

Ю. В. ХОЛОПОВ

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ
СВАРКА
ПЛАСТМАСС
И МЕТАЛЛОВ



ЛЕНИНГРАД
„МАШИНОСТРОЕНИЕ“
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
1988

ББК 30.616
X73
УДК 621.791

Рецензент канд. техн. наук С. С. Волков

Холопов Ю. В.

X73 Ультразвуковая сварка пластмасс и металлов. — Л.:
Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. — 224 с.: ил.

ISBN 5-217-00270-0

В книге изложена технология соединения пластмасс и металлов ультразвуком — УЗС. Даны новые материалы по физическим основам процесса УЗС, технологии сварки; рассмотрены основные конструктивно-технологические особенности оборудования, методы стабилизации прочности и контроля качества сварных соединений.

Показана технико-экономическая целесообразность использования ультразвуковой сварки в промышленности.

Книга предназначена для инженерно-технических работников, занимающихся разработкой оборудования, технологией и эксплуатацией машин для УЗС пластмасс и металлов.

X $\frac{2704060000-252}{038(01)-88}$ 252—88

ББК 30.616

ISBN 5-217-00270-0 © Издательство «Машиностроение», 1988

ПРЕДИСЛОВИЕ

Ультразвуковая сварка (УЗС) является одним из методов соединения пластмасс и металлов. Благодаря целому ряду весьма ценных технологических свойств, например возможности соединения разнородных и разнотолщинных металлов, в ряде случаев без снятия оксидных пленок, она нашла свое применение особенно в микроэлектронике. Более того, сейчас становится очевидным, что без использования специфических особенностей ультразвуковой сварки невозможно осуществление новых, перспективных технологических процессов сварки.

В области УЗС термопластичных полимеров за последние четверть века ультразвуковая сварка начинает широко использоваться в промышленности. В настоящее время ее используют сотни заводов. Без ультразвука невозможно дальнейшее совершенствование технологии сварки таких, например, широко распространенных полимеров, как полистирол, полиметилметакрилат, полиэтилентерефталатные пленки и т. п. Технико-экономическая целесообразность использования энергии ультразвука однозначна.

Работы в области ультразвуковой микросварки проводятся в стране достаточно интенсивно. Вместе с тем практические нужды промышленности страны сегодняшнего дня в ультразвуковой сварке пластмасс и металлов едва ли не на два порядка превышают то, что на сегодняшний день сделано в области УЗС. Поэтому информация о результатах работ в этом направлении технического прогресса является предельно актуальной. Привлечение внимания различных отраслевых НИИ и КБ к потенциальным возможностям УЗС, освоение специфики оборудования и технологии УЗС будут способствовать еще большему развитию этого вида сварки, обладающему широкими технологическими возможностями, высокой производительностью, обеспечивающему высокое качество сварных соединений.

В СССР сложилась научная школа по сварке пластмасс ультразвуком в МВТУ им. Баумана под руководством академика Г. А. Николаева. Много было сделано во ВНИИЭСО — в отраслевом институте Минэлектротехпрома.

Сейчас перед ультразвуковой сварочной технологией большая перспектива; круг специалистов, занимающихся УЗС пластмасс и металлов, расширяется, потребность в литературе по этому виду техники постоянно растет.

Если учесть, что типовые комплекты технологического оборудования для УЗС после модификации могут с успехом использоваться для развальцовки заклепок при соединении металлов с пластмассами, резки полимеров, финишной обработки металлов и других операций, настоящая книга будет полезна достаточно большому кругу лиц.

Основной особенностью книги является то обстоятельство, что проблемы УЗС пластмасс и металлов рассмотрены с единых методических позиций. Хотя механизм образования сварного соединения полимеров и металлов имеет принципиальные различия, но основные вопросы, связанные с энергетикой процесса сварки методами и приемами стабилизации процесса, комплектностью технологического оборудования и технологией процесса, являются однородными.

В основу книги положены результаты работ автора, выполненных под его непосредственным руководством и при участии, широко использованы также материалы, полученные в МВТУ им. Баумана и других организациях страны. В книгу вошли только наиболее важные, по мнению автора, материалы, часть из которых еще нигде не публиковывалась.

Автор выражает глубокую признательность всем сотрудникам, которые принимали участие в совместных с ним работах.

Все замечания и предложения по книге автор просит присылать по адресу: 191065, Ленинград, ул. Дзержинского, 10, ЛО издательства «Машиностроение».

ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ
СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

1.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССА

Ультразвуковая сварка (УЗС) пластмасс и металлов основана на использовании энергии механических колебаний сварочного наконечника. Колебания совершаются с ультразвуковой частотой свыше 16 кГц и амплитудой колебаний на уровне 0,5—50 мкм. Энергия в зону сварки вводится посредством сварочного усилия, которое находится в пределах $(0,1 \div 1,0) \sigma_T$ свариваемого материала.

Процесс образования сварного соединения характеризуется сложным взаимодействием многочисленных и разнородных факторов. С одной стороны, это комплекс явлений, связанный с интенсивными процессами внешнего трения, повышения температуры в свариваемых материалах, растрескиванием твердых и выгоранием жировых пленок, повышением пластичности, обмятием микро- и макронеровностей, сближением контактирующих поверхностей на расстояние, близкое к межатомному, и т. п. С другой стороны — это комплекс явлений, связанных с состоянием, способностью энергетического тракта подать эту энергию в зону сварки.

Передача энергии, особенно устойчивая, стабильная, сопряжена, как увидим ниже, с большими трудностями, так как мы не знаем, какими конкретно условиями предопределяется отбор мощностей. И это относится как к одной, так и к другой стороне этого явления при сварке тех или иных материалов.

Основными составляющими энергетики процесса УЗС являются процессы внешнего и внутреннего трения. Объем информации по важнейшим, уже установленным закономерностям внешнего трения достаточно большой. Но, к сожалению, применительно к УЗС этим вопросом никто не занимался. Сам подход к этой теме и полученные результаты показывают исключительную многоплановость явления внешнего трения при УЗС. Внешнее трение выступает при этом как носитель энергии, как положительное явление, без которого процесс УЗС практически был бы невозможен. О внутреннем трении, как одной из энергетических составляющих процесса УЗС металлов, упоминалось в ряде работ. Но в последней, наиболее обстоятельной, посвященной специально исследованию физических условий образования сварных соединений металлов [12] внешнее трение отнесено только к «... зонам схватывания ...», при этом энергетический вклад внутреннего трения не рассматривался. При

Т а б л и ц а 1.1

Сравнительные данные по параметрам режима сварки

Параметры	Вид сварки		
	Холодная	Трением	Ультразвуковая
Амплитуда, м	0,02	—	$6 \cdot 10^{-6}$
Частота, Гц	1	500—1500	$16 \cdot 10^4$ — $1,2 \cdot 10^6$
Скорость, м/с	0,02	1,5	3 для металлов; 8 для полимеров
Путь, м	0,02	90	10 (реверсивный)
Давление, МПа	120—150	30—50	$\leq \sigma_T$ для металлов; $(0,1 \div \div 0,2) \sigma_T$ для полимеров
Температура T	$0,03T_{пл}$	$0,8T_{пл}$	$0,4T_{пл}$

рассмотрении физических условий сварки полимеров, наоборот, доминирующую роль отводят внутреннему трению [6]. Роль внешнего трения просматривается только при сварке жестких полимеров. Таким образом, налицо противоречия и неполная информация о важнейших составляющих процесса трансформации энергии ультразвука в зоне контактирования свариваемых материалов.

И еще одно обстоятельство. В литературе указывалось на однородность процесса УЗС с холодной сваркой, сваркой трением. Не останавливаясь на принципиальных схемах ввода энергии (они достаточно хорошо известны), приведем результаты сравнения основных параметров режимов сварки: амплитуды колебаний сварочного наконечника (пуансона), точки свариваемой детали, частоты колебаний, линейной скорости, общего пути движения, сварочных давлений и температуры в зоне сварки, т. е. достаточно большого числа показателей, которые должны объективно описывать динамику передачи энергии в зону сварки. Данные по этим параметрам сведены в табл. 1.1. Их сравнение показывает, что о подобии холодной сварки, сварки трением и УЗС можно говорить только как о первом приближении.

Все три рассматриваемых вида сварки не совпадают ни по одному из показателей. Сварка трением по амплитудам колебаний, частотам, характеру контактирования, т. е. важнейшим показателям процесса, не имеет с УЗС ничего общего. Разрыв возникающих межмолекулярных связей при сварке трением и соответствующее смещение точек достигает более $1 \cdot 10^6$ мкм, в то время как при УЗС она может составить не более 10 мкм. Холодная сварка тем более ни по одному из признаков не похожа на УЗС.

