть уменьшена скорость подачи, определяющая формирование поверхности реза. Уменьшение скорости реза пропорционально уменьшению количества частиц с радиусом выступов, достаточным для абразивного резания при давлениях, обеспечивающих внедрение частиц в поверхность заготовки. Расчет такого количества зависит от твердости и прочности материала заготовки и весьма трудоемок, поэтому компенсацию производительности проще выполнить за счет увеличения скорости гидроабразивной струи.

Также увеличение радиусов выступов позволяет предположить, что доля частиц, производящих при исходной динамике контакта с поверхностью пластическое, а не диспергирующее воздействие, вырастет. Это в свою очередь при склонности материала заготовки к упрочнению приведет к росту твердости поверхностей реза и формированию сжимающих остаточных напряжений.

Заключение

Таким образом, при обработке значительно изменяются радиусы выступов зерен, которые являются основной характеристикой абразивной способности профиля. Это неизбежно приведет к снижению их режущей способности и необходимости коррекции технологии гидроабразивной резки для обеспечения исходно запланированного качества реза. Однако разрушения зерен говорят о формировании новых кромок с иными геометрическими характеристиками, что создает предпосылки для сохранения работоспособности зерен. Оценка состояния режущего профиля единичного абразивного зерна позволяет оценить возможность его многократного рециклинга для гидроабразивной обработки.

Библиографический список

1. UralGRIT : официальный сайт. – URL: http://www.uralgrit.com/abrazivnie-poroshki/stat_i/sravnitelnye-ispytaniya-gidroabraziva-80-mesh-uralgrit-i-granatovogo-peska-garnet/
2. Способ рециклинга отходов гранатового песка от гидроабразивной резки / Ю. М. Федорчук, В. В. Матвиенко, А. С. Ивашутенко и др. – URL: https://patents.s3.yandex.net/RU2701017C1_20190924.pdf.
3. **Яшков, В. А.** Моделирование взаимодействия режущих абразивных зерен с поверхностью детали / В. А. Яшков // Современные наукоемкие технологии. – 2018. – № 12-2. – С. 403–407.
4. Технические условия ТУ 3988-002-76245879-2011. Гранатовый порошок. – Москва : ЗАО «Р-Гарнет», 2011. – 16 с.

5. **Крагельский, И. В.** Основы расчетов на трение и износ / И. В. Крагельский, М. Х. Добычин, В. С. Комбалов. – Москва : Машиностроение, 1977. – 526 с.

References

1. *UralGRIT*: official site. Available at: http://www.uralgrit.com/abrazivnye-poroshki/stat_i/sravnitelnye-ispytaniya-gidroabraziva-80-mesh-uralgrit-i-granatovogo-peska-garnet/ [In Russian]
2. Fedorchuk Yu. M., Matvienko V. V., Ivashutenko A. S. et al. *Sposob retsiklinga ot-khodov granatovogo peska ot gidroabrazivnoy rezki* [Method for recycling garnet sand waste from hydroabrasive cutting]. Available at: https://patents.s3.yandex.net/RU2701017C1_20190924.pdf. [In Russian]
3. Yashkov V. A. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern high technologies]. 2018, no. 12-2, pp. 403–407. [In Russian]
4. *Tekhnicheskie usloviya TU 3988-002-76245879-2011. Granatovyy poroshok* [Technical requirements TR 3988-002-76245879-2011]. Moscow: ZAO «R-Garnet», 2011, 16 p. [In Russian]
5. Kragel'skiy I. V., Dobychin M. Kh., Kombalov V. S. *Osnovy raschetov na trenie i iznos* [Fundamentals of friction and wear calculations]. Moscow: Mashinostroenie, 1977, 526 p. [In Russian]

Зверовщиков Александр Евгеньевич
доктор технических наук, профессор,
кафедра технологий и оборудования
машиностроения, Пензенский
государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: azwer@mail.ru

Zverovshchikov Aleksandr Evgen'evich
Doctor of engineering sciences, professor,
sub-department of engineering technologies
and equipment, Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Лебедев Геннадий Геннадьевич
аспирант, Пензенский
государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: normatechnology@gmail.com

Lebedev Gennadiy Gennad'evich
Postgraduate student, Penza
State University (40 Krasnaya
street, Penza, Russia)

Гурин Павел Александрович
кандидат технических наук, доцент,
кафедра технологий и оборудования
машиностроения, Пензенский
государственный университет,
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: sbgurin_pavel@list.ru

Gurin Pavel Aleksandrovich
Candidate of engineering sciences, associate
professor, sub-department of engineering
technologies and equipment, Penza State
University (40 Krasnaya street,
Penza, Russia)

Образец цитирования:

Зверовщиков, А. Е. Исследования изменения состояния технологической среды при гидроабразивной обработке / А. Е. Зверовщиков, Г. Г. Лебедев, П. А. Гурин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2020. – № 4 (56). – С. 135–142. – DOI 10.21685/2072-3059-2020-4-11.