



# Формирование поверхностного слоя при гидроабразивном разделении металлов



Александр ПОПОВ  
Alexander P. POPOV

Данила СВИРИДЕНКО  
Danila S. SVIRIDENKO



Юрий КОМАРОВ  
Yuri Yu. KOMAROV

*Попов Александр Петрович* — кандидат технических наук, доцент Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.  
*Свириденко Данила Сергеевич* — кандидат технических наук, доцент ВНИИ авиационных материалов, Москва, Россия.  
*Комаров Юрий Юрьевич* — старший преподаватель МИИТ, Москва, Россия.

## Formation of the Surface Layer during Hydroabrasive Separation of Metals

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 33)

**Рассматривается диапазон физико-механических свойств, строения и структуры материалов, обрабатываемых методом гидроабразивной резки. Приведены технологические возможности гидроабразивного разделения металлов струей высокого давления и его сравнение с такими прогрессивными методами, как лазерные, плазменные, эрозионные.**

Ключевые слова: транспортное машиностроение, детали машин, гидроабразивное разделение металлов, сравнение методов, качество поверхности разделения.

Одним из основных направлений производства деталей машин является повышение надежности, производительности труда, эффективности денежных затрат. Такие детали, как правило, изготавливаются из труднообрабатываемых, сложнолегированных, высокопрочных, жаропрочных, жаростойких, коррозионностойких материалов и к их рабочим поверхностям предъявляются особые требования по точности, высоте неровностей, шероховатости, твердости, всем физическим признакам.

Доминирующее положение занимают технологии, которые практически мгновенно, за весьма ограниченный промежуток времени осуществляют изготовление сложных, фасонных пространственных форм различных деталей [1, 2]. При этом показатели качества поверхностного слоя (шероховатость, микротвердость, фазовый и структурный состав и др.) увязываются заказчиками с факторами технико-экономической целесообразности применения того или иного способа, технологического приёма, обеспечивающего требуемую производительность, надежность, трудоёмкость, снижение сроков

подготовки производства, минимизацию затрат по сравнению с конкурирующими вариантами.

Всем изложенным требованиям отвечает группа технологических приемов, включающих: лазерные, плазменные, эрозионные, гидроабразивные методы обработки [3]. Ликвидность этих технологий одна из самых высоких в мире. Такие методы позволяют динамично осваивать новые изделия авиационно-космической отрасли и характеризуются следующими преимуществами по сравнению с традиционными механическими приемами формообразования [4]:

- сокращением сроков освоения подготовки производства новых изделий от 6 до 10 раз;

- повышением коэффициента использования материала в 3–5 раз;

- сокращением трудоемкости при изготовлении деталей такими технологиями за счет использования режима чертеж — компьютер — готовая деталь;

- обеспечение в поверхностном слое формообразуемых деталей требуемого распределения параметров качества — таких, как шероховатость, геометрическая точность, глубина поверхностного слоя, фазовый химический состав материала заготовки;

- модульность структуры комплекта оборудования для реализации технологий.

Среди рассматриваемых технологий гидроабразивная выделяется своими преимуществами [5, 6]:

- деталь (разрезаемый материал) не подвергается термическому воздействию от тепла, выделяющегося при обработке (фактически происходит «холодное» резание);

- отсутствие пыли и газов (поток струи воды уносит с собой продукты обработки);

- низкое тангенциальное усилие резания на деталь (в отдельных случаях даже не требуется зажима разрезаемого материала);

- небольшая ширина реза (что сказывается на уменьшении потерь материала и на улучшении экономичности раскрыя);

- высокая скорость резания любых материалов (в том числе диэлектриков);

- возможность получения путем разделения материала сложных контуров, в том числе переходных участков с радиусом скругления менее одного миллиметра.

