

И. Д. Кучумова

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск

ivannakz@mail.ru

Научный руководитель – доц., канд. техн. наук *И. А. Батаев*

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИХРЕВЫХ ЗОН, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ СВАРКЕ ВЗРЫВОМ НИОБИЯ И НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

АННОТАЦИЯ

В работе представлены результаты исследования структуры и микротвёрдости соединения фольги ниобия и пластины нержавеющей стали, полученные методом сварки взрывом. Показано, что граница между свариваемыми материалами имеет волнообразный характер. В отдельных участках границы образуются зоны перемешивания двух материалов. Микротвёрдость этих участков существенно превышает микротвёрдость исходных материалов. Методом просвечивающей электронной микроскопии установлено, что зоны перемешивания склонны к формированию аморфной структуры. Этот факт свидетельствует о высоких скоростях охлаждения, имеющих место при сварке взрывом.

Ключевые слова: структура, микротвердость, аморфная структура, вихревые зоны, сварка

ABSTRACT

In this article described results about researching of the structure and microhardness compound niobium foil and stainless steel plate which produced by explosion welding. It is shown that the boundary between the welded materials has a undulatory character. The mixing zones formed in some parts of the boundary of two materials. Microhardness exceeds of these areas greatly than microhardness starting materials. The mixing zones have amorphous structure. This structure determined by means of transmission electron microscopy. This fact is evidence that process of explosion welding had the high cooling rates that typically for explosion welding.

Keywords: structure, microhardness, amorphous structure, vortical zones, welding

Введение. Одним из методов получения соединения между разнородными материалами является сварка взрывом. Как правило, в процессе сварки взрывом метаемая пластина, разгоняемая за счёт энергии взрыва взрывчатого вещества, соударяется под углом с неподвижной пластиной [1]. Высокие давления, возникающие в процессе соударения,

обеспечивают плотный контакт между свариваемыми материалами. Как правило, прочность получаемого соединения соответствует свойствам наименее прочного из соединяемых материалов.

В данной работе рассматривается возможность сварки взрывом фольги ниобия и пластины нержавеющей стали. В связи с высокой коррозионной стойкостью и низкой токсичностью такого рода биметаллические материалы могут быть использованы, например, в химической промышленности или в биомедицине. В то же время, данные о структуре и свойствах таких соединений в литературе отсутствуют.

Методы и материалы. Исходными материалами для сварки взрывом являлись фольга ниобия (50x50x0,1 мм) и пластина нержавеющей стали (70x70x3 мм). Сварка Ниобия и нержавеющей стали производилась под водой. Технология подводной сварки взрывом была предложена К. Хокамото [2]. В связи с малой толщиной пластины ниобия, она прикреплялась к ведущей пластине из нержавеющей стали толщиной 0,2 мм. В качестве взрывчатого вещества использовался SEP, разработанный коМПанией Asahi-Kasei Chemicals Corp. Сварка осуществлялась в университете г. Кумамото (Япония).

Полученный биметалл исследовался методами оптической микроскопии (микроскоп CarlZeiss Axio Observer A1m), растровой электронной микроскопии (Carl Zeiss EVO 50 XVP) и просвечивающей электронной микроскопии (TecnaiG2 20). Образцы для растровой электронной микроскопии и оптической микроскопии представляли собой поперечные шлифы, приготовленные по стандартной технологии, включающей шлифование и полирование на алмазных суспензиях. Образцы для просвечивающей электронной микроскопии готовили в несколько этапов. На первом этапе из полученных образцов вырезали полуцилиндры диаметром ~3 мм, которые склеивались так, чтобы слой ниобия находился внутри. Из полученных цилиндрических заготовок отрезались диски толщиной около 1 мм, которые механически утонялись на абразивных бумагах и установке Gatan Dimple Grinder до толщины менее 10 мкм. Финальная стадия подготовки осуществлялась при помощи метода ионного утонения. Элементный состав полученных материалов определялся при помощи метода энергодисперсионного микрорентгеноспектрального анализа (Oxford Instruments X-Axt). Для оценки механических свойств полученного материала использовался метод измерения микротвёрдости по Виккерсу.

Результаты исследований. На рис. 1 представлено поперечное сечение композиционного материала, полученного сваркой взрывом. Сварной шов имеет характерную для сварки взрывом волнообразную морфологию. Граница раздела имеет вихревые зоны в вершинах и впадинах волнообразного сварного шва (рис. 2). Вихревые зоны представляют собой

области перемешивания исходных материалов пластин (ниобия и нержавеющей стали). Элементный состав этих зон представлен в табл. 1.

Исследования зон перемешивания при помощи просвечивающей электронной микроскопии показали, что материал в этих участках находится в аморфном состоянии (рис. 3).

