

УДК 621.791.16

doi: 10.18698/0536-1044-2019-5-17-26

Влияние технологических параметров на прочность изделий из АБС-пластика при ультразвуковой сварке

С.С. Волков, С.А. Королев, Д.С. Розанов

МГТУ им. Н.Э. Баумана

The Influence of Technological Parameters on Durability of Products from ABS Plastic at Ultrasonic Welding

S.S. Volkov, S.A. Korolev, D.S. Rozanov

Bauman Moscow State Technical University

Предложен способ ультразвуковой сварки изделий круглой формы из АБС-пластика, который позволяет исключить влияние неровностей и волнистостей, имеющих на поверхности контакта контурного волновода-инструмента со свариваемым изделием, увеличить теплоотвод от поверхности изделия в подволноводной зоне, а также повысить производительность ультразвуковой сварки, прочность и качество сварного соединения. Показано, что в качестве волновода-инструмента для контурной ультразвуковой сварки изделий типа колеса вентилятора из АБС-пластика наиболее оптимальным с точки зрения равномерности распределения амплитуды колебаний по периметру рабочего торца волновода является волновод грибообразной формы. Определена оптимальная форма рабочего торца такого волновода, предусматривающая фиксацию соединяемых изделий относительно его оси по их наружному диаметру. Установлено, что при определенном сочетании режимов ультразвуковой сварки АБС-пластика скорость деформирования на больших сварочных давлениях может оказаться выше, чем на малых, что обусловлено конкуренцией трех факторов: температуры, статического сварочного давления и концентрации энергии на соединяемых поверхностях. Определено, что для сварки АБС-пластика необходимо использовать так называемые мягкие режимы ультразвуковой сварки с малыми статическим сварочным давлением и амплитудой колебания рабочего торца волновода. В этом случае сварное соединение достигается только за счет распределения микронеровностей без образования вмятин от волновода на поверхности свариваемого материала. Выявлены оптимальные параметры режимов сварки АБС-пластика.

Ключевые слова: ультразвуковая сварка, колесо вентилятора, контурный волновод, амплитуда колебаний волновода, статическое сварочное давление, периметр торца волновода

An ultrasonic welding method for round-shaped products made from ABS plastic is described in this paper. This method can eliminate roughness and waviness on the contact surface between the planimetric waveguide and the welded part, increase heat removal from the surface of the welded part in the subwaveguide zone and improve the efficiency of ultrasonic welding as well as the strength and quality of the welded joint. It is shown that a mushroom-shaped waveguide is the optimal choice for planimetric ultrasonic welding of ABS parts of the fan wheel type with regard to the uniformity of the oscillation amplitude distribution along the perimeter of the waveguide's working end face. The optimal form of the waveguide's working end face is defined that entails fixing the connecting parts relative

to the waveguide's axis along their diameter. It is established that at a certain combination of the ultrasonic welding modes for ABS plastic the rate of deformation at large welding pressures can turn out to be higher than at small pressures. This is caused by the competition of three factors: temperatures, static welding pressure and concentration of energy on the welded surfaces. It is determined that for welding ABS plastic the so-called soft modes of ultrasonic welding with small static welding pressure and oscillation amplitude of the waveguide's end face should be used. In this case welding occurs only due to the distribution of microroughness, without dents from the waveguide on the surface of the welded material. Optimal welding parameters for ABS plastic are determined.

Keywords: ultrasonic welding, fan wheel, planimetric waveguide, amplitude of waveguide oscillations, static welding pressure, perimeter of the waveguide's working end face

Полимерные материалы широко применяют в различных отраслях машиностроения и строительства, в сельском хозяйстве и медицине, а также при изготовлении товаров народного потребления. Опыт последних лет свидетельствует о том, что как с технической, так и с экономической точки зрения наиболее целесообразно использовать в качестве конструкционных пластмасс полимерные материалы, сочетающие в себе высокую прочность, легкость и герметичность. К таким материалам относятся АБС-пластик и сополимеры на его основе [1, 2].

АБС-пластик обладает высокими физико-механическими характеристиками и относительно простой схемой его синтеза. Кроме того, доступно сырье для его производства. Анализ свойств АБС-пластика показал, что по динамическим характеристикам он занимает промежуточное место между жесткими и мягкими пластмассами. Вместе с тем относительно медленное внедрение АБС-пластика определяется рядом причин как конструкторского, так и технологического характера. В частности, сложность конструкций литейных машин приводит к тому, что детали, отливка которых целиком затруднена или практически невозможна, изготавливают по частям с их последующим соединением [3, 4]. В настоящее время основным способом сварки АБС-пластика является ультразвуковая сварка (УЗС) [3–5].

По объему применения, многообразию технологических вариантов, числу различных типов оборудования и оснастки УЗС занимает одно из важнейших мест среди методов изготовления изделий из АБС-пластика и его сополимеров. Такая сварка в максимальной степени позволяет реализовать основные достоинства АБС-пластика. УЗС не нарушает герметичность и целостность изделий и не требует многостадийных технологических процессов.

