

# Финишная абразивная обработка деталей из полимерно-композитных материалов

М. Ю. Куликов, А. Ю. Попов, Е. О. Шевчук, А. А. Крапостин

Разработана технология финишной абразивной обработки деталей из полимерно-композитных материалов (ПКМ), обеспечивающая требуемую шероховатость поверхности ( $Ra \leq 0,63$ ) и предотвращающая влагопоглощение и набухание обработанной поверхности. Определен эффективный способ подачи водо-воздушной смеси в зону резания с помощью внутренних каналов инструмента.

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, полимерно-композиционные материалы, финишная абразивная обработка, водо-воздушная смесь, шероховатость, влагопоглощение

УДК 621.763 | ВАК 2.5.5

DOI: 10.22184/2499-9407.2023.31.2.82.86

## Введение

В связи с внедрением аддитивных технологий в современное машиностроительное производство встает проблема улучшения шероховатости получаемых деталей. Было установлено [1], что качество поверхностей деталей, полученных с помощью аддитивных технологий, обладает низкими параметрами шероховатости ( $Ra \geq 1,2$  мкм). Для улучшения этого показателя предложено использовать финишную абразивную обработку [2]. Учитывая тот факт, что поверхность деталей имеет сложную форму, рекомендовано производить абразивную обработку с помощью мягких абразивных щеток.

При этом необходимо учитывать, что детали, в том числе изготовленные из ПКМ, обладают низкой теплостойкостью и способностью к влагопоглощению. Эти свойства затрудняют проведение финишной абразивной обработки.

В работе [2] показана необходимость охлаждения деталей с помощью смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) в процессе абразивной обработки, ввиду увеличения температуры в зоне резания и последующего оплавления поверхностного слоя, что связано с низкой теплостойкостью материала.

Решение проблемы влагопоглощения было предложено в работе [3], путем экспериментального анализа и выбора состава водо-воздушной смеси с помощью экспериментальной установки удалось снизить эффект набухания.

В данной работе исследовалась возможность подачи СОТС с помощью внутренних каналов инструмента.

## Технология подачи водо-воздушной смеси с помощью каналов абразивного инструмента

С целью устранения вышеописанных ограничений, накладываемых при обработке деталей из ПКМ, была предложена технология подачи водо-воздушной смеси через специальные каналы абразивного инструмента.

На рис. 1 показана схема гибкой абразивной щетки, которая включает в себя корпус 1 со стержнем 2, имеющим несквозной канал диаметром 4 мм, на стержень помещено металлическое основание 3 с пазами, необходимы для размещения абразивных волокон 4. Вылет щетки из корпуса регулируется четырьмя винтами 5, что позволяет обрабатывать отверстия и менять площадь контакта. В стержне 2 в шахматном порядке расположены отверстия

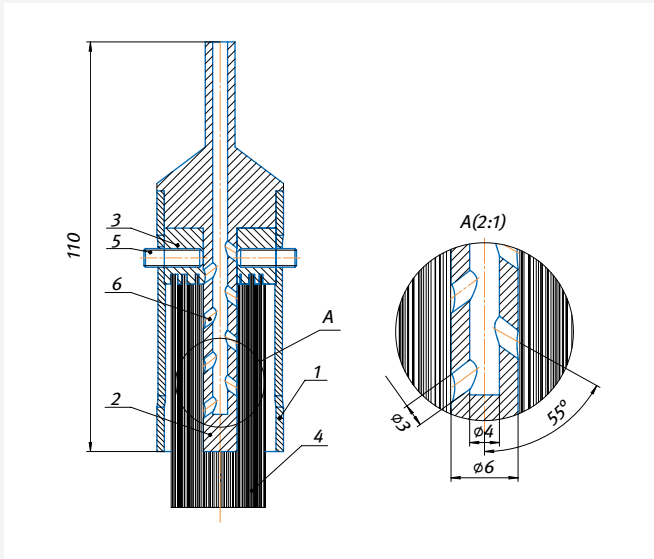


Рис. 1. Гибкая абразивная щетка с внутренней подачей COTC

для подвода водо-воздушной смеси, поступающей из шпинделя станка.

