

Виды сварки, применяемые при соединении элементов кузовов автомобилей

В.М. Мещеряков

к.т.н., профессор кафедры «Автотранспортные, строительные и дорожные средства» Донского государственного технического университета; г. Ростов-на-Дону

И.В. Топилин

к.т.н., доцент кафедры «Автотранспортные, строительные и дорожные средства» Донского государственного технического университета; г. Ростов-на-Дону

Е.Е. Косенко

к.т.н., доцент кафедры «Автотранспортные, строительные и дорожные средства» Донского государственного технического университета; г. Ростов-на-Дону

e-mail: a123lok@mail.ru

В.В. Косенко

к.т.н., доцент кафедры «Автотранспортные, строительные и дорожные средства» Донского государственного технического университета; г. Ростов-на-Дону

Ф.С. Копылов

студент Донского государственного технического университета; г. Ростов-на-Дону

Аннотация. В статье рассмотрены особенности сварки элементов кузовов автомобилей с применением высококонцентрированных источников энергии. Проведен ориентировочный расчет полей распределения теплоты при использовании лазерной сварки. Приведены изотермы зон термического влияния. Рассмотрены достоинства и недостатки лазерной сварки в сравнении с точечной контактной сваркой. Детально рассмотрены

процессы, проходящие в зоне сварного шва при использовании лазерной сварки.

Ключевые слова: сварка металла, сварной шов, лазерная сварка.

Одним из важных моментов и при изготовлении, и при восстановлении геометрии кузова автомобиля является применение различных способов сварки. Сложность геометрии кузова современного автомобиля, современные материалы, применяемые для его изготовления, позволяют развивать способы их соединения. Кузов автомобиля является самой большой и самой ответственной частью автомобиля, от которой, прежде всего, зависит безопасность водителя, а также безопасность окружающих участников движения, поэтому исследованию надежности конструкции автомобиля, а также моделированию различных нештатных ситуаций посвящено довольно большое количество работ [1–5]. Использование современных технологий позволило создать новые геометрические формы кузова с меньшим аэродинамическим сопротивлением потоку встречного воздуха, что в свою очередь обеспечивает улучшение динамических характеристик автомобиля, уменьшает количество токсичных выбросов, снижается вибрация автомобиля, повышается комфортность салона, создается оригинальное эстетическое оформление.

При изготовлении кузовов автомобилей используется низкоуглеродистая сталь с содержанием углерода не более 0,08%. В основном это сталь двух категорий: ОСВ – для штамповки деталей с особо сложной вытяжкой и СВ – со сложной вытяжкой. Обе эти категории листов выпускаются трех марок: Сталь 08Ю и Сталь 08Фкп – нестареющие и Сталь 08 кп – стареющие. В последнее время начинают применять алюминиевые сплавы, упрочненные или деформированием (нагартовкой), или термическим упрочнением. Помимо этого можно встретить неметаллические материалы – стеклопластики, композитные материалы на основе карбонов и др., однако их применение носит скорее экспериментальный характер.

Кузов автомобиля является многоэлементной конструкцией, состоящей из нескольких сотен элементов, которые соединяются с помощью сварки. Известно, что в процессе формирования сварного соединения в металле шва и в околошовной зоне возникают значительные внутренние напряжения,



что, естественно, вызывает соответствующие деформации, которые способны настолько изменить геометрию кузова, что он может стать непригодным для дальнейшего использования. Именно поэтому при сварке тонколистового металла не применяются такие способы сварки, как газовая, дуговая покрытым электродом, и только сварка в среде углекислого газа тонкой проволокой, обеспечивающая относительно небольшой объем расплавленного металла и небольшую зону термического влияния, еще находит применение в ремонтных работах в службе автосервиса.

В настоящее время основным способом сварки элементов кузовов автомобиля является точечная контактная сварка. Она имеет ряд достоинств: обеспечивает высокую степень автоматизации и механизации самого процесса сварки, высокую производительность сварки, относительно небольшую стоимость оборудования. Однако при формировании сварной точки к электродам прикладывается значительное давление, которое, с одной стороны, необходимо для формирования качественной сварной точки, а с другой – вызывает пластическую деформацию в прилегающем к сварной точке металле, что в конечном счете создает причину возникновения напряжений, которые могут вызвать появление нежелательных зазоров между соединяемыми элементами, щелей и тому подобных дефектов формы и даже могут, в конце концов, привести к нарушению проектной геометрии [6–8].

