

УДК 621.791.92

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАПЛАВКИ И ТЕРМООБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО ЛЕНТОЧНЫМ ЭЛЕКТРОДОМ ЛН-02Х25Н22АГ4М2 НА УГЛЕРОДИСТУЮ СТАЛЬ

В. П. ИВАНОВ, В. Ю. ИВАЩЕНКО, кандидаты техн. наук (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь)

Исследована возможность улучшения структурного состояния металла зоны сплавления при наплавке ленточным электродом ЛН-02Х25Н22АГ4М2 на углеродистую сталь. Даны рекомендации по выбору термической обработки для улучшения структуры и свойств этой зоны.

Ключевые слова: дуговая наплавка, ленточный электрод, углеродистая сталь, биметалл, коррозионностойкий слой, зона сплавления, микроструктура, термоциклическая обработка, механические свойства

Биметаллические конструкции широко используются при изготовлении аппаратуры для химического машиностроения. Одним из традиционных способов получения биметаллических заготовок является автоматическая дуговая наплавка коррозионностойкого слоя на низкоуглеродистую сталь, выполняемая одинарным ленточным электродом толщиной 0,5...0,8 мм при ширине до 60 мм с долей участия основного металла не более 15...20 %.

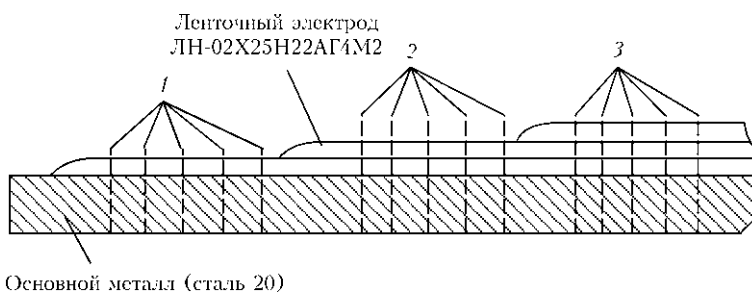
Специфической особенностью наплавленного биметалла является наличие остаточных напряжений и структурной неоднородности в зоне сплавления. В тяжелых условиях работы оборудования химической промышленности эти факторы способствуют возникновению новых или развитию существующих микротрещин, что может привести к потере работоспособности изделия.

Определенный положительный эффект снижения остаточных напряжений и гомогенизации химического состава может быть достигнут путем выбора рациональных режимов наплавки и термообработки наплавленного металла.

Цель настоящей работы — исследование влияния режимов наплавки и термообработки на структуру и механические свойства биметаллического слоя.

Выполняли электродуговую наплавку на темплеты из стали 20 размером 400×600×15 мм ленточным электродом

ЛН-02Х25Н22АГ4М2 сечением 0,5×60 мм под флюсом 48-ОФ-10 без предварительного подогрева на режиме: ток наплавки $I_{\text{н}} = 750...800 \text{ А}$; напряжение на дуге $U_{\text{д}} = 28...30 \text{ В}$. Наплавленный слой содержал участки различной высоты, из которых вырезали образцы для испытаний (рис. 1). При этом можно оценить влияние последующих слоев на механические свойства и структуру основного металла и зоны термического влияния (ЗТВ). Исследовали также влияние термической обработки (ТО) на распределение структурных составляющих по сечению напла-



Основной металл (сталь 20)

Рис. 1. Схема наплавки соответствием одно-, двух- и трехслойных образцов (1-3)

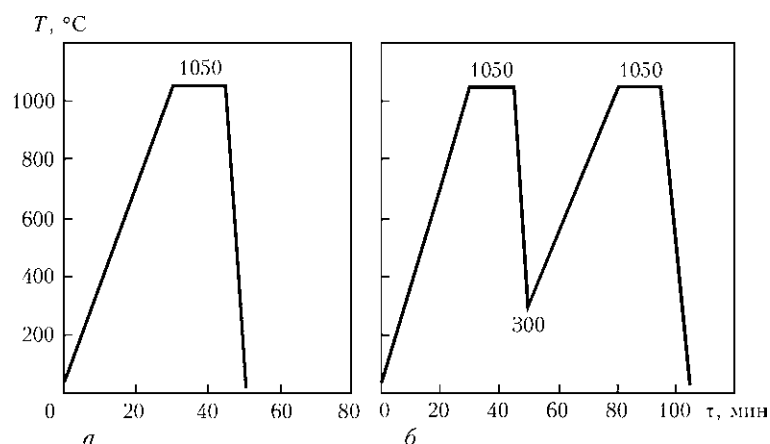


Рис. 2. Режимы ТО наплавленных образцов: а — высокотемпературная нормализация; б — ВТЦО; τ — время ТО

