

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ПУЧКОВ ЭНЕРГИИ НА ФОРМИРОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ В ТВЕРДОЙ ФАЗЕ

В.Ф. Квасницкий¹⁾, В.В. Квасницкий²⁾, Н.Н. Черенда³⁾, Д.П. Русальский³⁾, А.Д. Тересов⁴⁾

¹⁾Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова,
пр. Героев Сталинграда, 9, 54025, Николаев, Украина, тел.: +38 0512 431174,
факс: +38 0512 421081, e-mail: welding@nuos.edu.ua

²⁾Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт",
пр. Победы, 37, 03056, Киев, Украина, тел.: +38 044 4890164, e-mail: kvas69@rambler.ru

³⁾Белорусский государственный университет, 220030, Минск,
пр. Независимости, 4, тел.: +375 17 2265834, факс: +375 17 2095445, e-mail: cherenda@bsu.by
⁴⁾Институт сильноточной электроники СО РАН, Россия, 634055 Томск, пр. Академический, 2/3,
тел.: +7 3822 591684, e-mail: koval@opee.hcei.tsc.ru

Исследовано влияние модифицирования поверхности с применением низкоэнергетических сильноточных электронных пучков на ее топографию, структуру и свойства поверхностного слоя, их влияние на формирование соединений из сталей, относящихся к различным структурным классам и жаропрочных сплавов при диффузионной сварке.

Введение

Основной задачей современного энергетического машиностроения, авиастроения и других отраслей промышленности является повышение эксплуатационных характеристик газовых турбин при снижении затрат энергоносителей. Одним из возможных путей ее решения является применение новых конструкционных материалов со специальными свойствами, соединение которых традиционными способами сварки плавлением затруднено. Для создания изделий из таких материалов широко используются различные способы сварки в твердой фазе и в частности диффузионная сварка (ДС), при которой состояние поверхности играет важную роль. Наличие на поверхности адсорбированных газов и оксидных плёнок препятствует образованию связей между атомами соединяемых материалов. Поэтому необходимо проводить активацию поверхностей соединения. Ранее предложенные способы активации, например, циклическое нагружение [1], применение ультрадисперсных порошков [2] и другие не всегда эффективны или применимы исходя из конструктивных особенностей узлов. Поэтому поиск новых способов активации поверхностей является актуальным.

Применение концентрированных потоков энергии большой мощности ($10^5 \dots 10^{11}$ Вт/см²): плазменных потоков [3,4], лазерных пучков [5], мощных ионных пучков [6], сильноточных электронных пучков [7] является эффективным способом модифицирования поверхностей.

Целью данной работы было исследование влияния модифицирования поверхностей с применением низкоэнергетических сильноточных электронных пучков (НСЭП) на формирование соединений из сталей, относящихся к различным структурным классам и жаропрочных сплавов при ДС.

Основная часть

Обработка поверхностей соединения проводилась на установке СОЛО, а ДС на установке УДСВ-ДТ. Исследовали влияние модифицирования поверхностей сталей и жаропрочного сплава на морфологию поверхности, структуру и свойства поверхностного слоя, их влияние на формирование соединений.

Установлено, что равномерное оплавление поверхностей сталей 10895, 12Х18Н10Т и сплава ЧС88У-ВИ с образованием гладкой поверхности после предыдущего электроискрового резания достигается при плотности энергии пучка 20...25 Дж/см². При этом в модифицированном слое исследованных металлов наблюдаются субмикроструктурная структура и повышение плотности дислокаций до $(2 \dots 5) \cdot 10^{11}$ см⁻². На рис. 1, показана структура сплава ЧС88У-ВИ.

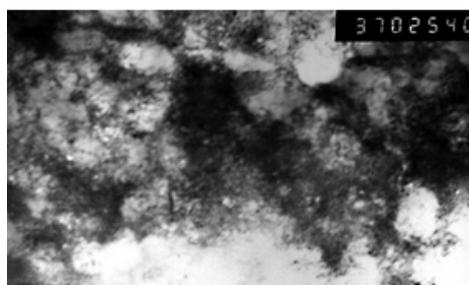


Рис. 1. Тонкая структура модифицированного слоя сплава ЧС88У-ВИ; x 37000

В результате обработки микротвердость модифицированного слоя стали 10895 повышается на 74%, а стали 12Х18Н10Т – на 12 %. Обработка поверхности сплава ЧС88У-ВИ приводит к уменьшению микротвердости на 20 %, что, вероятно, связано с растворением упрочняющих фаз.

Для предупреждения микротрещин модифицирование жаропрочного сплава должно проводиться при плотности энергии пучка не более 25 Дж/см².