По мере роста объема и числа видов пластмасс, выпускаемых промышленностью, увели-

чивается номенклатура сварных изделий, изготовленных из них, в том числе ответственных, работающих в экстремальных условиях (под водой, в космосе и в коррозионно-активных средах). По сравнению с другими способами сварки УЗС имеет существенные преимущества: наибольшую возможность механизации и автоматизации, высокую производительность, низкую трудоемкость. Также она обеспечивает более высокие прочность и плотность сварных соединений, экономичность, экологичность, улучшенные условия труда и уменьшение производственных площадей [3, 6].

Следует отметить, что на воспроизводимость тепловых процессов при УЗС изделий из АБС-пластика помимо геометрии и состояния больших контурных свариваемых поверхностей существенное влияние могут оказывать технологические процессы, при которых происходит УЗС [6, 7]. Сварка АБС-пластика происходит путем нагрева соединяемых поверхностей до температур вязкотекучести и дальнейшего объемного развития взаимодействия между поверхностными макромолекулами [1, 3]. Для достижения приемлемых с практической точки зрения значений скоростей объемного взаимодействия соединяемые контурные поверхности АБС-пластика приходится нагревать до температур, несколько больших, чем при точечной сварке, а также прикладывать к деталям значительные статические сварочные давления [8].

Считается, что основную роль в процессе тепловыделения играет граница раздела соединяемых материалов. Поскольку угол падения ультразвуковой волны на границу раздела отличается от прямого, на последней возникают не только продольные, но и поперечные волны, которые приводят к интенсивному поверхностному трению свариваемых изделий. Образующаяся при этом жидкая прослойка на свариваемых поверхностях интенсифицирует про-

цесс поглощения ультразвуковых колебаний и еще больше разогревает зоны сварки. Разогрев при УЗС деталей АБС-пластика большого диаметра происходит в основном за счет диссипации энергии ультразвуковых колебаний, накапливаемой при циклическом деформировании вязкоупругого материала [1].

Следует иметь в виду, что площадь реального контакта соединяемых поверхностей также изменяется по мере разогрева при сварке вследствие смятия микронеровностей и выдавливания расплава. В результате увеличения реальной площади контакта поверхностей динамические напряжения уменьшаются. В этом случае необходимо учитывать кинетику процесса изменения реальной площади контакта, зависящую от режима УЗС.

При УЗС изделий круглой формы большого диаметра из АБС-пластика зачастую наблюдаются вмятины на свариваемой поверхности и выплески расплава из-под волновода-инструмента (далее волновода). Возникновение таких дефектов связано с тем, что значительное тепловыделение наблюдается только на свариваемых поверхностях, прилегающих к волноводу и опоре. Это в свою очередь приводит к существенной деформации соединяемых материалов в подволноводной зоне, сопровождаемой внедрением рабочего торца волновода в материал [9–11].

Образованию вмятин на свариваемой поверхности АБС-пластика способствуют также неизбежные в результате усадок и напряженного состояния при изготовлении крупногабаритных контурных деталей неровности поверхности в виде волнистости [3, 4].

Меры, применяемые на практике (например, использование жестких режимов сварки с переходом на стадии объемных взаимодействий к мягким, создание искусственных концентраторов напряжения на границе раздела, обдув поверхности ввода ультразвуковых колебаний холодным воздухом), в большинстве случаев не приводят к полному исключению перечисленных дефектов [7, 8, 12].

Кроме того, варьирование размеров круглой формы поверхности рабочего торца волновода также ограничено по целому ряду причин. Так, площадь рабочего торца волновода зависит как от требуемой площади сварного шва на границе раздела, так и от технических возможностей сварочной машины, связанных с обеспечением необходимого статического сварочного давле-

ния. А увеличение площади рабочего торца волновода снижает его коэффициент усиления и повышает вероятность непараллельности торца с поверхностью изделия [9, 10, 12].

Цели работы — разработка технологии УЗС колес из АБС-пластика и определение их оптимальной прочности.

Учитывая изложенное, при разработке технологических параметров УЗС изделий из АБС-пластика основное внимание необходимо уделить созданию искусственных концентраторов напряжения в виде выступов, которые являются инициаторами процесса разогрева свариваемых поверхностей [7, 8, 13].

Вопросы практической реализации технологических процессов при УЗС изделий из АБС-пластика можно успешно решить, если проводить сварку при малых статическом сварочном давлении и амплитуде колебаний волновода по контурной поверхности изделия. При этом величина деформации не должна превышать средние значения естественной шероховатости соединяемых поверхностей.

Не менее актуальным является решение практических задач обеспечения удовлетворительного внешнего вида поверхностей, контактирующих с волноводом, при сварке деталей со сложной геометрией наружной поверхности (наличие рельефного рисунка или декорированного тиснения; неровности поверхности в результате усадок и напряженного состояния при изготовлении контурных изделий большого диаметра) [9].