Подобные дефекты можно устранить применением элементов, увеличивающих жесткость кузова, а также различными герметиками, дополнительной обработкой, а это, так или иначе, увеличивает трудоемкость и стоимость работ.

В последнее время все большее внимание практиков привлекают высококонцентрированные источники энергии для сварки металлов, и в частности – сфокусированный световой луч, т.е. лазер [9, 10]. Возможности лазера уникальны. Прежде всего, лазер может быть сфокусирован на очень маленькой площади, что обеспечивает высокую плотность энергии, достаточную не только для плавления, но даже для испарения металла. На этом основана резка металлов и неметаллов, сверление мельчайших отверстий и другие подобные виды работ. Возможность регулировать мощность излучения и величину площади пятна позволяет изменять количество вводимой энергии в широких пределах и, следовательно, осуществлять сварку металла в широком диапазоне толщин. Главное достоинство лазерной сварки заключается в том, что плотность энергии в пятне нагрева достигает огромной величины, и для того чтобы избежать перегрева металла и испарения его, необходимо обеспечить перемещение пятна на-

грева с большой скоростью, т.е. обеспечить высокую погонную энергию. Схема сварочной ванны представлена на рис. 1.

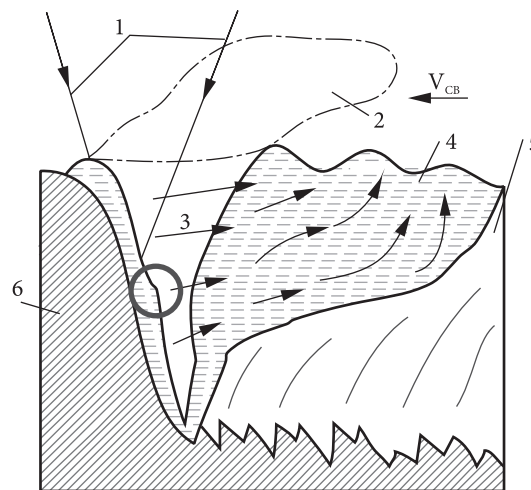


Рис. 1. Схема сварочной ванны при лазерной сварке: 1 – лазерный луч; 2 – плазменный факел; 3 – парогазовый канал; 4 – хвостовая часть ванны; 5 – металл шва; 6 – свариваемый металл; $V_{св}$ – направление сварки

Расчеты температурных полей показывают, что в этом случае сварочная ванна будет иметь минимальные размеры (ширина сварного шва находится в пределах 1...1,5 мм), а общая ширина зоны термического влияния едва ли превысит несколько десятых долей миллиметра (рис. 2).

Это означает, что входящая в состав околошовной зоны область перегрева (зона разупрочнения 2 на рис. 2) из-за огромной скорости охлаждения сварного шва будет иметь минимальные размеры и, следовательно, не будет оказывать практически никакого влияния на деформативность сварного соединения в отличие от деформаций, возникающих при контактной сварке. В этом случае исключается необходимость введения дополнительных элементов, увеличивающих жесткость кузова.

Важной особенностью процесса лазерной сварки является распространение теплоты в массивном теле, которую возможно проконтролировать при создании зоны термического влияния, так как в основном там находятся дефекты.

Предельное состояние процесса распространения теплоты при нагреве пластины мощным быстро движущимся линейным источником можно получить из уравнения:

$$\Delta T = \frac{q}{2\pi\lambda\delta} e^{-\frac{vx}{2a}} \cdot Ko \left(\frac{vr}{2a} \sqrt{1 + \left(\frac{4ba}{v^2} \right)} \right). \quad (1)$$

