

УДК 621.791.763

Кочубей В.В., Рыжов Р.Н., Чвертко Е.П.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА МИКРОСТРУКТУРУ ШВОВ ПРИ ТОЧЕЧНОЙ КОНТАКТНОЙ СВАРКЕ

Приведены результаты исследований влияния внешних электромагнитных воздействий на микроструктуру соединений при точечной контактной сварке. Описаны полученные структуры различных зон сварной точки. Оценена эффективность применения электромагнитных воздействий при сварке различных типов сталей и разнородных соединений.

Ключевые слова: точечная контактная сварка, внешнее электромагнитное воздействие, металлографические исследования, микроструктура.

Введение

Известно влияние структуры металла сварной точки на эксплуатационные, например механические, свойства соединения при точечной контактной сварке (ТКС). Одним из способов влияния на мик-

роструктуру таких соединений является применение внешних электромагнитных воздействий (ЭМВ). Такие воздействия основаны на управлении гидродинамикой расплава силами, возникающими в его объеме при взаимодействии сварочного тока с внешним управляющим магнитным полем (УМП).

Постановка задачи

При ТКС конструкционных и нержавеющей сталей в однородном и разнородном сочетании ЭМВ успешно использовали для управления формированием и улучшения механических свойств соединений [1, 2]. Однако опубликованных данных, свидетельствующих о положительных изменениях микроструктуры указанных соединений, на данный момент недостаточно. Исходя из сказанного, целью данной работы является определение эффективности влияния внешних ЭМВ на микроструктуру соединений при ТКС.

Методика экспериментальных исследований

Влияние ЭМВ на свойства и структуру металла точки определяли на образцах из конструкционной стали Ст3, нержавеющей стали 12Х18Н10 в однородном и разнородном сочетании толщиной 1,5 мм. Образцы сваривались на стандартных режимах, рекомендованных в литературе [3]. При сварке была использована четырехполосная магнитная система, описанная в [1]. Ток намагничивания

химически в 4 % растворе азотной кислоты в спирте. Для выявления микроструктуры образцов из разнородных металлов использовали комбинированное травление в два этапа: электролитическое и химическое. Металлографические исследования проводили на микроскопе «Neophot-32» при различных увеличениях. Цифровое изображение микроструктуры образцов получали фотокамерой «Olympus C 5050». Твердость измеряли на микротвердомере М-400 фирмы «Лесо» при нагрузке 100 г.

Процесс ТКС металлов во многом отличается от других способов сварки, в том числе своей малой продолжительностью. При этом металл в сварной точке успевает разогреться до температуры плавления, после чего он быстро остывает в результате интенсивного теплоотвода в толщу деталей и в медные электроды. Во время сварки и частичного остывания металл подвергается значительному сжатию. Все это обуславливает отличие процессов кристаллизации металла точки от процессов кристаллизации, известных в классическом металлостроении [4]. Количественные измерения параметров ядра и его структурных составляющих проводили для характерных зон соединения (рис. 1).