Более подробно металлическое основание с пазами представлено на рис. 2, где показан вид с торца гибкой абразивной щетки. Цифрой 1 обозначен корпус со стержнем 2, на металлическом основании расположены растянутые по окружности пазы 4, внутри которых плотно скомпонованы режущие волокна. Цифрой 5 обозначены четыре регулировочных винта.

При расположении пазов по центрическим окружностям в обработке участвует большее количество абразивных зерен. Повышается производительность процесса резания, что позитивно сказывается на точности шлифования при минимальном припуске, наряду с этим имеется возможность обработки сложнофасонных поверхностей. Поскольку при этом повышается количество выделяемой теплоты, гибкие волокна, наполненные абразивными зернами, активно смачиваются, благодаря шахматному расположению специальных отверстий в канале, что способствует обволакиванию COTC поверхности рабочей части инструмента внутри корпуса в полной мере, но не позволяет перенасытить влагой заготовку.

Для оценки эффективности охлаждения при такой компоновке режущей части, перед экспериментом была произведена симуляция с помощью модуля SolidWorks Flow Simulation.

Построенная имитационная модель течения жидкости показана на рис. 3. Стрелками отмечено движение потоков водо-воздушной смеси по внутренним каналам: COTC сначала обволакивает абразивные волокна и лишь потом попадает на заготовку. Температура среды внутри корпуса и заготовки не превышает 30 °С.

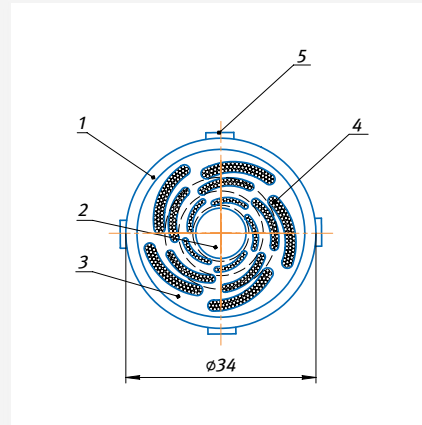


Рис. 2. Расположение волокон гибкой абразивной щетки

Результаты имитационного моделирования были проверены в эксперименте с образцами, изготовленными из полимера TITAN GF-12 – конструкционного композита на основе ABS, армированного рубленым стекловолокном. Содержание стекловолокна – 12%. Использованный материал обладает хорошими прочностными характеристиками: упругостью, увеличенной твердостью, прочностью на разрыв и сжатие, низкой усадкой при изготовлении.

При проведении опытов изменялись следующие режимы обработки:

- частота вращения шпинделя  $n = 4500$  об./мин;
- подача  $s = 800$  мм/мин;
- общий слой снимаемого материала  $t$  не изменялся и составил 0,2 мм;
- за один проход снимался слой, равный 0,05 мм.

Таким образом, всего было четыре прохода. Вылет инструмента из корпуса составлял 11 мм. Процент перекрытия инструментом составил 100%, таким образом, инструмент работал всей своей режущей частью.