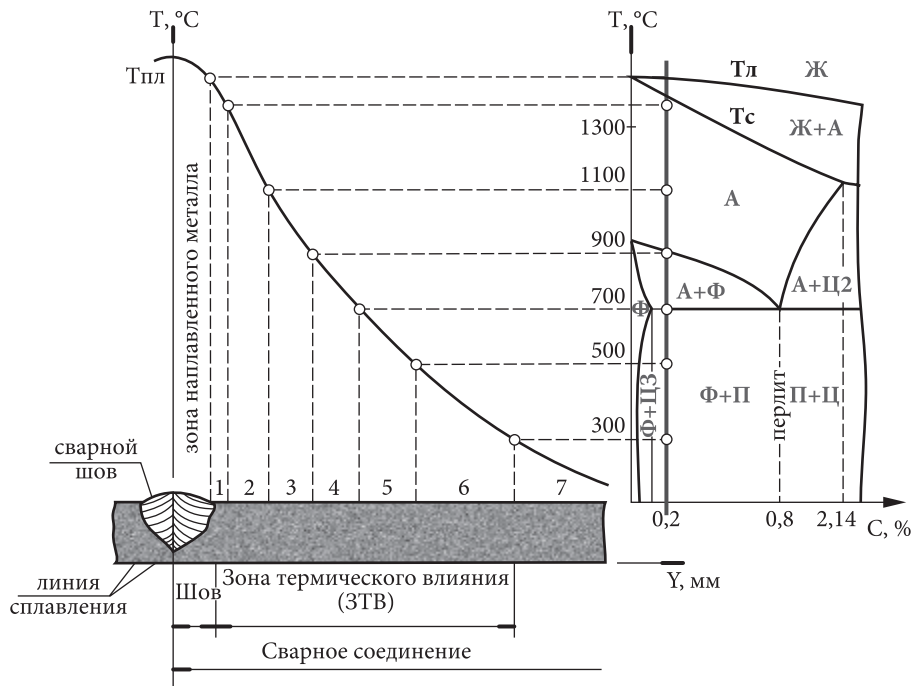


Рис. 2. Схема строения зоны термического влияния сварного соединения при однослойной дуговой сварке низкоуглеродистой стали с содержанием углерода $C = 0,2\%$

Ход рассуждений, основанный на предположении, что теплота распространяется только в направлении стержня, такой же, как для случая точечного источника теплоты. Действительно, источник выделяет на отрезках длиной dx теплоту:

$$Q = \frac{qdx}{v} \quad (2)$$

Эта теплота распространяется вдоль стержня l , ограниченного l и l' и имеющего поперечное сечение δdx . Подставляя указанные величины в уравнение:

$$\Delta T = \frac{Q/F}{Cr(4\pi at)^{1/2}} e^{-\frac{x^2}{4at} - bt} \quad (3)$$

и заменяя координату x на y , а также учитывая поверхностную теплопередачу, получим:

$$\Delta T = \frac{q}{v\delta\sqrt{4\pi\lambda Cpt}} e^{-\frac{y^2}{4at} - bt} \quad (4)$$

где q – тепловая мощность сварочной дуги; v – скорость сварки; δ – толщина свариваемого металла; λ – коэффициент теплопроводности; Cp – удельная теплоемкость; t – время работы сварки; y – координата; a – коэффициент температуропроводности; b – коэффициент температуроотдачи.

В связи с вышесказанным проведем ориентировочный расчет изотерм зон термического влияния. Для расчета изотерм воспользуемся данными, представленными в *табл. 1*.

Параметры координат изотерм получены посредством расчета и представлены в *табл. 2*.

Для наглядности на *рис. 3* представлено графическое изображение изотерм.

Приведенные расчеты и диаграммы показывают, что лазерная сварка, обеспечивающая высокую плотность энергии в пятне нагрева, приводит к образованию зоны термического влияния малой протяженности, что обеспечивает образование минимальной зоны разупрочнения и, следовательно, обеспечивает высокие свойства сварного соединения. При толщине свариваемого металла 1,3 мм ширина сварного шва составляет 2,7 мм, а полная ширина зоны термического влияния составляет всего 0,3 мм.

Таблица 1.

Данные для расчета

a	$V_{св}$	δ	π	λ	Cp	q_u	T	T_n
9,47368E-06	0,027	0,0013	3,141593	36	3800000	3600	450	20

Таблица 2.

