

Технология и технологические машины

УДК 62—93

Влияние волновой энергии на эффективность процесса гидроструйной обработки материалов*

А.Л. Галиновский, С.А. Проваторов, М.В. Хафизов

Рассмотрен вопрос повышения эффективности гидроструйной обработки материалов за счет аккумуляции волновой энергии в зоне взаимодействия гидроструи с преградой. Представлены результаты численного моделирования процесса гидрорезания с использованием различных материалов основания (опоры), а также экспериментальных исследований по измерению параметров гидрокаверн и уровня акустической эмиссии в зоне обработки.

Ключевые слова: гидроструя, волновые процессы, акустическая эмиссия, компьютерное моделирование.

Effect of wave energy on efficiency of materials hydro processing*

A.L. Galinovsky, A.S. Provatorov, M.V. Khafizov

The paper considers the waterjet processing improvement by means of undular energy accumulation in the workpiece range. The results of waterjet cutting numerical simulation are shown. The corresponding experimental data is presented, i.e. hydrocave profiles and acoustic emission recording.

Keywords: waterjet, wave process, acoustic emission, computer simulation.

В последнее десятилетие гидроструйные методы обработки материалов дополняют обширный арсенал современных производственных технологий. Анализ показал, что технология обработки ма-

* Данное исследование проводилось в рамках гранта президента РФ № 16.120.11.5069-МД и грантов РФФИ № 12-08-00802-а, РФФИ 12-08-33022.



ГАЛИНОВСКИЙ
Андрей Леонидович
кандидат технических
наук, доктор
педагогических наук,
доцент, профессор



ПРОВАТОРОВ
Александр Сергеевич
студент



ХАФИЗОВ
Максим Васильевич
аспирант
кафедры «Технологии
ракетно-космического
машиностроения»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)
e-mail: galcomputer@mail.ru

териалов сверхзвуковой струей жидкости представляет собой эффективную, но пока узко развивающуюся инновационную технологию XXI века, так как ее научно-методическое сопровождение отстает от технической реализации на практике [1–3]. Таким образом, актуальной задачей развития гидроструйных технологий является расширение представлений об энергетических, физико-химических и других превращениях, прежде всего в области взаимодействия специфического режущего инструмента — гидроструи жидкости с преградой. При этом необходимо подчеркнуть, что все традиционные и перспективные гидротехнологии объединяет интенсивная управляемая гидроэрозия поверхностного слоя материала обрабатываемого объекта в месте воздействия на него гидроструи и физические процессы в этой зоне [2]. Основываясь на феноменологическом предположении о значимости вклада волновых процессов в эффективность гидроструйной обработки, был проведен ряд теоретических и экспериментальных исследований, раскрывающих суть данного явления применительно к рассматриваемой технологии.

В основе доказательной базы исследования лежал сопоставительный анализ двух вариантов обработки материала гидроструйным методом. В первом варианте при установке образца-мишени использовалось жесткое основание, а во втором — упругое основание. Гипотеза исследования состояла в предположении о том, что концентрация волн различной природы в обрабатываемом материале в случае изоляции образца-мишени от опоры позволит повысить производительность обработки.

Методически исследование было построено в виде двух параллельно-последовательных этапов:

1) моделирование процесса взаимодействия гидроструи с образцом-преградой, установленном как на жестком (металлическом) основании, так и на упругом (резиновом) основании с использованием численных методов;

2) экспериментальная проверка результатов численного моделирования на примере обработки стального и алюминиевого образцов гидроструей с последующим использова-

нием современных методов диагностики и измерительных средств.

Для решения задачи взаимодействия гидроструи и преграды перспективным является метод конечных элементов — численный метод решения задач прикладной механики. Как показано в работе [4], он позволяет весьма точно смоделировать совокупность процессов, протекающих в зоне гидрообработки, с использованием в качестве режущего инструмента высокоскоростной (300...500 м/с) гидроструи. Расчетная схема для решения рассматриваемой задачи представлена на рис. 1.

Для каждого варианта опоры моделирование проводилось с различными начальными условиями: скоростью гидроструи и толщиной обрабатываемого материала мишени. Все полученные результаты показали, что время сквозного пробития гидроструей мишени, лежащей на упругом (резиновом) основании в среднем на 30...40% меньше, чем при использовании жесткого основания.

