

ОСОБЕННОСТИ ФАЗООБРАЗОВАНИЯ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ Nb, Mo И Ti СО СТАЛЯМИ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

ГСХА. **Миронова Татьяна Фёдоровна**, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Физика», ФГБОУ ВПО Самарская

446442 Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.
E-mail: tmironova51@mail.ru

ГСХА. **Миронова Татьяна Васильевна**, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Физика», ФГБОУ ВПО Самарская

446442 Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.
E-mail: mirt_777@mail.ru

Ключевые слова: фазообразование, металла, радиоактивные, изотопы, пластическая, деформация.

Цель исследования – улучшить качество сварных соединений на основе тугоплавких металлов. Эксперименты проводились на образцах в виде цилиндров диаметром 10 мм и высотой 10 мм, изготовленных из чистого металла. Насыщение образцов, используемых в качестве источника углерода, проводилось в твердом карбюризаторе BaCO_3 , содержащем дополнительно радиоактивный углерод ^{14}C , при температуре 1253 К в течение 2 ч. Процесс деформирования осуществлялся ударом падающего груза по двум предварительно нагретым образцам. Проникновение атомов металлов в сталь и тугоплавкие металлы фиксировалось с помощью радиоактивных изотопов ^{44}Ti , ^{55}Fe , ^{95}Nb , ^{63}Ni . Представлены результаты экспериментальных исследований фазообразования и взаимодействия металлов со сталями в условиях пластической деформации со скоростью 250 с⁻¹. Показано, что в процессе импульсной пластической деформации при сварке тугоплавких металлов со сталями за миллисекунды происходит частичный распад цементита стали и перераспределение углерода в твердом растворе. Установлено, что карбиды, образуемые ниобием, молибденом и титаном при импульсном воздействии, отличаются морфологией. Твердый раствор углерода в металлах распределен равномерно в плоскости, параллельной поверхности, в то время как фазы внедрения располагаются вблизи межзеренных и межфазных границ.

Импульсная сварка металлов и сплавов в конденсированном состоянии в последние годы находит всё более широкое применение в промышленности. Это связано, прежде всего, с сокращением длительности процессов обработки, и, следовательно, с существенным снижением энергетических затрат. Однако не менее важным является факт возрастания при этом скоростей взаимной диффузии атомов, который позволяет создавать «развитую» диффузионную зону [1-3]. Серьезное влияние на качество сварного соединения при указанном виде обработки оказывает формирование и изменение различных видов фаз в зоне контакта, в особенности твердых растворов и фаз внедрения [4, 5].

Цель исследования – улучшить качество сварных соединений на основе тугоплавких металлов.

Задачи исследований – изучить особенности карбидообразования ниобия, молибдена и титана при взаимодействии их со сталью в условиях пластической деформации.

Материалы и методы исследований. Процесс деформирования осуществлялся ударом падающего груза по двум образцам, предварительно нагретым до определенной температуры. Насыщение образцов, используемых в качестве источника углерода, проводилось в твердом карбюризаторе BaCO_3 , содержащем дополнительно радиоактивный углерод ^{14}C , в течение 2 ч при температуре 1253 К. Приповерхностный слой образца толщиной порядка 10 мкм состоял из твердого раствора углерода в железе и карбида железа. Для «меченых» атомов металлов применялись гальванические покрытия, а также введение их в расплавленный металл. Проникновение атомов металлов в сталь и тугоплавкие металлы фиксировалось с помощью радиоактивных изотопов ^{44}Ti , ^{55}Fe , ^{95}Nb , ^{63}Ni . Чтобы исключить влияние исходного распределения углерода, а также его перераспределение при остывании на последующие процессы миграции под действием пластической деформации [6], эксперименты проводились на образцах, изготовленных из чистого металла, которые имели контакты с науглероженными образцами исключительно в момент деформации.

Результаты исследований. Результаты проведенных экспериментов показали, что при взаимодействии малоуглеродистой стали Ст.3 с ниобием со скоростью деформации 250 с⁻¹ в зоне контакта и на некотором расстоянии от нее образуются твердые растворы железа в ниобии, ниобия и углерода в железе, а также появляются карбиды ниобия Nb_2C и в небольшом количестве NbC . Так как в ниобии до деформации углерод отсутствовал, то его источником являлся частичный распад цементита и твердого раствора углерода в железе, которые содержались в стали. Причем, «следы» твердого раствора углерода в ниобии фиксировались только в зоне контакта. Это позволило сделать вывод, что углерод, поступающий в ниобий, связывался в карбиды и практически не проникал внутрь металла. С помощью радиоактивных изотопов, находящихся перед деформацией на поверхности стали или введенных в сталь в плавке, были изучены особенности фазообразования при взаимодействии различных элементов с ниобием.

