

*И. В. Арефьев** – асп., И. Л. Пермяков*, А. В. Савинов* – канд. техн. наук.,
И. Е. Лапин* – д-р техн. наук, А. Н. Потапов*, В. И. Лысак* – д-р техн. наук, П. Р. Нечипоренко****

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ НА ОСТАТОЧНЫЕ СВАРОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА И ОКОЛОШОВНОЙ ЗОНЫ

*Волгоградский государственный технический университет (e-mail: straga5@yandex.ru)

**ОАО "Волжский трубный завод"

***ООО НТЦ "Диатекс"

Исследовано влияние схемы наплавки, применение локальной дуговой термообработки на величину остаточных сварочных макро- и микронапряжений, механические свойства наплавленного металла и зоны термического влияния.

Scheme influence weld deposition, application of local arc heat treatment on size residual welding macro-and micropressure, mechanical properties weld-depositing metal and a zone of thermal influence is investigated.

Ключевые слова: ручная дуговая наплавка, микронапряжения, механические свойства, локальная дуговая термообработка, термический цикл.

В последнее время как в России, так и в других странах ведется интенсивная научно-исследовательская работа по поиску технологий ремонтной наплавки, которые позволили бы восстанавливать элементы крупногабаритных конструкций и технологического оборудования, подвергшихся коррозионно-эрозионному износу, воздействию среды, содержащей агрессивные примеси, а также коррозионно-усталостному разрушению (растрескиванию) соединений из-за дефектов сварки и неблагоприятной структуры основного металла [1–4]. Последний вид разрушений свойственен несущим (силовым) элементам оборудования и конструкций, испытывающим совместное воздействие циклических напряжений или температуры и коррозионно-активной среды. Применение широко распространенных методов ремонтной ручной дуговой наплавки покрытым электродом не позволяет эффективно восстанавливать элементы оборудования и крупногабаритных конструкций при возникновении в обрабатываемых местах больших значений остаточных сварочных напряжений, которые негативно сказываются на надежности отремонтированных участков. Целью работы является исследование

влияния схемы наплавки валиков и локальной дуговой термообработки наплавленного металла и зоны термического влияния на величину остаточных сварочных напряжений первого и второго рода и механические свойства.

Ручную дуговую наплавку проводили на пластинах размерами 300×200×95 мм из стали 16ГС в нижнем положении с использованием электродов УОНИ–13/55 диаметром 3 мм на токах $I_d = 100 \div 110$ А и скорости наплавки $V_n = 8$ м/ч. Питание дуги осуществляли с помощью источника Kemppi Pro Evolution 3200. Наплавка осуществлялась по схемам, представленным на рис. 1. В процессе выполнения наплавки осуществлялось фиксирование термических циклов от каждой из схем наложения валиков с помощью хромель-алюмелевой термопары с разрешением по времени 0,5 секунды с выводом обработанных данных на ЭВМ.

Значения остаточных сварочных напряжений первого рода (σ_1) определяли с помощью метода и аппаратуры спекл-интерферометрии. Для регистрации микронапряжений (σ_{II}) и размера блоков мозаики применяли рентгеноструктурные методы исследований с использованием универсального дифрактометра "ДРОН – 3"