На рисунке 2 показано распространение поверхностных волн Рэлея и волн упругой деформации других типов (например, упругих волн Лэмба) в толще обрабатываемой пластины. При этом, следуя данным шкалы распределе-

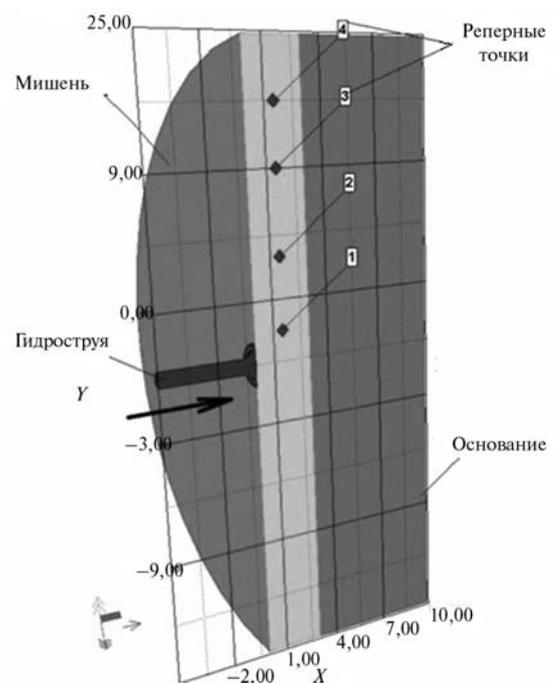


Рис. 1. Схема постановки задачи механики сплошной среды

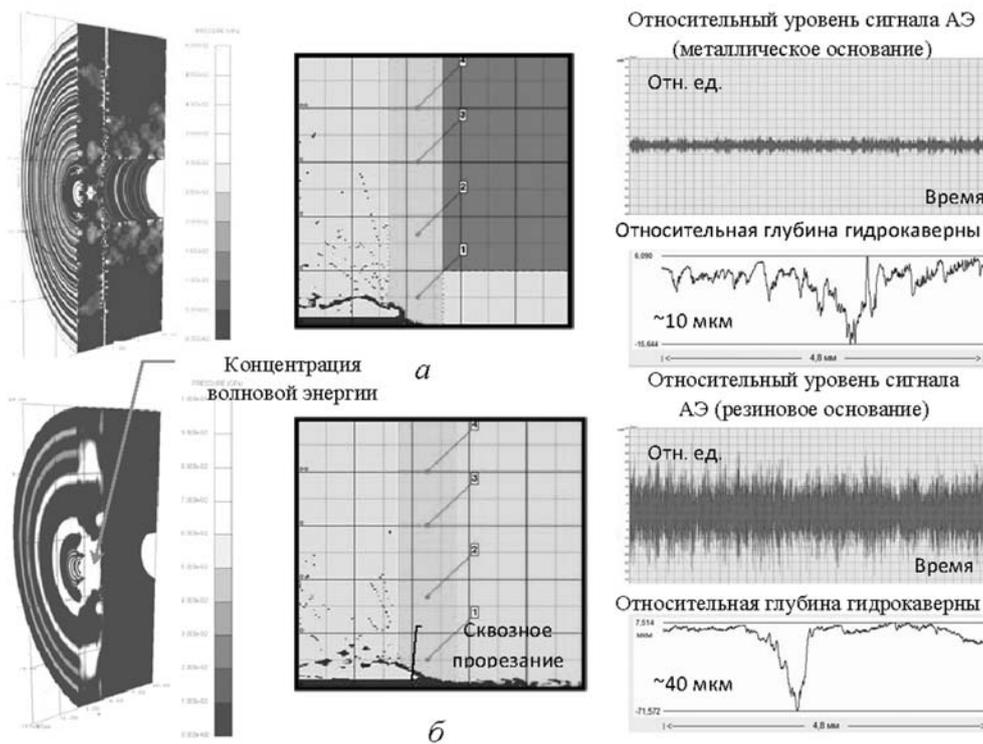


Рис. 2. Распределение волн упругой деформации:

а — жесткое (металлическое) основание; б — упругое (резиновое) основание

ния напряжений в материале, напряженно-деформированное состояние материала мишени в месте появления волновых флуктуаций достигает критического значения (белый цвет). Это приводит к изменению структуры материала, в частности к локальному пластическому течению, оттеснению поверхностных слоев на периферию удара гидроструи, формированию микро- и субмикротрещин и их развитию в течении времени воздействия гидроструи на преграду. На рисунке видно, что резиновое основание, в отличие от металлического, изолирует обрабатываемый образец, а это приводит к аккумуляции волновой энергии в зоне обработки, ускоряя тем самым процесс гидроэрозионного разрушения.

Также из анализа движения реперных точек следует (рис. 3), что скорость колебаний пластины, лежащей на упругом основании вдвое больше, чем у пластины, расположенной на жестком основании, что, несомненно, увеличивает динамическую составляющую, влияющую на эффективность протекания процесса гидрообработки. Это может быть очень полезным для повышения производительности про-

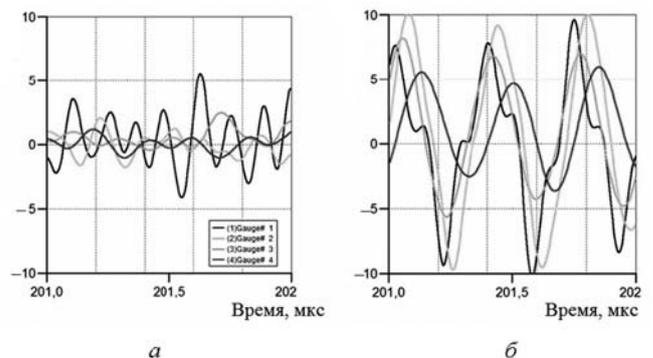


Рис. 3. Изменение скорости реперных точек V_x на образце-мишени:

а — жесткое основание; б — упругое основание

цесса гидроструйной очистки материалов от различных трудноудаляемых загрязнений.

