

Таблица 1 – Характеристики TiN покрытия в зависимости от режима вакуумно-дугового плазменно-ассистированного напыления

j_p/j_d	цвет	H, ГПа	E, ГПа	H/E	Размеры ОКР D, нм	a, нм
0	золотой	20	262	0,08	97	0,42459
0,2	золотой	22	270	0,08	77	0,42290
0,4	золотой	23	321	0,07	60	0,42367
0,7	золотой	24	356	0,07	41	0,42909
1,2	розово-золотой	28	365	0,08	30,5	0,42844
1,6	медно-золотой	35	403	0,09	17	0,42676

Список литературы

1. Ivanov Yu.F., Koval N.N., Krysin O.V., et al. Superhard nanocrystalline Ti–Cu–N coatings deposited by vacuum arc evaporation of a sintered cathode // Surface and Coatings Technology. – 2012. – V. 207. – P. 430–434.
2. Krysin O.V., Koval N.N., Lopatin I.V., Shugurov V.V., Kovalsky S.S. Generation of low-temperature plasma by low-pressure arcs for synthesis of nitride coatings // Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – V. 669. – P. 012032.
3. Vintizenko L.G., Grigoriev S.V., Koval N.N., Tolkachev V.S., Lopatin I.V., Schanin P.M. Hollow-cathode low-pressure arc discharges and their application in plasma generators and charged particle sources // Russ. Phys. J. – 2001. – V. 44. – P. 927-934.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ПОДВЕРГНУТЫХ ВЫСОКОСКОРОСТНОМУ И ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

И. Д. КУЧУМОВА

Новосибирский государственный технический университет
E-mail: ivannakz@mail.ru

Сварка взрывом является одним из методов получения соединения между разнородными металлами. Как правило, в процессе сварки взрывом метаемая пластина, разгоняемая за счёт энергии взрыва, соударяется под углом с неподвижной пластиной. Высокие давления, возникающие в процессе соударения, обеспечивают плотный контакт между свариваемыми материалами [1, 2].

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 для применения в биомедицине. В то же время, данные о структуре и свойствах таких соединений в литературе отсутствуют.

Целью данной работы является исследование структуры и свойств сваренных взрывом фольги ниобия и пластины нержавеющей стали. Более подробно были исследованы вихревые зоны, так как в литературе содержится мало информации о них. Для достижения поставленной цели образцы были исследованы методами оптической и электронной микроскопии, была определена микротвердость на поперечном сечении образца.

В качестве исходных материалов использовались – фольга ниобия размерами 50×50×0,1 мм и пластина нержавеющей стали размерами 70×70×3 мм. Сварка осуществлялась под водой по технологии предложенной К. Хокамото.

Полученный биметалл исследовался методами оптической микроскопии (микроскоп *Carl Zeiss Axio Observer A1m*), растровой электронной микроскопии (*Carl Zeiss EVO 50 XVP*) и просвечивающей электронной микроскопии (*Tecnai G2 20 TWIN*). Элементный состав полученных материалов определялся при помощи метода энергодисперсионного микрорентгеноспектрального анализа (*Oxford Instruments X-Axt*). Микротвердость поперечного сечения образца измерялась методом Виккерса.

Изображения, полученные методом оптической микроскопии, показали что сварной шов имеет волнообразную поверхность, типичную для сварки взрывом. Так же на изображениях видно, что в сварном шве отсутствуют дефекты (непровары, трещины, изгибные деформации и др.). На вершинах и впадинах волн образовались вихревые зоны.

При определении элементного состава вихревых зон было установлено, что в состав вихревых зон входят элементы, характерные для исходных материалов.

При исследовании микротвёрдости образцов, было установлено, что микротвердость вихревых зон составляет около 1500 единиц по Виккерсу. Это значение микротвердости в разы превышает значения микротвердости исходных материалов. Это говорит о том, что материал вихревой зоны имеет структуру, которая кардинально отличается от структуры исходных материалов. При исследовании вихревых зон на просвечивающем электронном микроскопе удалось установить, что материал в этих зонах имеет аморфную структуру [3].

Основными причинами аморфизации вихревых зон является высокая скорость охлаждения и удачное сочетание свариваемых материалов. Существует три эмпирических правила Акихиша Иноуе [4], соблюдение которых в сочетании с высокой скоростью охлаждения, позволяет получать материалы в аморфном состоянии:

1. Количество химических элементов, входящих в состав сплава, должно быть более 3;
2. Разница в диаметрах атомов химических элементов, входящих в состав сплава, должна превышать 12 %;
3. Теплота смешивания элементов должна быть отрицательной.

