



УДК УДК 534-8

DOI: 10.12737/article_595256f17e2639.96924821

В.М. Приходько, чл.-кор. РАН,
Р.И. Нигметзянов, к.т.н.,
С.К. Сундуков, к.т.н.,
Д.С. Фатюхин, д.т.н.
(Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
125319, г. Москва, Ленинградский проспект, 64)
E-mail: sergey-lefmo@yandex.ru

Инновационные технологические процессы с использованием ультразвука

Рассмотрены основные направления применения ультразвуковых технологий в машиностроении. Приведены результаты исследований по влиянию ультразвуковой обработки на свойства различных сред. Предложены пути управления технологическими процессами с использованием ультразвука.

Ключевые слова: ультразвуковая технология; машиностроение; обработка материалов; поверхностное деформирование; акустические потоки; кавитация.

V.M. Prikhodko, Corr-M. of the RAS,
R.I. Nigmatzyanov, Can.Eng.,
S.K. Sundukov, Can. Eng.,
D.S. Fatyukhin, D. Eng.

(Moscow Motor Vehicle-Road State Technical University (MADI), 64, Leningradsky Avenue, Moscow 125319)

Innovation technological processes with ultrasound use

Basic directions in the application of ultrasonic technologies in mechanical engineering are considered. The results of investigations on the ultrasonic machining impact upon properties of various media are shown. The ways of technological process control with the use of ultrasound are offered.

Keywords: ultrasonic technology; mechanical engineering; material machining; surface deformation; acoustic flows; cavitation.

Воздействие ультразвука на твердые, жидкие и газообразные среды отличается по своей физической природе, и обусловило широкое применение высокочастотных колебаний в медицине, в пищевой промышленности, в информационной и измерительной технике, в машиностроении. Основными характеристиками ультразвукового воздействия на различные среды являются частота колебаний, их амплитуда и излучаемая мощность.

При повышении частоты колебаний источника ультразвука снижается его амплитуда и

излучаемая мощность. Верхние границы ультразвукового частотного диапазона (1,5 ... 2,0 мГц) используются для процессов, предполагающих минимальное воздействие на объект обработки, например, для различного рода измерений, диагностики и дефектоскопии. Получение ощутимых технологических воздействий на свойства жидкостей и твердых тел осуществляется при наложении колебаний с частотами 8...40 кГц и удельной мощностью до 50 Вт/см² и выше.

Использование различных технологических

приёмов, таких как перемещение излучателей, изменение их геометрии и формы, регулирование газонасыщения жидкой среды и др. существенно расширяют технологические возможности ультразвука, позволяют управлять основными эффектами, возникающими при воздействии ультразвука на твёрдые, жидкие и газообразные среды.

Управление процессами обработки твердых тел

При передаче высокочастотных колебаний твердым телам создаётся ряд эффектов, широко используемых в процессах резания, поверхностного пластического деформирования, сварки, сборки и разборки соединений деталей.

В основе практического применения ультразвука для обработки твердых тел лежат действия знакопеременных динамических напряжений и поглощение акустической энергии дефектами кристаллического строения деформируемого материала.

Ультразвуковая размерная обработка получила распространение для прошивки сквозных и глухих отверстий, раскроя и контурной резки твердых и хрупких материалов – керамики, кварца, рубина, алмаза, стекла, твердых сплавов.

Ультразвуковая обработка представляет собой процесс механического разрушения, производимого частичками абразива, лежащими на обрабатываемой поверхности заготовки, в результате удара по ним инструмента, колеблющегося с ультразвуковой частотой (8...40 кГц) и прижимаемого к поверхности с заданной силой F .

Разрушение носит характер микровыкола, поэтому эффективно поддаются этому способу обработки только хрупкие материалы. При оптимальных условиях наибольшая скорость съема достигается при обработке стекла и составляет 6000...9000 мм³/мин, при обработке твердого сплава – около 100...150 мм³/мин [1].

Величина получаемой шероховатости в основном определяется зернистостью применяемого абразива и свойствами обрабатываемого материала. Опыт показывает, что чем лучше обрабатывается материал, тем больше шероховатость поверхности. При обработке стекла $Ra = 5...2,5$ мкм, для твердого сплава $Ra = 0,63...0,32$ мкм [2].

Кроме непосредственно ультразвуковой размерной обработки высокочастотные колебания применяются для повышения эффек-

тивности процессов резания лезвийными и абразивными инструментами.

Качество поверхностей деталей, обработанных резанием, напрямую зависит от деформации материала в зоне обработки.

Исследования показали, что основным эффектом применения ультразвука при точении и фрезеровании является уменьшение силы резания и улучшение качества поверхности. Возбуждение ультразвуковых колебаний режущего инструмента приводит к увеличению угла сдвига стружки, изменению её характера – элементная и суставчатая превращается в сливную. Следствием изменения деформаций материала в зоне резания является уменьшение высотных параметров шероховатости в 1,5 – 2 раза [1].