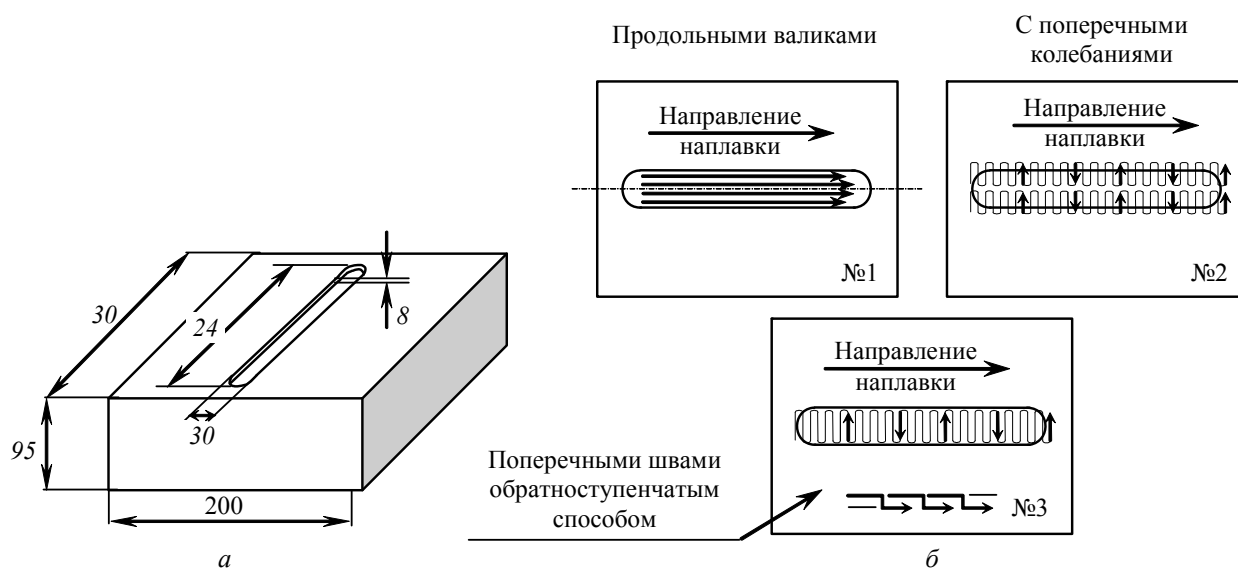


Рис. 1. Габаритные размеры образцов (а) и схемы наложения валиков (б)

Испытания на динамический изгиб выполнены на маятниковом копре PSWO-30. Образцы для испытаний на ударный изгиб изготавливали из участков наплавки и зоны термического влияния с применением V-образного концентратора (образцы Шарпи) по ГОСТ 9454–78.

Анализ термических циклов ручной дуговой наплавки, выполненных на пластинах из стали 16 ГС (рис. 2), свидетельствует о том, что, несмотря на равное нарастание температуры в процессе нагрева, присутствует значительное расхождение значений скоростей охлаждения металла зоны термического влияния. Наиболее жестким термическим циклом характеризуется наплавка продольными узкими валиками, при которой скорость охлаждения нагретого металла достигает максимальных значений. При заполнении разделки с поперечными

колебаниями электрода наблюдается снижение скорости охлаждения при значительном увеличении температуры максимума. Выполнение наплавки поперечными швами обратноступенчатым способом позволяет в несколько раз снизить скорость охлаждения за счет возвратного перемещения дуги, что отражается на циклограмме двойным пиком нагрева при сохранении максимума температуры цикла на том же уровне, что и при наплавке узкими продольными валиками.

Данные, полученные на основе метода спекл-интерферометрии [5, 6], свидетельствуют о том, что остаточные сварочные напряжения первого рода (σ_T) в образце № 3 характеризуются более равномерным распределением макронапряжений, чем в образцах, выполненных по схемам № 1 и № 2. При этом меньшие скорости

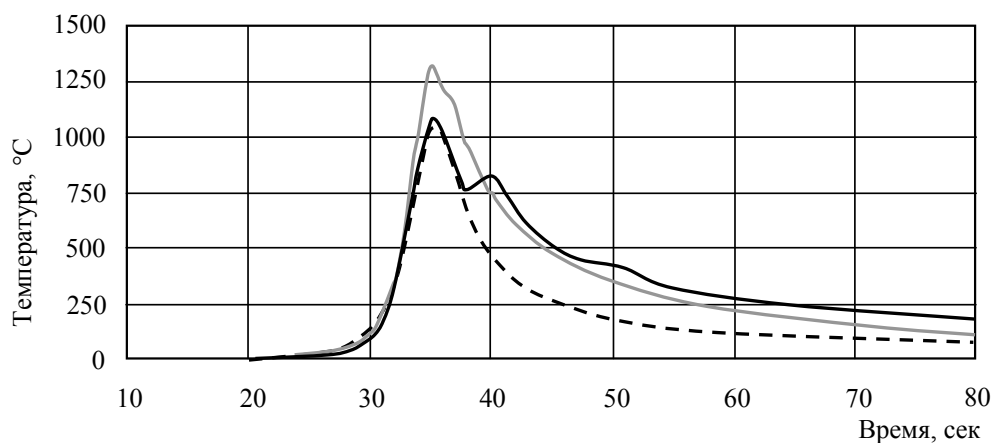


Рис. 2. Термические циклы процессов ручной дуговой наплавки в ЗТВ на расстоянии 2 мм от линии сплавления:
 — схема № 1; — — — — — схема № 2; ······ — схема № 3

охлаждения металла сварного соединения обуславливают некоторое снижение значения максимумов макронапряжений. Так, в образце № 3 внесены напряжения первого рода, не превышающие $-160 \div +160$ МПа, тогда как на образцах № 1 и № 2 фиксировались значения $\sigma_I \geq \pm 175$ МПа.