Способ гидроабразивного разделения материалов находит все более широкое применение и позволяет использовать кинетическую энергию струи жидкости, подаваемой со сверхзвуковой скоростью (400–1000 м/с) под давлением 100–400 МПа из отверстия диаметром 0,1–0,4 мм [7]. Сила воздействия такой струи на материал способна вызвать его разрушение с отрывом микрочастиц. Следовательно, в процессе обработки кине-

тическая энергия струи превращается в механическую работу резания, а сама струя является режущим инструментом. Струя жидкости по своим техническим возможностям приближается к идеальному точечному инструменту, что позволяет обрабатывать сложный профиль с различным радиусом скругления. Поскольку ширина реза может быть в диапазоне 0,1–3 мм, то отход материала в стружку существенно меньше, чем при традиционных методах обработки. Рез можно начинать в любой точке заготовки и при этом не нужно предварительно выполнять отверстие. Небольшие силы (1–100 Н) и незначительная температура (60–90°C) в зоне резания исключают деформацию заготовки, а также оплавление и пригорание материала в области, прилегающей к этой зоне, что способствует улучшению качества обработки и дает обрабатывать горючие и взрывоопасные материалы [8, 9]. Струя жидкости не изменяет физико-механических свойств обрабатываемого материала.

Применение гидроабразивной обработки позволяет:

- при необходимости полностью автоматизировать процесс разделения материала [10];

- исключить из технологического цикла традиционный режущий инструмент, рабочие кромки которого непрерывно изнашиваются;

- высвободить персонал и оборудование, осуществляющие изготовление и переточку инструмента;

- повысить производительность и качество обработки;

- уменьшить отход материала в стружку;

- снизить уровень шума;

- полностью устранить запыленность рабочего места.

Одним из востребованных потребителей технологии гидроабразивного разделения является авиастроение и приборостроение, где широко используется резка слоистых композиционных материалов.

Диапазон физико-механических свойств, строения и структуры материалов, обрабатываемых методом гидроабразивной резки, достаточно широк. К ним относятся бумага, картон, ткани, кожа, резина, древесина, полимерные материалы (винилпласт, фторопласт, органическое стекло, гетинакс, текстолит, стеклотекстолит), фольгированная и металлизированная пластмасса, металлы и сплавы, в том числе труднообрабатываемые (твёрдые и магнитные сплавы, титан, коррозионностойкие и жаропрочные стали, композиционные материалы, керамика) и др.

Водяной струей можно резать практически любые материалы толщиной до 30 мм, однако наибольший эффект достигнут при резке





объектов с толщиной 2–6 мм [11]. В этом случае струя успешно конкурирует с лазерным лучом. Для обработки металлов и керамики применяют водно-абразивную смесь, так как кинетической энергии струи чистой воды недостаточно для резания твердых материалов [12].

При сравнении метода гидроабразивной резки с существующими технологиями обработки материалов, в частности с лазерной, плазменной, электроэрозионной, газорезкой, фрезерованием, можно отметить существенные его достоинства [13]:

- отсутствует необходимость в инструменте и его замене;

- значительная экономия материала за счет возможности оптимального раскрытия и значительно меньшей ширины реза;

- лёгкость и быстрота программирования.

Несмотря на все свои преимущества, гидроабразивная резка имеет некоторые недостатки, связанные с тем, что используемая в качестве режущего инструмента струя на выходе из материала отстает от точки входа, из-за чего могут возникать погрешности обработки в следующих случаях:

- при движении по радиусу инерционность струи может вызвать отклонение размеров детали от заданных;

- при резке внутренних углов отставание струи также может влиять на правильность обработки, а при изменении направления резки способна сделать надрез в детали.

Однако эти недостатки можно устранить за счёт уменьшения скорости обработки в проблемных местах.

Еще один существенный недостаток гидроабразивной обработки — конусность кромок получаемых деталей. Угол конуса зависит от ряда параметров: расстояния от режущей головки до обрабатываемой детали, материала детали, скорости обработки, типа используемого абразива. Для уменьшения конусности снижают скорость обработки, а также делают зазор между режущей головкой и деталью минимальным [14]. Эффективным средством повышения точности геометрии стенок паза в месте разделения материала и устранения шаржирования служит комбинация физических воздействий [15, 16].

