

УДК 621

Стреленко Н. М., Зворыкина А. К.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт».
Украина, г. Киев

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ СТАЛИ С АЛЮМИНИЕМ В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ

Автомобилестроение лидирует среди других отраслей промышленности в использовании высоких технологий конструкционных материалов и способов их соединения. Тенденция применения разнородных материалов в автомобилестроении растет, а соединения стали с алюминием имеют значительную актуальность для применения в каркасе автомобиля. Рассмотрены основные проблемы получения неразъемного соединения стали с алюминием в области автомобилестроения. Представлены новые методы контактной точечной сварки разнородных материалов на примере стали с алюминием.

Ключевые слова: автомобилестроение; разнородные материалы; алюминий; стальная накладка; контактная точечная сварка.

Отрасль автомобилестроения является одной из крупнейших потребителей конструкционных материалов в мире. При этом рост требований к материальным ресурсам формирует конкуренцию, как между производителями различных видов материалов, так и прогресс в разработке новых технологий соединения разнородных материалов. Несмотря на значительные трудности сварки, конструкции из разнородных материалов и сплавов в современной технике изготавливают во все большем объеме. Это обусловлено значительными техническими и экономическими преимуществами, которые имеют конструкции из разнородных металлов и сплавов.

Фактически каждое существенное изменение модельного ряда автомобилей приводит к значительным изменениям в составе конкретных конструкционных материалов и, как результат, в технологии его соединения — определенном методе сварки. Несмотря на рост использования в автомобилестроении новых конструкционных материалов

ведущую роль в производстве продолжает играть стальной прокат, алюминий, алюминиевые сплавы.

Требования к конструкционным материалам являются составным элементом общих требований к современному автомобилю. Из множества факторов, определяющих выбор материала, основными являются: масса автомобиля, технологичность и надежность. С целью уменьшения расхода топлива одним из возможных решений является уменьшение веса автомобиля. Что может быть достигнуто с помощью применения легких материалов, таких как алюминий или углеродистое волокно. При этом для обеспечения безопасности необходимо использование стали.

В автомобилестроении применяются различные материалы и их комбинации (рис. 1), особенно распространенными на сегодняшний день являются соединения алюминия с высокопрочной сталью. Востребованность конструкций, состоящих из соединения стали и алюминия, обусловлена получением оптимальных свойств изделия, возможных только при сочетании этих двух металлов.

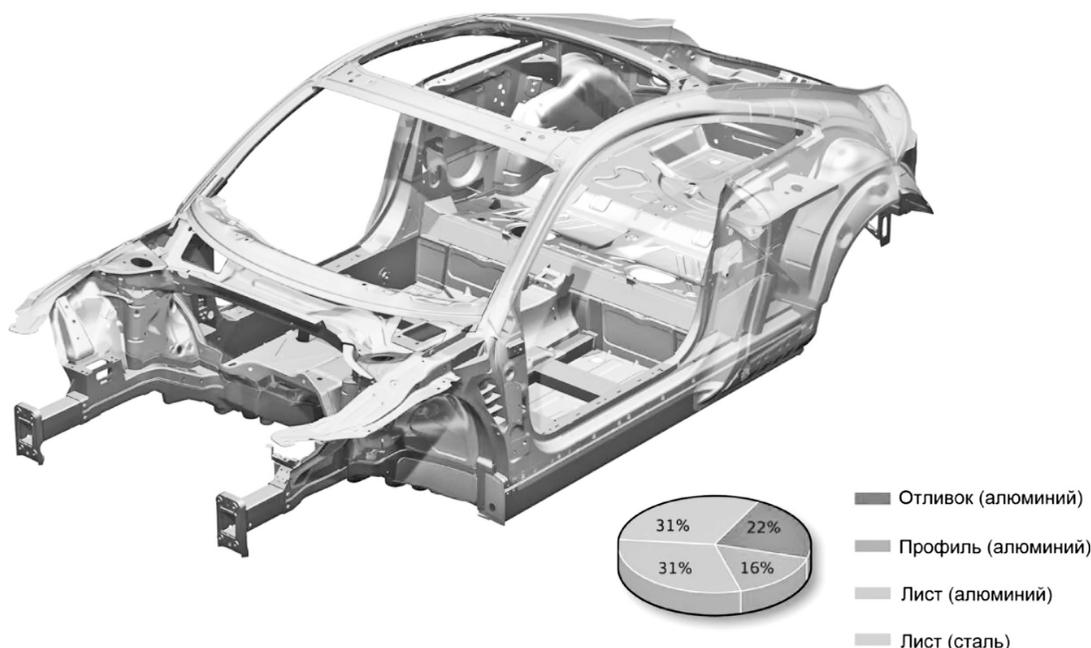


Рис. 1. Материалы, которые применяются в кузове автомобиля Audi Coupe TT [1]

Для получения качественного неразъемного соединения стали с алюминием необходимо провести оценку свариваемости, рассмотреть их совместимость и учесть трудности, которые могут возникнуть при их соединении.

