

УДК 622

**ВЛИЯНИЕ ИНЕРТНОГО ГАЗА НА ПОВЕРХНОСТЬ РАЗДЕЛА И
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНОЙ ПЛАСТИНЫ CU/CU
ПРИ СВАРКЕ ВЗРЫВОМ.**

Кочкалов А.Д., Ву Ван А.Н.

Научный руководитель: академик РАН, д.т.н., профессор Лысак В.И.

*Волгоградский государственный технический университет***Аннотация**

В этом исследовании сварка композитов Cu / Cu взрывом была защищена с использованием инертного газа для улучшения качества композита. Композитные пластины Cu / Cu были изготовлены в атмосфере гелия и сравнены с идентичными пластинами, изготовленными в воздушной среде с теми же параметрами. Были оценены механические свойства поверхности соединения. Морфология поверхности раздела композитов, сваренных под действием гелия, значительно отличается от поверхности раздела композитов, сваренных под действием воздуха, из-за различного давления ударных волн в газообразных средах. Следовательно, инертный газ играет важную роль в улучшении свойств композитных пластин. Защита от инертного газа может применяться в качестве эффективного производственного метода при сварке металла взрывом под напряжением.

Ключевые слова: Сварка взрывом, защита от инертного газа, поверхность соединения.

**The effect of an inert gas on the interface and mechanical properties of a
Cu/Cu composite plate during explosion welding.**

Kochkalov A.D., Vu Van A.N.

Scientific supervisor: Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of
Technical Sciences, Professor Lysak V.I.*Volgograd State Technical University***Annotation**

In this study, the welding of Cu/Cu composites by explosion was protected using an inert gas to improve the quality of the composite. Cu/Cu composite plates were manufactured in a helium atmosphere and compared with identical plates manufactured in an air environment with the same parameters. The mechanical

properties of the joint surface were evaluated. The morphology of the interface of composites welded under the action of helium differs significantly from the interface of composites welded under the action of air due to the different pressure of shock waves in gaseous media. Therefore, the inert gas plays an important role in improving the properties of composite plates. Inert gas protection can be used as an effective production method for welding metal with an explosion under tension.

Keywords: Explosion welding, inert gas protection, joint surface.

1. Введение

Сварка взрывом - это хорошо известная технология получения композитных пластин, как из схожих, так и из разнородных металлов в больших масштабах [14], и существует множество исследований по сварке взрывом композитов Cu-Al, Cu-Ti. В этом исследовании для уменьшения дефектов, возникающих при обычной сварке взрывом композитов Cu-Cu, композитные пластины Cu-Cu изготавливались в атмосфере гелия с использованием сварки взрывом, и влияние на эксплуатационные характеристики изучалось путем сравнения микроструктуры и механических свойств с композитной пластиной, сваренной обычным способом аналогичным образом.

2. Материалы и методы

2.1. Материалы

Размеры (Cu-Cu) метаемой пластины и неподвижных: 600x200x2,5.

Химический состав использованных материалов, представлен в табл. 1.

Обозначение марок	Массовая доля элемента												Способ получения (справочный)
	Медь + серебро, не менее	Примеси, не более											
		Висмут	Железо	Никель	Цинк	Олово	Сурьма	Мышьяк	Свинец	Сера	Кислород	Фосфор	
M1	99,90	0,001	0,005	0,002	0,004	0,002	0,002	0,002	0,005	0,004	0,05	—	Переплавка катодов

Таблица 1. Химический состав экспериментальных материалов (%).

2.2. Сварка взрывом композитных пластин

На рис. 1 показана схематическая иллюстрация сварки взрывом. В этом исследовании использовалось параллельное расположение слоев. Взрывчатое вещество Аммонит 6 ЖВ+ кв. песок было равномерно нанесено на листовую пластину толщиной 20 мм и плотностью 0,55 г/см³, скорость детонации составляет 2300 м/с, приблизительно измеренная непрерывным датчиком скорости [3]. Нижний предел окна свариваемости для сварки взрывом Cu-Cu составляет $V_{pmin} = 350$ м / с, и скорость наклонного столкновения пластины с

листом V_p должна быть выше. Наконец, был сконструирован контейнер, заполненный гелием, чтобы убедиться, что пространство между пластинами находится в атмосфере гелия, и композитная пластина Cu-Cu сваривалась в газовой защите. Другая композитная пластина была сварена с теми же параметрами, но в воздушной среде, чтобы распознать эффект защиты от газа.

