

РЕЛАКСАЦИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО СВАРОЧНОГО СОЕДИНЕНИЯ ТОЛСТОЛИСТОВОЙ НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ

RELAXATION OF STRESSES REMAINING WELDMENT OF ELEKTRIC ARC OF THICK-SHEET ROLLED STOCK LOW ALLOY STEEL

Вакуленко И.А.**, *Страдомски З., *Сокирко В.А.****, *Сяо Хай*******

**Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им.акад. В.Лазаряна, каф. «Технология материалов»;*
Czestochowa University of Technology, Faculty of Production Engineering and Materials Technology, Institute of Materials Engineering, ***Научно-производственное предприятие DS Co., Ltd., *Китайская машиностроительная инвестиционная группа Лтд.*

Abstract

Exposing to the thermal affected of weldment electric arc of thick-sheet rolled stock low alloy steel impulsive influence from the electrick current of certain frequency and density, at unchanging strength stress increase of plasticity is arrived at, to impact toughness in the wide range of temperatures. To found out the increase of microhardness of ferrite correspond to decrease density of defects crystalline structure.

1. Состояние проблемы

Формирование электродугового соединения при сварке сопровождается изменениями внутреннего строения металла соединяемых элементов. Пропорционально температуре нагрева и условий охлаждения в металле ванны и околосшовной зоне развиваются процессы структурных изменений, которые могут оказывать значительное влияние на комплекс свойств всего сварного соединения. Более того, наблюдаемые структурные изменения, в действительности, являются результатом одновременного влияния нескольких факторов, среди которых процессы диффузионного массопереноса, перераспределения внутренних напряжений различной природы происхождения. Остаточные напряжения после формирования сварного соединения могут совпадать по направлению с возникающими при эксплуатации изделия. Случайный характер изменения общей картины напряжений может привести к превышению реальных значений над расчетными и, как следствие этого, к нарушению гарантированных условий эксплуатации сварочного соединения. На основании этого, разработка мероприятий по снижению величины и градиента остаточных напряжений в сварочных соединениях, является актуальной задачей. Кроме термических

способов снижения остаточных напряжений и механических при знакопеременном деформировании [1], представляет определенный интерес воздействия от протекания импульсов электрического тока (ИЭ) определенной силы и частоты [2, 3].

2. Материал и методика исследований

Материалом для исследования служила низколегированная сталь с содержанием химических элементов: 0,10% C; 0,27% Si; 0,59% Mn; 0,49% Cr; 4,35% Ni; 0,4% Mo; 0,095% V. Образцы для исследования изготавливали из горячекатаного листового проката толщиной 20 мм. После подготовки кромок соединяемые элементы были сварены в стык по технологии полуавтоматической аргонно-дуговой сварки. Структуру металла сварочного соединения исследовали под световым микроскопом. Образцы сварного соединения подвергались обработке импульсами электрического тока в условиях НПП «ДС». Твердость определяли по методу Виккерса (H_v) при нагрузке на индентор 200 г. Из анализа диаграмм растяжения определялись прочностные и пластические свойства металла. Ударную вязкость разрушения оценивали при комнатной температуре и при -20°C . Уровень микронапряжений II рода определяли с использованием методик рентгеновского структурного анализа.

3. Результаты и их обсуждение

С учетом возможных различий структурного состояния металла после формирования электродугового сварного соединения, исследования проводились для двух сторон от сварочной ванны. На рис.1 представлена структура границы перехода от металла сварочной ванны к исследуемой стали. Сравнительный анализ строения границы перехода указывает, что в результате обработки импульсами электрического тока граница раздела становится менее резко выраженной. Наблюдаемые изменения микроструктуры аналогичны развитию процессов диффузионного массопереноса [4], хотя температура при ИЭ обработке не превышала $30\div 40^{\circ}\text{C}$. Для оценки степени влияния обработки импульсами электрического тока на свойства металла сварного соединения исследовался характер распределения твердости металла для различных слоев по толщине проката. Из анализа абсолютных значений (рис. 2) следует, что для подавляющего числа мест замера твердости, обработка импульсами электрического тока имеет упрочняющее влияние. Более того, эффект упрочнения обнаруживается не только для зоны термического влияния, но и для металла сварочной ванны, что представляет определенный научный и практический интерес. Аналогичный характер изменения твердости после ИЭ наблюдается и для других слоев сварного соединения, хотя и менее значительный. Так, по мере продвижения по слоям листового проката от области усиления шва с максимальным эффектом в направлении корня сварного соединения степень влияния ИЭ

снижается. Представленный характер, по видимому, связан с различным уровнем и знаком возникающих внутренних остаточных напряжений после кристаллизации сварочной ванны.