Применение контурной УЗС оказалось весьма эффективным при изготовлении колес вентилятора из АБС-пластика, когда общее усилие сжатия можно равномерно распределить по отдельным лопастям, а сварку вести за один цикл с помощью контурного волновода [1, 10, 13].

В качестве объекта, подлежащего контурной УЗС, исследовали колесо вентилятора диаметром 105 мм и высотой 87,8 мм, имевшее по наружной окружности технологический выступ, которым оно опиралось в процессе сварки на контурный волновод.

Колесо вентилятора представляет собой конструкцию, состоящую из трех отдельно изготавливаемых методом литья под давлением элементов, которые впоследствии должны соединяться между собой. Основой конструкции колеса служит диск 3 (рис. 1). По его периметру с обеих сторон расположены тридцать лопастей 2.

Для обеспечения жесткости конструкции к торцам лопастей с каждой стороны приварены кольцеобразные накладки 4. Для фиксации соединяемых деталей относительно друг друга на плоскости выполнена накладка, прилегающая к торцам лопастей технологического выступа 1, входящего в соответствующий паз лопасти.

В сварной конструкции колеса вентилятора недопустимы следующие дефекты: неприваренные к накладке лопасти; непараллельность и неплоскостность торцевых поверхностей колес в сборе; прожоги, коробления и вмятины.

Технологические исследования по свариваемости ультразвуком колеса вентилятора проводили на сварочной машине, разработанной на кафедре «Технологии сварки и диагностики» МГТУ им. Н.Э. Баумана, снабженной стандартным магнитострикционным преобразователем ПМС-1-1,5 с рабочей частотой 22 кГц и мощностью 1,5 кВт. В качестве источника питания использовали ультразвуковой генератор ИЛ10-1,5. В этой машине применена схема с нижним расположением магнитострикционного преобразователя с контурным волноводом и верхним расположением опоры, связанной со штоком пневмоцилиндра (с подвижной опорой).

Такое решение было принято для удобства фиксации колеса вентилятора относительно волновода.

На рис. 2 приведена схема сварочной машины для контурной УЗС колеса вентилятора из АБС-пластика. Основой ее металлоконструкции служит станина, представляющая собой сварной каркас, состоящий из основания-станины 21 и вертикальной стойки 12. Внутри станины расположены блок статического сварочного давления, магнитострикционный преобразователь (сварочный узел), элементы системы управления