Полученные параметры изотерм ЗТВ

	420	20	700	20	900	20	1100	20	1460	20	1550	20
x	y											
0,00005	0,0005827		0,000554408		0,00053784		0,000524313		0,000504694		0,0005	
0,0001	0,000794		0,000752393		0,00072795		0,000707931		0,000678815		0,000673	
0,00015	0,0009502		0,000898033		0,00086728		0,000842062		0,000805972		0,000797	
0,00027	0,0012304		0,001157697		0,0011147		0,00107933		0,001027588		0,001016	
0,00033	0,0013431		0,001261597		0,00121335		0,00117361		0,0011154		0,001103	
0,00039	0,0014444		0,001354631		0,0013016		0,001257803		0,001193567		0,00118	
0,00045	0,0015369		0,001439604		0,00138189		0,001334269		0,00126435		0,001249	
0,00051	0,0016224		0,00151789		0,00145583		0,001404582		0,001329259		0,001313	
0,00057	0,0017021		0,001590773		0,00152456		0,00146985		0,001389357		0,001372	
0,00063	0,0017771		0,001659122		0,00158893		0,001530892		0,001445426		0,001427	

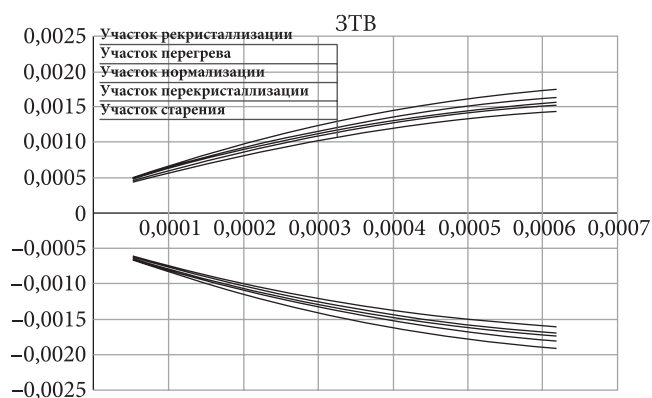


Рис. 3. Изотермы зон термического влияния

Литература

1. Косенко Е.Е., Косенко В.В., Черпаков А.В., Мещеряков В.М., Егорочкин А.О. Моделирование напряженного состояния элемента рамной конструкции автомобиля в КЭ комплексе ansys // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. – 2014. – № 4. – С. 79–84.
2. Tepliakova S.V., Kosenko E.E., Kosenko V.V., Cherpakov A.V. Analysis of Requirements to Ensure Absolute Reliability of Machines // Abstracts & Schedule. International Conference on «Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications» (PHENMA 2016) Surabaya, Indonesia, July 19–22, 2016, pp. 267–268.
3. Tepliakova S.V., Kosenko E.E., Kosenko V.V., Cherpakov A.V. Mathematical Modeling of Ensuring Machine Reliability // Abstracts & Schedule. International Conference on «Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications» (PHENMA 2016) Surabaya, Indonesia, July 19–22, 2016, pp. 269.
4. Косенко Е.Е., Косенко В.В., Черпаков А.В. Исследование колебаний полнотелой стержневой

модели кантилевера с дефектом // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2153.

5. Косенко Е.Е., Косенко В.В., Черпаков А.В. Моделирование стержней с дефектами, имеющих различные виды закрепления // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2155.

6. Орешенко П.Ю., Лецковник А.В., Козловский С.Н. Исследование причин образования непроваров при точечной контактной сварке // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2012. – Т. 1. – № 8. – С. 99–100.

7. Захаров В.В., Кононова Е.В., Козловский С.Н. Исследование влияния зазоров на усилие сжатия деталей при точечной контактной сварке // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2012. – Т. 1. – № 8. – С. 93–94.

8. Рыжков А.И., Хазов Б.Ф. Отказы и предельное состояние технологического оборудования сварки кузовов в массовом производстве автомобилей // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2007. – № 10. – С. 14–24.

9. Мещеряков В.М., Косенко Е.Е., Богер А.А. Применение высококонцентрированных источников энергии в автомобилестроении // В сб.: Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы международной научно-технической конференции. – 2017. – С. 307–308.