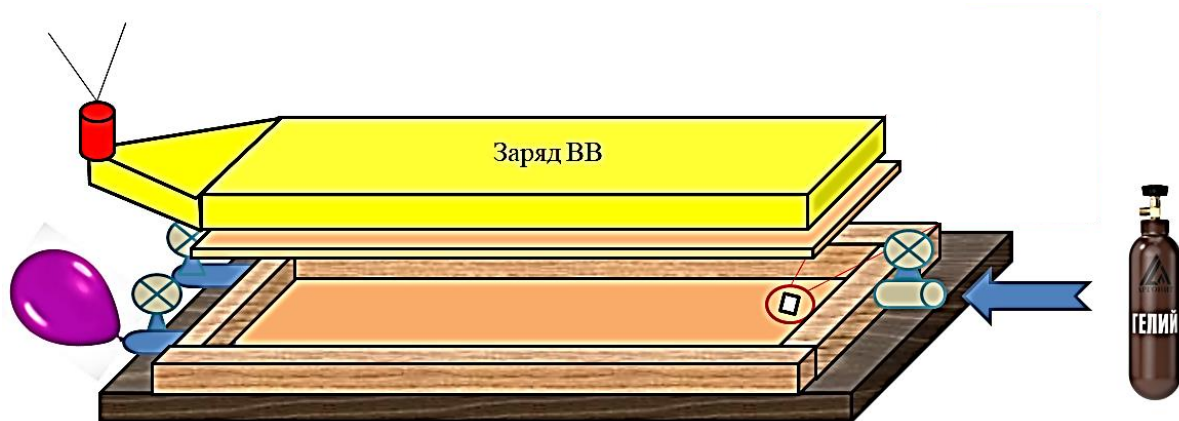


Рис. 1. Схематическая иллюстрация условий сварки взрывом медных пластин.

Результаты и обсуждения

3.1. Морфология поверхности раздела

На рис. 2, рис. 3 показана морфология поверхности раздела образцов, сваренных в гелиевой и воздушных средах соответственно. В обоих образцах образовалась периодическая волновая граница раздела. Механизм формирования волновой границы раздела изучался и детализировался многими учеными [4,5]. В процессе сварки взрывом высокоскоростное косое столкновение и кинетическая энергия метаемой пластины приводят к сильной пластической деформации и выделению тепла на поверхности раздела. Струйный поток, образованный расплавленным металлом, удаляет загрязнения из области контакта. По мере накопления возмущения струйный поток периодически проникал через пластины и формировал волновую границу раздела [6,7]. Длина волны и амплитуда образца, сваренного в воздушной среде, составили 1900 мкм и 570 мкм соответственно. Между тем, длина волны и амплитуда образца, сваренного в среде гелия, составляли 1370 мкм и 330 мкм соответственно. Морфология поверхности раздела существенно различалась из-за различного давления ударных волн в **газовых средах**. При сварке взрывом v совпадает со скоростью детонации. Следовательно, плотность газа является ключевым фактором,

влияющим на давление ударной волны. Поскольку плотность воздуха намного выше, чем у гелия, что приводит к более высокому давлению воздуха, ударная волна даже привела к подъему метаемой пластины и, как следствие, к большему расстоянию отрыва, что привело к изменению угла столкновения β и скорости пластины V_p , что в конечном итоге повлияло на морфологию поверхности раздела.

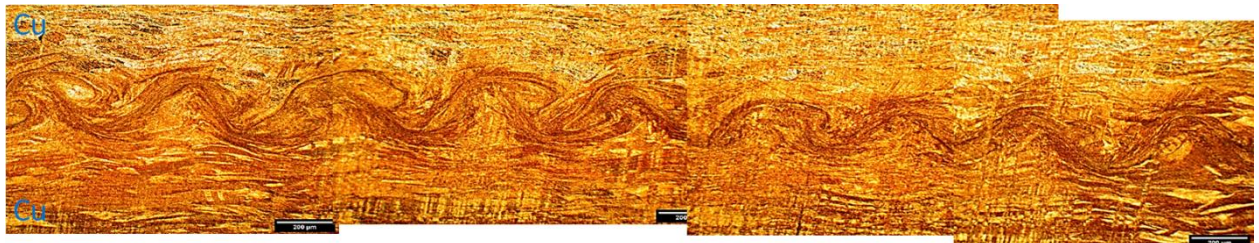


Рис 2. Микроскопические изображения образца, сваренного под действием гелия.



