

УДК 621.791

А.В. Паничкин, А.А. Мамаева*, Ж.Ж. Алибеков, Г.М. Ибраева
Центр наук о земле металлургии и обогащения, Казахстан, г. Алматы
*E-mail: ak78@mail.ru

Контактная сварка тугоплавких металлов ниобия и тантала со сталью марок AISI 201 и AISI 307 при наложении внешнего давления

Аннотация. Выявлены условия контактной сварки фольг тугоплавких металлов Nb и Ta со сталью марок AISI 201 и AISI 307 при наложении внешнего давления. При помощи растровой электронной микроскопии изучена переходная зона, формирующаяся при этом. Показано, что при контактной сварке Nb и Ta со стальной пластиной происходят процессы одновременного нагрева и контактного плавления. Создание прочного сцепления материалов при сварке происходит путём последовательного оплавления и смачивания поверхности фольг Nb и Ta, вследствие чего обеспечивается большая поверхность контакта и однородность сварного шва.

Ключевые слова: контактная сварка, тугоплавкие металлы, электронная микроскопия, переходная зона.

Введение

Получение качественных сварных соединений стали с такими металлами, как Ti, Ta, Nb, Mo, представляет собой весьма сложную задачу. Свойства группы тугоплавких металлов отличаются от свойств железа [1]. Следствием существенной разницы в кристаллохимических свойствах является малая растворимость тугоплавких металлов в железе и склонность образовывать с ним твердые и хрупкие интерметаллические соединения [2]. При контактной сварке стали с тугоплавким металлом в той или иной степени происходят диффузионные процессы и образуется шов с характерной структурной неоднородностью у границы с тугоплавким металлом.

В настоящее время в основном для соединения Ta и Nb с металлами и сплавами используют сварку трением, лазерную и контактную сварку [3], причем последняя применяется для соединения малогабаритных изделий. Метод является достаточно перспективным и интенсивно изучается с привлечением физико-аналитических методов. Однако выводы и технологические рекомендации, к которым приходят разные авторы, порой противоречивы. Поэтому, данный способ сварки для соединения Ta и Nb образцов не получил широкого распространения. Результаты опубликованных работ подтверждают известные

факты образования неоднородной структуры зерен в зоне сварки [4-6].

Материалы и методика исследований

Исследовали процессы, протекающие на границе раздела фольг Nb и Ta толщиной 40 мкм с массивными подложками из стали марок AISI 201 в условиях прямого резистивного нагрева и накладываемого осевого давления (рисунок 1). Напряжение тока на источнике без нагрузки составляло 3,5 В. Достижимая сила тока 10 кА. Давление варьировали гидравлическим прессом от 100 до 1000 кг/см². Для управления условиями нагрева дополнительно использовали подставки из графита и вольфрама, которые устанавливали с одной или двух сторон между электродом и сталью, ввиду меньшей теплопроводности материала подставок в сравнении с медью.

Для исследования формирующегося сварного шва подготавливали поперечные шлифы. При помощи растровой электронной микроскопии и микроанализа на микрозонде Jeol – JXA8230 изучали структуру и распределение элементов в образующейся при контактной сварке переходной зоне. Определение характера распределения элементов проводили путем линейного сканирования при токе пучка 7нА и ускоряющем напряжении 20кВ.

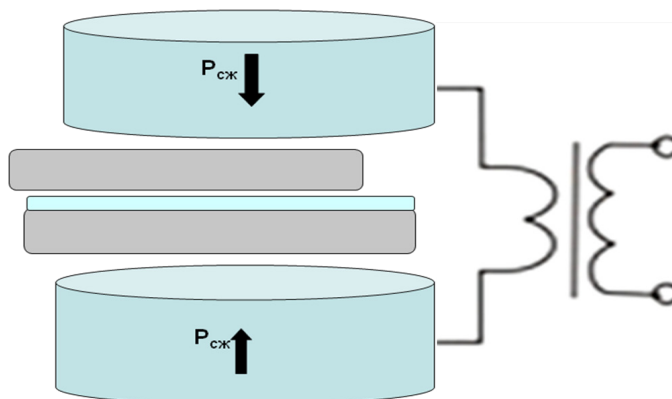


Рисунок 1 – Контактная сварка с применением внешнего давления

Результаты и обсуждения

Электронно-микроскопические исследования показали, что при резистивном нагреве между фольгами Nb и сталью (рисунок 2), а также между Ta и сталью (рисунок 3) образуется переходной слой, шириной 5-10 мкм, в котором отсутствуют поры, трещины и другие дефекты. В

структуре переходного слоя со стороны ниобия обнаружено формирование однородного слоя интерметаллической фазы, толщиной от 0,7 до 2 мкм в зависимости от условий и продолжительности нагрева. Следом за этим слоем располагается зона расплава. Формирующаяся при нагреве жидкая фаза активно по границам зерен проникает в стальную подложку на глубину до 50 мкм.

