

## БЕЗАБРАЗИВНАЯ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ФИНИШНАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ - ТЕХНОЛОГИЯ XXI ВЕКА

Ю.В. Холопов, д.т.н., профессор, Северо-Западный заочный государственный технический университет  
 Центр ультразвуковых технологий (Санкт-Петербург)

Несмотря на тяжелые условия, в которых находится отечественная промышленность, техника и технология безабразивной ультразвуковой финишной обработки металлов (БУФО) продолжает развиваться. Достаточно сказать, что только Центром ультразвуковых технологий комплекты БУФО были поставлены более чем на 100 заводов страны. Достоинство новой технологии заключается в том, что ее использование позволяет превращать станки в многооперационные, а шероховатость поверхности значительно снижать.

Технологическое оборудование (рис. 1.) независимо от физико-механических свойств материалов, которые являются непосредственными объектами интенсивного воздействия ультразвуковых колебаний, состоит из следующих узлов: источника питания 1, преобразователя частоты электрического тока 2, системы управления 3, акустической системы 4, (механической колебательной системы).

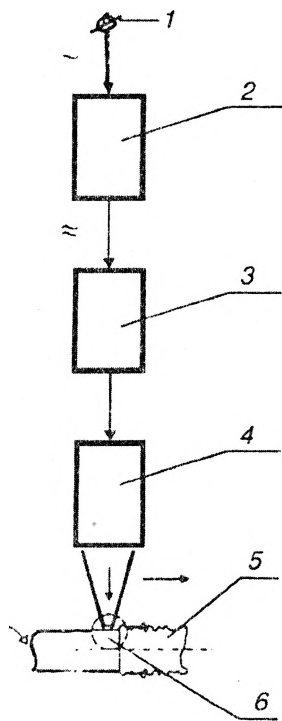


Рис. 1. Схема узлов технологического оборудования для БУФО:

1 - источник питания; 2 - преобразователь частоты электрического тока; 3 - система управления; 4 - акустическая система; 5 - обрабатываемая деталь; 6 - зона обработки поверхности металла.

Современные источники питания вполне соответствуют требованиям технологии БУФО. Они малогабаритны, достаточно эффективны. Преобразователи частоты (мощность 0,25-1,0 кВт) преобразуют электрический ток 50-60 Гц в 22 кГц. Важнейшим узлом, составляющим основу и специфику оборудования и технологии БУФО, является акустическая система, которая служит для преобразования электрической энергии в механическую; передачи этой энергии в на-

грузку; согласования сопротивления нагрузки с внутренним сопротивлением системы; согласования геометрических размеров зоны ввода энергии с размерами излучателя и концентрирования энергии и получения необходимой величины колебательной скорости излучателя. Система должна работать с максимальным КПД на резонансной частоте независимо от изменения сопротивления нагрузки.

Акустическую систему характеризуют следующие величины: амплитуда колебательной силы  $F_m$ ; колебательного смещения  $\xi$ ; колебательной скорости  $V=2\pi f$  ( $f$  - частота колебаний системы); сопротивление потерь в системе  $R_m$  и нагрузки  $R_n$ ; мощность системы  $P$ ; КПД системы.

Акустическая система состоит из преобразователей - магнитострикционного (МСГ) или пьезоэлектрического (ПЭП) - и волноводных звеньев, кратных распространяющимся полуволнам. МСП (или ПЭП) трансформируют электрические колебания в механические за счет пьезоэлектрических и магнитострикционных эффектов. Суть их заключается в том, что некоторые материалы (например, никель, пермендюр, ферриты, пьезокерамика и т.п.) при воздействии электричества меняют свои размеры. Теория этих явлений сложна, разработана недостаточно, расчетные формулы для определения, например, геометрических размеров МСП позволяют получать приближенные значения.

Тем не менее, эффекты преобразования энергии используются с исключительно большой результативностью в различных отраслях науки и техники. Весьма важным обстоятельством является то, что МСП имеют очень большую надежность в работе. Практика показывает возможность их использования более 10 лет.

В настоящее время для построения комплектов БУФО используются МСП из материалов, которые не содержат дефицитных, дорогостоящих металлов, доступны и обладают хорошими эксплуатационными и технологическими свойствами.

Наиболее рациональным материалом для изготовления преобразователя является пермендюр (К49Ф2). Он отличается сильно выраженным магнитострикционным эффектом, т.е. позволяет получать весьма значительные мощности при относительно небольших размерах вибратора, иногда используется никель. Однако, по сравнению с никелем, он обладает недостаточной механической прочностью и антикоррозионной стойкостью.

Волноводные звенья позволяют согласовывать сопротивление системы с нагрузкой, менять исходную амплитуду колебаний, концентрировать энергию ульт-

развука в технологической зоне и т.п.

Практическое применение нашли следующие типы волноводов: ступенчатый, конический и экспоненциальный. Они разнородны по форме и трансформационным свойствам.

Основными материалами для изготовления волноводов могут служить стали 40Х, 45, 30ХГСА и др., которые обладают достаточной упругостью, хорошо паяются твердыми припоями, обладают минимальными потерями и т.п. В последнее время успешно начали применяться титановые сплавы.

