

**ПОЛУЧЕНИЕ РАЗНОРОДНОЙ МАКРОСТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА
ПРИ НАПЛАВКЕ СОСТАВНЫМ ЛЕНТОЧНЫМ ЭЛЕКТРОДОМ**

Срок эксплуатации наплавленных изделий и деталей металлургического оборудования во многом зависит от способности наплавленного металла сопротивляться динамическому и термо-усталостному разрушению. Энергоёмкость процесса разрушения зависит от химического состава и структуры металла, а характер разрушения (строение излома) может изменяться от микровязкого ямочного до хрупко-вязкого (транскристаллитного) и хрупкого (интеркристаллитного). При этом химической и структурной неоднородностью металла определяется, в конечном счёте, механическая неоднородность, влияющая на поведение трещины [1, 2].

Вместе с тем, в многослойных наплавленных композициях торможение разрушения может происходить на границах слоёв, что зависит от градиента состава и свойств на границе. Остановке трещины, перпендикулярной к границе слоёв, способствует её затупление из-за локальной релаксации напряжений при пластическом течении в слое повышенной вязкости. Вновь зарождающаяся после торможения трещина с затупленной вершиной требует значительно больших усилий для дальнейшего распространения. Остановка трещины во время динамического нагружения может быть вызвана как переходом из хрупкого слоя в вязкий, так и из вязкого в хрупкий [3].

Характер перехода усталостной трещины через границу сплавления связан с возможностью её торможения, зависящего от знака и величины остаточных напряжений. В многослойном металле, где прочность связи между слоями меньше, чем прочность материала слоёв, вязкость разрушения определяется торможением трещины, вследствие образования расслоений и ветвления её вдоль поверхности раздела слоёв. При этом замедлению способствует также криволинейность траектории трещины. Наряду с возможностью торможения трещины на границах слоёв с отличающимися физико-механическими свойствами, отметим возможность «замораживания» трещины, не достигшей критических размеров, за счёт разрывов сплошности поверхностного слоя [4, 5, 6].

Композиционная структура наплавленного разнородного металла может быть получена в определённых условиях, когда изменение тепловой и гидродинамической обстановки препятствует интенсивному перемешиванию металла ванны и установлению однородного состава. В работе [7] предложена и реализована технология получения швов с переменным фазовым составом по поперечному сечению, что позволяет управлять макронеоднородностью швов с целью повышения их работоспособности. Для предотвращения образования в околошовной зоне холодных трещин получают аустенитную структуру на периферии шва, а в центральной части – ферритную или аустенитно-ферритную, обеспечивающую высокую сопротивляемость образованию горячих трещин и повышенную прочность сварного соединения. С этой целью сварку осуществляют плавящимся электродом из глубокоаустенитной стали, например, 09X16H25M6АФ, а присадочный металл (сталь 13X25Т, X22H5САТ) подаётся в ту часть ванны, где на оплавленных кромках уже закристаллизовался слой металла. Испытания показали, что сопротивляемость образованию горячих трещин возросла в 2...3 раза, а холодных трещин – в 1,5 раза. Применительно к процессу наплавки на детали из закаливаемых сталей, эта технология позволяет наплавлять двухслойный валик за один проход [8].

Анализ литературных данных и условий эксплуатации наплавленных изделий подтвердил необходимость исследования и разработки технологии наплавки экономнолегированными материалами слоёв с композитной структурой, способной тормозить разрушение при статическом, усталостном (термоусталостном) и ударном нагружении. Учи-

тывая особенности процесса наплавки ленточным электродом, установленные в результате проведенных исследований, можно предположить, что наиболее перспективна для этих целей технология наплавки такого гетерогенного слоя составным ленточным электродом с лентами различного химического состава [9, 10].

Реализация такой возможности потребовала проведения исследования условий получения макроразнородной структуры при плавлении 3-х лент составного электрода, образовании сварочной ванны и последующем формировании валика. В этом случае должны быть созданы условия, при которых не происходит выравнивания состава расплавленного металла по ширине ванны. Создание таких условий при наплавке составным ленточным электродом зависит от угла поворота α боковых лент к основной и соотношения массовых скоростей их подачи, но главным образом, от зазора e между лентами (рис. 1). В свою очередь, величина зазора e между основной и боковыми лентами зависит от соотношения массовых скоростей их подачи [9].