Из анализа авторадиограмм (рис. 1) следует, что ниобий и углерод формировали карбиды одинаковой морфологии. При этом атомы железа частично создавали свои карбиды, а частично встраивались в карбиды ниобия. Для атомов никеля было характерно равномерное распределение в ниобии, по-видимому, в качестве твердого раствора замещения никеля в ниобии или сложного раствора железа, никеля и углерода в ниобии. По мере удаления от поверхности образца атомы углерода ^{14}C практически не фиксировались, а атомы исследуемых металлов располагались равномерно по параллельной поверхности плоскости образца.

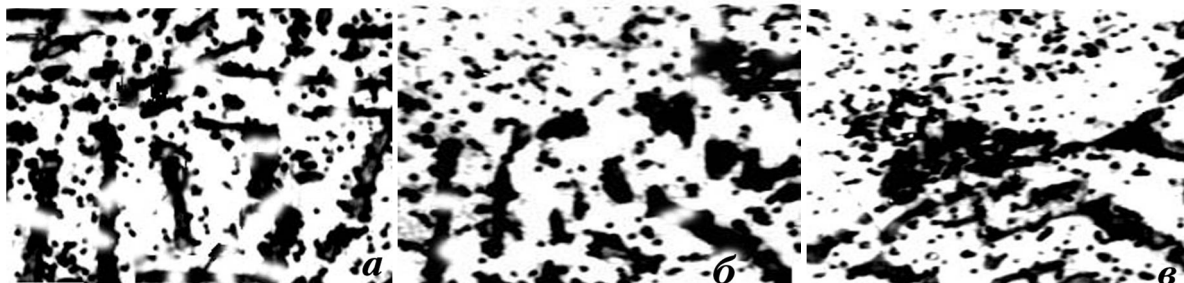


Рис. 1. Типичные авторадиограммы распределения на поверхности ниобия: ниобия ^{95}Nb (а), углерода ^{14}C (б), железа ^{55}Fe (в), $\times 3400$

При взаимодействии стали марки Ст. 3, меченой по углероду, с молибденом при пластической деформации со скоростью 250 с^{-1} , содержание углерода составило 1% от его содержания в карбиде молибдена. Количество углерода и железа, а также их распределение в молибдене существенно различались. Железо находилось преимущественно в твердом растворе, хотя отмечалось присутствие и некоторой доли карбидов. По мере удаления от поверхности образца концентрация углерода резко уменьшалась, в то же время глубина проникновения железа распространялась далее на 10 мкм. Следует отметить, что в любых случаях проведения экспериментов, наличие атомов железа не оказывало влияние на взаимодействие молибдена с углеродом. Возможно, наблюдаемый эффект связан с различием в скоростях миграции атомов углерода и железа [7].

При изучении возникающих изменений фазового состава по глубине зоны массопереноса углерода и молибдена было установлено (рис. 2), что в диффузионной зоне имели место два максимума концентрации углерода. Один из них был связан с наличием в зоне контакта карбида молибдена, а другой был связан с карбидом железа и находился на некотором расстоянии, которое существенно зависело как от скорости, так и от температуры пластической деформации.

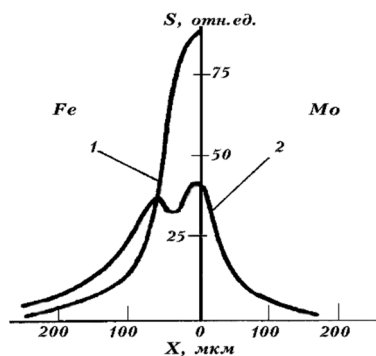


Рис. 2. Перераспределение предварительно введенного углерода ^{14}C (1) при взаимодействии железа с молибденом при 1373 К и 20 с^{-1} (2)

Подобный результат имел место при взаимодействии стали марки Ст. 3 с титаном при пластической деформации со скоростью от 20 до 100 с^{-1} . В зоне контакта малоуглеродистой стали и титана, которая содержала радиоактивный изотоп углерода ^{14}C , возникал слой карбидов титана с ГЦК решеткой и нарушенной стехиометрией (рис. 3). Причем, как и в случае с молибденом, толщина слоя существенно зависела от температуры и скорости пластической деформации. С помощью рентгеноструктурного анализа было установлено, что указанные характеристики пластической деформации оказывали влияние также на содержание углерода в карбиде титана и твердом растворе титана, куда с большой скоростью вместе с углеродом мигрировали и атомы железа. Следовательно, в отличие от взаимодействия металлов, при котором наблюдалась их взаимная растворимость, атомы углерода формировали также фазы внедрения.