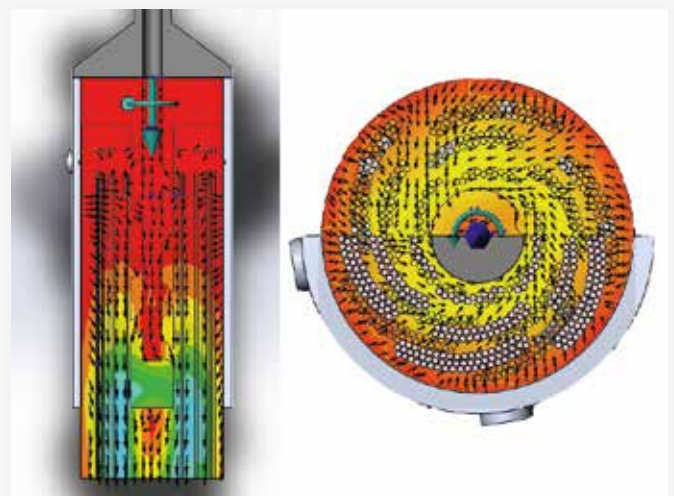


Рис. 3. Имитационная модель распределения потоков жидкости

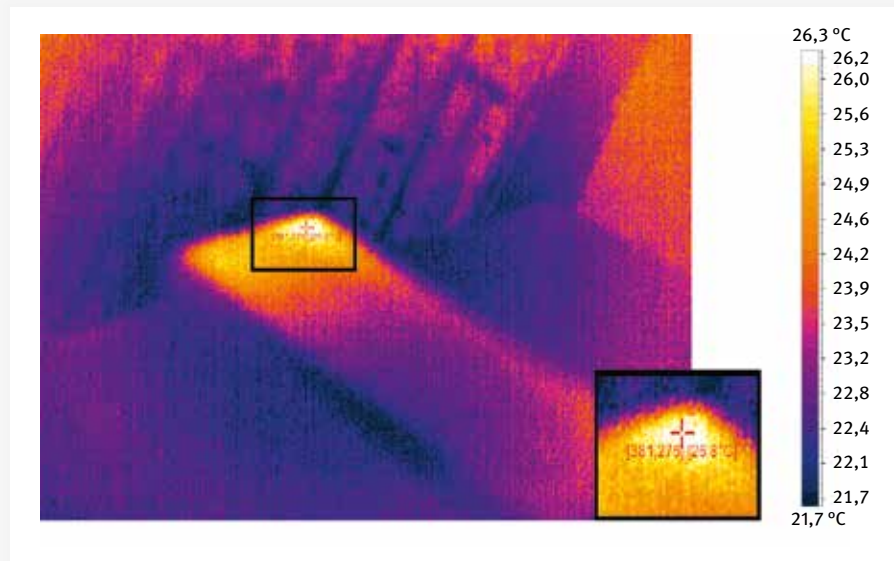


Рис. 4. Распределение температурных зон в процессе обработки

В процессе эксперимента с помощью тепловизора Satir HotFind-LR была зафиксирована температура в зоне обработки. На рис. 4 спектром цветов обозначены температуры в зоне обработки. Максимальная зафиксированная температура составила 26,8 °С. При таких значениях возможна обработка без размягчения и расплавления поверхности.

Увеличенная с помощью микроскопа Альтами СМ0745-T поверхность до и после обработки представлена на рис. 5.

На рис. 5а наглядно видны поверхностные слои изделия и отчетливые зоны неровностей, на рис. 5б поверхность после обработки при таких режимах резания получилась наиболее однородной, следов от инструмента не наблюдается.

Показатель качества поверхности Ra после эксперимента был измерен с помощью профилометра TR220.

Как видно из графика на рис. 6, значения Ra находятся в диапазоне 0,576–0,628 мкм, таким образом, удалось улучшить качество поверхности примерно в 2,5 раза.

Возникающий в процессе обработки вихревой поток водо-воздушной смеси внутри корпуса инструмента одновременно с охлаждением удаляет отработанные капли СОТС с обработанной поверхности. Результаты изменения геометрических размеров представлены на рис. 7, где приведен график, отражающий изменения

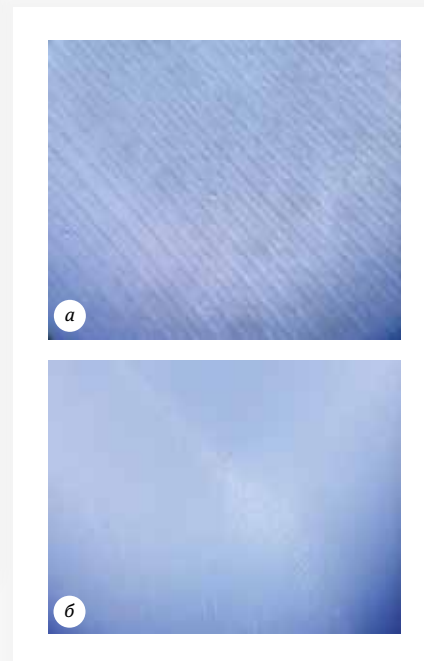


Рис. 5. Поверхность обрабатываемой детали до и после обработки (увеличение ×300)

геометрических размеров заготовки. После обработки заготовка была помещена на стеллаж и через равные промежутки времени производились замеры. Полное высыхание произошло через 7 ч, зафиксированный максимальный размер 52,005 мм, что соответствует низкому эффекту влагопоглощения.