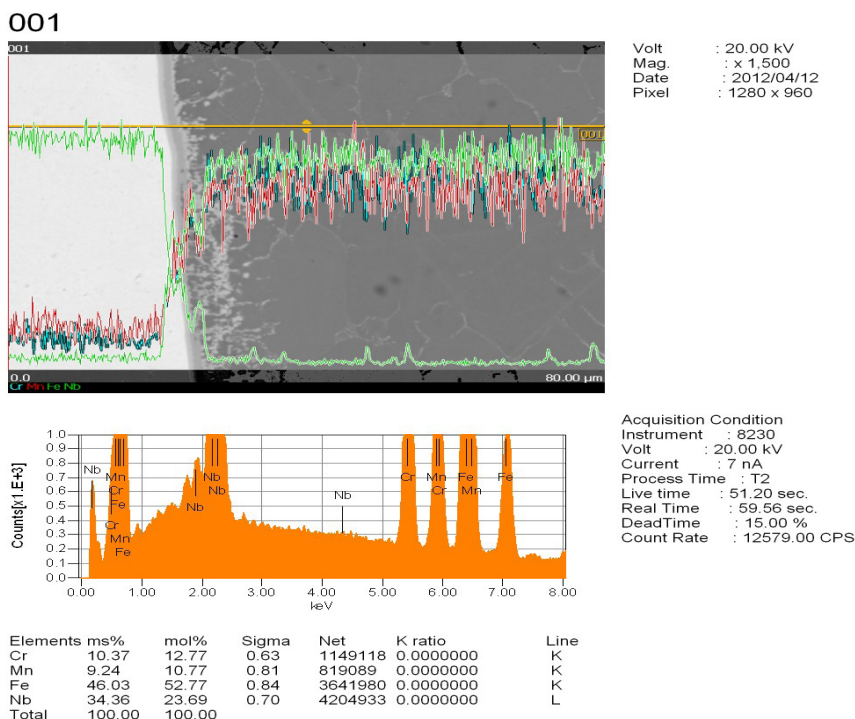


Рисунок 2 – Участок сварного соединения ниобий/сталь AISI 201

При нагреве в аналогичных условиях ширина сварного шва между танталом и сталью в 2 раза меньше в сравнении с ниобием. Подобно ниобию со стороны тантала образуется однородный

слой интерметаллического соединения тантала и железа, шириной до 1,5 мкм и развивается активное распространение расплава в стальной подложке по границам зерен на глубину до 60 мкм.

