

ВЛИЯНИЕ ЗАКАЛКИ И ОТПУСКА НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛОИСТОГО КОМПОЗИТА «СТАЛЬ 12Х18Н10Т — СТАЛЬ 5ХВ2С», ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ СВАРКИ ВЗРЫВОМ*

*Е. А. ПРИХОДЬКО, аспирант,
А. П. АЛХИМОВ, доктор техн. наук, доцент
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Статья поступила 15 февраля 2012 года

Приходько Е. А. – 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: helens_case@ngs.ru

С использованием методов структурного анализа изучено строение композитов, сформированных сваркой взрывом тонких пластин инструментальной и аустенитной сталей. Показано, что закалка многослойных композитов приводит к формированию сложной структуры, содержащей слои исходных сталей и слои нового химического состава. Результатом структурных изменений является двукратный рост ударной вязкости.

Ключевые слова: разнородные стали, сварка взрывом, термическая обработка.

Введение

Слоистые композиционные материалы, полученные сваркой взрывом, известны своими уникальными свойствами, такими как высокая прочность, трещиностойкость, сопротивление коррозии и изнашиванию. С целью разработки новых материалов такого типа для различных областей применения выполнено большое количество работ. Обычно сварка взрывом применяется для получения биметаллических или трехслойных композиций. В то же время имеются работы, отражающие результаты структурных исследований и свойств композитов, содержащих девять, тринадцать и двадцать один слой [1–3]. В некоторых случаях при получении слоистых композитов методом сварки взрывом для снятия внутренних напряжений необходимо проведение промежуточного отжига. Изучению струк-

турных преобразований, происходящих на этом этапе формирования многослойных материалов, внимания уделяется мало [4–5]. Настоящая работа посвящена исследованию влияния закалки и отпуска на структуру и свойства композитов, полученных путем сварки взрывом нержавеющей стали аустенитного класса и инструментальной стали.

Методика проведения исследований

Исследовали тринадцатислойные композиты из стали 5ХВ2С и хромоникелевой аустенитной стали 12Х18Н10Т, полученные сваркой взрывом по схеме, представленной на рис. 1. Тринадцатислойные пакеты исследовались в состоянии после закалки в масло от 880 °С и отпуска при 200 °С.

* Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

Химический состав нержавеющей аустенитной стали

Элемент	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Ti	W
Сталь 12X18H10T	0,12	0,73	0,55	0,05	0,01	8,18	16,8	0,54	—
Сталь 5XB2C	0,30	0,29	0,66	0,04	0,02	0,11	16,8	—	2,16

Габариты соединяемых пластин составляли 60×110×1 мм. Химический состав материалов представлен в таблице. Расчетная скорость точки контакта и углов соударения на 1, 2, 3, 4, 5 и 6 границе составили 3483 м/с и 22,3°; 2927 м/с и 18,3°; 2411 м/с и 16,6°; 2411 м/с и 16,6°; 2927 м/с и 18,3°; 3483 м/с и 22,3° соответственно.

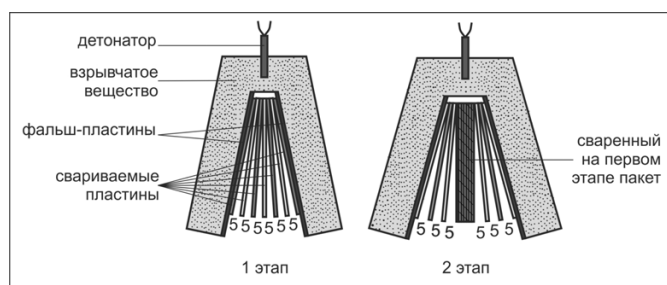


Рис. 1. Схема сварки пластин за два этапа. Цифрами обозначены зазоры между пластинами