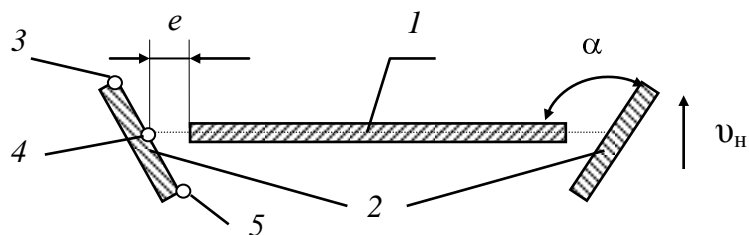


Рис. 1. Поперечное сечение составного ленточного электрода с зазором: 1 – основная лента; 2 – боковые ленты; 3-4 и 4-5 – полуширина боковых лент; e – зазор между основной и боковыми лентами; α – угол поворота боковых лент к основной.

При наплавке составным ленточным электродом особенности процесса плавления средней и боковых лент вызывают отличия в характере оплавления торцов и переноса капель. Возможности изменения взаиморасположения средней и боковых лент позволяют регулировать характер их плавления. В случае наплавки Г-образным и П-образным электродом наименее перегрета (из-за поступления нерасплавленного флюса) реакционная зона, создаваемая средней лентой, условия расплавления которой аналогичны процессу наплавки одним ленточным электродом. Металл боковых лент, расположенных за средней лентой (по направлению вектора скорости наплавки), переносится более крупными (по сравнению со средней лентой) каплями. В этом случае боковые ленты контактируют с перегретым шлаком, скорость их расплавления выше. Если химические составы лент различны, размеры, количество, степень перегрева, а также условия растворения в ванне капель металла средней и боковых лент будут отличаться.

При плавлении боковых лент поступление капель на краях ванны, где мала интенсивность поперечных потоков металла, должно затруднить их растворение и усреднение состава ванны. Логично предположить, что используя эту особенность процесса наплавки составным ленточным электродом, можно управлять химической неоднородностью металла валика. При изучении на модели процесса наплавки составным ленточным электродом, в котором содержание легирующих элементов в средней и боковых лентах различно, установлена возможность управления макронеоднородностью наплавленного металла.

Макронеоднородность наплавленного металла зависит от состава применяемых лент, конструкции составного электрода, зазора между средней и боковыми лентами, параметров режима наплавки. При раздельном переносе металла с каждой ленты (при

зазоре между лентами более 8 мм) исключается возможность усреднения состава. Для наплавки макроразнородных композиций составным ленточным электродом возможно использование холоднокатаных лент 20Х4МФБ и 08кп. Применение такой композиции (рис. 2) снижает неравномерность износа поверхности вследствие увеличенной твёрдости на участках с большей интенсивностью износа, повышает трещиностойкость наплавленного металла за счёт пластичных составляющих разнородной макроструктуры, а также снижения уровня остаточных напряжений в наплавленном металле.



Рис. 2. Разнородная макроструктура одинарного валика, наплавленного составным ленточным электродом: ленты 20Х4МФБ (30×1 мм) и Св-08кп (25×0,7 мм), зазор 8 мм, ширина валика В = 75 мм, ×2,5.

В отличие от одинарных валиков или однослойной композиции, наплавленная многослойная композиция состоит из прочных и пластичных слоёв, в пределах каждого из которых чередуются участки высокой прочности и пластичности (рис. 3). Торможение трещины, перпендикулярной границе слоёв, достигается за счёт контрастного изменения состава и свойств от слоя к слою и образования расслоений на границе с пластичным слоем, который разрушается по энергоёмкому микровязкому или смешанному механизму. К такому типу слоистых материалов относится трёхслойная композиция из чередующихся прочных и пластичных слоёв 20Х4МФБ + 08кп + 20Х4МФБ. Для наплавки композиции использовались ленточные электроды 20Х4МФБ и 08кп размерами 30×1 мм и 25×0,7 мм. Исследования трещиностойкости проводились при испытаниях на ударный изгиб с записью осциллограмм процесса разрушения.

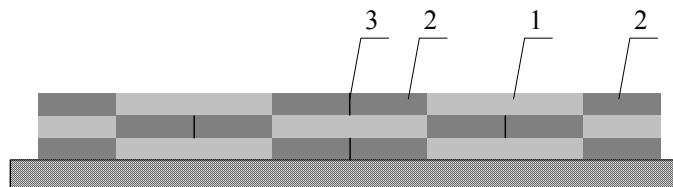


Рис. 3. Схема трёхслойной макроразнородной композиции повышенной трещиностойкости: 1 – участки повышенной твёрдости; 2 – участки повышенной пластичности; 3 – границы смежных валиков.