Показатели ударной вязкости (рис. 3, а) и доли вязкой составляющей в изломе наплавленного металла (рис. 3, б) образцов, выполненных по трем различным схемам, свидетельствуют о том, что металл, наплавленный попе-

речными швами с обратноступенчатым наложением слоев, обладает большими значениями вязкой составляющей излома образца и стойкостью к динамическому разрушению в диапазоне температур $T = 0 \div -30$ °С. Однако при дальнейшем понижении температуры испытаний наблюдается снижение работы разрушения данного образца, что говорит о разупрочнении металла за счет некоторого укрупнения зерен, вызванного снижением скоростей охлаждения металла.

Преобладающими фазами в структуре на-

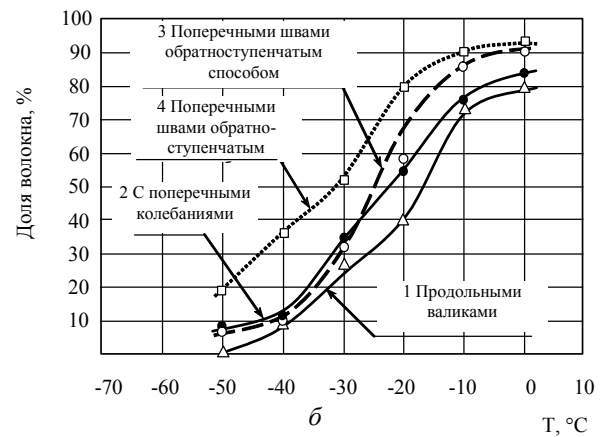
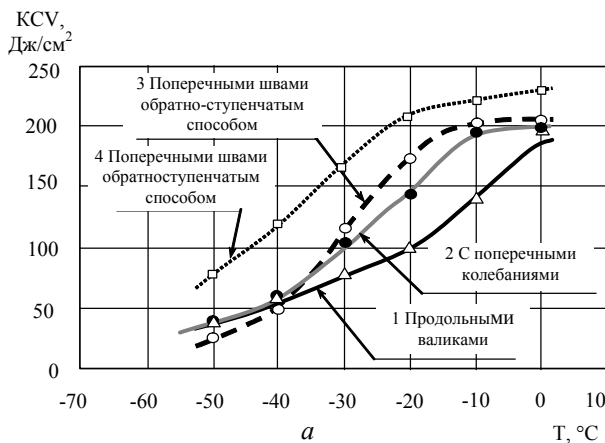


Рис. 3. Ударная вязкость (а) и доля вязкой составляющей в изломе наплавленного металла (б)

плавленного металла во всех случаях являются феррит и перлит ($\Phi + \Pi = 54,8 \div 69$ %) при содержании бейнита и мартенсита $1,5 \div 3$ %. Значения твердости, измеренные по Виккерсу (ГОСТ 2999–75), при движении от поверхности внешнего наплавленного слоя в глубь металла в образце, наплавленном поперечными швами обратноступенчатым способом, меньше, чем в образцах, выполненных по схемам № 1 и № 2.

Результаты рентгеноструктурного анализа размеров блоков мозаики отражают их более равномерное распределение от зоны наплавленного металла к основе у образца, выполненного по схеме № 3, тогда как при наплавке по схемам № 1 и № 2 наблюдается значительное измельчение блоков в конце зоны термического влияния, имеющее наибольшее проявление при наложении продольных валиков (рис. 4). В то же время при наплавке поперечными швами обратноступенчатым наложением слоев достигаются наименьшие значения микронапряжений (σ_{II}) при плавном их изменении от оси наплавки к основному металлу.

Следует отметить, что наложение валиков на форсированных режимах (узкие продольные

валики) при наплавке на толстолистовые конструкции (значения полного эквивалента углерода превышают допустимые пределы $[C] > 0,42$) может привести к возникновению в поверхностных слоях неблагоприятных закалочных структур, большого количества зон концентраций напряжений и высокой степени остаточных макро- и микронапряжений. Данное обстоятельство требует применения специальных мер. Одним из вариантов решения поставленной задачи может быть применение локальной терми-