При сварке алюминия со сталью возникает ряд проблем: металлы металлургически несовместимы и имеют множество принципиальных отличий в характеристике кристаллической решетки. Следует учитывать особенности физико-химического поведения алюминия, также его взаимодействия с кислородом. Образование хрупких интерметаллических фаз является важнейшей проблемой при сварке алюминия со сталью.

Интерметаллические фазы имеют независимую, как правило, довольно сложную пространственную решетку из-за ограниченной способности движения дислокаций. Причиной образования интерметалли-

ческих фаз является полная нерастворимость железа в алюминии в твердом состоянии. Таким образом избежать образования интерметаллических фаз при формировании соединения невозможно. Поэтому принято ограничивать толщину интерметаллидного слоя до 10 мкм, чтобы обеспечить надежное соединение с хорошими механическими свойствами [2].

Сталь и алюминий имеют разные физические свойства, такие как температура плавления, плотность, электропроводность, теплопроводность и тепловое расширение (табл. 1). Разность температур плавления и уровня теплопроводности приводит к неравномерности растворения металлов в реакционной зоне сварки. На практике это можно увидеть в том, что алюминий уже находится в жидком состоянии, а сталь еще не разогрелась.

Из-за такой разницы в физико-химических свойствах образуется недостаточно прочный свар-

Таблица 1

Свойства алюминия и стали [2]

Параметры	Железо	Алюминий
Плотность; $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	7,86	2,7
Электропроводность (20 °С); $\frac{\text{м}}{\Omega \cdot \text{мм}^2}$	10	37
Теплопроводность (0–100 °С); $\frac{\text{Дж}}{\text{см} \cdot \text{с} \cdot \text{К}}$	0,67	2,09
Тепловое расширение (0–100 °С); $10^{-6} \frac{\text{м}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	12	24
Температура плавления; °С	1536	660

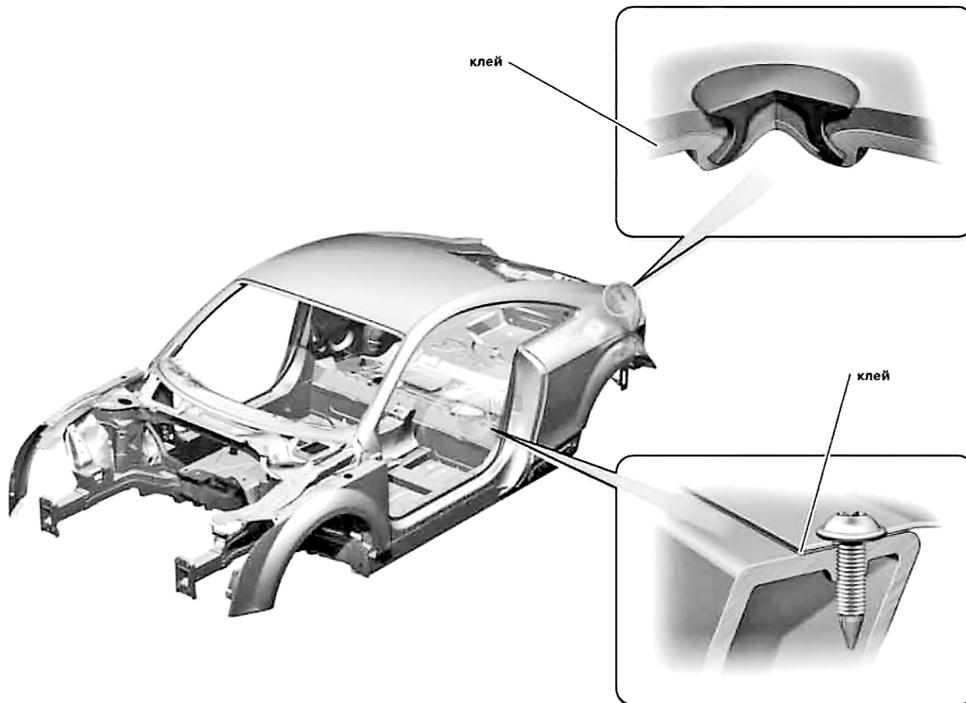


Рис. 2: Механические способы соединения стали с алюминием в кузове Audi CoupeTT [3]

ной шов. Для получения качественных неразъемных соединений с высокими производственными характеристиками можно использовать механическое соединение стали с алюминием, а так же ультразвуковую, диффузную, контактную сварку.