Испытания проводились на стандартных образцах размерами 10×10×55 мм с острым надрезом. Обработка данных, полученных в процессе испытаний, позволила установить, что ударная вязкость композиции $KCV = 1,15 \text{ МДж/м}^2$, а коэффициент интенсивности напряжений $K_{сд} = 55 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$. Вместе с тем, ударная вязкость наплавленного металла 20Х4МФБ составляет $0,43 \text{ МДж/м}^2$, а коэффициент интенсивности напряжений $K_{сд} = 42 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ (рис. 4).

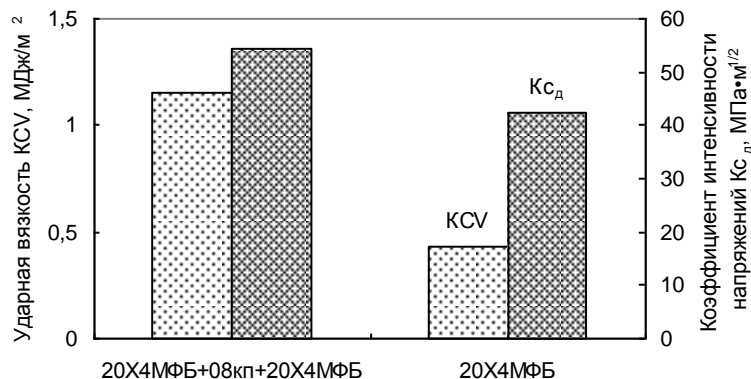


Рис. 4. Результаты испытаний на ударный изгиб наплавленного металла 20X4MFБ и трёхслойной композиции 20X4MFБ + 08кп + 20X4MFБ.

Разработанный способ наплавки составным ленточным электродом с зазором между средней и боковыми лентами эффективен для повышения срока службы валков горячей прокатки, основной причиной выхода из строя которых является растрескивание поверхностного слоя.

ВЫВОДЫ

1. Работоспособность металла, наплавленного в один слой составным ленточным электродом, определяется повышенной трещиностойкостью за счёт пластичных составляющих разнородной макроструктуры, а также снижения уровня остаточных напряжений в наплавленном слое.
2. Повысить трещиностойкость восстановленных валков горячей прокатки позволяет наплавка многослойных композиций с вязкими слоями. Формирование композиций при наплавке составным ленточным электродом обеспечивает дискретность изменения состава и свойств на границе слоёв, способствуя торможению трещины.

Перечень ссылок

1. Романив О.Н. Механика коррозионного разрушения конструкционных сплавов / О.Н. Романив, Г.Н. Никифорчин. – М.: Металлургия, 1986. – 294 с.
2. Романив О.Н. Структурная механика разрушения – новое перспективное направление в проблеме разрушения металлов / О.Н. Романив // Физико-химическая механика материалов. – 1981. – № 4. – С. 28 – 45.
3. Takezono S. Fatigue Crack Growth Behavior of Explosively – Bonded Clad steel Plates / S. Takezono, M. Satoh, K. Takita // Journal of fluids engineering. Transactions of the ASME. – 1981. – Vol. 103. – № 1. – P. 40 – 48.
4. Кравцов Т.Г. Сопротивление усталости валов, наплавленных электродной лентой / Т.Г. Кравцов // Автоматическая сварка. – 1985. – № 2. – С. 46 – 50.
5. Броек Д. Основы механики разрушения / Д. Броек. – М.: Высш. школа, 1980. – 366 с.
6. Новая сварная конструкция гасителя протяжных разрушений магистральных газопроводов / Б.Е. Патон, С.М. Билецкий, Ю.П. Барвинко [и др.] // Автоматическая сварка. – 1983. – № 7. – С. 1 – 5.

7. Якушин Б.Ф. Повышение качества и производительности наплавки на детали из закаливающихся сталей / Б.Ф. Якушин, В.Н. Куценко, В.Я. Воротников // Автоматическая сварка. – 1983. – № 3. – С. 48 – 50.
8. Якушин Б.Ф. Особенности получения сварного шва с одновременным формированием аустенитного подслоя / Б.Ф. Якушин, В.Н. Куценко // Сварочное производство. – 1990. – № 7 – С. 8 – 10.
9. А. с. 1561348 СССР, МКИ В23К 9/04. Способ наплавки расщепленным ленточным электродом / В.Н. Матвиенко, Л.К. Лецинский, В.А. Егоров, Е.В. Зеленский [и др.] (СССР). – № 4488183/25-27; заявл. 28.09.88; опубл. 03.01.90, Бюл. № 16.
10. Матвиенко В.Н. Нагрев и плавление основного металла при наплавке составным ленточным электродом под флюсом / В.Н. Матвиенко, Л.К. Лецинский, В.А. Мазур // Сварочное производство. – 2014. – № 4. – С. 3 – 7.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Щетинина В.И.

Статья поступила 05.06.2014 г.