Рис. 3. Микроскопические изображения образца, сваренного под воздействием воздуха.

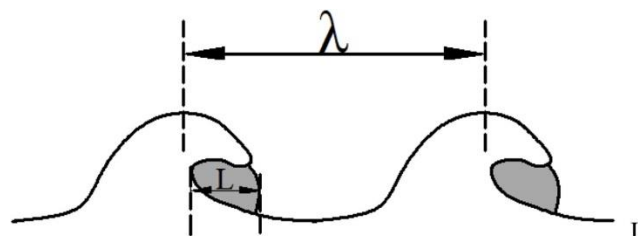


Рис.4. Основные параметры соединения: λ - длина волны; L - длина области расплава.

3.2 Свойства поверхности соединения

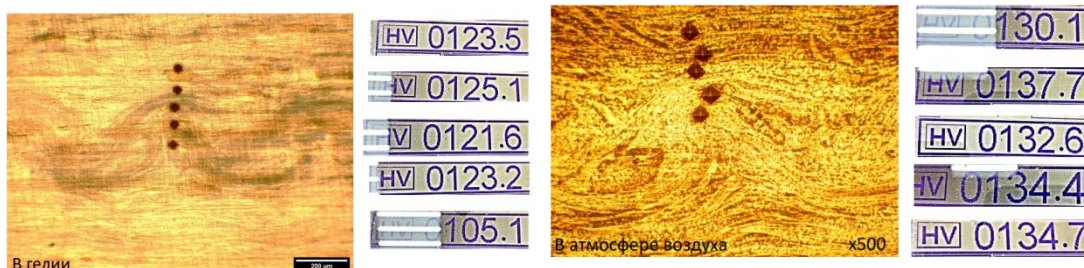


Рис.5. Распределение микротвердости на поверхности раздела в каждом образце.

На рис. 5. показана твердость на границе раздела, существенной разницы в твердости поверхности раздела между образцами, сваренными под действием гелия и воздуха, нет.

Выводы:

В этом исследовании композитные пластины Cu-Cu были изготовлены сваркой взрывом в атмосфере гелия. При сравнении с идентичными композитными пластинами, сваренными при тех же параметрах, но в воздушной среде, результаты показывают, что сварка взрывом в атмосфере инертного газа может эффективно улучшить качество сварного шва.

Библиографический список

1. Дерибас, А. А. Физика упрочнения и сварки взрывом/ А. А. Дерибас. – 2-е изд. доп. перераб. – Новосибирск: Наука, 1980. – 222 с
2. Ишуткин С.Н., Кирко В.И., Симонов В.А. Исследование теплового воздействия ударно-сжатого газа на поверхность соударяющихся пластин // Физика горения и взрыва. 1980. №6. С. 69-73.
3. Ишуткин С. Н., Кирко В. И., Пак Н. И. Численное исследование воздействия газового потока на поверхность сталкивающихся пластин // Физика горения и взрыва. 1981. №1. С. 151-153.
4. Годунов С. К., Дерибас А. А., Мали В. И. О влиянии вязкости материала на процесс образования струй при соударениях металлических пластин // Физика горения и взрыва. 1975. №1. С.3-18.
5. S.V. Khaustov, V.V. Pai, V.I. Lysak, S.V. Kuz'min, Investigation of Thermal Processes in the Gap during Explosion Welding, International Journal of Heat and Mass Transfer, 209 (2023), 124166.
6. Методика определения теплового потока от ударно сжатого газа перед точкой контакта к поверхности пластин при сварке взрывом / С.В. Хаустов, В.В. Пай, С.В. Кузьмин, В.И. Лысак, А.Д. Кочкалов // Известия ВолгГТУ. Сер. Сварка взрывом и свойства сварных соединений. - Волгоград, 2022. - № 11 (270). - С. 11-16.
7. Орленко Л. П. Физика взрыва и удара. М.: Физматлит, 2019. – 400 с.