Результаты исследований и их обсуждение

Общий вид композита до и после закалки и отпуска приведен на рис. 2. Нагрев композита до 880 °С привел к формированию шести зон с различной структурой и уровнем твердости (рис. 3, а–в). Помимо исходных структур мартенсита (рис. 3, б, зона 1) и аустенита (рис. 3, б, зона 6), в соединении были обнаружены феррит (рис. 3, б, зона 2), участки переплава (рис. 3, б, зона 4), участки аустенита с распределенными в нем карбидами (рис. 3, б, зона 5). На начальном

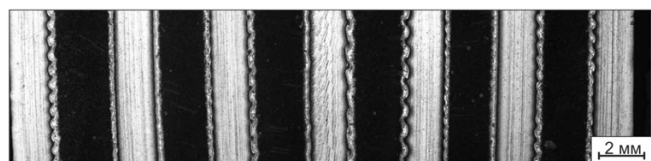
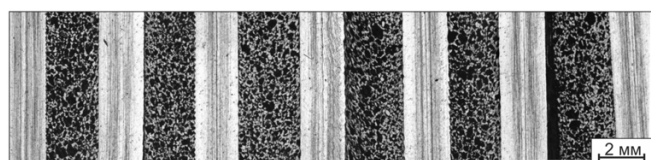


Рис. 2. Общий вид композита до (а) и после (б) закалки и отпуска

этапе происходила диффузия атомов углерода из поверхностных слоев инструментальной стали, и в околошовной зоне формировался слой со структурой феррита (рис. 3, б, зона 2). Толщина обедненного углеродом слоя составляет ~ 40 мкм (на гребнях волн) и ~ 100 мкм (во впадинах волн). Диффузия легирующих атомов идет перпендикулярно поверхности раздела и соответственно на гребнях волн объем материала, в который возможно диффузионное проникновение атомов, будет больше, чем во впадинах. Отмеченная разница также обусловлена различной степенью пластической деформации материала на гребнях и во впадинах волн. Нанотвердость обедненного углеродом слоя является наименьшей в исследуемом композите и составляет 2 ГПа (рис. 3, в).

В результате термической обработки возрастает концентрация углерода в аустенитной стали (рис. 3, а, б). В исходном состоянии, благодаря стабилизации γ-фазы титаном, углерод в хромо-

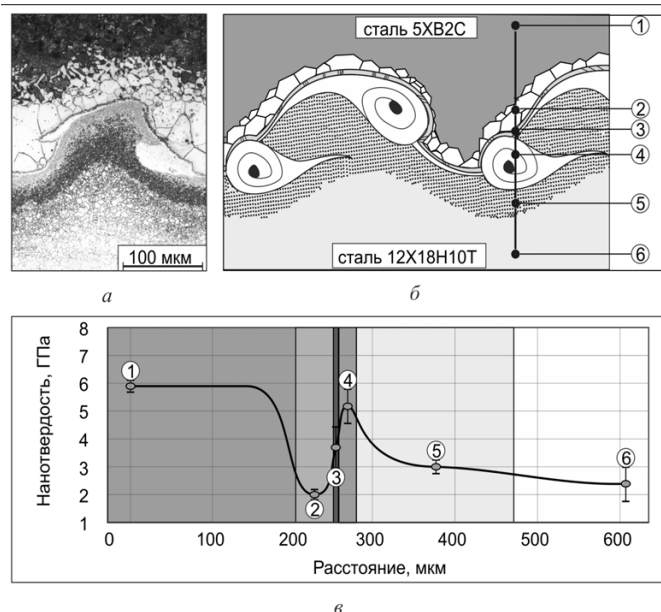


Рис. 3. Структура слоистого композиционного материала «инструментальная сталь – нержавеющая сталь» после закалки (а); схематическое изображение зон, сформированных в процессе закалки композиционного материала, состоящего из инструментальной и хромоникелевой аустенитной сталей (б); твердость различных зон закаленного композита (в)