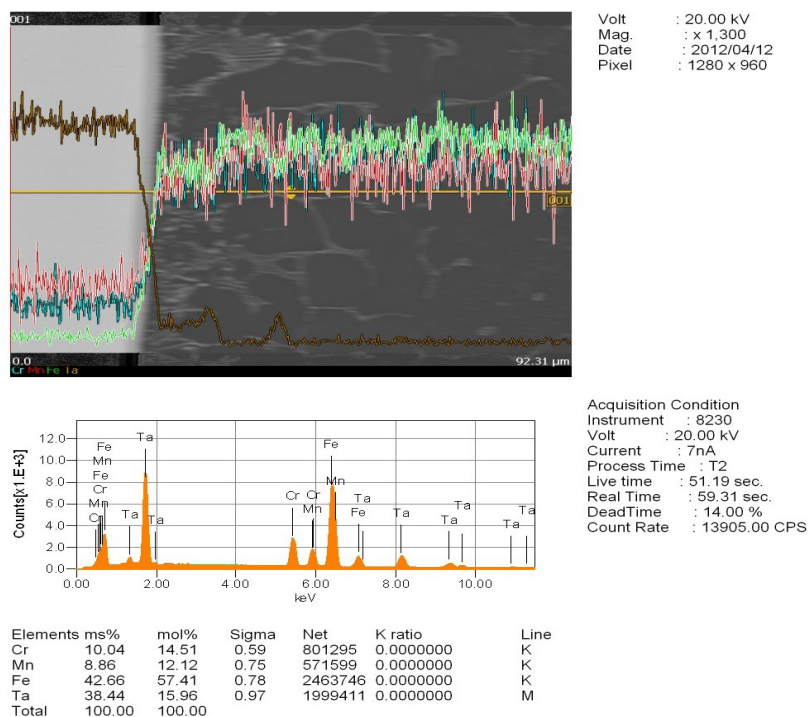


Рисунок 3 – Исследуемый участок сварного соединения тантал/сталь

В отработанных режимах контактной сварки обеспечивалось получение прочного соединения двух листов стали через ниобиевую прокладку. Как видно на рисунке 4, между ниобием и сталью развивается активное контактное плавление, и распространение расплава по границам зерен стали. Диффузионные процессы ниобия в сталь идут намного быстрее, чем диффузия железа и других легирующих элементов в ниобий. Снижение времени нагрева до 2-3 секунд позволило получить сварное соединение с образованием промежуточной фазы на поверхности ниобия менее 1 мкм. Аналогично ниобию, при контактной сварке тантала со сталью при уменьшении продолжительности нагрева до 2 секунд происходит снижение ширины переходной зоны, при этом ее структура практически не изменяется. Уменьшение продолжительности нагрева в 3 раза приводит к пропорциональному снижению ширины промежуточной фазы и глубины проникновения тантала в поверхностные слои стали. Анализ структуры переход-

ной зоны свидетельствует о формировании эвтектики между сталью и танталом, и между сталью и ниобием в процессе контактного нагрева. Образующийся при этом расплав хорошо смачивает поверхность ниобия и тантала, что обеспечивает их высокую адгезию к поверхности стали. Проведенные эксперименты показали, что соединение стальной массивной основы различной формы с ниобиевой и танталовой фольгой толщиной 40 мкм методом контактной сварки возможно, однако она реализуется в узком интервале давлений, напряжений тока и времени. Так, с увеличением давления выше определенного значения велика вероятность механического повреждения фольги, а с увеличением напряжения часто происходит прожиг фольги микродугами. Немаловажную роль при такой сварке также играет защитная атмосфера. Между тем этот способ существенно проще реализуется в сравнении с применяемыми на практике методами сварки тантала и ниобия со сталями.