Из таблицы 1 один видно, что в состав вихревых зон входит более трех элементов. Соотношение атомных радиусов элементов и показателей энтальпии смешивания показало, что материалы подобраны так, что в процессе сварки взрывом ниобия и нержавеющей стали были получены вихревые зоны с аморфной структурой (соблюдены правила А. Иноуе).

При моделировании процесса охлаждения сваренных взрывом материалов по сечению биметалла было использовано уравнение теплопроводности, которое относится к дифференциальным уравнениям в частных производных. Для решения дифференциальных уравнений в частных производных можно использовать метод конечных разностей. Для решения уравнения теплопроводности были введены некоторые допущения, начальные и граничные условия. Рассчитанные профили распределения температуры по сечению образца представлены на рисунке 1. В процессе моделирования было установлено, что скорость охлаждения сварного шва составляет $6,45 \cdot 10^7$ К/сек.

Таблица 1 - Элементный состав вихревых зон

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

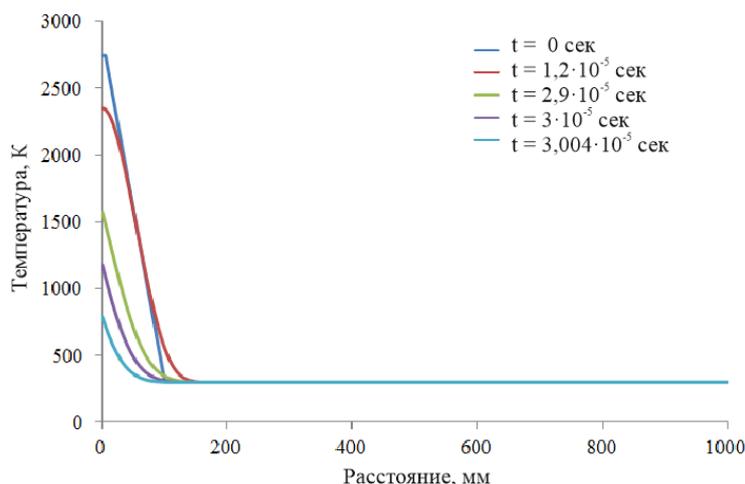


Рисунок 1 - Рассчитанные профили распределения температуры по сечению образца

Исследование структуры сварного шва методом оптической и растровой микроскопии позволило установить, что в процессе сварки взрывом сформировалась бездефектная волнообразная поверхность раздела. Высокая скорость охлаждения и подобранный химический состав пластин привели к формированию аморфной структуры вихревых зон. Это подтвердили изображения, полученные методом просвечивающей электронной микроскопии и измерения микротвердости образца по Виккерсу.

Моделирование процесса охлаждения сваренных взрывом материалов показало, что в процессе сварки взрывом скорость охлаждения вихревых зон составляет $6,45 \cdot 10^7$ К/сек, которая является достаточной для аморфизации структуры.

Список литературы

1. Захаренко И.Д. Сварка металлов взрывом. - Минск: Наука и техника, 1990. - 205 с.
2. Лысак В.И., Кузьмин С.В. Сварка взрывом. - М.: Машиностроение, 2005. - 544 с.
3. Lazari L.G. Explosive welding and its practical applications // Welding Review. May 1988. - P. 74-78.
4. Inoue A. Stabilization and high strain-rate super plasticity of metallic super cooled liquid //Materials Science and Engineering. A. 1999. V. 267. № 2. - P. 171–183.

МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРА ЛАКТИДА-ГЛИКОЛИДА И ГИДРОКСИАПАТИТА МЕТОДОМ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

О.А. ЛАПУТЬ¹, И.В. ВАСЕНИНА (ПУХОВА)², И.А. КУРЗИНА³

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет

²Институт сильноточной электроники СО РАН

³ Национальный исследовательский Томский государственный университет

E-mail: olesyalaput@gmail.com

Полимеры на основе лактида и гликолида нашли мировое применение в медицине благодаря своей биосовместимости и способности разлагаться в живом организме без образования токсичных соединений. Сополимеры на основе лактида и гликолида преодолели ранее возникавшие проблемы, которые были связаны со слишком быстрым распадом материалов на основе полигликолида и медленным процессом распада