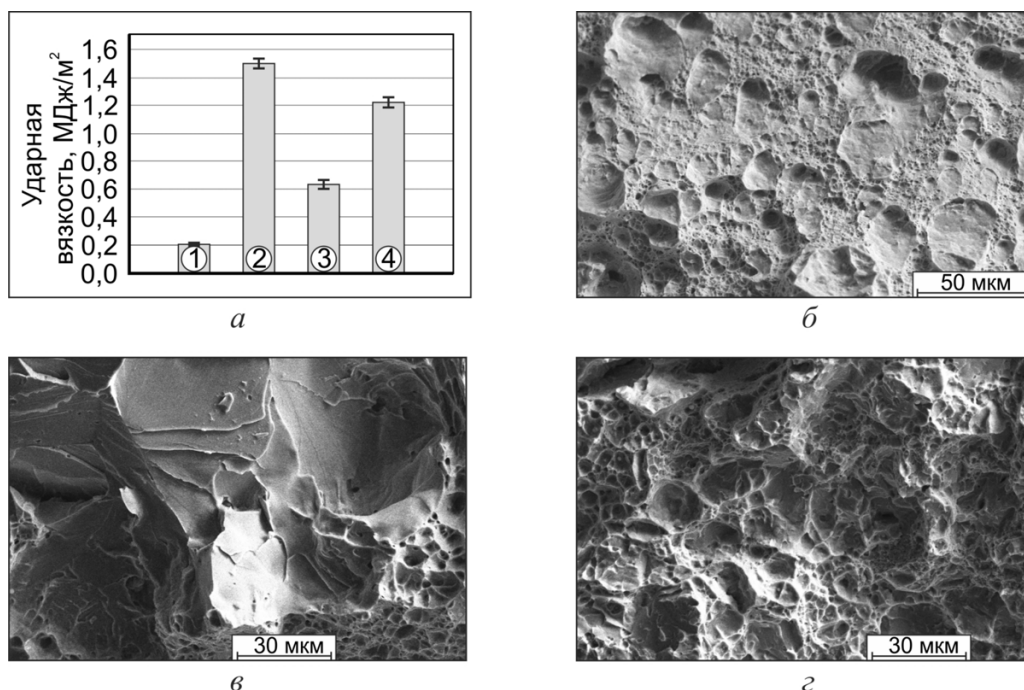


Рис. 4. Результаты исследований и разрушения:

результаты испытаний материалов на ударную вязкость (а): 1 – сталь 5ХВ2С после закалки и отпуска; 2 – сталь 12Х18Н10Т; 3 – сваренный взрывом композит «сталь 5ХВ2С – сталь 12Х18Н10Т»; 4 – закаленный и низкоотпущенный композит «сталь 5ХВ2С – сталь 12Х18Н10Т»; вязкий излом слоя аустенитной стали (б); хрупкое разрушение феррита в слое инструментальной стали (в); квазивязкое разрушение мартенсита инструментальной стали (г)

никелевой стали был связан в карбиды титана (TiC). Однако при насыщении стали углеродом в околошовной области формируются обогащенные хромом карбиды ($M_{23}C_6$), что повышает твердость материала примерно до 3 ГПа. Максимальная глубина упрочненного карбидами слоя достигает ~ 200 мкм, минимальная составляет ~ 55 мкм.

На границе между соединяемыми пластинами зафиксирован тонкий (~ 3...5 мкм) слой, состоящий из аустенита и хаотично расположенных в нем пакетов мартенсита (рис. 3, а, б). Присутствие в анализируемой области повышенного количества остаточного аустенита объясняется незавершенностью процесса мартенситного превращения. Вследствие диффузии хрома и никеля из стали 12Х18Н10Т в инструментальную сталь 5ХВ2С концентрация легирующих элементов в последней повысилась, что привело к смещению точек начала и конца мартенситного превращения в область более низких температур.

Для исследования влияния структурных изменений на механические свойства композитов были проведены испытания на ударную вязкость (рис. 4, а). Ударная вязкость композита после

термической обработки возросла в два раза по сравнению с термически необработанным композитом (с 0,65 МДж/м² до 1,26 МДж/м²). Объясняется это релаксационными процессами, развивающимися в процессе термической обработки в хромоникелевой стали, а также особенностями разрушения стали 5ХВ2С (рис. 4, в).