На втором этапе исследований был проведен эксперимент с использованием гидроустановки производства KMT MultiCam Waterjet Systems (Дмитровский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана). В эксперименте в качестве своеобразного режущего инструмента использовалась специально подготовленная (очищенная от примесей) вода при давлении 370 МПа. Гидроскрайбирование

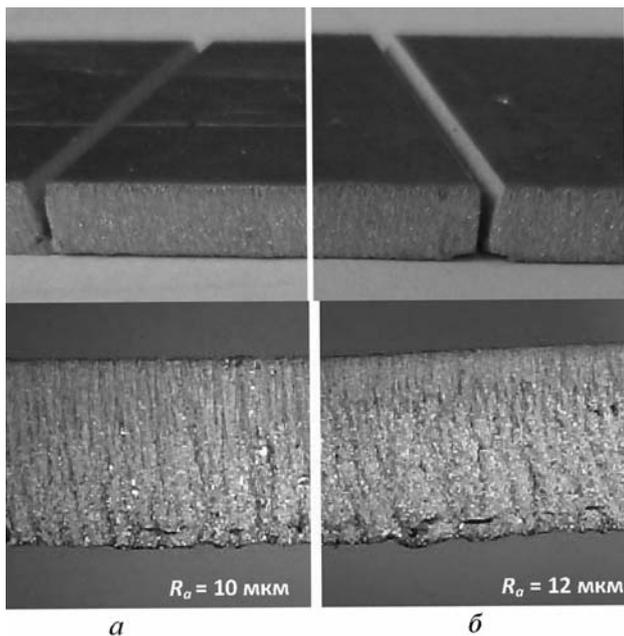


Рис. 4. Торцевые поверхности алюминиевого образца:

а — жесткое основание; *б* — упругое основание

стального образца толщиной 5 мм производилось со скоростью подачи режущей головки 5 мм/с. Далее выполнялось сравнение глубины (шероховатости) образовавшихся на поверхности образца гидрокаверн и оценивался уровень акустической эмиссии (АЭ) при обработке, который, как показано в работе [5], является весьма перспективным средством диагностики процессов гидрорезания. Шероховатость поверхности оценивалась профилографом-профилометром БВ-7669М производства НИИ «Измерения». На рисунке 2 видно, что глубина гидрокаверны, полученная при гидроструйном воздействии на образец, установленный на упругое основание, существенно превышает глубину гидрокаверны, образовавшуюся на образце, установленном на жесткое основание.

Значимую роль волновых процессов для гидроструйной обработки материалов подтвердили также результаты измерения АЭ (см. рис. 2). Измерение АЭ выполнялось для обоих рассматриваемых вариантов установки пластины с использованием акустической системы «Малахит 15АС/2». Из записей сигнала АЭ (рис. 2) видно, что уровень волн упругой деформации в изолированном образце примерно в 5 раз выше, по

сравнению с образцом, лежащим на жестком основании.

В дополнение к данным экспериментальным исследованиям был осуществлен процесс гидрорезки алюминиевого образца толщиной 5 мм с теми же параметрами гидроструи, но при скорости подачи 1 мм/с.

В качестве иллюстрации на рис. 4 представлены изображения торцевых поверхностей алюминиевого образца, демонстрирующие различную глубину реза и параметры шероховатости поверхности в обоих рассматриваемых случаях. Заметим, что в образце, установленном на упругое основание, произошел сквозной разрез.

Выводы

1. Результаты математического моделирования и экспериментального изучения специфики взаимодействия гидроструи жидкости с преградой показали наличие ярко выраженной волновой нестационарности энергетических превращений в зоне обработки при осуществлении гидроструйных операционных технологий.

2. Показано, что использование современного программно-математического аппарата численного моделирования является эффективным средством для анализа физических особенностей и результатов взаимодействия высокоэнергетической гидророструи с поверхностью твердого тела-мишенью.

Литература

1. Ультраструйная технология получения микросуспензий / О.Е. Балашов, А.А. Барзов, А.Л. Галиновский и др. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 352 с.
2. Барзов А.А., Галиновский А.Л. Технология ультразвуковой обработки и диагностики материалов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 246 с.
3. Степанов Ю.С., Барсуков Г.В., Михеев А.В. Разрушение преграды сверхзвуковым потоком свободных абразивных частиц. М.: Издательский дом «Спектр», 2010. 152 с.
4. Абашии М.И., Хафизов М.В. Механизмы гидроэрозионного разрушения твердотельной преграды [Электронный ресурс] // Наука и образование. № 10. 2011.
5. Барзов А.А. Эмиссионная технологическая диагностика. М.: Машиностроение, 2005. 384 с.

Статья поступила в редакцию 15.06.2012