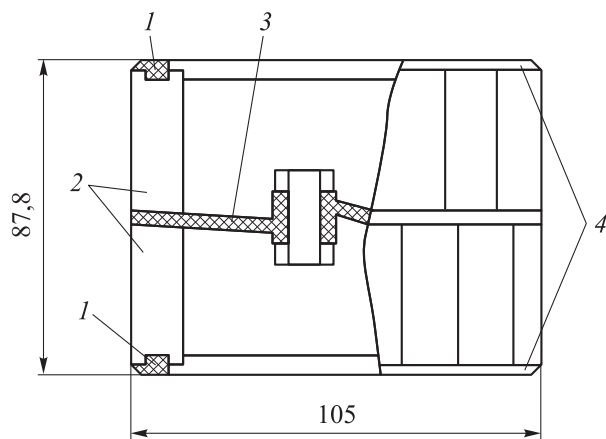


Рис. 1. Схема колеса вентилятора в сборе

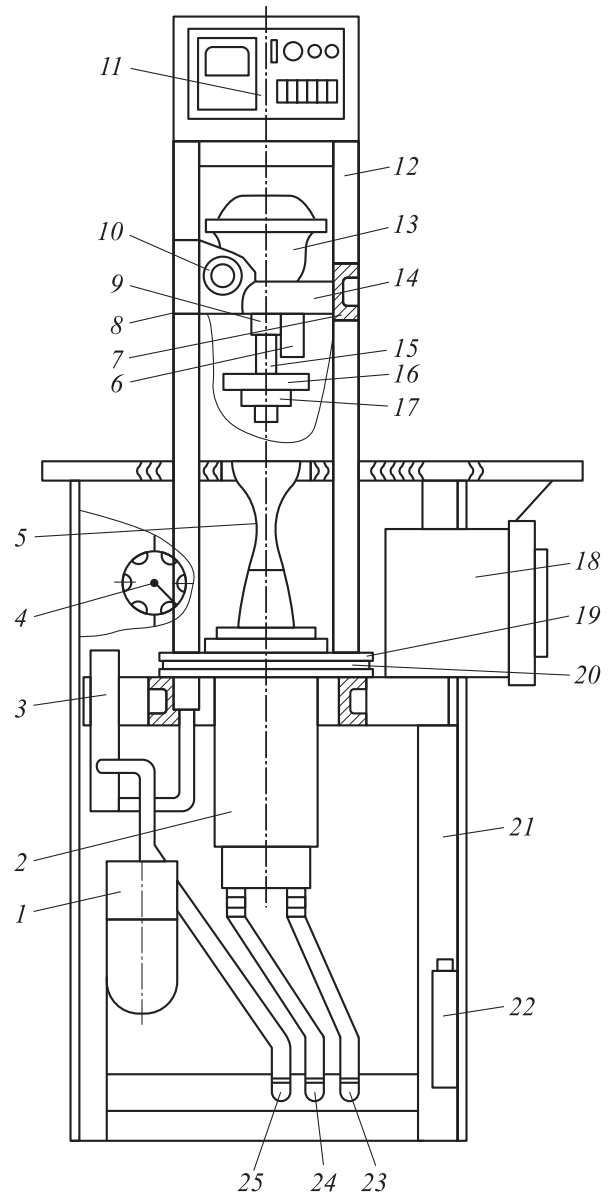


Рис. 2. Схема сварочной машины для контурной УЗС колеса вентилятора из АБС-пластика

процессом УЗС, коммутационные кабели и шланги водо- и пневмообеспечения.

Блок статического сварочного давления гарантирует плотный контакт между соединяемыми поверхностями. Пневмопривод 13 закреплен на горизонтальном кронштейне 14 вертикальной стойки. Резьбовой конец штока пневмопривода соединен с удлинительным ползуном 15, который при работе перемещается в направляющей втулке 9, неподвижно связанной с горизонтальной планкой 8, которая связана с кронштейнами в вертикальной стойке прижимами 7. Свободный торец удлинительного ползуна посредством резьбы соединен с прижимной плитой 16. К основанию станины

прикреплены входной штуцер 25, влагоотделитель 1, электропневмоклапан 3 и редуктор 4. Манометр 10 выведен на переднюю стенку вертикальной стойки.

Сварочный узел включает в себя стандартный магнитострикционный преобразователь 2 типа ПМС-1-1,5 и сварочный инструмент — волновод 5 грибообразной формы, изготовленный из стали 45. Подвод охлаждающей жидкости к баку преобразователя осуществляется через входной штуцер 23, а слив — через сливной штуцер 24. Преобразователь прикреплен винтами к опорной плите 19. Четыре установочные шпильки опорной плиты позволяют регулировать параллельность плоскостей рабочего торца волновода и подвижной опоры. После того, как параллельность обеспечена, опорная плита 19 фиксируется болтами на горизонтальной плите 20 основания-станины 21.

В отличие от компоновки распространенных в настоящее время сварочных машин, примененное в рассматриваемой машине нижнее расположение сварочного узла, при котором рабочий торец контурного волновода является неподвижной опорой, дает возможность удобно устанавливать свариваемое по контуру изделие без использования дополнительных опорных приспособлений. Осевая фиксация колеса вентилятора относительно волновода обеспечивается наличием на рабочем торце волновода фиксирующего бурта, диаметр которого равен наружному диаметру кольцевой накладки колеса.

Кроме того, предусмотрена возможность регулирования удлинительного ползуна на необходимую длину, что позволяет соединять детали изделий высотой до 100 мм.

Управлять процессом сварки можно как с помощью педали в автоматическом режиме работы, так и с выносного пульта в наладочном режиме.

Узлы системы управления, смонтированные в корпусе машины, включают в себя блок управления 18, преобразователь 17 датчика перемещений 6, пульт управления 11, согласующий блок 22, педаль и пульт дистанционного управления. На пульте управления расположены переключатели, с помощью которых задаются значения обрабатываемых осадок для выполнения первого (УЗС нижней кольцевой накладки) и второго (УЗС верхней кольцевой накладки) сварочных циклов.

В качестве рабочего инструмента использован контурный волновод, позволяющий проводить одновременную сварку всех лопастей колеса с кольцевой накладкой за один рабочий цикл.

При введении ультразвуковой энергии в свариваемые детали важную роль играют форма волновода и конфигурация его рабочего торца, определяемая в основном геометрией детали.

Были проведены исследования для выбора конструкции волновода, обеспечивающей его работу в оптимальном режиме УЗС при условии достижения заданной прочности сварного шва по всему контуру колеса вентилятора.

Разработанный волновод представляет собой рассчитанный по экспоненциальному закону вводящий стержень, состоящий из двух участков. В нижней части волновод снабжен специальной демпфирующей массой грибообразной формы, увеличивающей жесткость и препятствующей возникновению поперечных колебаний на его рабочем торце (рис. 3).

Основными колебаниями волновода являются продольные, равномерно распределенные по всему периметру его рабочего торца с амплитудой до 30...35 мкм, необходимой для получения прочного сварного шва.

Волновод посредством резьбового соединения прикреплен к магнитострикционному преобразователю, который преобразует электрическую энергию частотой 20...22 кГц, полученную от ультразвукового генератора, в механические колебания той же частоты, и приводит волновод в рабочее состояние.