При нагреве до 540 °С в аустенитной стали начинают проявляться процессы полигонизации, сопровождающиеся снижением плотности дислокаций, их перераспределением, образованием границ субзеренного типа. Это приводит к снижению твердости и прочности, а также увеличению вязкости материала.

Термическая обработка сваренного взрывом композита «сталь 5ХВ2С – сталь 12Х18Н10Т» влияет на характер разрушения обеих сталей. «Ямки» на поверхности разрушения в аустенитной стали становятся менее глубокими (рис. 4, б). Феррит, сформированный в инструментальной стали, разрушается по хрупкому механизму (рис. 4, в), а мартенсит, наоборот, характеризуется более вязким механизмом разрушения (рис. 4, г). Аналогичное явление ранее отмечалось при разрушении двухфазных

феррито-мартенситных сталей. Затруднение пластической релаксации в феррите приводит к тому, что эта фаза не тормозит процесс зарождения и распространения трещины. Разупрочнение ее происходит по механизму скола. При небольшой объемной доле феррита более вязкой фазой является граничащий с ней мартенсит.

Область между разнородными сталями, представляющая собой остаточный аустенит с пакетами мартенсита, разрушается с образованием излома смешанного типа.

Выводы

Закалка с низким отпуском композита «сталь 5XB2C – сталь 12X18H10T» приводит к формированию сложной структуры, состоящей из слоев исходных сталей, а также из слоев переменного химического состава, полученных в результате диффузии. Благодаря высокому качеству соединения пластин и отсутствию преград между разнородными сталями даже кратковременный нагрев при закалке вызывает активную диффузию атомов легирующих элементов.

Ударная вязкость полученных сваркой взрывом композитов занимает промежуточное значение между ударной вязкостью исходных материалов. Закалка и низкий отпуск композитов «инструментальная сталь – аустенитная сталь» в два раза повышает ударную вязкость по срав-

нению с незакаленным композитом. Закалка и отпуск композита «сталь 5XB2C – сталь 12X18H10T» изменяет характер разрушения феррита и мартенсита в переходной зоне. Феррит разрушается по хрупкому механизму, мартенсит – по квазивязкому.

Список литературы

1. *Formation of the intermetallic layers in Ti-Al multilayer composites* / V.I. Mali, I. A. Bataev, A.A. Bataev, A.I. Smirnov, D.V. Pavliukova, P.S. Yartsev // *Advanced Materials Research*. – 2011. – Vols. 311–313. – P. 236–239.
2. *Structural and mechanical properties of metallic–intermetallic laminate composites produced by explosive welding and annealing* / I.A. Bataev, A.A. Bataev, V.I. Mali, D.V. Pavliukova // *Materials & Design*. 2012. – Vol. 35. – P. 225–234
3. *Structure and fatigue crack resistance of multilayer materials produced by explosive welding* / I. A. Bataev, A. A. Bataev, V. I. Mali, V. Burov, E. Golovin, A. Smirnov, E. A. Prikhodko // *Advanced Materials Research*. – 2011. – Vols. 287–290. – P. 108–111.
4. *Effects of heat treatments on mechanical properties of Fe/Al explosion-welded structural transition joints* / L. Tricarico, R. Spina, D. Sorgente, M. Brandizzi // *Materials & Design*. – 2008. – Vol. 30. – P. 2693–2700.
5. *Bataev A.A., Bataev I.A., Mali V.I., Esikov M.A., Prikhodko E.A.* // *Proceedings of IFOST-2011. – 6th International Forum on Strategic Technologies*. – P. 1–5.

Effect of quenching and tempering on the structure and mechanical properties of laminated composites “steel 12X18H10T – steel 5XB2C” obtained by explosive welding

E. A. Prikhodko, A. P. Alkhimov

The structure of composites formed by explosive welding of thin sheets of tool and austenitic steels was studied by structural analysis methods. It is shown that the quenching and tempering of composites leads to the formation of complicated structure containing, along with layers of dissimilar steels, layers with new chemical compositions. Due to the structural changes there is an 2-fold increasing of impact toughness.

Key words: heterogeneous steels, explosive welding, heat treatment.