Конечным элементом акустической системы является *излучатель ультразвука (УЗ)*. Это важнейший элемент подачи энергии в зону обработки металла. Его форма и материал определяют эффект финишной обработки поверхности металла. Одна из наиболее эффективных форм излучателя УЗ имеет вид "усеченной бочки".

Варианты конструкций излучателей могут быть самыми разнообразными в зависимости от его назначения. Например, для обработки галтелей могут быть использованы "рога". Излучатели могут профилироваться для обработки пазов, канавок, отверстий и т.п. Известен вариант конструктивной формы излучателя со сквозной шпилькой, которая может вворачиваться до необходимого уровня относительно боковых излучателей. При модификации излучателей должны соблюдаться акустические нормы - резонанс, энергетика процесса, тщательное сопряжение плоскостей и т.п.

Большое значение имеет материал излучателя УЗ, т.е. его контактного пятна с поверхностью детали. Технология БУФО в подавляющем большинстве случаев не требует применения алмазов, но общим требованием является термодинамическая устойчивость излучателя относительно свойств обрабатываемых металлов, так как любое "помутнение" поверхности излучателя УЗ мгновенно может привести к снижению качества финишной обработки - снижению шероховатости поверхности.

Рассмотрим некоторые элементы технологии. Излучатель ультразвука поджимается с определенным давлением к поверхности детали. Вступая во взаимодействие с обрабатываемой деталью, ультразвук пластически деформирует ее поверхность, сглаживает вершины микронеровностей и упрочняет поверхностный слой. Один финишный проход излучателя ультразвука при исходной поверхности  $R_a=6,3$  мкм дает поверхность с  $R_a=0,1$  мкм (10 класс). Этим уникальным методом обрабатывается большинство известных марок стали, алюминий, медь и их сплавы, латунь, бронза, другие цветные металлы и сплавы.

БУФО позволяет обрабатывать различные конструктивные формы поверхностей (цилиндрические наружные и внутренние, торцовые, конические, шаровые), выступы и радиусные канавки. Использование технологии БУФО исключает ручной труд, необходимость применения абразивных материалов; упрощает технологический процесс и исключает применение некото-

рых типов станков (например, шлифовальных); уменьшает объемы внутрицеховой транспортировки деталей; экономит производственные площади, электроэнергию, трудозатраты; снижает необходимые припуски размеров в технологических операциях и открывает новые перспективы в использовании покрытий поверхностей различного назначения, в том числе и антифрикционных, так как создает идеальную поверхность для пар трения.

Технология БУФО получила положительную оценку Международного Корпуса Экспертов США (МКЭ) в 1997 г.

Анализ рекламных материалов фирм США показывает, что поверхность на уровне  $R_a=0,025$  мкм у них получена за счет достаточно хорошей подготовки исходной поверхности, например, с  $R_a=0,15$  мкм или  $R_z=0,05$  мкм при исходной  $R_a=0,35$  мкм. Другими словами, за одну операцию перепад  $R_a$  исходной к  $R_a$  конечной составляет 6-7 раз. При условии использования технологии БУФО на незакаленных сталях это отношение может составлять 63; на закаленных сталях - до 16-33 раз.

Технология БУФО изменяет размер детали только в пределах перепада  $R_a$  исходного и  $R_a$  конечного. При обработке незакаленных сталей исходная величина  $R_a$  может быть равна 6,3 мкм, а конечная после одного прохода по поверхности излучателя ультразвука - 0,1 мкм. При условии обработки закаленных сталей с исходной шероховатостью  $R_a=1,6$  мкм после одного прохода излучателя УЗ практика дает  $R_a=0,025$ ; при исходной шероховатости с  $R_a=0,4$  мкм -  $R_a=0,012$  мкм.

Производительность процесса БУФО находится на уровне чистового точения металла. Основными параметрами для ее расчета являются: длина и ширина излучателя ультразвука в момент удара, т.е. площадь контактного пятна; принятый минимум ударов для получения поверхностей, соответствующих требованиям по шероховатости и ее твердости; число оборотов; величина подачи; свойства обрабатываемого металла; частота ультразвука; мощность акустической системы.

Можно оценить линейную скорость обработки металла следующим образом. Допустим, что пятно контакта излучателя УЗ имеет длину 0,2 мм. Тогда при частоте колебаний 22 кГц получаем возможность обработки при линейной скорости 264 м/мин.

Сколько ударов УЗ надо сделать, чтобы получить требуемую величину шероховатости поверхности? Какой задать коэффициент перекрытия точек? Какая площадь контакта может быть оптимальной при обработке стали, латуни, чистого алюминия и т.п. Нетрудно представить, что при увеличении частоты колебаний УЗ до 44-88 кГц линейная скорость обработки может быть увеличена до 528-1056 м/мин. Производительность БУФО может быть оценена при подаче 0,05-0,1-0,2 мм/об на токарных или строгально-фрезерных станках. При условии, что производительность финишной обработки металлов является доминирующим

показателем (например, при серийном производстве деталей) можно установить на станке дубль-каретку и обрабатывать деталь одновременно с резанием.