Таким образом, метод гидроабразивной резки является одним из перспективных для разделения большинства материалов в промышленном производстве. Сейчас за рубежом работает свыше 7000 станков различного назначения, использующих этот метод. В России и странах СНГ известно не более 70 единиц такого оборудования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Усов С. В., Вячеславов О. Ф., Свириденко Д. С. и др. Нетрадиционные методы обработки деталей машин, созданные на основе информационных технологий. — Подольск: Славянская школа, 2010. — 150 с.
2. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов: Учеб. пособие (в 2-х томах). Обработка материалов с применением инструмента / Под ред. В. П. Смоленцева. — Т. 2. — М.: Высшая школа, 1983. — 208 с.
3. Попов А. П., Попова Т. А., Комаров Ю. Ю. Методы повышения надежности // Вестник Московского государственного открытого университета. Серия «Техника и технология». — 2013. — № 4. — С. 32.
4. Усов С. В., Свириденко Д. С., Болдырев А. А., Ковалев С. В., Мандрыкин А. В. Оценка эффективности при внедрении высоких наукоемких технологий // Вестник Воронежского государственного технического университета. — Т. 8. — 2012. — № 7. — С. 87–91.
5. Усов С. В., Свириденко Д. С., Гончаров Е. В., Коденцев С. Н. Конструктивно-технологические возможности гидроабразивной обработки деталей машин как фактора научно-технического прогресса // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. — 2013. — № 2. — С. 95–99.
6. Усов С. В., Назаров Ю. Ф., Свириденко Д. С. Основы технологии гидроабразивной обработки деталей машин. — Подольск: Славянская школа, 2010. — 148 с.
7. Смоленцев В. П., Гончаров Е. В. Гидроабразивное разделение металлов с наложением электрического поля // Межвуз. сб. науч. трудов. — Вып. 6. — Воронеж: ВГТУ, 2011. — С. 102–108.
8. Кузовкин А. В., Смоленцев В. П. Размерное формообразование сложнопрофильных деталей с применением твердого токопроводящего наполнителя. — Воронеж: ВГТУ, 2000. — 176 с.
9. Смоленцев В. П., Гончаров Е. В. Повышение точности гидроабразивной обработки и качества поверхностного слоя в зоне разделения вязких материалов // Упрочняющие технологии и покрытия. — 2012. — № 4. — С. 45–48.
10. Попов А. П. Интегрированные производственные системы // Вестник машиностроения. — 2014. — № 3. — С. 80–82.
11. Барсуков Г. В., Михеев А. В. Определение производительности гидроабразивного резания с учетом характеристик абразивного зерна // Инженерный журнал. — 2008. — № 1. — С. 9–14.
12. Смоленцев В. П., Болдырев А. А. Применение магнитно-реологических жидкостей в металлообработке // Нетрадиционные методы обработки: межвуз. сб. науч. трудов. — Вып. 9. — Ч. 3. — М.: Машиностроение, 2010. — С. 120–129.
13. Попов А. П. Моделирование систем управления машиностроительным производством // Известия МГТУ «МАМИ». — 2013. — № 2. — С. 273–276.
14. Иванов Г. М., Свешников Б. И., Черпаков Б. И. Оборудование для водоструйного резания // СТИИ. — 2000. — № 25. — С. 34–39.
15. Усов С. В., Свириденко Д. С. Научные основы создания прогрессивных методов обработки деталей машин на базе информационных технологий. — Подольск: Славянская школа, 2011. — 208 с.
16. Попов А. П., Попова Т. А. Оптимизация технологических процессов // Мир транспорта. — 2015. — № 5. — С. 16–25.

Координаты авторов: **Попов А. П.** — pap60@bk.ru, **Свириденко Д. С.** — d\_sviridenko@mail.ru, **Комаров Ю. Ю.** — yk5@ya.ru.

Статья поступила в редакцию 08.06.2016, принята к публикации 13.09.2016.