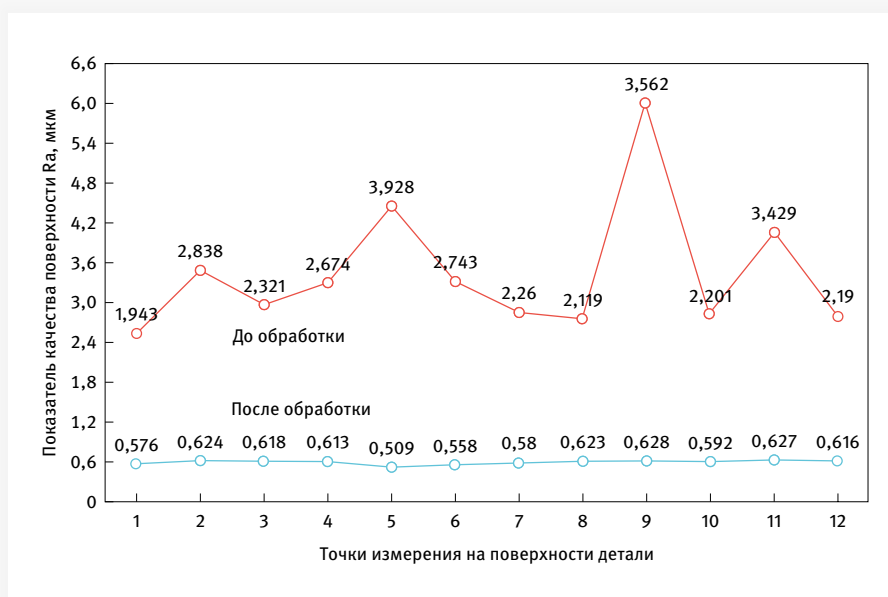


Рис. 6. Показатель качества поверхности до и после обработки

22-26 | 05 | 2023

Россия, Москва,  
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»



23-я международная  
специализированная  
выставка

# МЕТАЛЛООБРАБОТКА

«Оборудование,  
приборы и инструменты  
для металлообрабатывающей  
промышленности»



МИНПРОМТОРГ  
РОССИИ



[www.metobr-expo.ru](http://www.metobr-expo.ru)

12+ Реклама

ЭКСПОЦЕНТР



Рис. 7. Изменение геометрических размеров в интервале 7 ч до полного высыхания

### Заключение

Предложенная технология подачи водо-воздушной смеси через специально расположенные каналы абразивного инструмента была рассчитана с помощью имитационного моделирования, результат исследования показал направление движения потоков и распределение температур в процессе обработки.

Проверка имитационной модели была произведена путем эксперимента. Опыт показал эффективное снижение температуры в зоне резания. Эффект влагопоглощения полимером при таком способе охлаждения минимален. Вихревой поток водо-воздушной смеси внутри корпуса инструмента одновременно с охлаждением удаляет отработанные капли СОТС с обработанной поверхности.

С целью улучшения конструкции предлагается увеличить скорость воздушного потока для более эффективного удаления СОТС из зоны резания в процессе обработки.

