

обработки детали значение  $\delta_{обр}$  поверхности уменьшается и стремится к  $\delta_{пол}$ .

Погрешности станков с ЧПУ известны [1]. В работах [2] общая погрешность станка с ЧПУ определяется как сумма случайных, постоянных и функциональных погрешностей. Влияние разного вида погрешностей станка с ЧПУ на точность обработки создает трудности для их компенсации и затрудняет получение стабильных зависимостей. При обработке поверхностей небольшого размера, например под СНП на корпусе фрезы с механическим креплением пластин, предполагается унификация обрабатываемых поверхностей по геометрическим параметрам, а это позволяет унифицировать набор инструмента второго порядка и режимов резания. Поэтому можно предположить, что погрешности от упругой системы  $\delta_{упр}$  будут иметь постоянное значение или стремиться к нему, независимо от расположения узлов станка во время обработки. Благодаря унификации обрабатываемых поверхностей по геометрическим параметрам время резания обрабатываемых поверхностей постоянно, поэтому функциональные погрешности, имеющие переменный систематический характер, например погрешности от тепловых процессов  $\delta_t$ , погрешности от износа инструмента  $\delta_{и}$ , проявят систематический характер, а их влияние на точность обработки снизится. Случайные погрешности при таких условиях будут давать узкое поле рассеяния размеров.

На основании проведенного анализа можно заключить, что при обработке поверхностей небольшого размера появляется возможность более точного учета влияния погрешностей станка с ЧПУ и эффективной компенсации погрешности обработки.

#### Литература

1. Точность и надежность станков с числовым программным управлением. Под ред. А.С. Пронникова. М.: Машиностроение, 1982 – 256 с.
2. Бржозовский Б.М., и др. Исследование точности токарной обработки на станках с программным управлением. Автоматизация технологических процессов в машиностроении. – Свердловск: УПИ. 1978. Вып. 2. с. 78-81.

### **Современное состояние и перспективы применения в машиностроении ультразвуковой размерной обработки изделий**

к.т.н. Моргунов Ю.А., Опальницкий А.И., Перепечкин А.А.

Университет машиностроения, ФГУП НПО «Техномаш»

[artik\\_footbol@mail.ru](mailto:artik_footbol@mail.ru) 8 (929) 671 76 02, 8(916)376-83-56, [morgunov56@mail.ru](mailto:morgunov56@mail.ru)

*Аннотация.* В статье проведен анализ современных технологий и оборудования для ультразвуковой размерной обработки. Рассмотрены особенности ультразвуковой обработки отверстий трубчатым алмазным инструментом, проведены опыты на модернизированном ультразвуковом станке 4770 М с применением специальной рабочей головки с вращающимся инструментальным шпинделем. Выявлены оптимальные условия проведения процесса, обеспечивающие технические требования к детали.

*Ключевые слова:* ультразвуковая размерная обработка (УЗРО), прошивка отверстий, хрупкие материалы, абразивные зерна.

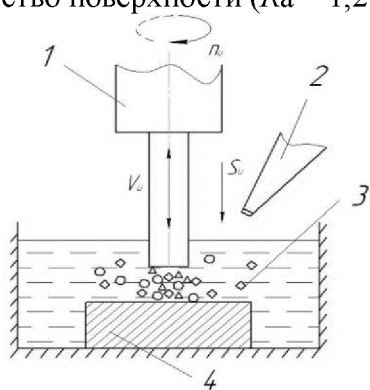
Развитие наукоемкой техники привело к появлению новых материалов, механическая обработка которых традиционными способами затруднена. К ним относятся, прежде всего, такие материалы, как вольфрамсодержащие и титанокарбидные сплавы, алмаз, рубин, лейкосапфир, закаленные стали, магнитные сплавы из редкоземельных элементов, термодорунд и др. Из традиционных способов при обработке таких материалов применяется только шлифование. Обработка другой группы материалов, таких как германий, кремний, ферриты, керамика, стекло, кварц, полудрагоценные и поделочные минералы и материалы, затруднена из-за их низкой пластичности. Такие материалы не выдерживают усилий, возникающих при традиционной механической обработке.