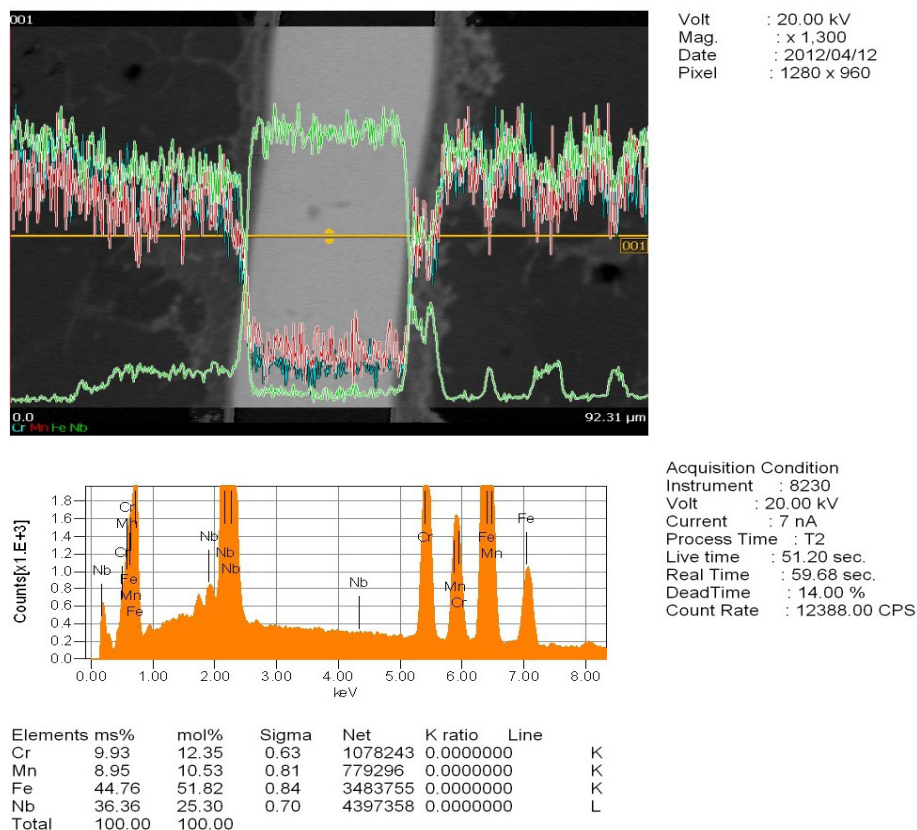


Рисунок 4 – Структура сварного соединения сталь/ниобий/сталь

Выводы

- Показано, что при кратковременном контактном нагреве ниобия и тантала со сталью AISI 201 электрическим током между ними формируется переходной слой, включающий однородный слой промежуточной фазы со стороны Nb и Ta, слой эвтектики и обширную область в стали в которой обнаруживаются отдельные фазы, содержащие эти элементы. С увеличением продолжительности нагрева ширина переходной зоны и ее отдельных слоев растет.

- Отработаны условия контактной сварки фольги ниобия и тантала толщиной 40 мкм со сталью AISI 201, обеспечивающие прочность их соединения превышающую прочность фольг.

Литература

1 Трефилов В. И., Мильман Ю.В., Фирстов С.А. Физические основы прочности тугоплавких металлов. – М.: Наука, 1975. – С. 184-188.

2 B. A. Greenberg, M. A. Ivanov, V. V. Rybin, A. V. Inozemtsev. Structure, Phase Transformations, and Diffusion **Inhomogeneities of the interface** produced by explosive welding. //The Physics of Metals and Metallography. – Volume 113, №2 (2012), – P. 176-189.

3 К.А. Кочергин. Контактная сварка – Л.: Машиностроение, 1987 г. – С. 242-245.

4 Шоршоров М.Х. Клинопрессовая сварка давлением разнородных металлов. – М.: Металлургия, 1982 г. – С. 126-124.

5 L. I. Yajiang, W. Juan, Z. Bing and F. Tao Microstructure in the welding zone of 9Cr-1Mo-V-Nb heat-resisting steel. //Bulletin of Materials Science, Volume 25. – 2002. – №3. – P. 213-217.

6 Changqing Xia and Zhanpeng Jin. Interfacial reaction in the tantalum-steel explosion weld composite at 1053 K. //Journal of Central South University of Technology, Volume 4. – 1997. – №1. – P. 5-8.

А.В. Паничкин, А.А. Мамаева, Ж.Ж. Алибеков, Г.М. Ибраева
**Баяу балқитын металлдар ниобии мен танталдың сыртқы қысымды пайдаланып
болаттың AISI 201 және AISI 307 түрлерімен түйістіріп дәнекерленуі**

Баяу балқитын металлдар ниобии мен тантал үшін сыртқы қысымды пайдаланып, болаттың AISI 201 және AISI 307 түрлерімен түйістіріп дәнекерленуінің шарттары анықталды. Растрлы электронды микроскопия көмегімен екі металдың өтпелі аумағы зерттелінді. Nb мен Ta металлдарды болатпен түйістіріп дәнекерлеу кезінде, қызу және балқу процестері бір мезетте жүреді. Түйістіріп дәнекерлеу кезінде материалдардың бір-бірімен бекем ұстасуы Nb мен Ta жұқа қабыршағының тізбекті балқу және жібіту арқылы іске асырылды. Нәтижесінде үлкен және біртекті түйістіру қабаттары алынды.

Түйін сөздер: контактылық сварка, қиын балқитын металлдар, электрондық микроскопия, ауыспалы аймақ.

A.V. Panichkin, A.A. Mamaeva, Zh.Zh. Alibekov, G.M. Ibraeva
**Resistance welding of refractory metals niobium and tantalum with the steel of grades
AISI 201 and AISI 307 at imposing of external pressure**

The identified conditions of welding foils of refractory metals Nb and Ta to steel grades AISI 201 and AISI 307 at imposing of external pressure. By means of scanning electron microscopy investigated the transition zone. It is shown that the resistance welding Nb and Ta with a steel plate, there are processes of simultaneous heating and melting of the contact. Create a lasting bond of materials for welding is performed by successive melting and wetting of the surface of the foils of Nb and Ta, thus ensuring a large contact surface and the homogeneity of the weld.

Keywords: resistance welding, refractory metals, electron microscopy, transition zone.