10. Хайруллин Т.В., Столбов В.И. Лазерно-плазменный способ сварки тонколистовых сварных составных заготовок tailored blanks для штамповки деталей кузова автомобиля // В сб.: Современные проблемы повышения эффективности сварочного производства. Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием. – Тольятти. – 2006. – С. 54–56.

The Types of Welding Applied at Connection of Elements of Car's Bodies

V.M. Meshcheryakov, candidate of technical sciences, professor of the department «Motor transport, construction and road facilities» of the Don state technical university; Rostov-on-Don

I.V. Topilin, candidate of technical sciences, associate professor of the department «Motor transport, construction and road facilities» of the Don state technical university; Rostov-on-Don

E.E. Kosenko, candidate of technical sciences, associate professor of the department «Motor transport, construction and road facilities» of the Don state technical university; Rostov-on-Don

e-mail: a123lok@mail.ru

V.V. Kosenko, candidate of technical sciences, associate professor of the department «Motor transport, construction and road facilities» of the Don state technical university; Rostov-on-Don

F.S. Kopilov, student of the department «Motor transport, construction and road facilities» of the Don state technical university; Rostov-on-Don

Summary. In article features of welding of elements of car bodies with application of the high-concentrated power sources are considered. Approximate calculation of fields of distribution of warmth when using laser welding is carried out. Isotherms of zones of thermal influence are given. Merits and demerits of laser welding in comparison with spot contact welding are considered. The processes which are taking place in a zone of a welded seam when using laser welding are in details considered.

Keywords: metal welding, welded seam, laser welding.

References:

1. Kosenko E.E., Kosenko V.V., Cherpakov A.V., Meshcheryakov V.M., Egorochkin A.O. Modeling of tension of an element of a frame design of the car in ansys KE complex. *Bulletin of the Donetsk academy of the motor transport*. 2014, No. 4. pp. 79–84.

2. Tepliakova S.V., Kosenko E.E., Kosenko V.V., Cherpakov A.V. Analysis of requirements to ensure absolute reliability of Machines. *Abstracts & schedule. international conference on «physics and mechanics of new materials and their Applications» (PHENMA 2016)*. Surabaya, Indonesia, 2016. pp. 267–268.

3. Tepliakova S.V., Kosenko E.E., Kosenko V.V., Cherpakov A.V. Mathematical modeling of ensuring machine reliability. *Abstracts & schedule. international conference on «physics and mechanics of new materials and their Applications» (PHENMA 2016)*. Surabaya, Indonesia, 2016. p. 269.

4. Kosenko E.E., Kosenko V.V., Cherpakov A.V. the Research of fluctuations of corpulent rod model of a cantilever with defect. *Engineering bulletin of Don*. 2013, No. 4. Available at: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2153.

5. Kosenko E.E., Kosenko V.V., Cherpakov A.V. Modeling of the cores with defects having different types of fixing. *Engineering bulletin of Don*. 2013, No. 4 Available at: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2155.

6. Oreshenko P.Yu., Letskovnik A.V., Kozlowski S.N. Reserch of the reasons of formation of not penetrations at spot contact welding. *Current problems of aircraft and astronautics*. 2012, Volume 1, No. 8. pp. 99–100.

7. Zakharov V.V., Kononova E.V., Kozlowski S.N. A research of influence of gaps on effort of compression of details at spot contact welding. *Current problems of aircraft and astronautics*. 2012, Volume 1, No. 8. pp. 93–94.

8. Ryzhkov A.I., Hazov B.F. Refusals and a limit condition of processing equipment of welding of bodies in mass production of cars. *Assembly in mechanical engineering, instrument making*. 2007, No. 10. pp. 14–24.

9. Meshcheryakov V.M., Kosenko E.E., Boger A.A. Application of the high-concentrated power sources in automotive industry. Transport and transport and technological systems. *Materials of the international scientific and technical conference*. 2017. pp. 307–308.

10. Khairullin T.V., Stolbov V.I. A laser and plasma way of welding of thin-sheet welded compound preparations tailored blanks for stamping of details of a body of the car. Modern problems of increase in efficiency of welding production. *The All-Russian scientific and technical conference with the international participation*. Toliatti, 2006. pp. 54–56.