Для решения проблемы обработки сверхтвердых и хрупких материалов разработаны и внедрены в практику специальные методы и технологии обработки: электрохимическая, электроэрозионная, электронно-лучевая, ультразвуковая обработка и др. [1].

Так, широко используемый в практике способ обработки изделий алмазосодержащим вращающимся инструментом обеспечивает выполнение отверстий диаметром не более 25 мм с производительностью не выше 0,5 мм/мин, тогда как при ультразвуковой обработке вращающимся инструментом с алмазным напылением производительность увеличивается в 12 раз и достигает 60 мм/мин [2].

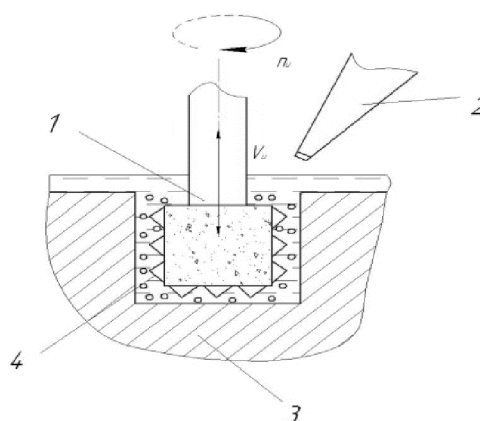
Преимущества ультразвукового способа обработки перед другими заключаются в возможности обрабатывать непроводящие и непрозрачные материалы, а также в отсутствии после обработки остаточных напряжений, приводящих при использовании других способов к образованию трещин, сколов и других дефектов на обрабатываемой поверхности.

Ультразвуковым способом эффективно обрабатываются весьма хрупкие материалы, такие как агат, алмаз, германий, гранит, графит, карбид бора, кварц, керамика, корунд, кремний, сапфир, стекло, твердые сплавы, фарфор, фаянс, ферриты, хрусталь, яшма, углепластики и многие другие. При ультразвуковой обработке таких материалов получают достаточно высокое качество поверхности ( $Ra = 1,2$  мкм).



1 – инструмент  
2 – насос подачи абразивной суспензии  
3 – абразив  
4 – обрабатываемая деталь

**Рисунок 1 – Схема УЗРО с поливом абразива**



1 – инструмент с алмазным напылением  
2 – насос подачи жидкости  
3 – обрабатываемая деталь  
4 – алмазные зерна

**Рисунок 2 – Схема УЗРО алмазными зернами**

Ультразвуковой способ обработки представляет собой разновидность обработки долблением – хрупкий материал разрушается в результате многократного ударного воздействия зерен твердого абразива, которые направляются торцом рабочего инструмента, колеблющегося с ультразвуковой частотой.

Схема ультразвуковой размерной обработки представлена на рисунке 1.

В качестве абразива обычно используются карбид бора или карбид кремния, в качестве транспортирующей жидкости – техническая вода. Ультразвуковая размерная обработка базируется на двух основных процессах:

- 1) ударном внедрении абразивных зерен, вызывающем выкалывание частиц обрабатываемого материала;
- 2) циркуляции и смене абразива и продуктов разрушения в рабочей зоне.

Ультразвуковая обработка применяется в авиакосмической отрасли. Основная область применения:

- обработка твердых сплавов и изделий, полученных методом порошковой металлургии;
- изготовление деталей из керамики и диэлектрических материалов для приборов. Например, изготовление стеклянных пластин для акселерометров.

Другая разновидность ультразвуковой обработки (вращающимся инструментом с алмазным напылением) рассмотрена на рисунке 2. Обработка в данном случае ведется не зер-

нами абразива, а алмазными зернами, закрепленными на поверхности инструмента. За счет этих зерен происходит выкалывания и процесс резания. Такая обработка позволяет повысить точность обработки до 7-8 квалитетов точности. Стоимость ультразвукового оборудования отечественных фирм колеблется от 150 до 500 тысяч рублей, западных фирм — от 400 до 500 тысяч долларов, что значительно ниже, например, лазерного оборудования.