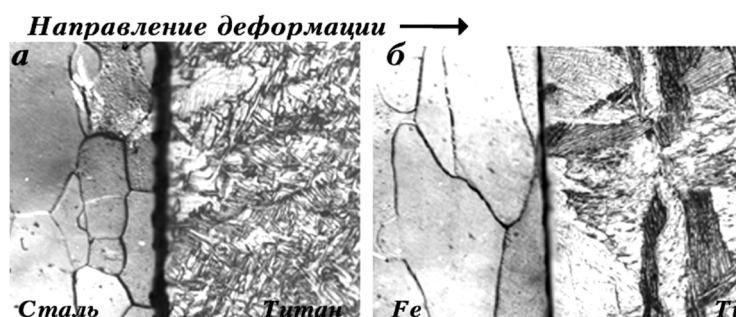


Рис. 3. Микроструктуры неразъемного соединения сталь-титан, $\times 200$ (а) и железо-титан, $\times 400$ (б)

В случае наличия прослойки между сталью и тугоплавким металлом в виде медной фольги толщиной 100 мкм проникновение углерода в металл не фиксировалось (рис. 4), карбиды формировались лишь в стали. Однако атомы железа регистрировались и в ниобии, и в молибдене, и в титане на глубинах до 100 мкм. При введении прослоек из железа или никеля в зону контакта между сталью и тугоплавким металлом наблюдалось замедление процесса проникновения углерода, а также уменьшение его концентрации в приповерхностных слоях молибдена и ниобия. Этот факт можно объяснить тем, что подвижность атомов углерода в металле прослойки в 4-9 раз меньше, чем у атомов железа.

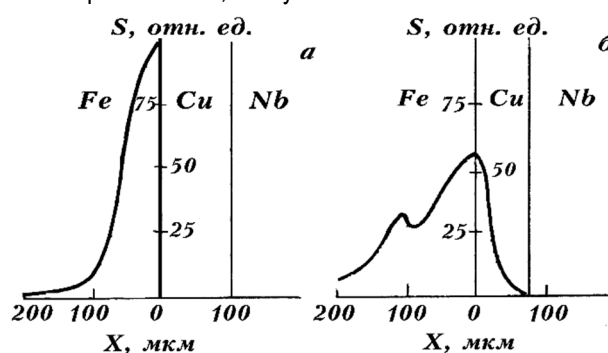


Рис. 4. Распределение изотопа ^{14}C в стали и ниобии при помещении между ними медной прослойки до (а) и после (б) деформации ($T=1073\text{ K}$; $\dot{\varepsilon} = 25\text{ c}^{-1}$)

Следует отметить, что в зоне контакта прослойки с тугоплавким металлом карбиды не возникали, а в самой прослойке фиксировались пересыщенные твердые растворы углерода. Причем максимальная концентрация углерода в растворе соответствовала значению концентрации в приповерхностных слоях стали.

Заключение. По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы: 1) в процессе импульсной пластической деформации при сварке тугоплавких металлов со сталями за миллисекунды происходит частичный распад цементита стали и перераспределение углерода в твердом растворе; 2) в ходе импульсной пластической деформации, высвободившиеся из стали атомы углерода диффундируют в ниобий, молибден, титан и образуют карбиды металлов, которые имеют неправильную форму и отличаются своей морфологией; 3) твердые растворы углерода в металлах распределены равномерно в плоскости, параллельной поверхности, в то же время фазы внедрения располагаются вблизи межзеренных и межфазных границ, при этом концентрация растворенного углерода убывает с глубиной по экспоненциальному закону.

Библиографический список

1. Мазанко, В. Ф. Диффузионные процессы в металлах под действием магнитных полей и импульсных деформаций : в 2 т. Т. 2 / В. Ф. Мазанко, А. В. Покоев, В. М. Миронов [и др.]. – М. : Машиностроение, 2006. – 320 с.
2. Петушков, В. Г. Применение взрыва в сварочной технике. – Киев : Наукова думка, 2005. – 754 с.
3. Лашенко, Г. И. Способы дуговой сварки стали плавящимся электродом. – Киев : Экотехнология, 2006. – 384 с.
4. Харченко, Г. К. Изготовление переходников нержавеющей сталь–алюминий способом сварки давлением в вакууме / Г. К. Харченко, Ю. В. Фальченко, В. Е. Федорчук [и др.] // Автоматическая сварка. – 2012. – №1. – С. 30-32.
5. Неклюдов, И. М. Особенности формирования соединения разнородных металлов при сварке горячей прокаткой в вакууме / И. М. Неклюдов, Б. В. Борц, В. И. Ткаченко // Автоматическая сварка. – 2011. – №8. – С. 31-37.
6. Бобырь, С. В. Анализ процесса графитизации в железоуглеродистых сплавах на основе термодинамики необратимых процессов // Металлофизика и новейшие технологии. – 2013. – Т. 35, вып. 2. – С. 199-208.
7. Панин, А. В. Особенности пластической деформации и разрушения технического титана и малоуглеродистой стали, подвергнутых ультразвуковой обработке // Физика металлов и металловедение. – 2004. – Т. 98, №1. – С. 109-118.