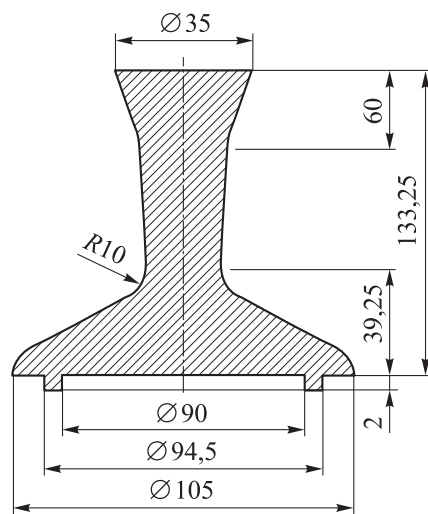


Рис. 3. Схема контурного волновода для УЗС колеса вентилятора

При такой схеме УЗС необходимым условием является равномерное распределение статического сварочного давления $p_{ст}$ по отдельным лопастям, что, с одной стороны, должно обеспечиваться строгой параллельностью рабочего торца контурного волновода и поверхности свариваемой детали, с другой — отсутствием отклонений длины отдельных лопастей от номинального размера. Первое условие достигалось применением подвижной плавающей опоры, способной самоустанавливаться относительно изделия.

Для проверки выполнения второго условия были проведены замеры длин отдельных лопастей колеса, которые показали, что отклонения этого размера от номинальных значений носят случайный характер. Следовательно, первоначальный контакт с накладкой при сварке будут иметь только лопасти с максимальными положительными отклонениями. А поскольку в данном случае все усилия сварки будут приложены к ограниченному числу лопастей, имеющих положительные отклонения, реальное статическое сварочное давление $p_{ст}$, приходящееся на эти лопасти, значительно превысит расчетное. Вследствие этого характер разогрева в зоне УЗС указанных лопастей с накладкой должен быть подобен такому же при сварке под большим статическим сварочным давлением [1, 4].

Согласно техническим требованиям, влияние технологических параметров на прочность колеса вентилятора из АБС-пластика при УЗС объясняется наличием сразу трех конкурирующих факторов: температуры, статического сварочного давления $p_{ст}$ и концентрации энергии на границе раздела соединяемых поверхностей. Кроме того, технологический процесс УЗС колеса вентилятора должен обеспечивать следующие показатели: время сварки $t_{св}$ — не более 5 с, амплитуду колебаний рабочего торца волновода A — не более 30 мкм, статическое сварочное давление $p_{ст}$ — не более 3 МПа; отсутствие прожогов, короблений и вмятин и наличие качественного сварочного шва по всему торцу изделия.

Следует отметить, что выполнение последнего требования крайне важно, так как при большой скорости вращения колеса вследствие вибрации неприваренных участков лопастей возникают шумовые эффекты, превышающие допустимый уровень.

УЗС колеса вентилятора проводили в режиме, выбранном исходя из рекомендаций, полученных при исследовании свариваемости

АБС-пластика: амплитуда колебаний рабочего торца волновода $A = 30$ мкм; статическое сварочное давление, рассчитанное относительно суммарной площади контакта всех лопастей с накладкой, $p_{ст} = 2$ МПа, время сварки $t_{св} = 3$ с.

Управление процессом сварки осуществляли по деформационному критерию. Деформация δ (фиксированная осадка), при которой отключали ультразвуковые колебания, составляла 0,12 мм.

Первые эксперименты по сварке колеса вентилятора с лопастями, имеющими большие отклонения от номинального размера, показали, что, как и предполагалось, соединение отдельных лопастей с накладкой получилось крайне неравномерным. Так, наряду с хорошо сваренными лопастями наблюдались лопасти с прожогами, выплесками расплава, а кроме того непрояры и даже отсутствие соединения деталей. Среднее значение усилия отрыва накладки от лопасти, определенное при испытании, составило 7 МПа.

В последующих опытах выполняли сварку накладки с лопастями, высота которых имела малые отклонения (не более $\pm 0,025$ мм) от номинального значения (41,25 мм). Для обеспечения таких размеров торцы лопастей перед сваркой подвергали шлифованию. Как и предполагалось, такой прием позволил получить более равномерное распределение статического сварочного давления по отдельным лопастям, что обеспечивало одинаковое статическое давление сварки. Кроме того, это дало возможность создать гарантированный контакт выступа накладки с дном лопасти и образовать зазор между накладкой и дном лопасти. Ширина зазора составила 0,08 мм, что находится в пределах значений, рекомендуемых для соединения типа шип — впадина.

Термодеформационные циклы сварки, позволяющие фиксировать характер кинетики разогрева, приведены на рис. 4. Причем термопары зачеканены в двух произвольно выбранных выступах накладки и пазах лопастей.

Как видно из рис. 4, температура в зоне соединения торца лопасти с накладкой имеет незначительный разброс (кривая 1). Это свидетельствует о том, что при малом отклонении длины лопастей от номинального размера они практически одновременно сваривались с накладкой.