Как показывает практика использования технологии БУФО с равным успехом можно получить шероховатость на уровне  $R_a=0,1$  мкм при 200, 400, 600 оборотах; подачах 0,05, 0,1 мм/об при амплитудах колебаний излучателя 5-25 мкм на уровне 100-300 Н. Выбор параметров обработки должен быть произведен с учетом мощности комплекта БУФО и особенностей акустических систем.

Мощность излучателя УЗ при этом в значительной степени предопределяет возникающие напряжения в поверхностном слое, температуру и возможные структурные изменения металла.

Параметры режима обработки зависят и оттого, что нужно получить: более высокий класс шероховатости или повышение твердости поверхностного слоя. Комплект БУФО в работе показан на рис. 2. Образцы обработанных деталей - на рис. 3.

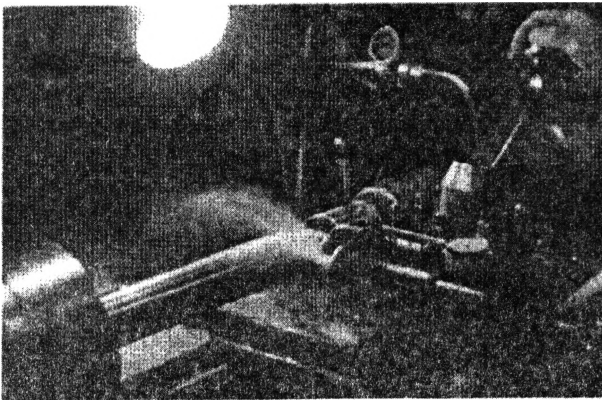


Рис. 2. Комплект БУФО в работе.

В мировой практике станкостроения нет аналогов БУФО. Преимущества применения комплекта БУФО заключаются в следующем:

- установленный на шлифовальный станок, он не обрабатывает металл резанием, а производит наклеп, упрочняя поверхностную структуру металла. Остаточные напряжения становятся сжимающими, усталостная прочность изделия повышается;
- его установка, например, на токарный станок, позволяет произвести весь комплекс работ от грубого резания до финишной обработки за один "установ" детали;

### ИЗ БЛОКНОТА МЕХАНИКА ГАЙКИНА

- ◆ По подсчетам слесаря Вани Плашкина стоимость подарков ведущему "Поле чудес" приближается к стоимости призов участникам игры.
- ◆ Если хочешь встретить старых друзей и знакомых, чаще посещай поликлинику.
- ◆ В объяснительной записке по причине неявки на

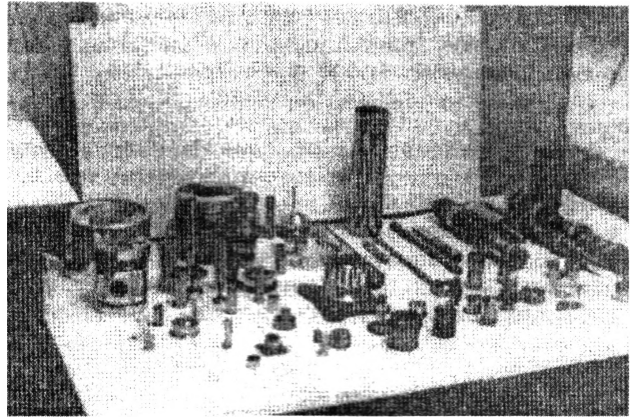


Рис. 3. Образцы деталей, обработанных комплектом БУФО.

- комплект мобилен: он может устанавливаться практически на всех универсальных станках - токарных, строгальных (в том числе и на шлифовальных) без каких-либо дополнительных устройств; акустика крепится непосредственно в резцедержателе, аналогично резцу;

- конструкция комплекта позволяет использовать его на огромном парке станочного оборудования, уже имеющемся во всех странах. В комплект БУФО заложены элементы унификации и он может обрабатывать тела вращения, плоские детали, специальные приливы, пазы и т.п. формообразования.

Никакие модификации единичного шлифовального станка или станков не смогут обеспечить такого диапазона технологических возможностей, какие имеет комплект БУФО. Следует принять во внимание, что БУФО может быть положена в основу разработки новых классов станочного оборудования - станков многооперационных.

#### Литература

Патент № 2124430 Р. Ф. Устройство для ультразвуковой упрочняющей чистовой обработки поверхностей/Ю.В. Холопов. Заявка № 98100977. Приоритет от 20.01.98.

Журнал "Металлообработка", №4, 2001.

По мнению журнала "Инженер-механик" данная технология заслуживает внимания Министерства промышленности РБ и всех станко- и машиностроительных предприятий.

работу Миша Метчиков написал, что он пришел на работу, но в цехе уже никого не было.

- ◆ Вчера водитель трамвая в микрофон объявил:  
-Граждане пассажиры, своевременно оплачивайте проезд: в салоне работают контролер и двое карманников.