

УДК 621.791.

Звездин В.В., доктор технических наук, доцент, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»;

Рахимов Р.Р., старший преподаватель, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», e-mail: rafisih88@mail.ru.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Аннотация: Изложены особенности формирования сварного шва в разнородных металлах. Приведены результаты металлографических исследований микроструктуры после проведения лазерной сварки разнородных металлов. На основе экспериментальных исследований показано, что качество технологического процесса сварки зависят от энергетических характеристик и стабильности параметров лазерного технологического комплекса, температуры сварной ванны, условий, исключая окислительные процессы свариваемых металлов и параметров предварительной подготовки стыковых поверхностей. Данный подход позволяет в дальнейшем построить систему автоматизированного управления технологическим процессом лазерной сварки разнородных металлов.

Ключевые слова: лазерная сварка; энергетические потери; газовая среда; качество технологического процесса; разнородные металлы; сварка.

Введение. Актуальность задачи по сварке разнородных материалов объясняется различием функционального назначения отдельных частей деталей. Например, ротор электродвигателей состоит из сердечника и оси. Функция оси заключается в обеспечении механической прочности конструкции при вращении ротора. Функция сердечника — в обеспечении высокой магнитной проницаемости магнитных полей. Совмещение функций в однородных материалах приводит к увеличению габаритно-весовых характеристик ротора при заданных механических и электромагнитных характеристиках.

Важным элементом технологического процесса изготовления ротора является обеспечение неразъемного механического соединения магнитотвердого сердечника с осью. Данная задача может быть решена путем

применения лазерной сварки с заданными механическими характеристиками ферритового сердечника со стальной осью.

Следует отметить, что процесс сварки при изготовлении ответственных деталей является прецизионным по геометрии и не допускает образования дефектов в структуре сварных швов (воздушных раковин, несплавлений, прожигов и т. д.), при этом требуется обеспечить минимальные механические остаточные напряжения в зоне сварного шва, которые могут привести к его разрушению [1].

Лазерная сварка разнородных металлов

Наиболее перспективным методом сварки в современном машиностроении является лазерная сварка. Лазерная сварка представляет собой технологический процесс получения неразъемного соединения частей изделия путем местного расплавления лучом лазера и последующей кристаллизации материалов. Среди источников энергии, используемой для сварки, лазерное излучение обеспечивает наивысшую концентрацию энергии, превосходя по концентрации многие источники на несколько порядков. Высокая концентрация теплоты в световом пятне лазера позволяет практически все металлы довести не только до плавления, но и до кипения. Поэтому лазер можно использовать для сварки различных металлов, в том числе тугоплавких.

Основные режимы лазерной сварки разнородных металлов:

а) Сварка непрерывным излучением - мощность лазерного излучения или постоянна во времени, либо имеет импульсный характер с частотой импульсов порядка десятков килогерц;

б) Импульсная или импульсно-периодическая сварка - в этом случае частота лазерных импульсов обычно от 10 до 300 Гц, а энергия каждого импульса значительна.

Как и при традиционных методах, можно выделить сварку встык, внахлест, угловая и прочие варианты, отличающиеся взаимным положением деталей и лазерного луча.

Лазерная сварка характеризуется наименьшими тепловложениями в сравнении с другими методами сварки. Поэтому ее применение целесообразно как с точки зрения остаточных напряжений и деформации, так и с позиции уменьшения размеров зоны разупрочнения в термоупрочняемых сплавах. Также следует отметить следующие преимущества лазерной сварки: снижение коробления деталей после сварки, повышение технологичности изготовления деталей, высокая степень автоматизации.

Актуальность задачи по сварке разнородных материалов объясняется различием функционального назначения отдельных частей деталей. Совмещение функций в однородных материалах часто приводит к увеличению габаритно-весовых характеристик деталей при заданных механических и электромагнитных характеристиках.

Одной из необходимых стадий процесса лазерной сварки является предварительная подготовка свариваемых поверхностей. Поверхность металла в зоне сварки очищается от окалины, ржавчины, других загрязнений, а также от влаги. Загрязнения и влага создают условия для образования пористости, оксидных включений, а в некоторых случаях и холодных трещин в металле шва и зоне термического влияния за счет насыщения водородом. Необходимо минимизировать шероховатости сопрягающихся поверхностей путем механической притирки, так как начинается активное взаимодействие металлов с окружающей газовой средой.

Так как зона теплового воздействия лазерного излучения в металле имеет сегментную форму, размеры которой зависят от энергетических параметров источника и физических свойств металлов [2], целесообразно плоскость сварного шва наклонить на угол, по касательной к этому сегменту или расположить тугоплавкую часть выше легкоплавкой (сварка внахлест). В этом случае, расплавляя тугоплавкий металл, за счет теплопередачи расплавляется и легкоплавкий (рис. 1.). При этом происходит активное взаимодействие металлов с окружающей газовой средой, присутствующей и в зоне стыка двух металлов из-за шероховатости поверхностей. При кристаллизации металла

происходит образование пустот в металле, что ухудшает качество сварного шва. Поэтому необходимо минимизировать шероховатости сопрягающихся поверхностей путем механической притирки.