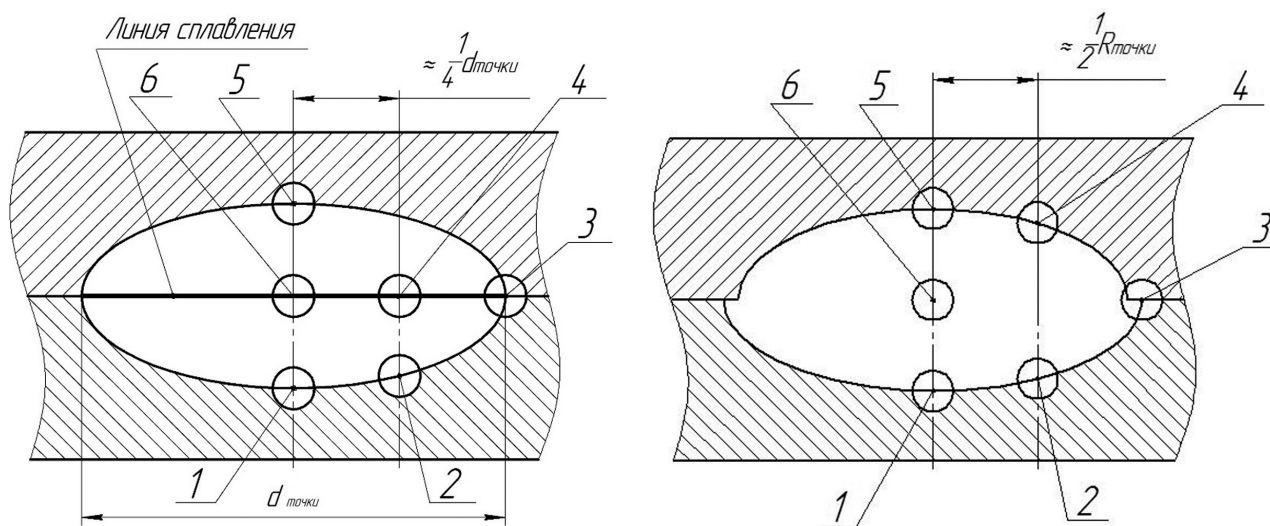


Рис. 1. Характерные зоны соединения: а) из однородных металлов; б) из разнородных металлов

через катушки электромагнитов системы изменяли в пределах 0...5 А, что позволяло получить величину индукции УМП вблизи границы ядра сварной точки в диапазоне 0...7 мТл.

Шлифы изготавливали по стандартной методике с применением алмазных паст разной дисперсности. Для выявления микроструктуры стали 12Х18Н10 образцы подвергали электролитическому травлению в растворе 20 % сернокислого аммония (напряжение – 12 В, время – 15 с). Для выявления микроструктуры стали Ст3 образцы травлили

Полученные данные

На рис. 2, а представлен общий вид литого ядра образцов из конструкционной стали Ст3. Средняя часть ядра образована крупными кристаллитами, имеющими ширину порядка 70 мкм в случае сварки по штатной технологии и уменьшающейся в два раза при сварке с максимальной индукцией УМП.

Микроструктура центральной части ядра (зона б) рис. 1, а) представляет собой феррит с расположенным преимущественно по границам кристаллитов

перлитом и бейнитной составляющей в теле кристаллитов. Микротвердость этой части ядра составляет: HV1 – 3030 МПа при сварке по штатной технологии и HV1 – 2690 МПа при применении УМП.

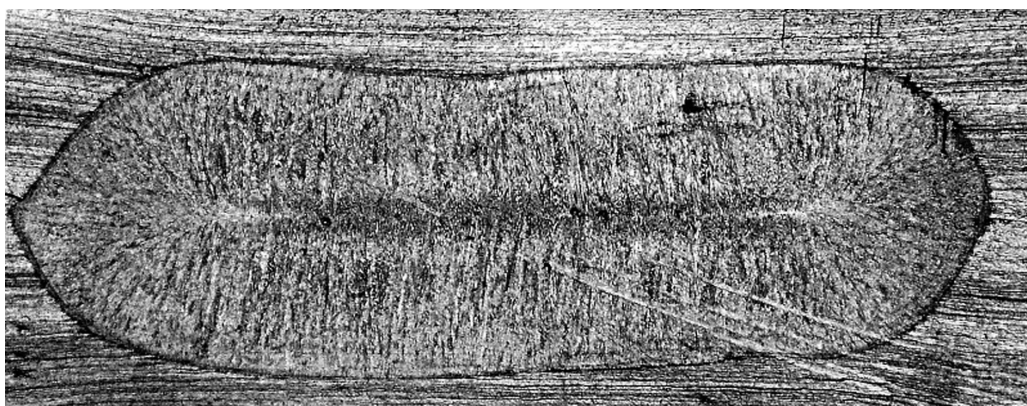
Периферия литой зоны (зона 4 рис. 1, а) образована кристаллитами, ориентированными под углом в направлении максимального теплоотвода. Прилегающая к центру ядра по окружности зона металла имеет крупнозернистую структуру и твердость HV1 – 3660 МПа при сварке по штатной технологии и HV1 – 3510 МПа при применении УМП.

На периферии литой зоны ядра по границе расплава располагается зона мелкодисперсной структуры, имеющая в зоне 1 (рис. 1, а) ширину порядка 400 мкм увеличивающуюся до 650 мкм в зоне 3 (рис. 1, а), как для образцов, полученных по штатной технологии, так и при сварке с ЭМВ. В обоих случаях твердость этой зоны находится в пределах HV1 – 2360...2850 МПа.

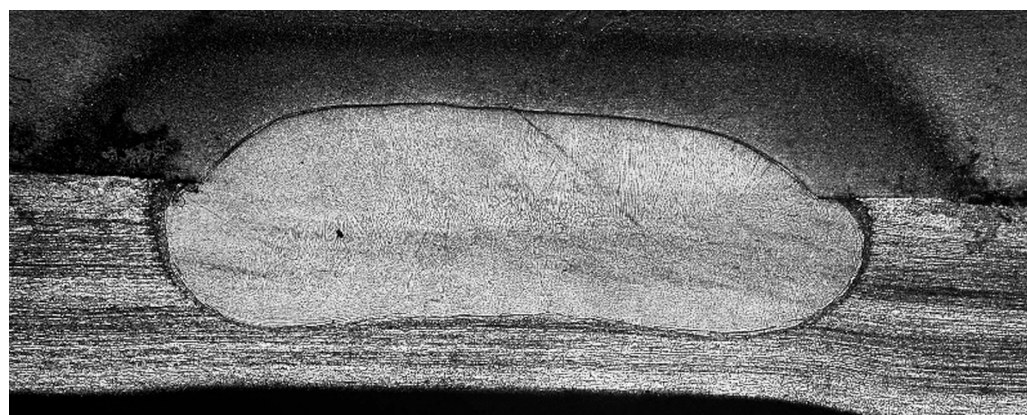
Макроструктура сварной точки образцов из стали 12Х18Н10 представлена на рис. 2, б. Как при штатной технологии, так и при применении ЭМВ



а)



б)



в)

Рис. 2. Характерные макроструктуры сварных точек

а) конструкционная сталь Ст3; б) нержавеющая сталь 12Х18Н10; в) разнородное соединение Ст3 (сверху) и 12Х18Н10



она представляет собой аустенит с выделением – феррита по границам кристаллитов.

Кристаллизация металла литого ядра начинается от частично оплавленных пограничных зерен, окаймляющих область жидкого металла. По периферии литой зоны ядра, в результате больших скоростей охлаждения, образуется зона мелкодисперсной структуры. Кристаллизация жидкого металла происходит от поверхности ядра к его середине. В центральной части ядра по линии сплавления происходит полное смыкание дендритов. Необходимо отметить, что в этой же области в переходной зоне к основному металлу образуется большее количество – феррита. Периферия литой зоны (зона 4 рис. 1, а), как и у образцов из Ст3 представлена кристаллитами, ориентированными под углом в направлении наибольшего теплоотвода.

Количественные измерения параметров ядра и структурных составляющих в характерных точках соединения показали, что в ядре образцов сваренных по штатной технологии, количество – феррита составляет 3,8...4 % при сварке с ЭМВ – 4...4,2%.

Ширина мелкодисперсной зоны по границам расплава в металле ядра наибольшая в образцах, сваренных с максимальной индукцией УМП. На этих образцах зафиксировали некоторое увеличение микротвердости с HV1 – 2580 МПа до HV1 – 2970 МПа по сравнению с остальными образцами этой серии.

Наименьший дендритный параметр (расстояние между осями дендритов) отмечается в образцах, сваренных с применением штатной технологии, что связано с большей скоростью охлаждения.

Общий вид литых ядер образцов из конструкционной стали Ст3 и нержавеющей стали 12Х18Н10 представлен на рис. 2, в.

В центральной части литой зоны (зона 6 рис.1, б) наблюдается дендритная структура со смыканием дендритов на оси симметрии (по линии сплавления). Микроструктура литого ядра представляет собой аустенит с выделениями – феррита по границам кристаллитов. Микротвердость центральной части ядра находится в диапазоне HV1 – 3360...3660 МПа. На периферии литой зоны со стороны нержавеющей стали 12Х18Н10 по периметру ядра образуется область мелкодисперсной структуры, имеющая твердость HV1 – 2430...2580 МПа. У образцов, сваренных по штатной технологии, ширина этой зоны находится в пределах 40...120 мкм и уменьшается на 20...25 % с увеличением индукции УМП. По периферии ядра со стороны стали Ст3 область мелкодисперсной структуры отсутствует. Однако в металле ядра на границе линии сплавления со сталью Ст3 образуется область мартенситоподобной структуры с твердостью, достигающей во всех случаях значений HV1 – 4460...4880 МПа.

При образовании точки выделяющееся тепло вызывает изменение структуры основного металла стали Ст3. Образуется зона термического влияния шириной до 1200 мкм, имеющая структуру бейнита с твердостью HV1 – 3360...3600 МПа.

При ТКС по штатной технологии образцов из конструкционной стали Ст3 дендритный параметр составлял 60...70 мкм. Применение ЭМВ позволяет снизить его значение почти в два раза, что свидетельствует о соответствующем изменении структуры ядра точки в результате изменения скорости кристаллизации. Об этом также свидетельствует увеличение с 300 мкм до 650 мкм ширины зоны термического влияния.

Вследствие меньшей теплопроводности нержавеющей стали 12Х18Н10 усреднение температур благодаря ЭМВ в объеме ядра приводит к увеличению данного показателя с 5 мкм до 20 мкм. При сварке разнородных материалов изменения дендритного параметра незначительны – 8...13 мкм.

Таким образом, применение внешних ЭМВ при ТКС позволяет существенно влиять на процессы кристаллизации швов. В большей степени это относится к сварке конструкционных сталей.

Выводы

1. При ТКС с ЭМВ конструкционных сталей увеличение скорости кристаллизации в результате гидродинамических перемещений расплава во всем объеме ядра приводит к измельчению структуры точки и уменьшению микротвердости ее элементов.

2. Применение ЭМВ при сварке нержавеющей сталей и разнородных соединений приводит к менее значительным изменениям вследствие меньшей, чем у конструкционных сталей, теплопроводности.

3. Наибольшее изменение структур при применении ЭМВ происходит вдоль линии сплавления свариваемых образцов.

Литература

- [1] Рижов Р.М. Застосування зовнішніх електромагнітних дій для керування формуванням швів при точковому контактному зварюванні. / Р.М. Рижов, В.В. Кочубей, С.М. Назарук, С.О. Нестуля, Г.П. Болотов // Технологические системы, 2011, №3 (56), – С. 90–92.
- [2] Попов В.А. Влияние магнитного поля на формирование соединения при контактной точечной сварке // Сварочное производство, 1992, №10, – С. 28–29.
- [3] Технология и оборудование контактной сварки: учебник для машиностроительных вузов / [Орлов Б.Д., Чакалев А.А., Дмитриев Ю.В. и др.]; под ред. Б.Д.Орлова [2-е изд.] – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.
- [4] Моравский В. Э. Конденсаторная сварка металлов малых толщин // М.: Машгиз, 1960, – 144 с.

Kochubei V. V., Ryzhov R. M., Chvertko Eu. P.

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic institute". Ukraine/ Kyiv

EFFECT OF EXTERNAL MAGNETIC FIELDS ON MICROSTRUCTURE OF THE WELDED JOINT METAL IN CASE OF RESISTANCE SPOT WELDING

The paper describes results of research of effect of external magnetic fields on microstructure of the welded joint metal in case of resistance spot welding. The analysis of structures obtained in different zones of the welded spot are presented. Effectiveness of application of external magnetic fields for welding of different types of steels as well as for the dissimilar metals' welding was evaluated.

Keywords: resistance spot welding, external electromagnetic field, metallographic research, microstructure.

Referencec

- [1] Ryzhov R. M. Zastosuvannya zovnishnih elektromagnitnyh dij dlya keruvannya formuvannjam shviv pry tochkovomu kontaktnomu zvaryuvanni R. M. Ryzhov, V.V. Kochubej, S.M. Nazaruk, S.O. Nestulya, G.P. Bolotov // *Technologicheskie sistemy*, 2011, №3 (56), – p. 90–92.
- [2] Popov V.A. Vliyanie magnitnogo polya na formirovanie soedineniya pri kontaktnoj tochechnoj svarke // *Svarochnoe proizvodstvo*, 1992, №10, – p. 28–29.
- [3] *Tehnologiya i oborudovanie kontaktnoj svarki: uchhebnyk dlya mashinostroitelnyh vuzov* / [Orlov B.D., Chakalev A.A., Dmitriev Yu.V. i dr.]; pod red. B.D.Orlova [2-e izd.] – M.: Mashinostroenie, 1986. – 352 p.
- [4] Moravskij V.E. Kondensatornaja svarka metallov malych tolschin // M.: Mashgiz, 1960, – 144 p.