Осадка накладки в этом случае протекала с постоянной скоростью вследствие равномерно-

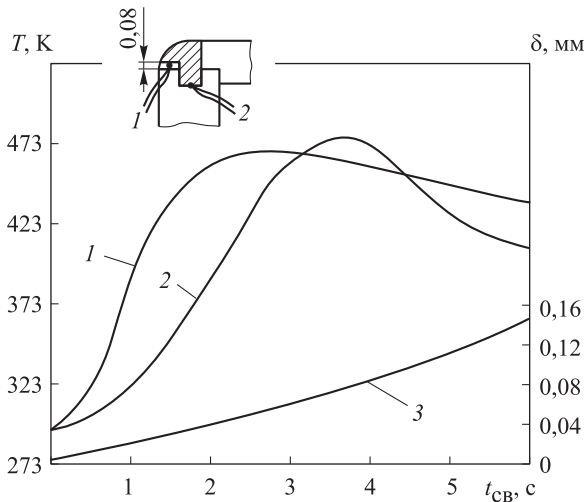


Рис. 4. Термдеформационные циклы при УЗС колеса вентилятора по схеме с фиксированным зазором между выступом накладки и дном паза лопасти:

1, 2 — точки замера температуры T и соответствующие им кривые; 3 — кривая деформации

го вытеснения расплава преимущественно в зонах сварки торца лопасти — накладки.

В зонах соединения паза лопасти с выступом накладки (см. рис. 4, кривая 2) разброс температур был существенно больше. Имелись лопасти, у которых температура в начале УЗС росла (хотя и с меньшей скоростью, чем на торце) и через 3,5 с достигала температуры вязкотекучести для АБС-пластика. Были также лопасти, у которых эта температура достигалась только к концу сварки, когда в зонах соединения торца с накладкой уже появлялись участки перегрева.

Такой характер разогрева соединяемых деталей объясняется возможным наличием зазора между выступом накладки и дном паза отдельных лопастей, ширина которого не может превышать значения осадки при сварке. Визуальный контроль разрушенных образцов, подтвердивший это предположение, выявил, что при наличии зазора между выступом накладки и дном паза лопасти шов образуется преимущественно в результате внедрения торца лопасти в тело накладки.

Таким образом, максимальное время сварки одной накладки с лопастями колеса находится в пределах значения, регламентированного техническими условиями.

Визуальный осмотр сварных швов колеса вентилятора и проведенные испытания на прочность показали хорошее качество сварки. При этом для получения качественного сварного соединения необходимо обеспечить:

- одновременное прилегание торцов всех лопастей к накладкам, т. е. их одинаковый акустический контакт;
- гарантированный зазор между плоскостью накладки и торцом лопасти. При этом оптимальная ширина зазора, после выборки которого во всех зонах соединения наверняка достигается температура вязкотекучего состояния и обеспечивается необходимое время протекания процессов развития объемных взаимодействий, должна составлять 0,08...0,1 мм;
- проведение сварки с управлением по схеме с фиксированной осадкой, позволяющей прекращать процесс точно после выборки гарантированного зазора.

Механические испытания колес выполняли на разрывной машине. Скорость перемещения подвижного зажима составляла 50 мм/мин.

В связи с особенностями сварной конструкции колеса вентилятора для получения полной прочностной характеристики соединения использовали две схемы испытаний.

По первой схеме (рис. 5) оценивали разрывную нагрузку Q отдельно для каждой лопасти по периметру колеса. Для этого перед испытанием сваренное колесо вентилятора разрезали на отдельные участки, каждый из которых представлял собой соединение лопасти с вырезанным участком накладки, прилегающим к данной лопасти. Вырезанный образец 1 с помощью приспособления 2 зажимали в губках разрывной машины и подвергали нагружению.

По второй схеме испытаний (рис. 6) определяли разрывную нагрузку Q соединения накладки с лопастями колеса вентилятора. Испытание этого вида выполняли с помощью

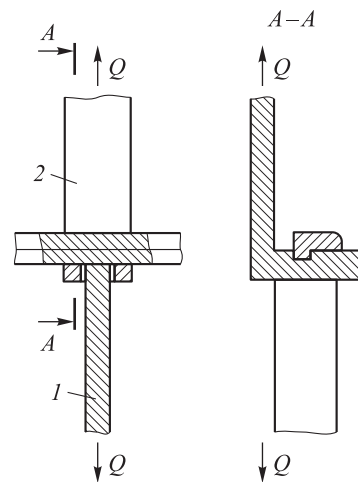


Рис. 5. Схема испытания на прочность сварного соединения лопасть — накладка

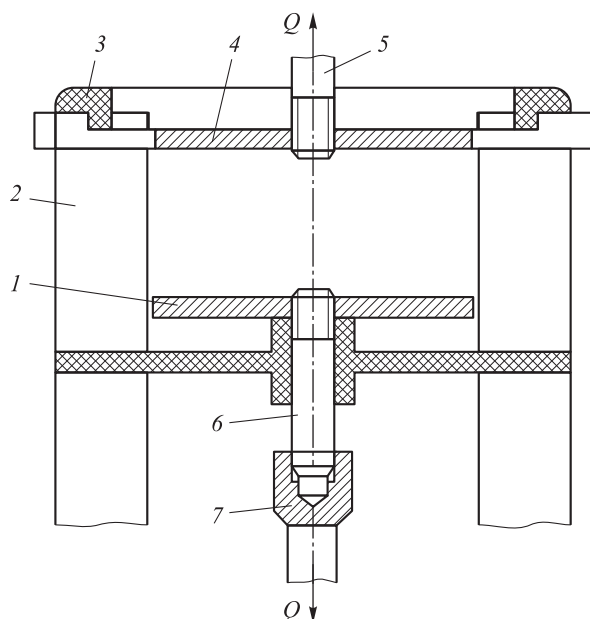


Рис. 6. Схема испытания на прочность сварного соединения накладки с лопастями колеса вентилятора