Влияние способа подготовки поверхности на формирование соединений при ДС исследовали путем модифицирования обеих поверхностей или одной из них. В процессе сварки сталей 12Х18Н10Т с полированной поверхностью и 10895 с модифицированной, микротвердость последней в зоне стыка уменьшилась по сравнению с модифицированным слоем до 1170...1280 МПа, а стали 12Х18Н10Т выросла в среднем на 35 % в сравнении с основным металлом (до 2340...2580 МПа). В соединении, со стороны стали 12Х18Н10Т, параллельно стыку, формируется тонкая полоса зародышей рекристаллизации. Наблюдаются также узкие полосы пластической деформации - шириной до 1 мкм. В некоторых полосах обнаружена высокая плотность дислокаций. Такая структура свидетельствует о высокой степени локализации (до 1 мкм) пластической деформации в стали 12Х18Н10Т с полированной поверхностью. Со стороны стали 10895 с модифицированной поверхностью, около стыка, величина зерна растет до 150...175 мкм, а плотность дислокаций и микротвердость уменьшаются, что свидетельствует о развитии релаксационных процессов.

Наиболее активно взаимодействуют обе модифицированные поверхности сталей. При этом, объемная доля общих зерен в стыке, даже без учета высокодисперсных зерен, почти на порядок больше в сравнении с модифицированием только поверхности стали 12Х18Н10Т и почти в 3 раза больше, чем при модифицировании поверхности стали 10896. В соединении с обеими модифицированными поверхностями около стыка, со стороны стали 12Х18Н10Т, формируется полоса зародышей рекристаллизации шириной до 20...30 мкм. Размер зародышей - 2,5...5,0 мкм. Около стыка наблюдаются следы релаксации - субзеренная структура с четкими границами и значительно уменьшенной плотностью дислокаций. Структура обеих сталей около стыка клубково-ячеистая и близка к равновесной.

Исследованиями тонкой структуры установлено наличие бесчисленного количества дисперсных зародышей рекристаллизации в зоне стыка.

Наличие тонкой, не четко выраженной линии сплавления с зонами распада ее ориентации свидетельствует о формировании более моно-литного соединения в случае сварки образцов, поверхности соединения которых обработаны НСЭП. Это подтверждается и большей площадью распада границы раздела. Объемная доля общих зерен в три раза больше, чем в случае модифицирования только поверхности стали 10 895.

Высокая плотность дислокаций, свидетельствует о высокоэнергетическом характере структуры, полученной обработкой поверхности НСЭП, что приводит к интенсификации процесса взаимодействия поверхностей в условиях ДС, о чем свидетельствуют релаксационные процессы (рекристал-

лизация, коалесценция) протекающие у линии соединения. Наибольшая объемная доля общих зерен наблюдается в случае обработки НСЭП обеих соединяемых поверхностей, а наименьшая - в случае обработки только поверхности нержавеющей стали.

В условиях ДС (нагрев до температуры 950 °С, короткая выдержка и охлаждение) объемная доля рекристаллизованных зерен в зоне стыка при обеих модифицированных поверхностях составила 11,8 %, при одной модифицированной поверхности (армо-железа или стали 12Х18Н10Т) - 10,42...10,7 %, но объемная доля общих зерен при модифицировании обеих поверхностей даже без учета высокодисперсных зерен в стыке была почти на порядок больше по сравнению с модифицированием лишь поверхности стали 12Х18Н10Т и почти в три раза больше, чем при модифицировании лишь поверхности стали 10895.

При ДС сплава ЧС88У-ВИ наибольшая объемная доля рекристаллизованных зерен (45 %) наблюдается при соединении модифицированной и немодифицированной поверхностей. Это объясняется тем, что термический коэффициент линейного расширения сплава после обработки НСЭП и после медленного охлаждения отливок существенно отличаются в результате структурных превращений, которые сопровождаются структурными деформациями. Таким образом, пластическая деформация в зоне стыка является дополнительным фактором, способствующим активации поверхностей. Тонкая структура сварного соединения показана на рис. 2.

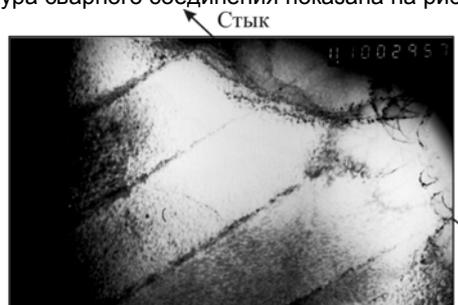


Рис. 2. Тонкая структура сварного соединения с модифицированной и немодифицированной поверхностями сплава ЧС88У-ВИ при ДС (x 20000)

Следует отметить, что приведенные результаты получены ДС при температуре 1150 °С и давлении 20 МПа с выдержкой три минуты, что существенно ниже параметров режима, рекомендованных для жаропрочных сплавов в работе [2].

Результаты исследований подтверждают эффективное влияние напряженно-деформированного состояния жаропрочных сплавов, которые находятся в разном структурном состоянии. Наиболее целесообразной представляется ДС жаропрочных никелевых сплавов с модифицированной и немодифицированной поверхностями. Модифицирован-

ный поверхностный слой близок по структуре к состоянию закалки, а в немодифицированном слое после замедленного охлаждения отливки имеются избыточные фазы.