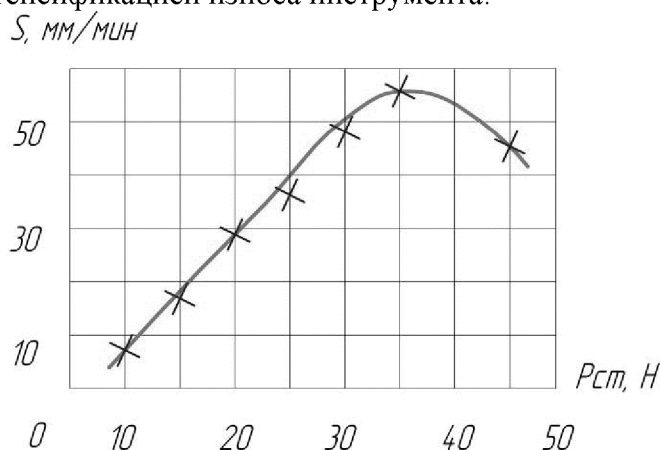
В настоящее время производством ультразвукового оборудования занимаются относительно небольшое число фирм. Ведущей западной фирмой является немецкая фирма DMG, которая выпускает трех- и пятикоординатные станки с ЧПУ для УЗРО. В России производство ультразвукового оборудования осуществляется небольшими сериями в научно-исследовательских институтах и небольших фирмах:

- станок УЗОС-10, разработанный в Российской компании ООО УЗТ;
- модификация станка 4770М, разработанная во ФГУП НПО «Техномаш»;
- станок УЗС-2, разработанный в Российской компании «Спецмаш» для получения сквозных и глухих отверстий малого диаметра до 2 мм с помощью обычной швейной иглы;
- станок СНУ-10, изготовленный НПП «Авиаинструмент». Достижимая точность обработки 0,01 мм, наибольший параметр шероховатости поверхности  $Ra=0,32$  мкм;
- станок модель СУЗ-0,8/22-О, разработанный ООО Центр ультразвуковых технологий;
- станок мод. МЭФ 364. Производитель Российская компания ООО МЭЛФИЗ-ультразвук.

Существующие станки позволяют наносить рельефные рисунки на поверхности хрупких и твердых материалов (стекло, камень, керамика), выполнять сквозные и глухие отверстия произвольной формы.

Во ФГУП НПО «Техномаш» для определения оптимальных режимов УЗРО были проведены опыты на вновь разработанной ультразвуковой головке с вращающимся инструментом при прошивке отверстий диаметром 2,8 мм в диске из кварцевого стекла.

Для определения влияния статической нагрузки на величину осевой подачи прошивки отверстий диаметром 2,8 мм производили обработку с постоянной частотой вращения  $3500 \text{ мин}^{-1}$  на глубину, равную 20 мм, трубчатым инструментом с внешним диаметром инструмента 2,8 мм, внутренним 1,2 мм, амплитудой 20 мкм. Величина нагрузки варьировалась от 10 до 50 Н с шагом 10 Н. Как следует из данных, представленных на рисунке 3, зависимость рабочей подачи от величины статической нагрузки имеет экстремальный характер с выраженным максимумом. Наибольшая производительность достигается при величине статической нагрузки равной 35 Н. Снижение величины допустимой подачи при дальнейшем увеличении нагрузки связано с интенсификацией износа инструмента.