Распространенным видом механического соединения внахлест стали с алюминием является клёпка, клинчевание, соединение с помощью винтов и болтов. В технологии соединения сталь – алюминий для защиты от коррозии возможно применение различных композиций клея (рис. 2).

Однако с применением высокопрочных сталей (1500 МПа), где невозможно применение механических методов соединения они отошли на второй план.

Контактная точечная сварка конструкций из лёгкого металла без дополнительной обработки невозможна. Так и сварка стали с алюминием усложнена выше названными свойствами, а особенно температурой плавления и электропроводностью. Поэтому столь актуальными являются новые методы получения соединений сталь-алюминий. Новым направлением есть контактная точечная сварка с механическим внесением вспомогательного элемента в соединение сталь – алюминий.

Этот метод был разработан на базе концерна Volkswagen AG и относится к термически-механическим способам сварки. Он позволяет соединять разнородные материалы, такие как алюминий и сталь в два этапа (рис. 3). По технологии на первом этапе



Рис. 3: Контактная точечная сварка с механическим внесением вспомогательного элемента [4]

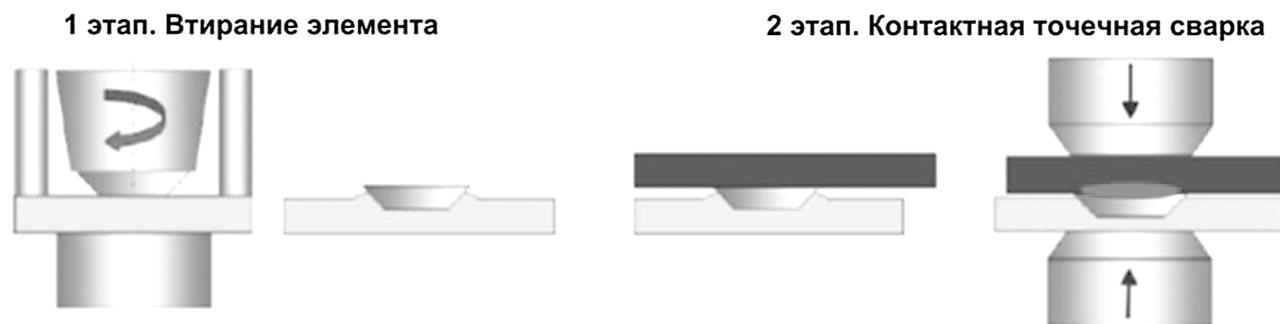


Рис. 4: Контактная точечная сварка с внесением вспомогательного элемента при помощи сварки трением [5]

предусмотрено применение стального вспомогательного элемента, который штамповывается в алюминиевую пластину с предварительно выполненным отверстием. Далее происходит второй этап: на вспомогательный элемент контактной точечной сваркой приваривается стальная пластина.

Данный метод позволяет соединить сталь и алюминий без необходимости деформации стали, в отличие от чисто механических методов соединения. Таким образом, диапазон сталей, которые можно соединять существенно увеличивается. Однако и тут есть ограничения, сложности и соответственно, недостатки, которые заключается во вдавливании вспомогательного элемента и склонности материала к коррозии. Поэтому были предложены усовершенствованные методы внесения вспомогательного элемента.

Контактная точечная сварка с внесением вспомогательного элемента при помощи сварки трением

Присоединение стальной накладки осуществляется с помощью сварки трением, при этом второй этап остается неизменным — контактная точечная сварка.

С определенным усилием давления на свариваемую деталь прижимом, обеспечивается соединение стальной накладки с алюминиевой пластиной. В

случае превышения осевого усилия осуществляется измерение относительных перемещений. При этом загрязнения, оксидная пленка уже при первом обороте удалены, либо вытеснены наружу. Вследствии интенсивной массопередачи между стальной накладкой и алюминиевой пластиной происходит диффузионное взаимодействие. Когда стальная накладка образует соединение с алюминиевой пластиной — первый этап процесса закончен и выполняется контактная точечная сварка.

Контактная точечная сварка с внесением вспомогательного элемента при помощи ультразвуковой сварки

Следующим методом присоединения вспомогательного элемента на алюминиевую пластинку является ультразвуковая сварка (рис. 5).