Таблица 1

Элементный состав вихревых зон			
Fe (вес. %)	Cr (вес. %)	Ni (вес. %)	Nb (вес. %)
38,94	10,45	4,17	40,26

Явление аморфизации металлических материалов является необычным. Как правило, для формирования аморфной фазы из расплава металлов требуются чрезвычайно высокие скорости охлаждения (от нескольких сотен градусов в секунду до нескольких миллионов градусов в секунду). В то же время, полученные в результате математического моделирования значения скоростей охлаждения в процессе сварки взрывом, как правило, превышают 107 К/сек [3]. Проанализировав полученные данные, было предположено, что материал вихревых зон имеет аморфную структуру.

Результаты измерения микротвердости вихревых зон показали, что микротвердость зон перемешивания имеет высокие значения (рис. 4). Известно, что аморфные металлы (так называемые металлические стёкла) отличаются значительно более высокой твёрдостью по сравнению с кристаллическими материалами.



Рис. 1. Поперечное сечение сваренного взрывом образца

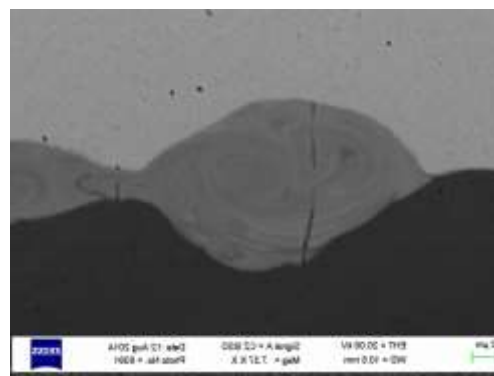


Рис. 2. Зоны перемешивания ниобия и нержавеющей стали на границе сваренных взрывом материалов

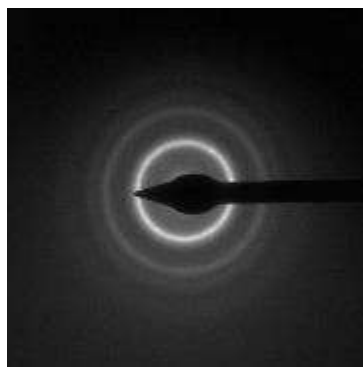


Рис. 3. Картина дифракции электронов, полученная с материала вихревой зоны

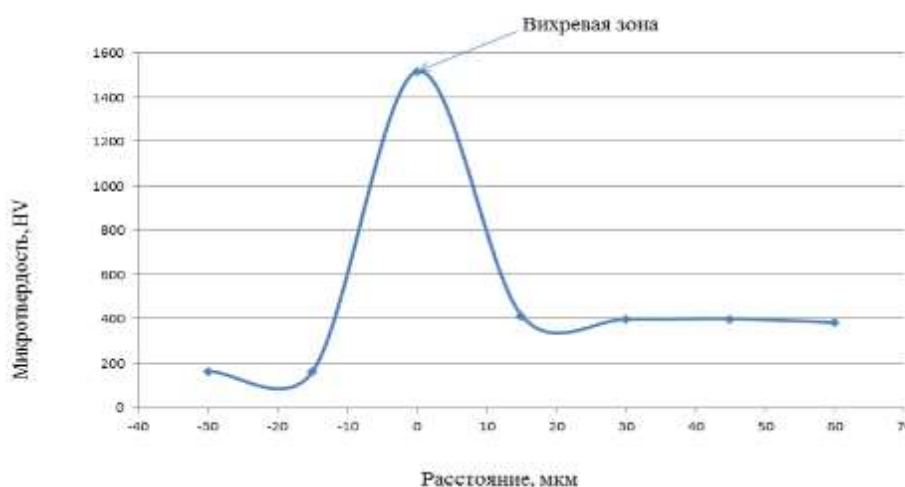


Рис. 4. Распределение микротвёрдости по сечению образца вблизи границы между ниобием и нержавеющей сталью

Выводы. В работе показана возможность соединения ниобия и нержавеющей стали по технологии сварки взрывом. Полученный после сварки взрывом материал отличается высоким качеством и не содержит крупных дефектов. На границе между ниобием и нержавеющей сталью сформировались зоны перемешивания, материал которых имеет аморфную структуру, сформированную в результате высокой скорости охлаждения. Эффект аморфизации материала при сварке взрывом требует дальнейшего изучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дерibas А. А. Физика упрочнения и сварки взрывом. – 2-е изд., доп. и перераб. – Новосибирск: Наука, 1980.
2. Manikandan P., Hokamoto K., Deribas A. A., Raghukandan K., Tomoshige R. Explosive welding of Titanium/stainless steel by controlling energetic conditions, Materials Transactions. – 47 (2006). – 2049–2055.
3. Liu WD, Liu KX, Chen QY, Wang JT, Yan HH, Li XJ. Metallic glass coating on metals plate by adjusted explosive welding technique. AppliedSurfaceScience2009;255:9343-7.