специально разработанного устройства, функционирующего следующим образом. Перед сваркой опытного образца в полость колеса 2 со стороны привариваемой кольцевой накладки вставляли сначала опорную пластину 1, связанную посредством резьбового соединения с винтом 6, проходящим через осевое отверстие колеса, а затем зубчатую пластину 4, также связанную посредством резьбового соединения с винтом 5, каждый зуб которой расположен в пространстве между соседними лопастями. Далее одевали кольцевую накладку 3 и проводили сварку. После сварки в резьбовое отверстие зубчатой пластины наворачивали удлинитель 7. Удерживающий стержень закрепляли в верхних губках разрывной машины, а удлинитель — в нижних, после чего испытуемый образец подвергали нагружению.

Описанную схему испытаний рекомендуется проводить при периодическом выборочном

контроле качества сварки, а также после корректировки ее режимов в случае ремонта или технического обслуживания сварочной машины.

Динамические испытания колеса вентилятора выполняли с целью определения вибростойкости сварного соединения и зависимости уровня шума от качества и конфигурации сварных швов. Испытания проводили на кафедре «Технологии сварки и диагностики» МГТУ им. Н.Э. Баумана на специальном стенде, позволяющем плавно изменять число оборотов вентилятора от 3000 до 9000 об/мин.

Выводы

1. Использована специализированная сварочная машина для контурной УЗС АБС-пластика, имеющая, в отличие от существующих аналогов, нижнее расположение сварочного узла, при котором рабочий торец волновода является неподвижной опорой, обеспечивая удобство расположения свариваемого по контуру изделия без использования дополнительных опорных приспособлений.

2. Применен контурный волновод грибообразной формы, позволяющий сваривать изделия большого диаметра.

3. Определена оптимальная форма рабочего торца контурного волновода, предусматривающая фиксацию связываемых изделий относительно оси волновода по их наружному диаметру.

4. Выявлены оптимальные режимы сварки АБС-пластика: статическое сварочное давление — 2 МПа, амплитуда колебаний волновода — 30 мкм, время сварки — 2...3 с, площадь контакта свариваемых поверхностей — не более 35...40 мм², фиксированная осадка — не выше средней высоты микронеровностей контактных поверхностей.

Литература

- [1] Волков С.С., Прилуцкий М.А. Влияние тепловых процессов на свариваемость АБС-пластика ультразвуком. *Сварка и диагностика*, 2015, № 3, с. 34–38.
- [2] Volkov S.S. The effect of conditions of ultrasound welding in the fracture force of nonwoven materials. *Welding International*, 2005, no. 19(6), pp. 484–489, doi: 10.1533/wint.2005.3473
- [3] Волков С.С. *Сварка и склеивание полимерных материалов*. Москва, Химия, 2001. 376 с.
- [4] Волков С.С., Коновалов А.В., Выборнов А.П. Методика расчета параметров режима ультразвуковой сварки изделий из полимерных материалов. *Сварка и диагностика*, 2016, № 2, с. 35–39.

- [5] Волков С.С., Соколов В.А., Шестель Л.А. Технология и оборудование для сварки эластичных емкостей из пленочного фторопласта-4МБ. *Сварка и диагностика*, 2013, № 3, с. 52–55.
- [6] Алешин Н.П., Чернышов Г.Г. *Сварка. Резка. Контроль: справочник. В 2 т. Т. 1*. Москва, Машиностроение, 2004. 624 с.
- [7] Волков С.С. Основные способы и технологические особенности сварки разнородных пластмасс. *Сварочное производство*, 2007, № 5, с. 38–43.
- [8] Volkov S.S. Ultrasound welding of cylindrical components made of polyamide 610. *Welding International*, 2012, no. 26(1), pp. 54–57, doi: 10.1080/09507116.2011.592715
- [9] Volkov S.S. Dependence of the breaking force of non-woven fabrics on weld pitch in ultrasound welding. *Welding International*, 2005, no. 19(8), pp. 665–668, doi: 10.1533/wint.2005.3505
- [10] Volkov S.S. Technology for ultrasonic welding multi element components produced from rigid plastics. *Welding International*, 2004, no. 18(3), pp. 242–245.
- [11] Volkov S.S. Joining thermoplastics with metallic and non-metallic materials. *Welding international*, 2013, no. 27(3), pp. 163–166, doi: 10.1080/09507116.2012.695551
- [12] Volkov S.S. Using piezoelectric oscillating system for welding synthetic fabrics. *Welding international*, 2013, no. 27(3), pp. 720–724, doi: 10.1080/09507116.2012.753281
- [13] Люшинский А.В. *Диффузионная сварка разнородных материалов*. Москва, Академия, 2006. 208 с.