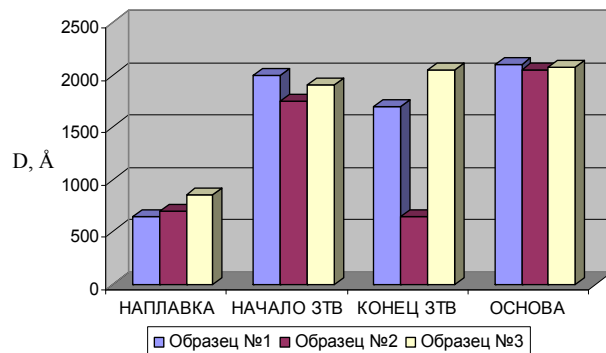


Рис. 4. Изменение размеров блоков мозаики в разных зонах образцов

ческой обработки, которая позволяет исключить снижение прочности и ударной вязкости при отрицательных температурах, не прибегая к общей термической обработке, осуществление которой часто затруднено или невозможно.

С целью снижения уровня напряжений первого рода в наплавленном металле и ЗТВ и улучшения механических свойств применяли аргонодуговую обработку наплавленного металла и околошовной зоны неплавящимся электродом по схеме № 3 при величине тока 50÷55 А и скорости перемещения горелки 10 м/ч.

Результаты исследования свойств наплавленного металла и ЗТВ методом магнитной памяти металла после локальной аргонодуговой обработки свидетельствуют об уменьшении количества зон концентраций напряжений при переходе от шва к основному металлу, которые часто выступают очагами возникновения опасных дефектов на конструкциях высоконагруженного технологического оборудования, особенно при эксплуатации в условиях действия агрессивных сред.

Результаты рентгеноструктурного анализа позволили выявить снижение уровня напряжений второго рода в зоне наплавленного металла в 1,5 раза при незначительном увеличении их в околошовной зоне в результате перераспределения последних в ЗТВ. При этом локальная термическая обработка неплавящимся электродом образца № 3 позволила значительно уменьшить размер блоков мозаики в зоне термического влияния при увеличении ОКР в области наплавленного металла на 200÷300 Å.

Значения макронапряжений после локальной аргонодуговой обработки образца с наплавкой по схеме № 3 снизились в области наплавленного металла на 50÷60 % и на 30÷40 % в зоне термического влияния.

Результаты испытаний на динамическое разрушение термообработанного образца свидетельствуют о значительном повышении работы разрушения и доли вязкой составляющей

излома наплавленного металла в диапазоне температур $T = 0 \div -50$ °С (рис. 2).

Выводы

1. Наименьшие значения макронапряжений и наиболее равномерное их распределение от зоны наплавки к основному металлу достигаются при выполнении наплавки поперечными швами обратноступенчатым способом. Наблюдаемое при этом снижение значений ударной вязкости и доли вязкой составляющей в изломе наплавки в диапазоне отрицательных температур из-за небольших скоростей охлаждения и укрупнения размеров зерен незначительно.

2. Применение электродуговой обработки наплавленного металла и ЗТВ способствует снижению максимумов напряжений на 40÷50 %, перераспределению растягивающих макронапряжений в наплавленном металле, наряду с повышением ударной вязкости и доли вязкой составляющей излома при испытаниях в области отрицательных температур.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Особенности ремонта сварных конструкций из низколегированных сталей / В. Д. Поздняков, С. Б. Касаткин, С. Л. Жданов и др. // Автоматическая сварка. – 2005. – № 3. – С. 32–37.
2. Продление ресурса эксплуатации колонного оборудования нефтеперерабатывающих производств / Л. В. Чекотило, А. В. Булат, Я. Б. Лебедев и др. // Автоматическая сварка. – 2006. – № 10. – С. 30–35.
3. Продление ресурса эксплуатации крупногабаритных наливных резервуаров для хранения концентрированной серной кислоты / К. А. Ющенко, Л. В. Чекотило, Г. Ф. Настенко и др. // Автоматическая сварка. – 2007. – № 9. – С. 41–44.
4. *Branko, C. M.* A fatigue study on the rehabilitation of welded joints / C. M. Branko, V. Infante, S. J. Maddox / Intern. Inst. of Welding. – S.I, 1999. – Doc, XIII–1769–99. – 29 p.
5. Остаточные напряжения в деформируемых твердых телах / Г. Н. Чернышев, А. Л. Попов, В. М. Козинцев и др. – М.: Наука. Физматлит, 1996. – 240 с.
6. *Островский, Ю. И.* Голографические интерференционные методы измерения деформаций / Ю. И. Островский, В. П. Щепинов, В. В. Яковлев. – М.: Наука, 1988. – 248 с.