**Рисунок 3 – Влияние статической нагрузки на величину осевой подачи инструмента**

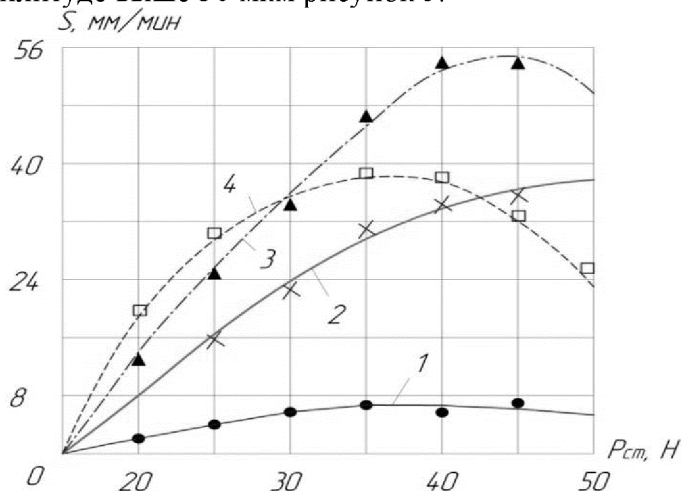
При различных методах обработки оптимальное значение статической нагрузки, при котором будет достигаться наибольшая производительность, будет различным, при постоянной амплитуде равной 10 мкм, частотой  $3000 \text{ мин}^{-1}$ , диаметр прошиваемого отверстия 1 мм.

Наибольшая эффективность статической нагрузки наблюдается при ультразвуковом алмазном сверлении (рисунок 4), максимум достигается при величине нагрузки 45 Н, далее

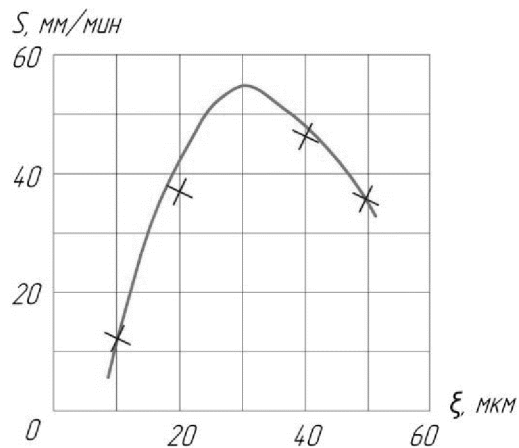
происходит активный износ инструмента. На производительность при алмазном сверлении статическая нагрузка практически оказывает незначительное влияние.

При определении влияния амплитуды колебаний на производительность обработки устанавливали постоянную статическую нагрузку равную 27 Н, частоту вращения и диаметр прошиваемого отверстия не меняем.

Для определения наилучшего значения производительности дискретно увеличивали амплитуду от 0 до 60 мкм. Производительность около 60 мм/мин наблюдается при значении амплитуды 30 мкм. Дальнейшее увеличение амплитуды приводит к уменьшению производительности, так как нагрузка в 27 Н не обеспечивает условия гарантированного прижима при амплитуде выше 30 мкм рисунок 5.



**Рисунок 4 – Влияние статической нагрузки на величину подачи при различных методах обработки: 1- алмазное сверление; 2- ультразвуковая обработка в абразивной суспензии; 3- ультразвуковое алмазное сверление; 4- ультразвуковая обработка в абразивной суспензии с вращающимся инструментом**



**Рисунок 5 – Влияние амплитуды колебаний на величину подачи**

На сегодняшний день аналогов немецким станкам фирмы DMG, как видно из анализа отечественной продукции, в нашей стране нет. На предприятиях, как правило, используется устаревшее оборудование, модернизированное на основе сверлильных и фрезерных станков с применением УЗ преобразователей без систем ЧПУ. Российский рынок ультразвукового оборудования пока не может предложить качественных и современных станков. Так как одно из основных направлений технического прогресса связано с дальнейшим развитием и совершенствованием промышленных технологий наиболее эффективно эти проблемы решаются за счет использования новых источников (или видов) энергии, более полного использования исходного сырья и минимизации вредных отходов. В связи с этим использование энергии механических колебаний ультразвуковой частоты высокой интенсивности является перспективным направлением.

При расширении парка ультразвукового оборудования полученные выше результаты могут быть эффективно использованы в различных отраслях машиностроения, например в производстве автомобильной техники [3-5].

Авторы приносят благодарность проф. Б.П. Саушкину за консультативную помощь при выполнении настоящей работы.