При ультразвуковой сварке свариваемые пластинки прижимаются с помощью волновода к наковальне и происходит трение по контактной поверхности. При этом на поверхности разрушаются и удаляются загрязнения, оксидные пленки. В завершении проходит второй этап — контактная точечная сварка стальной пластины [6].

Преимуществами этого метода является: короткое время сварки (меньше одной секунды); отсутствие необходимости подготовки поверхности деталей; из-за незначительного тепловложения не

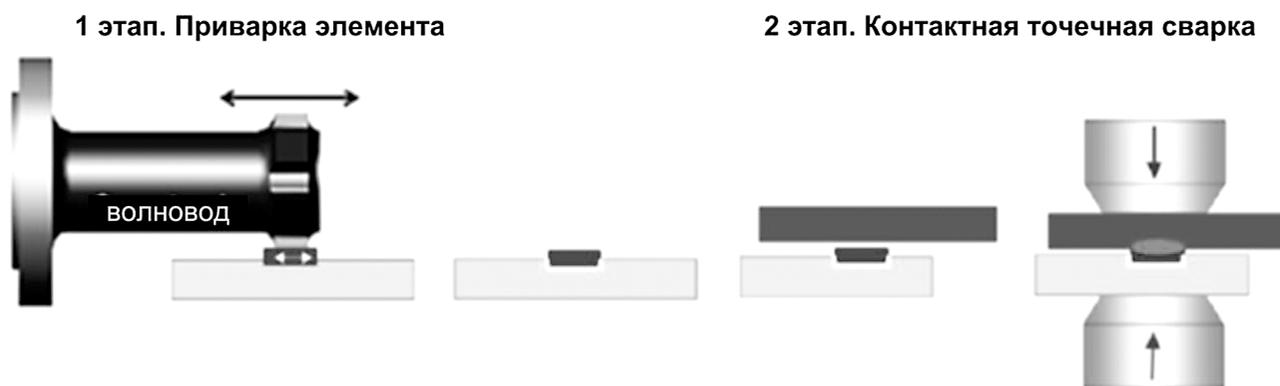


Рис. 5: Контактная точечная сварка с внесением вспомогательного элемента при помощи ультразвуковой сварки [6]

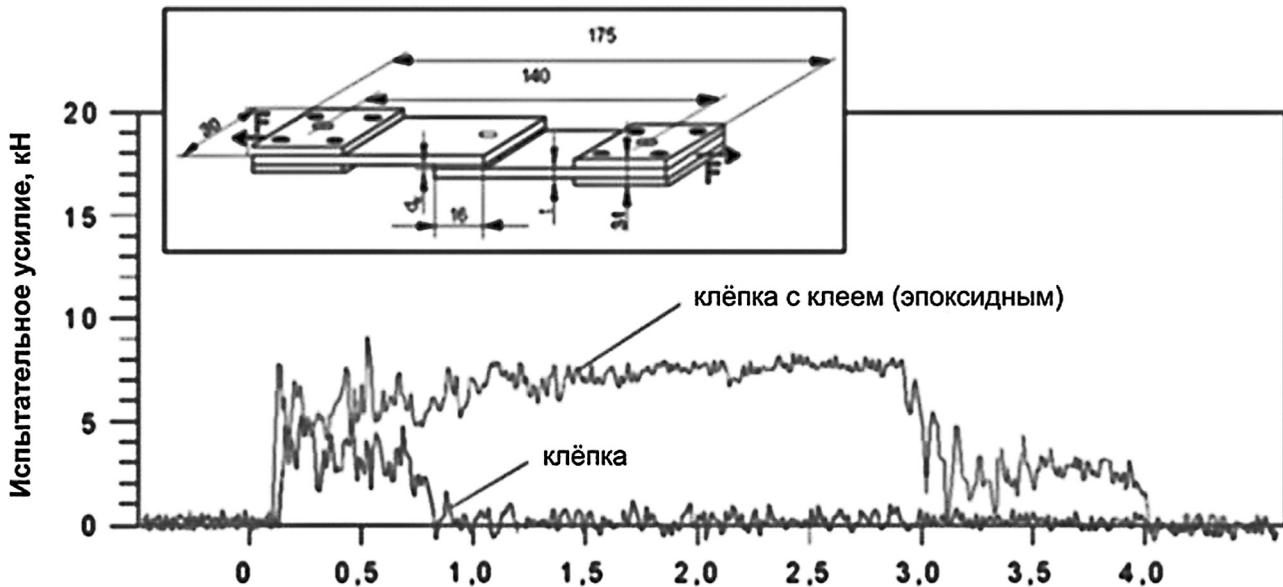


Рис. 6. Разница между усилиями, которые выдерживают точечные соединения с клеем и без [4]

происходит расплавление металла и, соответственно, не возникают интерметаллические фазы.