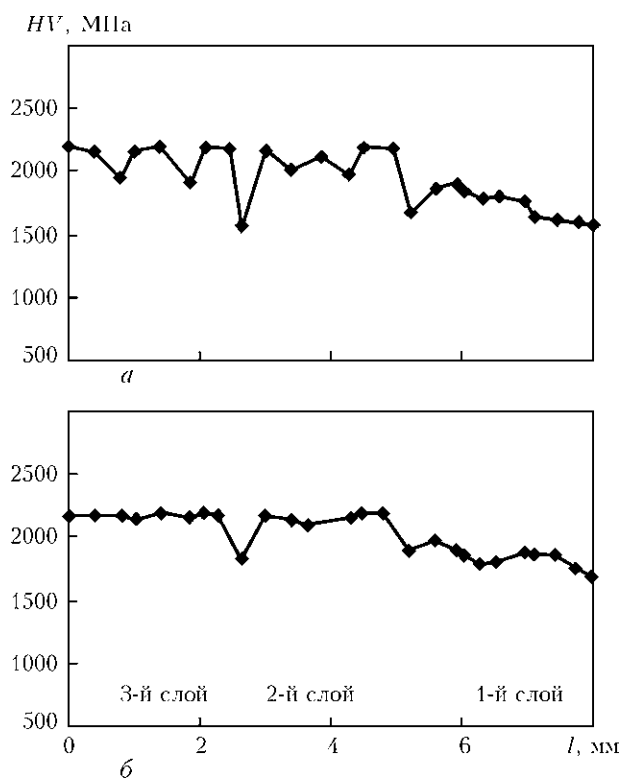


Рис. 3. Изменение микротвердости по сечению наплавленного слоя после наплавки без ТО (а) и после ВТЦО (б) (l — расстояние от поверхности)

ленного металла (режимы ТО приведены на рис. 2, охлаждение на воздухе).

Таблица 1. Результаты испытаний механических свойств основного металла

Основной металл	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	KCU , Дж/см ²
В состоянии поставки	400	225	26	65
После наплавки	345	185	19	40
После высокотемпературной нормализации	350	210	20	52
После ВТЦО	380	255	24	84

Поскольку стандартная нормализация для стали 20 предусматривает нагрев до температуры 920 °С и охлаждение на воздухе (для хромоникелевых нержавеющей сталей 1050 °С), использование режима ТО по варианту, приведенному на рис. 2, а, не позволяет измельчить зерно в основном металле. Разброс в показаниях микротвердости (рис. 3, а) вполне объясним для высоколегированных сталей, склонных к ликвации при кристаллизации в неравновесных условиях. Аналогичные замеры микротвердости выполнены после высокотемпературной термоциклической обработки (ВТЦО) (рис. 3, б). Положительное влияние ВТЦО отмечено во многих работах [1, 2], поскольку такая обработка способствует измельчению зерна, формированию более развитой субструктуры, интенсификации процессов диффузии и повышению химической однородности металла,

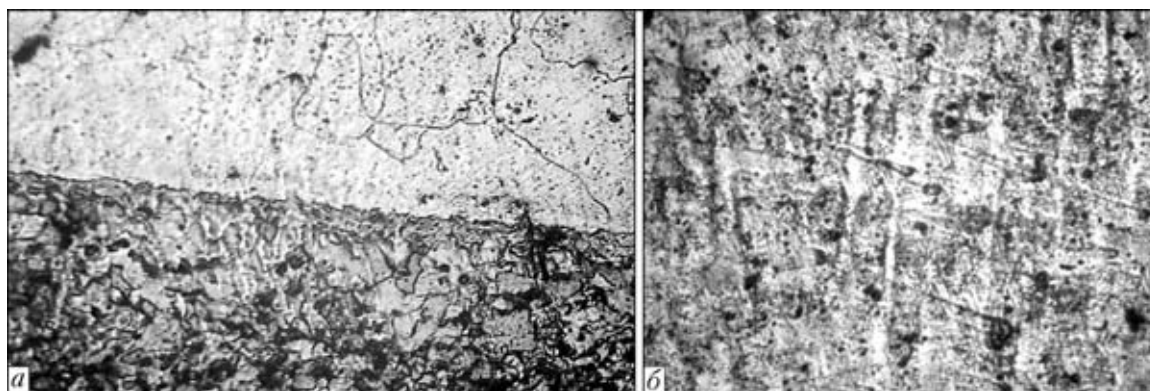


Рис. 4. Микроструктуры (×600) антикоррозионного слоя двухслойного наплавленного образца: а — зона сплавления с основным металлом; б — дендритная ликвация во 2-м наплавленном слое