В случае обработки осевыми инструментами появляется возможность повысить скорость резания и допустимую величину подачи, что в конечном итоге ведет к сокращению машинного времени. Кроме того немаловажно значительное уменьшение разбивки отверстий и параметров шероховатости. Так при развертывании стали 20 разбивка уменьшается с 0,08 мм до 0,02 мм, а среднее арифметическое отклонение профиля шероховатости – с 10 мкм до 0,5 мкм [3].

Эффективность применения ультразвука в процессах обработки материалов давлением определяется двумя основными факторами. Это снижение трения на границе инструмент–заготовка и уменьшение сопротивления пластическому деформированию.

Анализ технологических процессов волочения, прессования, штамповки показывает, что ультразвуковые колебания изменяют характер сил трения между поверхностью заготовки и инструмента и процесс пластического деформирования в очаге деформации. Основной задачей разработки технологических процессов обработки металлов давлением является правильный выбор типа колебаний и расположения очага деформаций. Максимальное изменение сил трения наблюдается в том случае, когда очаг деформаций располагается в пучности колебательной скорости; а максимум скорости пластической деформации соответствует расположению очага деформации в пучности напряжений (узел колебательной скорости).

Теми же факторами определяется и эффективность ультразвукового поверхностного пластического деформирования. Вследствие своих особенностей (высокой частоты, силы ударов) поверхностное пластическое дефор-

мирование ультразвуковым инструментом позволяет увеличить твердость, образовать в поверхностном слое сжимающие напряжения, снизить шероховатость, изменить микроструктуру поверхностного слоя.

Оценка износостойкости образцов вал-штука на машине трения показала, что упрочняющая ультразвуковая обработка почти в 2 раза повышает износостойкость образцов. Одновременно с испытаниями на износостойкость проводились усталостные испытания. Упрочняющая ультразвуковая обработка обеспечивает двукратное повышение предела выносливости по сравнению с обычной полировкой [1].

Перечисленные выше механизмы ультразвукового воздействия (уменьшение трения и сопротивления пластическому деформированию) лежат в основе управления процессами сборки и разборки соединений деталей.

Передача деталям собираемого или разбираемого соединения значительных ускорений изменяет характер трения, которое при наличии быстрых вибраций приобретает особенности квазивязкого [4].

Результаты исследований сборки прессовых соединений под действием ультразвуковых колебаний показали, что наложение колебаний позволяет значительно снизить усилие запрессовки, причём при увеличении натяга соединения и амплитуды колебаний изменение коэффициента трения на процесс сборки возрастает.

Ультразвуковая сборка прессовых соединений позволяет не только уменьшить требуемое усилие при механической сборке, но и снизить давление нагнетания масла при гидропрессовой сборке.

Ещё одним направлением применения ультразвука для управления характеристиками технологических процессов является интенсификация диффузионной сварки. Ультразвуковая сварка по сравнению с электросваркой позволяет приваривать тонкие проволоку и фольгу к массивным деталям, сваривать разнородные металлы.

Наиболее динамично развивающимся направлением производственных технологий являются аддитивные технологии. Ультразвуковая аддитивная технология также основана на взаимной диффузии соединяемых слоев материала. Основными преимуществами технологии является возможность получения композитных изделий сложной формы из разнородных материалов, таких как сталь, титан, медь и т.д.

Ультразвуковая обработка жидкостей и дисперсных систем

Среди многочисленных процессов, связанных с применением ультразвуковых колебаний, особое место занимают технологические процессы, протекающие в жидких и дисперсных средах. Это – очистка, дегазация, эмульгирование и др. [3].

Основными механизмами, определяющими эффективность воздействия ультразвука в жидких средах, являются ультразвуковая кавитация и акустические потоки.

Наиболее исследованным и распространённым ультразвуковым технологическим процессом является очистка. Этот вид обработки успешно используется при производстве, обслуживании и ремонте самых разнообразных изделий машиностроения. Основными преимуществами ультразвуковой очистки являются высокая эффективность, экологическая безопасность, а также возможность автоматизации процесса.

Существенно расширить область применения ультразвуковой очистки позволило применение высокоамплитудных режимов обработки. Выявлено, что при введении в жидкость колебаний с амплитудой излучателя более 12...15 мкм качественно меняется воздействие на обрабатываемые изделия. Благодаря образованию технологических зон, различных по интенсивности излучения и характеру физических процессов, не только удаётся повысить эффективность обработки, но и избежать риска кавитационных повреждений объектов обработки [1].

Схожим по воздействию с очисткой является процесс кавитационно-абразивной обработки. Добавление абразивных зёрен в озвучиваемую жидкость создаёт условия для уменьшения микронеровностей на внутренних и внешних поверхностях деталей. Так, например, применение кавитационно-абразивной обработки в аддитивной технологии после селективного лазерного плавления позволяет снизить шероховатость сложнопрофильных поверхностей получаемых изделий [5].