Контактная точечная сварка с клеевым слоем

Вышеперечисленные методы сварки стали с алюминием могут быть дополнительно упрочнены за счет применения композиций клея. Клей обеспечивает коррозионную защиту и увеличивает устойчивость соединений к нагрузкам. Клеевой слой наносится в мягком состоянии на вспомогательный элемент, присоединенный к алюминиевой пластине, только после этого выполняется контактная точечная сварка. Для затвердения клеевого слоя необходима термическая обработка, в автомобилестроении применяется катодное погружение с нанесением лакокрасочного покрытия.

Прочность точечного соединения, которое помимо сварки укреплено еще и клеем, в разы увеличивается (рис. 6). Сварная точка разгружена от вибрационных нагрузок, и соответственно, нагрузочная способность сварной точки увеличивается [6].

Проблемой при сварке клеевых соединений является выгорание клея, и чем больше сварная точка, тем больше тепловложение и, соответственно, больше клея в зоне сварки выгорает.

Выводы

С помощью новых методов контактной точечной сварки алюминия со сталью получение соединений разнородных материалов становится возможным. С помощью минимального ввода тепла в

зону сварки есть возможность уменьшить вероятность образования интерметаллических фаз. Добавление клеевого слоя позволяет точечным соединениям подвергаться более значительным нагрузкам, чем соединениям без клея.

Рассмотренные методы сварки являются перспективными для будущего автомобилестроения и требуют дальнейшей разработки оптимальных технологий сварки для обеспечения качественного соединения таких разнородных материалов как сталь с алюминием.

Литература

- [1] <http://www.audi.de/de/brand/de.html>
- [2] Jank, N.; Staufer, H.; Bruckner, J.: Schweißverbindungen von Stahl mit Aluminium – eine Perspektive für die Zukunft, BHM, 153, Jahrgang: Heft 5 (2008), S. 189–192.
- [3] Friedrich, H. E.: Leichtbau in der Fahrzeugtechnik, ATZ / MTZ-Fachbuch, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, s.l., 2013
- [4] Meschut, G.; Hahn, O.; Olfermann, T.: Joining technologies for multi-material design – a key to efficient future mobility, Tagungsband Materialien des Karosseriebaus, Hannover, Bad Nauheim, 2012
- [5] Heiko, R., Yang, Y, Broda, T., Koltschote C.: Neuartige Widerstandspunktschweißverfahren für den automobilen Aluminium-Stahl-Mischbau, 22. DVS-Sondertagung Widerstandsschweißen, 2013
- [6] Ostermann, F.: Anwendungstechnologie Aluminium, Springer Berlin Heidelberg, Berlin/Heidelberg, 2014

Strelenko N. M., Zvorykina A. C.

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute». Ukraine, Kiev

MODERN TECHNOLOGY OF WELDING STEEL TO ALUMINUM IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

The automotive industry is lead among other industries in use of high technologies of constructional materials and ways of their connection. The tendency of use of diverse materials grows in automotive industry, and compounds of steel with aluminum have considerable relevance for application in a car framework. The main problems of receiving one-piece compound of steel with aluminum in the area automotive industry are considered. New methods of contact spot welding of diverse materials on the example of steel with aluminum are presented.

Keywords: automotive industry; dissimilar materials; aluminium; steel trim; resistance spot welding.

References

- [1] <http://www.audi.de/de/brand/de.html>
- [2] Jank, N.; Staufer, H.; Bruckner, J.: Schweißverbindungen von Stahl mit Aluminium – eine Perspektive für die Zukunft, BHM, 153, Jahrgang: Heft 5 (2008), S. 189–192.
- [3] Friedrich, H. E.: Leichtbau in der Fahrzeugtechnik, ATZ / MTZ-Fachbuch, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, s.l., 2013
- [4] Meschut, G.; Hahn, O.; Olfermann, T.: Joining technologies for multi-material design – a key to efficient future mobility, Tagungsband Materialien des Karosseriebaus, Hannover, Bad Nauheim, 2012
- [5] Heiko, R., Yang, Y, Broda, T., Koltshote C.: Neuartige Widerstandspunktschweißverfahren für den automobilen Aluminium-Stahl-Mischbau, 22. DVS-Sondertagung Widerstandsschweißen, 2013
- [6] Ostermann, F.: Anwendungstechnologie Aluminium, Springer Berlin Heidelberg, Berlin/Heidelberg, 2014