#### Литература

1. Физико-химические методы обработки в производстве газотурбинных двигателей. / Ю.С. Елисеев, Б.П. Саушкин; под ред. Б.П. Саушкина. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2010. 456 с.
2. Ультразвуковая размерная обработка материалов. / Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н. / Научная монография. Алт. гос. Техн. Ун-т. им. И.И. Ползунова. Барнаул: изд. Ал-

тГТУ, 1997. 120 с.

3. Шандров Б.В. Прогрессивные технологии автомобилестроения. / Журнал автомобильных инженеров, № 6. 2004.
4. Шандров Б.В., Вартанов М.В. Новые технологии автомобилестроения. / Наука производству, № 4. 2005.
5. Максимов Ю.В., Анкин А.В., Ветрова Е.А. Зависимость глубины резания от погрешности формы поперечного сечения при комбинированной обработке нежестких деталей тип полый цилиндр. Известия МГТУ «МАМИ», № 2(8), 2009, с. 188-192.

### **Современные методы получения полых металлических микросфер**

к.т.н. Петров М.А., д.т.н. проф. Баст Ю.Л., к.т.н. доц. Петров П.А., д.т.н. проф. Шейпак А.А.  
*Университет машиностроения, ТУ Фрайбергская Горная Академия, МГИУ*  
[petroff@imb.tu-freiberg.de](mailto:petroff@imb.tu-freiberg.de), [bast@imb.tu-freiberg.de](mailto:bast@imb.tu-freiberg.de), [p.petrov@mami.ru](mailto:p.petrov@mami.ru), [asheyp@msiu.ru](mailto:asheyp@msiu.ru)

*Аннотация.* Энерго- и ресурсосбережение являются для многих стран ключевыми факторами при выборе метода производства при разработке и реализации какой-либо технологии. В данной статье приведен обзор технологий получения полых металлических сфер, которые могут быть использованы в качестве конструкционного материала для облегченных металлоконструкций. Полые сферы, собранные в объем, обеспечивают надежную шумо- и теплоизоляцию, а также защиту от вибраций. Полые сферы могут быть применены как в объеме [1], так и по отдельности, при этом последние наполняются газовой смесью и служат в качестве мишеней для извлечения новых видов энергии [2, 3]. Методы изготовления микросфер могут быть разделены на химические методы, методы порошковой металлургии и диспергационные. Диспергационные методы основаны на работе расширения замкнутого газа и охлаждения металлической оболочки, выделенной из расплава металла (металлургический метод). Металлургический метод требует точного соблюдения параметров процесса, поскольку основывается на природных свойствах металлов, без использования дополнительных материалов и применения органических носителей (например, метод по газифицированным моделям).

*Ключевые слова:* полые металлические микросферы, диспергационные методы, металлургические методы, методы порошковой металлургии, метод по газифицированным моделям, легкие металлоконструкции, металлические пены, крэш-элементы

Применение облегченных металлоконструкций во всех отраслях промышленности делает данную отрасль науки популярной. Она помогает решить ряд проблем в машиностроении по энерго- и материалосбережению при развитии новых производственных технологий. Развитие технологий приводит к тому, что современные машины и оборудование должны быть максимально энергоэффективными. Поэтому новые материалы и композиты на их основе, а также поиск новых направлений их использования являются актуальной задачей.

Данная статья рассматривает методы получения полых металлических микросфер с целью их дальнейшего применения для облегчения металлоконструкций. Выбор метода изготовления зависит от требуемых свойств (внешний радиус, внутренний радиус, отклонение от соосности, соотношение толщины стенки к наружному радиусу, предел прочности и т.д.) отдельной микросферы, определяемых на этапе разработки концепта дальнейшего использования микросфер. Преимуществами применения конструкционных деталей из полых микросфер является высокая шумо- и звукоизоляция, а также защита от вибраций и поглощение энергии, вызванной пластической деформацией материала. Отдельные наполненные газовой смесью полые микросферы применяются при исследовании физических явлений [2, 3].

Полые сферы могут быть использованы в качестве отдельных компонентов, а также частично заменить закрытые и открытые металлические пены [4, 5], тем самым улучшив го-