Ультразвуковое эмульгирование обладает широкими технологическими возможностями для получения эмульсий различного состава. Ультразвук позволяет получить эмульсии с размерами частиц 1...5 мкм. Эмульсии со столь малым размером частиц являются устойчивыми и не расслаиваются в течение нескольких часов.

Получение эмульсионных смазочно-охлаж-

дающих жидкостей (СОЖ) происходит при смешивании эмульсола и воды. Применение ультразвуковых колебаний для приготовления СОЖ позволяет на порядок снизить время перемешивания компонентов, а также добиться высокой стойкости эмульсии.

Лакокрасочные материалы (ЛКМ) представляют собой суспензию пигментов в растворе плёнкообразующего полимера. Создание ультразвуковой технологии обработки ЛКМ позволило осуществлять равномерное перемешивание компонентов по всему объёму; снизить вязкость, уменьшить расход растворителя; понизить степень перетира ЛКМ, повысить укрывистость и улучшить цветораспределение лакокрасочного покрытия [6].

Кроме того, ультразвуковая обработка нашла применение при нанесении ЛКМ на окрашиваемую поверхность. Интенсификация пневматического распыления аэрозолей с помощью ультразвука обеспечивает возможность однослойного нанесения ЛКМ, снизить давление в пневмосистеме в 4 раза, повысить коэффициент массопереноса ЛКМ и снизить потери на туманообразование, значительно повысить адгезию покрытия за счёт снижения давления [6].

Использование углеродных нанотрубок при производстве пластиков, резин, композитов и металлов позволяет значительно повысить механические и электрические свойства изделий из этих материалов. Для активации возможностей и рационального использования нанотрубок необходимо проведение процесса дезагломерации. Воздействие ультразвуковой кавитации и акустических потоков различного масштаба не только способствуют разделению агломератов на отдельные элементы, но и позволяют получить тонкие дисперсии нанотрубок в жидких средах различной вязкости.

Заключение

Ультразвуковая обработка развивается не только как самостоятельное направление, но и для интенсификации широкого спектра способов получения и обработки материалов, улучшения их качественных характеристик.

Создание новых и модернизация существующих технологических процессов с использованием ультразвука создает условия для управления свойствами объектов обработки на микро- и субмикроразмерном уровне.

Практическая реализация ультразвукового воздействия на различные среды лежит в основе разработки инновационных направлений в технике и технологии машиностроения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Приходько, В.М. Мощный ультразвук в металлургии и машиностроении / под общей редакцией О.В.Абрамова и В.М. Приходько. – М.: Янус-К, 2006. – 688 с.
2. Казанцев, В.Ф. Физические основы технологического применения ультразвука: учеб. пособие. – М.:МАДИ(ГТУ), 2008. – 102 с.
3. Приходько, В.М., Фатюхин, Д.С., Казанцев, В.Ф., Нигметзянов, Р.И. Научно-технические технологии в машиностроении с применением ультразвука // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2011. – №1(01). – С. 29–37.
4. Применение ультразвука при сборочно-разборочных операциях. Монография / В.Ф. Казанцев, В.М. Приходько, Д. С. Фатюхин и др. М.: Техполиграфцентр, 2008. – 146 с.
5. Конов, С.Г., Котобан, Д.В., Сундуков, С.К., Фатюхин, Д.С. Перспективы применения ультразвуковых технологий в аддитивном производстве // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2015. – № 9(51). – С. 28–34.
6. Нигметзянов, Р.И., Сундуков, С.К., Панасенко, Д.Д. Использование ультразвуковых технологий при получении лакокрасочных покрытий в машиностроении // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2013. – №3(21). – С. 27–33.

REFERENCES

1. Prikhodko, V.M. *Power Ultrasound in Metallurgy and Mechanical Engineering* / under the general editorship of O.V. Abramov and V.M. Prikhodko. – M.: Janus-K, 2006. – pp. 688.
2. Kazantsev, V.F. *Physical Fundamentals of Ultrasound Technological Use: Textbook*. – M.:MADI(STU), 2008. – pp. 102.
3. Prikhodko, V.M., Fatyukhin, D.S., Kazantsev, V.F., Nigmatzyanov, R.I. Science intensive technologies in mechanical engineering with ultrasound use // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2011. – №1(01). – pp. 29–37.
4. *Ultrasound Use in Assembly-Dismantling Operations*. Monograph / V.F. Kazantsev, V.M. Prikhodko, D.S. Fatyukhin et al. M.: Techpolygraphcenter, 2008. – pp. 146.
5. Konov, S.G., Kotoban, D.V., Sundukov, S.K., Fatyukhin, D.S. Outlooks of ultrasonic technologies use in additive production // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2015. – № 9(51). – pp. 28–34.
6. Nigmatzyanov, R.I., Sundukov, S.K., Panasenko, D.D. Ultrasonic technologies use at manufacturing lacquer coatings in mechanical engineering // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2013. – №3(21). – pp. 27–33.

Рецензент д.т.н. А.А. Ситников