Специфический вид энергии — ультразвук — позволяет реализовать весьма ценные технологические свойства процесса сварки. К ним можно отнести следующие: низкую требовательность к состоянию свариваемых поверхностей; возможность сварки материалов с высокой электропроводностью (например, медь, алюми-

ний); разнородных (сталь — алюминий), разнотолщинных (1 : 100). Ультразвуком хорошо сваривается большая группа термопластичных полимеров. Более того, некоторые из них, например полистирол, лавсан и другие, свариваются только ультразвуком.

УЗС практически нашла рациональные области использования в промышленности и имеет хорошо выраженную тенденцию к дальнейшему развитию. Высокая технико-экономическая эффективность использования УЗС пластмасс и металлов предопределяется в ряде случаев крайней технологической необходимостью, устранением вредных условий труда или реальным снижением трудозатрат.

1.2. ОБЩАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗОНЫ СВАРКИ

Изложенные в работах [9 и др.] материалы исследований процессов внешнего и внутреннего трения различных материалов однозначно убеждают нас, что эта группа сложных и взаимосвязанных физических явлений характерна для процесса УЗС пластмасс и металлов. Существующие концепции о роли тех или иных видов трения при сварке упрощены или противоречивы. Они, как правило, отражают какую-либо одну часть явления. Утверждение о доминирующей роли, например, внешнего трения при УЗС металлов, на наш взгляд, не предопределяет специфики явления. Внешнее трение сварочного наконечника о свариваемые детали в любом случае является источником энергии, знакопеременных напряжений и деформаций в зависимости от свойств свариваемых материалов (полимеров, металлов, композиций). Свойства материалов определяют уровень отбираемой энергии. Внутреннее трение не является доминирующим источником теплоты при сварке, например, металлов, но его вклад в образование сварного соединения нельзя недооценивать. Сварка происходит на локальных участках зон контактирования, узлы схватывания образуются последовательно, и объемное взаимодействие происходит видимо в то время, когда элементов внешнего трения уже нет.

При УЗС мы имеем источник колебаний — сварочный наконечник, который совершает движение с заданной колебательной скоростью v , обусловленной силой F . Сварочное усилие $F_{св}$ вызывает перераспределение по волноводу достаточно сложного спектра колебательных напряжений σ . Таким образом, мощность колебаний сварочного наконечника определяется колебательными скоростями и напряжениями. Физическая модель зоны сварки с зонами преобразования энергии приведена на рис. 1.1.

Можно принять, что основными энергетическими составляющими процесса внешнего трения двух твердых тел будут: 1 — энергия, идущая на упругопластическое деформирование зон контактирования, преодоление механического сопротивления

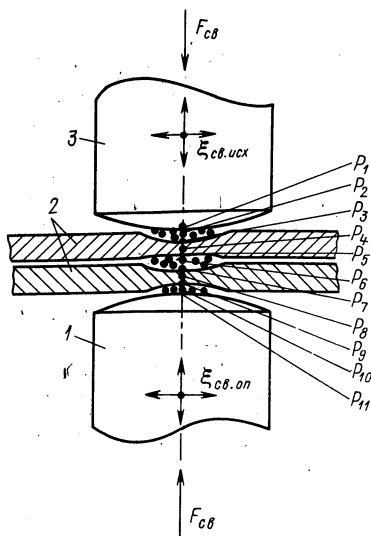


Рис. 1.1. Физическая модель зоны сварки: 1 — опора с амплитудой колебаний $\xi_{св.оп}$; 2 — свариваемые материалы; 3 — волновод, передающий энергию в зону сварки с амплитудой смещения; $P_1 - P_{11}$ — зоны энергопреобразования (стрелками показано возможное направление колебаний сварочного наконечника)

зон зацепления, «пропахивание» макронеровностей и т. п.; 2 — энергия, идущая на активизацию поверхностного слоя зон контактирования; 3 — на преодоление молекулярно-адгезионного сцепления, прилипания и других сил, возникающих на локальных, ювелирно-очищенных микроконтактах; 4 — на разрушение зон схватывания при возникновении металлической связи; 5 — потери на внутреннее трение при макро- и микродеформировании.