### Литература

- Куликов М. Ю., Ларионов М.А., Гусев Д.В., Шевчук Е.О. Обеспечение качества деталей, изготовленных с помощью аддитивных технологий // Вестник Брянского государственного технического университета. 2020. № 12(97). С. 4–10.
- Куликов М. Ю., Ларионов М.А., Гусев Д.В., Шевчук Е.О. Улучшение шероховатости поверхностей деталей из полимерных материалов, полученных с помощью аддитивных технологий // Вестник Брянского государственного технического университета. 2021. № 7(104). С. 12–18.
- Шевчук Е.О., Погорельский В.В. Улучшение качества поверхности деталей, полученных с помощью аддитивных технологий // Машиностроение: традиции и инновации

(МТИ – 2021). Сборник докладов. – М.: ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», 2021. С. 357–366.

- Куликов М. Ю., Ларионов М.А., Гусев Д.В. Исследование закономерностей формирования точностных параметров деталей при прототипировании // Вестник Брянского государственного технического университета. 2016. № 2(50). С. 104–107.
- Клушин М. И., Гордон М.Б. Применение распыленных жидкостей при резании металлов. Иваново: Кн. изд-во, 1960. 50 с.
- Яшков В.А. Повышение эффективности работы сборного абразивного инструмента для внутреннего шлифования путем интенсификации действия СОТС в зоне обработки: авт. дис. ... канд. тех. наук: 05.02.07 / Яшков Валентин Александрович; [Место защиты: Моск. гос. технол. ун-т «Станкин»]. Москва, 2016. 19 с.
- Куликов М. Ю., Шевчук Е.О., Ларионов М.А., Гусев Д.В., Александров И.А. Улучшение качества поверхностей деталей из полимерно-композитных материалов с использованием СОТС. Санкт-Петербург «Металлообработка», 2022, № 1.
- Гусев Д. В. Повышение показателей качества изготавливаемых изделий при использовании технологии быстрого прототипирования: специальность 05.02.08 «Технология машиностроения»: дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук / Денис Витальевич Гусев; Ульяновский государственный технический университет. Ульяновск, 2019. 116 с.
- Адлер Ю. П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 278 с.
- Зленко М.А., Нагайцев М.В., Довбыш В.М. Аддитивные технологии в машиностроении. Пособие для инженеров. М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. 220 с.

### Авторы

**Куликов Михаил Юрьевич** – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института конструкторско-технологической информатики (ИКТИ РАН), заведующий кафедрой «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» Российского университета транспорта

**Попов Алексей Юрьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» Российского университета транспорта

**Шевчук Евгений Олегович** – аспирант кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» Российского университета транспорта

**Крапостин Алексей Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» Российского университета транспорта



# ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



А.Р. Маслов

## Технологии производства микродеталей

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2023. – 236 с.  
ISBN 978-5-94836-664-7

Цена 1188 руб.

В книге представлены основные элементы технологии микрообработки (Microproduction) деталей машиностроительного производства, медицинской техники и инструментария, радиотехники, электроники и оптических систем.

Дано описание основных видов оборудования с использованием многоцелевых станков с ЧПУ для обработки резанием заготовок микродеталей из основных применяемых конструкционных материалов. Даны сведения о получении микроизделий и малоразмерных деталей литьем и методами аддитивных технологий.

Приведены сведения об инструментарии и методах диагностирования состояния технологических процессов микрообработки. Дано представление о современных способах повышения надежности технологических систем путем нанесения износостойких и антифрикционных покрытий методами вакуумно-плазменных технологий.

Приведены сведения об инструментальных системах и средствах инструментального обеспечения, повышающих эффективность микрообработки. Дан обзор средств измерения микродеталей и способов исследования поверхностных структур в наноразмерном диапазоне.

Пособие предназначено для будущих инженеров, обучающихся по направлению подготовки 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов» и будущих магистров науки и технологий, обучающихся по направлению подготовки 15.04.02 «Технологические машины и оборудование».

### Как заказать наши книги?

По почте: 125319, Москва, а/я 91  
По факсу: (495) 956-33-46  
E-mail: [knigi@technosphaera.ru](mailto:knigi@technosphaera.ru)  
[sales@technosphaera.ru](mailto:sales@technosphaera.ru)

ИНФОРМАЦИЯ О НОВИНКАХ  
[www.technosphaera.ru](http://www.technosphaera.ru)