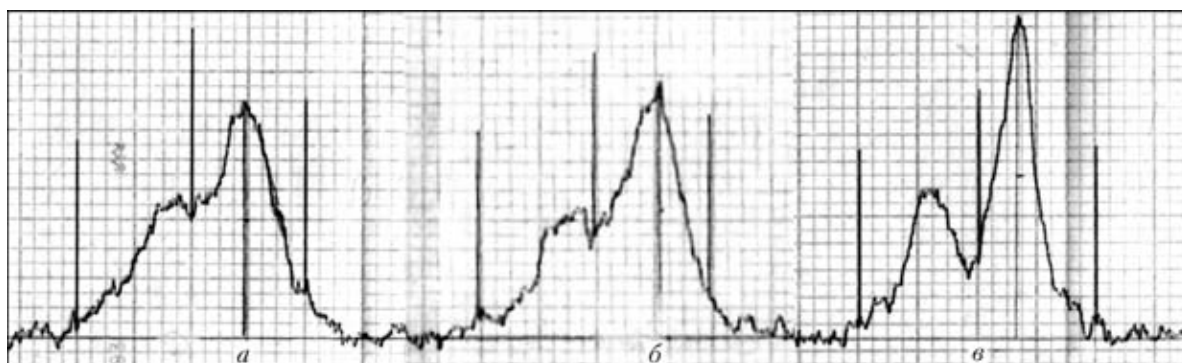


Рис. 5. Дифрактограммы образцов с 1-м (а), 2-м (б) и 3-м (в) наплавленными слоями

Таблица 2. Результаты расчета упругих микронапряжений

Вариант технологии	Количество наплавленных слоев	Упругие микронапряжения, МПа
В наплавленном состоянии без ТО	1	86,0
	2	107,5
	3	112,0
После высокотемпературной нормализации	1	71,5
	2	76,0
	3	75,0
После ВТЦО	1	57,0
	2	54,5
	3	59,0

что приводит к повышению ударной вязкости и улучшению комплекса механических свойств в целом.

В структуре наплавленного слоя происходит дендритная ликвация в различных слоях наплавки. Так, в 1-м слое формируется структура аустенита с отчетливо вытравившимися границами зерен и карбидами (рис. 4, а), во 2-м слое двухслойных образцов заметна дендритная ликвация (рис. 4, б). Аналогичная ликвация имеет место во 2-м и 3-м слоях трехслойного образца.

В ЗТВ формируется крупное зерно, смешанная ферритно-перлитная (Ф–П) структура с отдельными участками видманштетта, что свидетельствует о сильном перегреве относительно точки A_{c3} и склонности к хрупкому растрескиванию. Вне ЗТВ имеет место обычная Ф–П полосчатость с вытянутыми строчками сульфидов, характерная для горячекатаного металла.

Положительное влияние ВТЦО зафиксировано при испытаниях механических свойств основного металла (см. табл. 1): значения временного сопротивления ρ и предела текучести $\sigma_{0,2}$, а также относительного удлинения δ после ВТЦО близки

к исходным, что касается ударной вязкости, то после ВТЦО этот показатель выше исходного на 30 % (снижение после наплавки на 38,4 %).

Проведен рентгеноструктурный анализ образцов, который был основан на фиксировании с помощью рентгеновского излучения искажений в кристаллической решетке металла, по значению которых расчетным путем определяли уровень действующих в металле упругих напряжений 2-го рода. При этом использована стандартная методика расчета из работы [3].

Исследования упругих микронапряжений в слое наплавки показали, что наибольшие искажения имеют место после наплавки трехслойных образцов (рис. 5 и табл. 2), высокотемпературная нормализация способствует снижению этих напряжений до 71...76 МПа, а ВТЦО — до 54...59 МПа.

Выводы

1. При электродуговой наплавке ленточным электродом ЛН-02Х25Н22АГ4М2 на углеродистую сталь имеет место структурная неоднородность в зоне сплавления и высокий уровень остаточных напряжений, причем он пропорционален количеству наплавленных слоев.

2. С целью исправления структуры, улучшения комплекса механических свойств и устранения склонности к хрупкому разрушению рекомендуется производить ТО наплавленных заготовок. В качестве предпочтительного режима ТО биметаллических заготовок рекомендуется двухцикловая ВТЦО.

1. Федюкин В. К. Термоциклическая обработка сталей и чугунов. — Л.: Машиностроение, 1977. — 384 с.
2. Баранов А. А. Фазовые превращения и термоциклирование металлов. — Киев: Наук. думка, 1974. — 231 с.
3. Бокий Г. Б., Порай-Кошиц М. А. Рентгеноструктурный анализ. — М.: Изд-во АН СССР, 1964. — 489 с.

Possibility of improvement of structural state of fusion zone metal in surfacing of carbon steel with LN-02Kh25N22AG4M2 strip was studied. Recommendations on selection of heat treatment to improve the structure and properties of this zone are given.

Поступила в редакцию 20.05.2011