Заключение

Результаты проведенных исследований, по влиянию модифицирования поверхностей НСЭП на формирование соединений из сталей, относящихся к различным структурным классам и жаропрочных сплавов при ДС, подтверждают перспективность применения концентрированных пучков энергии для активации поверхностей деталей и интенсификации процессов объемного взаимодействия металлов при их соединении в твердой фазе.

Сопоставление результатов ДС стали 10 895 и 12Х18Н10Т с разной подготовкой поверхностей показало, что наиболее эффективно влияет на формирование соединения модифицирование обеих поверхностей. Если модифицируется лишь одна поверхность, то это должна быть поверхность α -железа.

Положительное влияние модифицирования поверхности дисперсионотвердеющего никелевого сплава обусловлено как эффектом модифицирования (высокие дисперсность структуры, плотность дислокаций и пр.), так и формированием высокого уровня напряжений в контакте модифицированного (закаленного) слоя и сплава с избыточными фаза-

ми. Это способствует развитию пластических деформаций в зоне контакта.

Наилучшие условия для формирования соединений жаропрочных сплавов на основе никеля обеспечиваются при сварке модифицированной и немодифицированной поверхностей.

Список литературы

1. Каракозов Э.С. Сварка металлов давлением. – М.: Машиностроение, 1986. – 280 с.
2. Квасницкий В.Ф. Сварка и пайка жаропрочных сплавов в судостроении. – Л.: Судостроение, 1986. – 224 с.
3. Kalin B.A., Yakushin V.L., Vasiliev V.I., Tserevitinov S.S. // *Surface and Coatings Technology*. – 1996. – 96. – P. 110-116.
4. Черенда Н.Н., Углов В.В., Асташинский В.М., Квасов Н.Т. // *Зб. наук. пр. НУК*. – 2009. - 3. – С. 72-82.
5. Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Зуев И.В., Кокара А.Н. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
6. Под ред. Дж. С. Вильямса, Дж. М. Поута. Ионная имплантация и лучевая технология.. – Киев: Наукова думка, 1988. – 360 с.
7. Proskurowsky D.I., Rotshtein V.P., Ozur G.E., Ivanov Yu.F., Markov A.B. // *Surface and Coatings Technology*. – 2004. – 125. – P. 49-56.

* Эта работа проведена при частичной финансовой поддержке Украинского государственного фонда фундаментальных исследований (грант F41.2/016).

INFLUENCE OF SURFACES MODIFICATION WITH USING OF THE CONCENTRATED BUNCHES OF ENERGY ON THE FORMING OF JOINTS IN SOLID PHASE

V.F. Kvasnytskyi¹, V.V. Kvasnytskyi², N.N. Cherenda³, Rusalskyi³, A.D. Teresov⁴

¹Admiral Makarov National University of Shipbuilding, 9, Geroev Stalingrada ave., Mykolaiv, 54025, Ukraine, Ph.: +38 0512 431174, Fax: +38 0512 421081, E-mail: welding@nuos.edu.ua

²National Technical University of Ukraine – Kyiv Polytechnic Institute, 37, Peremogi ave., Kyiv, 03056, Ukraine, Ph.: +38 044 4890164, E-mail: kvas69@rambler.ru

³Belarusian State University, Nezavisimosti av., 4, 220030, Minsk, Belarus, Ph.: +375 17 2265834, Fax: +375 1) 2095445, E-mail: cherenda@bsu.by

⁴Institute of High Current Electronics SB RAS, 2/3, Akademichesky ave., Tomsk, 634055, Russia, Ph.: +7 3822 591684, E-mail: koval@opee.hcei.tsc.ru

Influence of surfaces modification with using of high-current low-energy electronic bunches on the topography of surface, structure and properties of surface layer, their influence on a forming of joints steel, which related to the different structural classes of heatproof alloys at the diffusion welding was researched.

It is set that the energy of bunch 20...25 J/sm² at 5 impulses by duration of 100 μ s is the optimum mode of surfaces treatment of 10895, 12X18H10T steels and ЧС88У-ВИ alloy. In the modified layer there is the considerable grain refinement and rising dislocation density up to (2...5)·10¹¹ sm⁻². Micro hardness of the modified layer of 10895 steel is increased by 74%, 12X18H10T steel – by 12 %, and of ЧС88У-ВИ alloy is decreased by 20 %.

The interaction of both modified surfaces of steels is most actively. While volume stake of overall grains in a joint is almost on an order more by comparison to modification only of surface 12X18H10T and is almost in 3 times more by comparison to modification of surface 10896, even without the account of high-dispersed grains. If is one surface modified only, this must be a surface of α -iron.

At diffusion welding of alloy ЧС88У-ВИ the most volume stake of recrystallized grains (45 %) is observed for connection of the modified and unmodified surfaces.

Positive influence of surface modification of dispersed-hardening nickel alloy is caused by both the effect of modification (high dispersion of structure, etc.) and forming high level of tensions in the contact of the modified (hard-tempered) layer and alloy with surplus phases that facilitates development of flowages in the area of contact.

It is set that the best terms for a forming of joints of high-temperature alloys on the basis of nickel are provided at welding of the modified and unmodified surfaces.