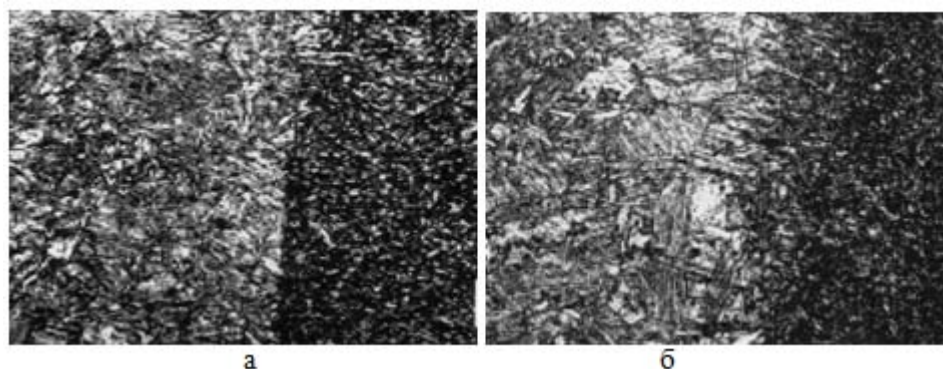


Рис. 1. Микроструктура границы перехода от металла сварочной ванны к исследуемой стали (а – без обработки ИЭ, б – после воздействия ИЭ), увеличение 200

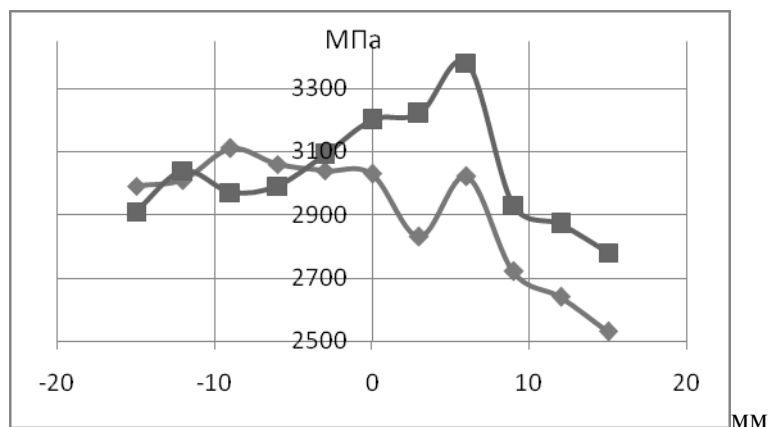


Рис. 2. Характер распределения Hv поперек сварного соединения до (◆) и после ИЭ обработки (■) для слоя металла вблизи с областью усиления шва

Если оценивать без учета знака возникающих внутренних напряжений, а только по их абсолютным значениям, обнаруживается существование качественной зависимости: чем меньше поперечное горизонтальное сечение сварочной ванны, тем более низкий уровень напряжений формируется после завершения процесса кристаллизации. Наблюдаемое соотношение обусловлено различным объемом расплавленного металла ванны и, как следствие этого, степенью перегрева кромок металла. При обработке импульсами электрического тока сварного соединения следует

ожидать, что величина релаксации остаточных напряжений должна быть пропорциональной степени отклонения металла от равновесного состояния [4].

С другой стороны, если учитывать знак возникающих внутренних напряжений после формирования сварного соединения, по результирующей величине остаточного напряжения можно оценить характер и эффективность влияния обработки импульсами электрического тока. Анализ экспериментальных результатов свидетельствует, что для объемов металла, в которых после сварки сформирован высокий уровень остаточных растягивающих напряжений, обработка ИЭ сопровождается уменьшением их значений. Для случая относительно низких напряжений растяжения влияние обработки импульсами электрического тока может привести не только к снижению уровня значений, но и возможно к изменению знака. В объемах металла с остаточными сварочными напряжениями сжатия импульсная обработка способствует дополнительному возрастанию сжимающих напряжений. Следовательно, подбирая величину, частоту, длительность импульса электрического тока можно достигать определенного изменения уровня и распределения остаточных напряжений после формирования электродугового сварного соединения.

Таким образом, по характеру своего воздействия на систему остаточных напряжений обработку импульсами электрического тока следует отнести к воздействиям, которые способствуют формированию преимущественно сжимающих напряжений. В результате исследований обнаружено, что при неизменном уровне прочностных свойств ИЭ обработка позволяет увеличить пластичность и ударную вязкость разрушения в широком диапазоне температур.

Литература

1. Вакуленко И.А.: Структура и свойства углеродистой стали при знакопеременном деформировании. Из-во «Gaudeamus», Днепропетровск 2003.
2. Sprecher A.F., Mannan S.L., Conrad H.: On the mechanism for the electroplastic effect in metals. *Acta Metallurgica*, 1986, v. 34, № 7, p. 1145÷1161.
3. Vakulenko I.A., Nadezhdin Yu. L., Sokirko V.A. et al.: Electric pulse treatment of welded joint of aluminum alloy. *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, № 4 (46), p. 73÷82.
4. Вакуленко И.А., Большаков В.И.: Морфология структуры и деформационное упрочнение стали. Из-во «Маковецкий», Днепропетровск 2008.