References

- [1] Volkov S.S., Prilutskiy M.A. Influence of thermal processes on the weldability of ABS plastic by ultrasound. *Welding and Diagnostics*, 2015, no. 3, pp. 34–38 (in Russ.).
- [2] Volkov S.S. The effect of conditions of ultrasound welding in the fracture force of nonwoven materials. *Welding International*, 2005, no. 19(6), pp. 484–489, doi: 10.1533/wint.2005.3473
- [3] Volkov S.S. *Svarka i skleivanie polimernykh materialov* [Welding and bonding of polymeric materials]. Moscow, Khimiya publ., 2001. 376 p.
- [4] Volkov S.S., Konovalov A.V., Vybornov A.P. Method of calculation of parameters of ultrasonic welding of products from polymeric materials. *Welding and Diagnostics*, 2016, no. 2, pp. 35–39 (in Russ.).
- [5] Volkov S.S., Sokolov V.A., Shestel' L.A. Technology and equipment for welding elastic containers from a film of the PTFE-4MB. *Welding and Diagnostics*, 2013, no. 3, pp. 52–55 (in Russ.).
- [6] Aleshin N.P., Chernyshov G.G. *Svarka. Rezka. Kontrol': spravochnik* [Welding. Cutting. Control: a Handbook]. Vol. 1. Moscow, Mashinostroenie publ., 2004. 624 p.
- [7] Volkov S.S. Primary processes and features of heterogeneous plastics welding. *Welding production*, 2007, no. 5, pp. 38–43 (in Russ.).
- [8] Volkov S.S. Ultrasound welding of cylindrical components made of polyamide 610. *Welding International*, 2012, no. 26(1), pp. 54–57, doi: 10.1080/09507116.2011.592715
- [9] Volkov S.S. Dependence of the breaking force of non-woven fabrics on weld pitch in ultrasound welding. *Welding International*, 2005, no. 19(8), pp. 665–668, doi: 10.1533/wint.2005.3505
- [10] Volkov S.S. Technology for ultrasonic welding multi element components produced from rigid plastics. *Welding International*, 2004, no. 18(3), pp. 242–245.
- [11] Volkov S.S. Joining thermoplastics with metallic and non-metallic materials. *Welding international*, 2013, no. 27(3), pp. 163–166, doi: 10.1080/09507116.2012.695551
- [12] Volkov S.S. Using piezoelectric oscillating system for welding synthetic fabrics. *Welding international*, 2013, no. 27(3), pp. 720–724, doi: 10.1080/09507116.2012.753281
- [13] Lyushinskiy A.V. *Diffuzionnaya svarka raznorodnykh materialov* [Diffusion welding of dissimilar materials]. Moscow, Akademiya publ., 2006. 208 p.

Информация об авторах

ВОЛКОВ Станислав Степанович — кандидат технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: map@bmstu.ru).

КОРОЛЕВ Сергей Анатольевич — кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология сварки и диагностики». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: korolevsa@rambler.ru).

РОЗАНОВ Дмитрий Сергеевич — кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология сварки и диагностики». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: rozanovds@rambler.ru).

Information about the authors

VOLKOV Stanislav Stepanovich — Candidate of Science (Eng.), Professor, Technology of Welding and Diagnostics Department. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: map@bmstu.ru).

KOROLEV Sergey Anatolevich — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Technology of Welding and Diagnostics Department. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: korolevsa@rambler.ru).

ROZANOV Dmitry Sergeevich — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Technology of Welding and Diagnostics Department. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: rozanovds@rambler.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Волков С.С., Королев С.А., Розанов Д.С. Влияние технологических параметров на прочность изделий из АБС-пластика при ультразвуковой сварке. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2019, № 5, с. 17–26, doi: 10.18698/0536-1044-2019-5-17-26

Please cite this article in English as:

Volkov S.S., Korolev S.A., Rozanov D.S. The Influence of Technological Parameters on Durability of Products from ABS Plastic at Ultrasonic Welding. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2019, no. 5, pp. 17–26, doi: 10.18698/0536-1044-2019-5-17-26



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышла в свет монография
И.Н. Шиганова

«Специальные лазерные технологии»

Рассмотрены сварка композиционных материалов и гибридные лазерные технологии сварки. Особое внимание уделено сварке концентрированными источниками энергии металлических композиционных материалов, упрочненных частицами, а также гибридной лазерно-дуговой и лазерно-плазменной сварке.

Для студентов, обучающихся по специальности 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов» по специализации специалистов «Проектирование промышленных технологических комплексов с использованием высококонцентрированных потоков энергии».

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru