

УДК: 621.791

СТРУКТУРА СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ ХРОМОНИКЕЛЕВОЙ СТАЛИ ПРИ ПЛАЗМЕННОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКЕ

С.Е. Ильяшенко^{1,2}, Е.А. Волохин¹, А.Н. Михайлова¹, П.А. Акимкин³

¹Тверской государственный технический университет,
кафедра технологии металлов и материаловедения

²Тверской государственный университет,
кафедра прикладной физики

³ОАО «Тверской вагоностроительный завод»

В работе исследована микроструктура сварного соединения аустенитной нержавеющей стали 12Х18Н10Т, выполненного плазменной точечной сваркой в автоматическом режиме. Выявлено, что размеры и форма литой зоны зависят от сварочных параметров, а ее внутреннее строение имеет дендритный характер. Внешние параметры сварного соединения (профилограммы и цвета побежалости) хорошо согласуются с внутренней макроструктурой литой зоны, что может быть использовано в качестве экспресс-метода для обнаружения дефектных сварных точек.

Ключевые слова: *нержавеющая сталь, сварные соединения*

WELDED JOINT STRUCTURE OF STAINLESS CHROME-NICKEL STEEL AFTER PLASMA SPOT WELDING

S. E. Ilyashenko^{1,2}, E. A. Volokhin¹, A. N. Mikhailova¹, P. A. Akimkin³

¹Tver State Technical University,
Chair of Metal Technology and Materials Science

²Tver State University,
Chair of Applied Physics

³OAO «Тверской вагоностроительный завод»

A study is made of the welded joint microstructure of austenitic stainless steel 12X18H10T implemented by automatic plasma spot welding. It is shown that the size and shape of the cast region depend on the parameters of welding while its internal structure is of dendritic type. The external parameters of the joint (weld profile and farnish colours) are in good correlation with the internal macrostructure of the welded zone which makes it possible to use the former as an express method for defect finding of welded points.

Keywords: *stainless steel, welded joints*

Введение. Характер металлургических и тепловых процессов, протекающих при сварке, оказывает большое влияние на формирование внутренней структуры при кристаллизации расплавленного металла, а, следовательно, и на свойства сварного соединения. Процесс его образования при плазменной точечной сварке аналогичен сварке

плавлением с использованием мощного теплового источника – электрической дуги [1]. После кратковременного нагрева следует быстрое охлаждение, что определяет строение сварного шва. Особенность плазменной точечной сварки заключается, как правило, в отсутствии присадочного металла, а также наличии высоких скоростей охлаждения, что создает менее равновесные условия при кристаллизации сварочной ванны. Это может привести к образованию различных дефектов, например, холодных трещин в сварном соединении. В то же время, исключительно малые зоны проплавления и термического влияния оказывают положительное влияние на качество сварной точки, т.к. возникающие при кристаллизации усадочные напряжения малы.

Первичная кристаллизация расплава, при которой частично оплавленные зерна основного металла, граничащие со сварочной ванной, являются готовыми центрами кристаллизации, приводит к образованию ориентированных дендритов, растущих параллельно направлениям теплоотвода [2, 3]. В сталях, где в процессе охлаждения происходят полиморфные превращения, имеет место вторичная кристаллизация или перекристаллизация, которая тесно связана с первичной структурой. Таким образом, изучение вторичной структуры сварного соединения является важным моментом для получения представлений о процессе кристаллизации металла в целом.

Целью данной работы явилось исследование структуры и свойств сварных соединений листовой стали 12X18H10T, выполненных точечной плазменной сваркой.

Методика эксперимента и образцы для исследования. Для достижения цели, поставленной в работе, из хромоникелевой нержавеющей стали марки 12X18H10T были изготовлены образцы, выполненные плазменной точечной сваркой с различными сварочными параметрами. Сталь 12X18H10T – высоколегированная аустенитная сталь, используемая в изделиях и конструкциях ответственного назначения. Высокое содержание хрома (17...19%) обеспечивает устойчивость к воздействию коррозионных сред, а значительная добавка никеля (до 9...12%) приводит к образованию аустенитной структуры при охлаждении стали до комнатной температуры. Хорошее сочетание свойств достигается благодаря тому, что в процессе нагрева и охлаждения при сварке хрупкая σ -фаза, представляющая собой интерметаллическое соединение хрома с железом Fe_3Cr , образуется в аустените гораздо медленнее, чем в феррите. Кроме того, стали этого класса имеют хорошую свариваемость, не склонны к росту зерна в зоне термического влияния, обладают высокой пластичностью, коррозионной стойкостью, жаропрочностью и жаростойкостью.

Химический состав хромоникелевой аустенитной стали 12Х18Н10Т приведен в табл. 1 [4].

Таблица 1. Химический состав, % стали марки 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Ti
0,12	0,8	1,0-2,0	0,035	0,02	17,0-19,0	9,0-11,0	0,3	0,6-0,8

Для исследований из листовой холоднокатаной стали 12Х18Н10Т с толщинами 2,0 и 1,5 мм вырезались заготовки 180×40 мм. Плазменная точечная сварка производилась на аппарате фирмы SBI в автоматическом импульсном режиме со следующими параметрами: время сварки 550 мс; расход газа 2 л/мин; время спада тока 0,4 А/мс, время подъема тока 10 А/мс. Сварка проводилась одним импульсом с токами сварки 250, 355 и 450 А. Состав газа – 5% водорода, 95% аргона (Varigon). Заготовки сваривались с тонкого листа на толстый. Внешний вид полученных соединений приведен на рис. 1. Далее из заготовок изготавливали образцы с размерами 25×25 мм, которые затем разрезали на две половины с помощью электроэрозионной резки (рис. 2) для исследования микроструктуры поперечного сечения сварного соединения.

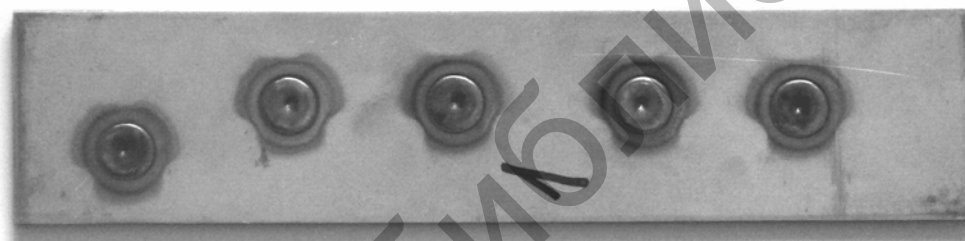


Рис. 1. Внешний вид заготовки сварного соединения нержавеющей стали 12Х18Н10Т (вид сверху)

Микроструктуру поперечного сечения сварного соединения выявляли электролитическим травлением шлифа в насыщенном растворе хромового ангидрида в ортофосфорной кислоте и исследовали с помощью металлографического микроскопа МИМ-8.

Для изучения профилограмм поверхностей сварных точек был собран холловский сканирующий профилометр, оснащенный микрометром с погрешностью измерений 10 мкм и датчиком Холла с чувствительностью 55 мкВ/мТл. Внешний вид холловского профилометра для исследования распределения нормальной компоненты полей рассеяния и профилограмм поверхностей сварных соединений представлен на рис. 3.

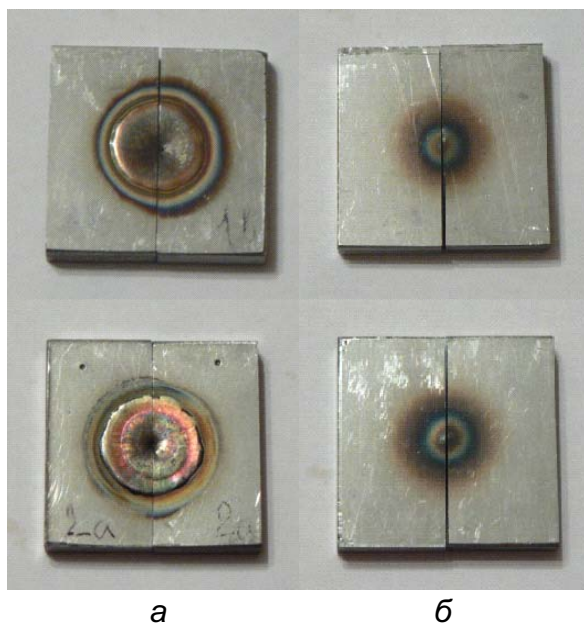


Рис. 2. Образцы сварных соединений нержавеющей стали 12X18H10T. а – вид со стороны проплава, б – вид с лицевой стороны.

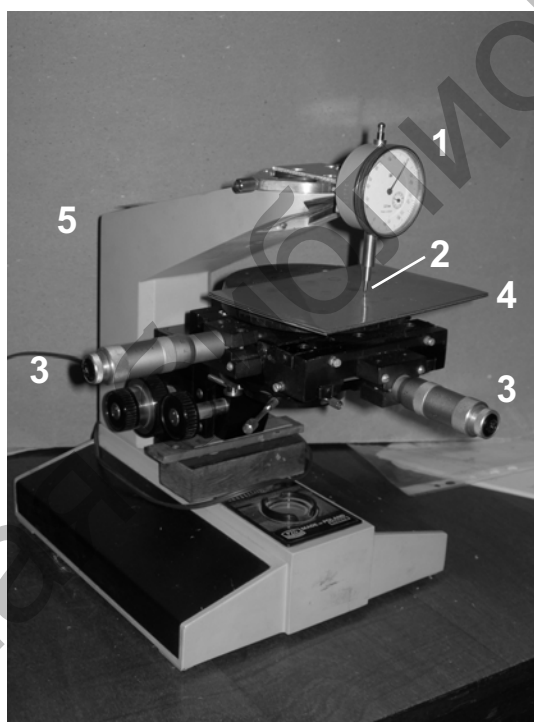
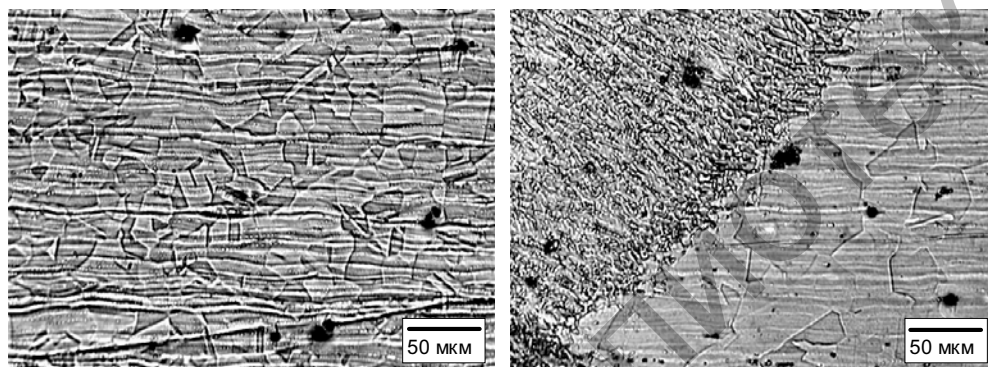


Рис. 3. Внешний вид сканера для комбинированных измерений магнитограмм и профилометрии поверхности образцов сварных соединений. 1 – микрометр, 2 – преобразователь Холла, 3 – микрометрические приводы перемещений в плоскости ХУ, 4 – предметный столик с образцом, 5 – Г-образный штатив с механизмами грубого и точного вертикального перемещения столика

Результаты исследований и обсуждение. В работе было проведено исследование микроструктуры поперечного сечения

сварного соединения листовой холоднокатаной стали 12Х18Н10Т, выполненного плазменной точечной сваркой. Фотографии микроструктур различных участков сварного соединения представлены на рис. 4. Как видно из рисунка, зона термического влияния (рис. 4, а) имеет крупнозернистое строение. Такая структура возникает в результате перегрева от температуры солидуса до 1200 °С, что приводит к значительному возрастанию размеров кристаллитов. Как и основной металл, эта зона характеризуется аустенитной структурой с включениями δ-феррита, ориентированными вдоль направления прокатки. На рис. 4, б представлена фотография участка неполного расплавления, который представляет собой тонкую переходную прослойку между зоной литого ядра и зоной термического влияния. Здесь происходит сращивание зерен основного металла с кристаллитами литого ядра.



Р и с . 4 . Микроструктура основного металла листовой холоднокатаной аустенитной стали марки 12Х18Н10Т в зоне термического влияния (а) и участок зоны неполного расплавления сварной точки (б), выполненной автоматической плазменной точечной сваркой

В процессе кристаллизации сплава выделяют три основные стадии: переохлаждение расплава, образование центров кристаллизации и их рост. В сварных швах всегда имеются центры кристаллизации, роль которых играют не расплавившиеся кристаллы основного металла (рис. 5, а), в зоне литого ядра металл имеет классическое строение равноосных дендритов (рис. 5, б).

При плазменной сварке, как и при дуговой сварке, основными параметрами, определяющими размеры и форму сварочной ванны, а также оказывающими влияние на фазовый состав сварного шва и зоны термического влияния, являются длительность импульса тока, сила тока и расход плазмообразующего газа. Внешний вид сварных точек в

зависимости от тока сварки представлены на рис. 6 (вид сверху (а-в) и вид снизу (г-е)).

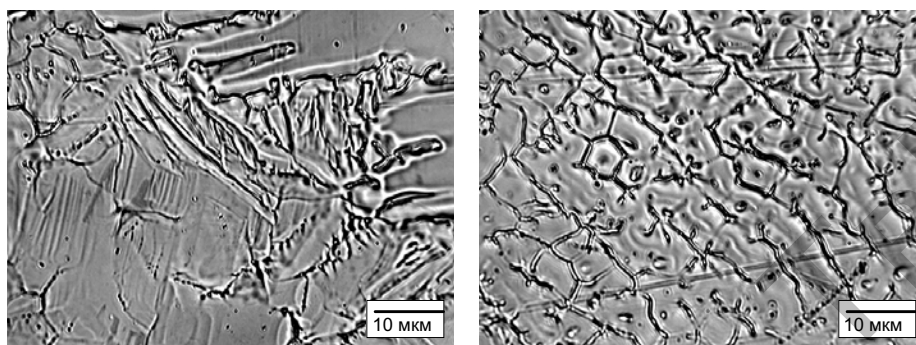


Рис. 5. Микроструктура зоны неполного расплавления (а) и зоны литого ядра (б) сварного соединения нержавеющей хромоникелевой стали 12Х18Н10Т, выполненного плазменной точечной сваркой

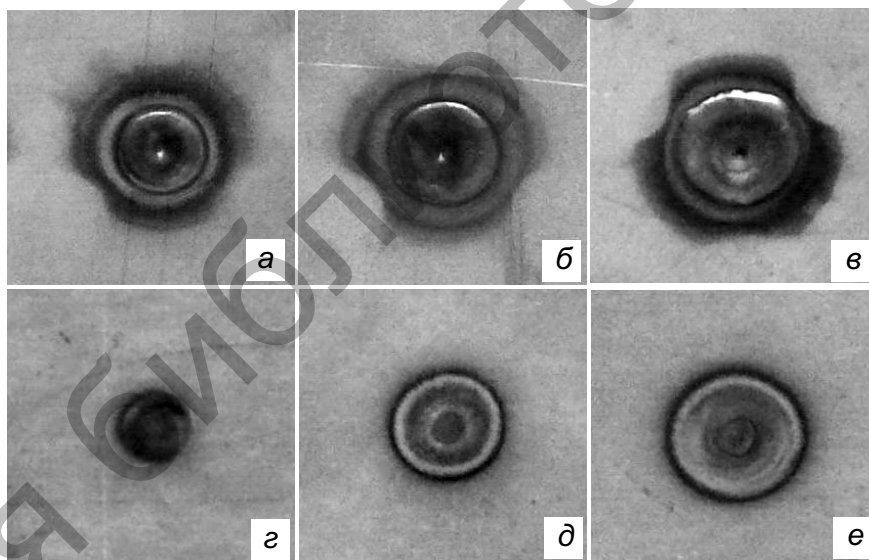


Рис. 6. Влияние сварочного тока на внешний вид сварных точек:
а, г – 250 А; б, д – 355 А

Как видно из рисунка, при повышении тока сварки наблюдается увеличение геометрических размеров литого ядра сварной точки с верхней стороны свариваемых поверхностей и зоны термического влияния с обратной стороны листов.

Профилограммы исследуемых сварных точечных швов, выполненных при различных токах сварки представлены на рис. 7.

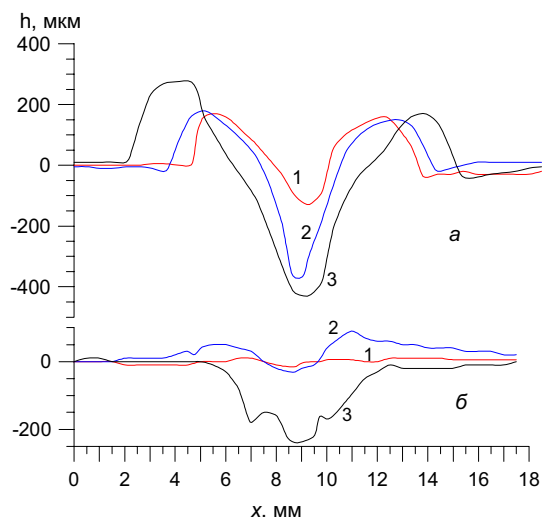


Рис. 7. Профилограммы верхней (а) и нижней (б) поверхностей сварных точек после автоматической плазменной точечной сварки при различных токах сварки: 1 – 250 А; 2 – 355 А; 3 – 450 А.

Время сварки – 550 мс; подъем тока – 10 А/мс; спад тока – 0,4 А/мс; расход газа – 2 л/мин

Как видно из рисунка, линейные размеры литой зоны и глубина усадочной раковины с обеих сторон свариваемых поверхностей увеличиваются с ростом сварочного тока, причем, при силе тока 450 мА имеет место проплавление нижнего листа стали, что неприемлемо с точки зрения качества сварного соединения. Данный дефект наблюдается визуально с нижней поверхности сварной точки и хорошо выявляется на соответствующей профилограмме в виде двух пиков внутри ядра.

При окислении на воздухе под воздействием локального источника тепла на поверхности сталей возникают цвета побежалости – радужные цвета, образующиеся в результате формирования тонкой прозрачной поверхностной оксидной плёнки и интерференции света в ней. При быстром нагреве они быстро сменяют друг друга, в типичной последовательности: светло-соломенный, золотистый, пурпурный, фиолетовый, синий, и затем, по мере роста толщины плёнки, вновь проявляются, но в несколько приглушённом виде: коричневато-жёлтый, красный и т.д. На легированных сталях цвета побежалости обычно появляются при более высоких температурах, так как нередко легирование повышает стойкость стали к окислению на воздухе [5, 6].

Взаимосвязь внутренней макроструктуры литой зоны и цветов побежалости, возникающих в процессе сварки на верхней (а) и нижней

(б) поверхностях листов нержавеющей стали представлены на рис. 8. Сопоставив эти данные с полученными профилограммами (рис. 7), можно сделать вывод о соответствии профиля поверхности и макроструктуры литого ядра сварного соединения. Такой подход дает возможность диагностирования качества сварного соединения визуальным-измерительным методом, включающим исследование цветов побежалости и профилей сварной точки на верхней и нижней свариваемых поверхностях. При большом количестве сварных точек, что обычно реализуется в автоматическом режиме при сварке промышленных конструкций (более 3000 точек на одном изделии), такой визуальном-измерительный контроль может служить первичным экспресс-методом для выявления дефектных участков.

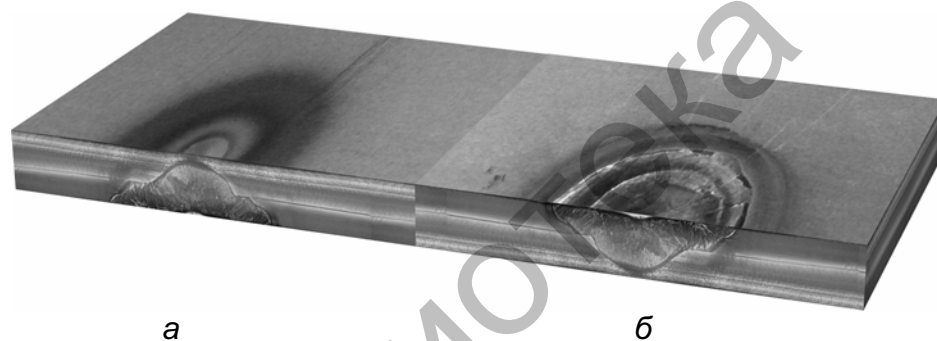


Рис. 8. Взаимосвязь внутренней макроструктуры литого ядра сварной точки и внешних параметров с обеих сторон свариваемых поверхностей (вид с верхней поверхности (а) и цвета побежалости с нижней поверхности (б))

Выводы. В работе исследована микроструктура сварного соединения аустенитной нержавеющей стали 12Х18Н10Т, выполненного плазменной точечной сваркой в автоматическом режиме. Показано, что размеры и форма литой зоны зависят от сварочных параметров, а ее внутреннее строение имеет дендритный характер.

Получены профилограммы верхней и нижней поверхностей сварного соединения. Выявлено, что внешние параметры сварного соединения (профилограммы и цвета побежалости) хорошо согласуются с внутренней макроструктурой литой зоны. Таким образом, сочетание визуального метода контроля с исследованием рельефа сварных соединений может быть использовано в качестве экспресс-метода для обнаружения дефектных сварных точек с их последующей отбраковкой и исправлением при автоматической точечной плазменной сварке.

Список литературы

1. Технология и оборудование сварки плавлением /Под ред. Г.Д. Никифорова. М.: Машиностроение, 1978.
2. Ефименко Л.А., Прыгаев А.К., Елагина О.Ю. Металловедение и термическая обработка сварных соединений. М.: Логос, 2007.
3. Хорн Ф. Атлас структур сварных соединений. М.: Металлургия, 1977.
4. ГОСТ 5632-72 Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки.
5. Freiberg A., Jager W., Flugge J. Investigation of oxide films on ferritic stainless steel //Fresenius' J. Anal. Chem. 1991. V.341. P. 427-431.
6. Lunquera R. M.R., Loureiro C. R.O., Andrade M.S., Bueno V.T.L. The chemical and mechanical characteristics of thermally aged interference thin films on stainless steel // Surface & Coatings Technology. 2009. V. 203. P. 1909-1912.

Об авторах:

ИЛЬЯШЕНКО Светлана Евгеньевна – кандидат физ.-мат. наук, доцент кафедры технологии металлов и материаловедения ТГТУ;

ВОЛОХИН Егор Алексеевич – студент ТГТУ;

МИХАЙЛОВА Александра Николаевна – студент ТГТУ;

АКИМКИН Павел Александрович – начальник лаборатории сварки ОАО "Тверской вагоностроительный завод".