В зоне контактирования сварочного наконечника со свариваемой деталью P_1 при УЗС идут интенсивные процессы внешнего трения. Поверхности сварочных наконечников изготавливаются, как правило, из материалов, обладающих минимальными адгезионными свойствами. Они должны обладать комплексом свойств, обеспечивающих, по существу, упругое контактирование с поверхностью свариваемых материалов. Вместе с тем в результате внешнего трения микронеровности сварочного наконечника упругопластически деформируются — P_{11} (первая цифра относится к виду преобразования энергии, вторая — к месту ее преобразования). Происходит активация его поверхностного слоя — P_{21} . Часть энергии расходуется на преодоление сил молекулярно-адгезионного сцепления — P_{31} и на разрушение зон схватывания — P_{41} . При интенсивном макро- и микродеформировании поверхностей контактирования возникают потери на внутреннее трение — P_{51} . Можно предполагать, что эти величины в процессе сварки будут переменными.

Знакопеременный характер внешнего трения при УЗС вызывает возникновение плоской волны, которая проходит через зону контактирования сварочного наконечника и возбуждает колебания смежной плоскости. При УЗС каждый последующий слой материала, по которому проходят колебания, а тем более фиксированные границы раздела, можно рассматривать как очередные звенья в общей цепи передачи энергии в зону сварки. Чем выше интенсивность внешнего трения при прочих равных условиях, тем больше энергии поступает в зону сварки, тем больше температура в зоне сварки и выше пластичность свариваемых материалов.

Процесс внешнего трения при УЗС нужно считать полезным. Более того, ограничение внешнего трения больше допустимых пределов ведет к снижению важнейшего технологического свойства УЗС — возможности сварки различных материалов без снятия оксидных пленок, сварки полимеров по запыленной поверхности и т. п.

Таким образом, энергия сварочного наконечника в плоскости раздела со свариваемыми металлами равна $P_1 = P_{11} + P_{21} + P_{31} + P_{41} + P_{51} + P_2$, где P_2 — энергия, поступающая в свариваемый материал, характеризуемая возникающими адгезионными силами P_{32} ; разрушением зон схватывания P_{42} и возможной энергией топокхимической реакции P_8 . Эти силы предопределяются в основном выбором материала сварочного наконечника. Эксперименты показали, что, при сварке, например, алюминия и использовании наконечников из стали Ст3 без какой-либо термической обработки силы зон схватывания преодолевали знакопеременные напряжения и происходило приваривание алюминия к сварочным наконечникам. Свариваемая деталь превращалась в непосредственный излучатель ультразвука. Нормальный технологический процесс сварки при этом исключен. Таким образом,

$$P_2 = P_{32} + P_{42} + P_{62} + P_3,$$

где P_3 — энергия, передаваемая в зону сварки.

При УЗС процесс микродеформирования контактных зон свариваемого материала разрастается в макродеформирование, величина которого может достигать 0,5 и больше от толщины свариваемого материала и составлять величину в сотни микрометров. Объемное микродеформирование наружной поверхности свариваемой детали ведет к чрезвычайному уплотнению смежных слоев материала, резкому возрастанию напряжений в металлах и внутренним потерь.

К сожалению, теория внутреннего трения (зоны P_4 , P_8), особенно в интересующих УЗС частотах и больших интенсивностях, далека до своего завершения. Кроме того, необходимо отметить, что при внутреннем трении свой вклад вносят потери, связанные с движением дислокаций, диффузионно-вязкой ползучестью кристаллических материалов. Относительное движение зерен, блоков, двойников, разнородных включений и т. п. составляет достаточно сложный механизм поглощения энергии [15].

Реальной возможности образования сварного соединения только за счет энергии внутренних потерь микро- и макродеформирования нет. Внешнее трение может играть важную роль, обеспечивая относительное перемещение свариваемых поверхностей, дробление оксидных пленок, обмятие макроповерхностей, контактирование свежеччищенных участков, общее повышение температуры в зоне сварки, передачу энергии ультразвука в смежную зону и т. п.

Металлолом

Первый научный сайт про металлы в Рунете

Большое спасибо за чтение ознакомительной версии контента с сайта “Металлолом”. Если вы заинтересованы в полной версии, пожалуйста - нажмите кнопку “Facebook” или “Twitter” и поделитесь своей находкой, чтоб остальным было легче найти наш сайт.

После этого вам нужно будет обновить страницу, где вы расшарили ссылку - и полный контент будет доступен вам для чтения онлайн прямо на сайте!

Если вы находите данный ресурс полезным - пожертвуйте, сколько можете

<https://secure.wayforpay.com/payment/mitalolom>



Важно!

Весь контент защищен авторскими правами и служит только для ознакомительных целей - например, когда вам нужно написать реферат или курсовую.

После прочтения и ознакомления, вам нужно будет удалить скачанный контент или оплатить издателю.