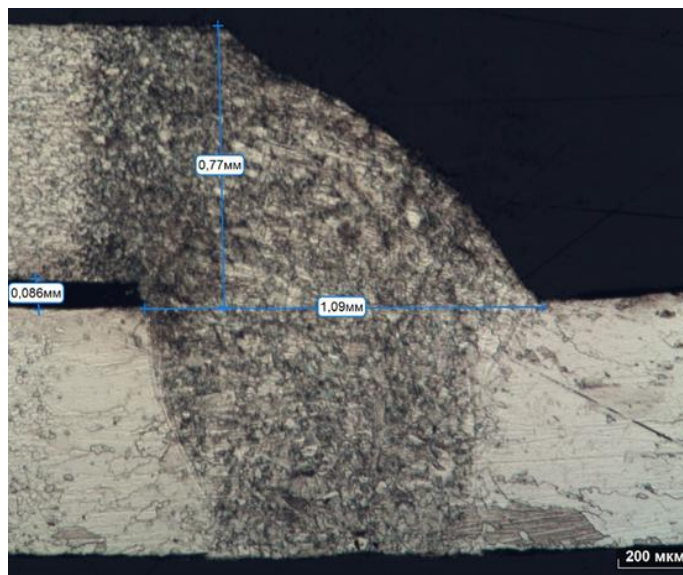


Рис. 1. Лазерная сварка разнородных пластин внахлест (x50)

Для оценки глубины проплавления можно использовать формулы [1, 4]:

$$h = \frac{P}{2\pi\lambda_r T_k} \ln \frac{r_{л} + a/v_{св}}{r_{л}},$$

где: λ_r — коэффициент теплопроводности материала; T_k — температура кипения; a — коэффициент температуропроводности.

Лазерная сварка образцов производилась на ЛТК, на базе оптоволоконного лазера ЛС-2. Поверхности шва от окисления защищались аргоном, подаваемой через сопло. Сварка проводилась при мощности излучения 1,5 кВт, скорости перемещения луча 10 мм/с., диаметр пятна примерно 1 мм.

С точки зрения поглощательной способности твердотельные лазеры с длиной волны 1,064 мкм более предпочтительны для сварки металлов. Также имеются исследования в которых отмечается что уровень плотности мощности, необходимый для сварки примерно на 30 % ниже, чем при сварке CO_2 лазером.

Для исследования микроструктуры сварного шва применялись поперечные шлифы с химическим травлением. Микротвердость структуры

пластин, сварных швов и зон термического влияния (ЗТВ) замерялась по ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007 на микротвердомере MicroMet 5104 при нагрузке 100 гс.

На рисунках 2 и 3 показаны результаты сварки двух пар металлов. Зона термического воздействия, образуемая при лазерной сварке, состоит из нескольких участков (рис. 2). В нижней части снимка наблюдается микроструктура феррита, в верхней — измененная структура стали 40. Между ними видна зона взаимодействия двух разнородных металлов, характеризующаяся диффузионными процессами, происходящими в переходной зоне. На рисунке указано направление лазерного излучения.

Для каждой пары свариваемых металлов существуют свои значения плотности мощности, при которых могут быть достигнуты требуемые показатели качества сварного шва.

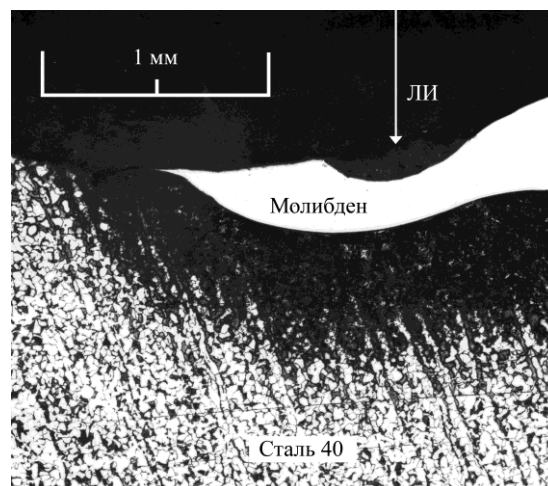
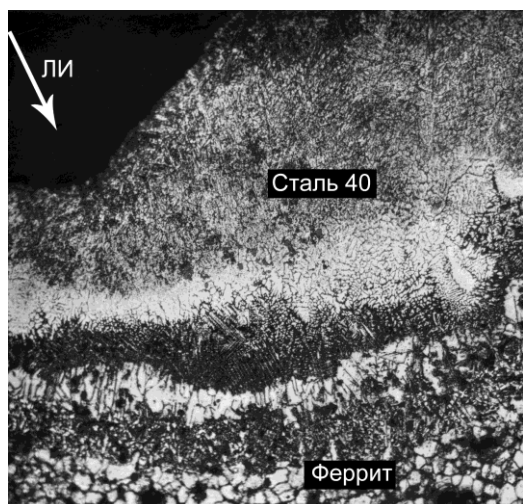


Рис. 2. Микрофотография сварного шва феррита и стали 40 (x200)

Рис. 3. Микрофотография сварного шва молибдена и стали 40 (x50)

На рис. 3 приведена микрофотография сварки молибдена ($T_{пл.}=2620^{\circ}\text{C}$) и стали ($T_{пл.}=1510^{\circ}\text{C}$). В верхней части видна область молибдена с однородной структурой. Резкая переходная зона между молибденом и сталью показывает отсутствие диффузии металлов. Механическое сцепление в зоне контакта обеспечивается за счет адгезии молибдена на поверхности стали. Отсутствие диффузионных процессов можно объяснить либо несмачиваемостью металлов,

либо недостаточной кинетической энергией атомов для преодоления поверхностного натяжения расплавленных металлов.

Исследования позволили выявить диапазон изменения технологических параметров лазерного комплекса, таких как скорость, мощность, геометрические характеристики зоны нагрева, распределение интенсивности излучения в зоне нагрева для заданных технических характеристик лазерного комплекса [5].

Есть исследования в которых указывается то, что в большинстве сталей после лазерного облучения значительно увеличивается содержание остаточного аустенита. Были исследованы следующие эффекты, могущие претендовать на причины такого явления: высокие скорости охлаждения; более высокие температуры нагрева, чем при печных закалках по стандартному режиму; короткое время аустенизации; измельчение зерна; фазовый наклеп аустенита; влияние пластической деформации и напряжений при обработке; высокоскоростное азотирование азотом воздуха при обработке; сверхскоростная восходящая диффузия.

Выводы.

Основное влияние на технологический процесс лазерной сварки разнородных материалов оказывают физико-химические свойства, как самих материалов, так и среды, в которой происходит процесс. Для достижения требуемых показателей качества технологического процесса необходимо обеспечить лазерную сварку в среде нейтральных газов (например, аргона), а геометрическая форма стыка по сварному шву должна определяться формой границы распределения температуры в тугоплавком материале, а ее значение на стыке с легкоплавким равно значению температуры плавления легкоплавкого.

Литература

1. Способ лазерной сварки деталей из разнородных металлов: пат. 2415739 Российская Федерация, С2, МПК В23К/26/40, В23К 9/23, В23К 33/00 / Звездин В.В., Исрафилов И.Х., Велиев Д.Э.; заявители и патентообладатели: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального

образования "Камская государственная инженерно-экономическая академия" – №2009122958/02; Заявлено 16.06.2009; - опубл. 27.12.2010; Приоритет 10.04.2011, Бюл.10.

2. Повышение качества лазерной сварки разнородных металлов / Звездин В.В., Хамадеев А.В., Башмаков Д.И., Файрузов Р.С. // Проектирование и исследование технических систем. Межвузовский научный сборник ГОУ ВПО "Камская государственная инженерно-экономическая академия"; ответственный редактор: А. Х. Хайруллин. - Набережные Челны, 2007. - С. 109-111.

3. Моделирование процессов лазерной термообработки. / Рахимов Р.Р., Звездин В.В., Исрафилов И.Х., Набиуллина Г.И., Саубанов Р.Р. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2014. - № 11-2. - С. 476-484.

4. Моделирование процессов лазерной термообработки / Рахимов Р.Р., Звездин В.В., Исрафилов И.Х., Набиуллина Г.И., Саубанов Р.Р. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2014. - № 11-2. - С. 476-484.

5. Automatic control system of high-precision welding of preparations by the laser radiation at influence of the plasma torch / Zvezdin V.V., Israfilov D.I., Portnov S.M., Saubanov R.R., Rakhimov R.R., Zvezdina N.M. // Известия высших учебных заведений. Физика. - 2015. - Т. 58. - № 9-3. - С. 51-54.

Zvezdin V.V. doctor of economic Sciences, assistant professor, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University.

Rakhimov R.R. senior lecturer, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University.

STUDY OF LASER WELDING OF DISSIMILAR METALS

Abstract: It sets out features of formation of weld dissimilar metals. The results of metallographic studies of the microstructure after the laser welding of dissimilar metals. On the basis of experimental studies have shown that the quality of the welding process depends on the energy performance and the stability of the parameters of the laser technological complex, welding bath temperature, conditions that exclude the oxidative processes of the welded metal and parameters

preconditioning butt surfaces. This approach allows us to further build a system of automated process control laser welding of dissimilar metals.

Key words: laser welding; energy loss; gas environment; the quality of the process; dissimilar metal welding.