

## **ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОЙ МЕХАНО-ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ СТАЛИ 17Г1С**

*Р.В. СТАНКЕВИЧ<sup>2</sup>, И.В. ВЛАСОВ<sup>1</sup>, А.С. СМЕРНОВА<sup>1,2</sup>,  
А.В. ЯКОВЛЕВ<sup>2</sup>, Ю.И. ПОЧИВАЛОВ<sup>1</sup>, Д.В. ВАЛУЕВ<sup>3</sup>, С.В. ПАНИН<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

<sup>2</sup>Томский политехнический университет

<sup>3</sup>Юргинский технологический институт ТПУ

E-mail: roman3014@mail.ru

При строительстве и эксплуатации трубопроводов ключевыми требованиями являются обеспечение длительной и безопасной эксплуатации в течение нескольких десятков лет в непрерывно изменяющихся внешних условиях, включая перепады температуры, влажности, внутреннего давления, а также контакт с коррозионной (внешней) средой. Особенно это актуально для нефте- и газопроводных систем, которые эксплуатируются длительное время в условиях Крайнего Севера, где годовые перепады температур могут превышать 100 градусов [1].

Механические свойства трубных малолегированных сталей во многом определяются термообработкой и проведением процесса проката на финальном этапе изготовления изделия. С помощью правильно подобранной термообработки можно получить либо высокую твердость, либо наоборот, деталь, обладающую высокой вязкостью. Выбор соотношения пластичности/твердости определяется условиями эксплуатации. Все последующие воздействия на сталь, будь-то термическое влияние при формировании сварного шва или последующие термомеханические обработки, приводят к отклонению от оптимальных режимов обработки и нежелательному изменению свойств материала. Отказаться от использования сварки для соединения труб при строительстве сети магистральных трубопроводов невозможно, а наличие сварных швов требует дополнительных затрат по контролю и оценке остаточного срока службы. Кроме того, сформированный шов (зона термического влияния) может обладать пониженной прочностью, а эксплуатация при отрицательных температурах может сопровождаться снижением ударной вязкости соединения в разы [2, 3]. По этой причине одной из актуальных задач является поиск способов упрочнения и повышения ударной вязкости сварных швов и околошовных зон.

Исследования по снижению негативного влияния сварки на структуру околошовной зоны проводятся уже длительное время [4-8], однако полностью восстановить структуру и механические свойства сварного соединения по сравнению с основным материалом практически невозможно. Сварка трубопровода происходит в полевых условиях, что значительно снижает диапазон применимых методик по постсварочной обработке формируемых неразъемных соединений. Наиболее простыми и экономичными способами увеличения срока службы является последующая местная термообработка или поверхностное пластическое деформирование в виде пневмоударных, вибрационных или взрывных воздействий для частичного снятия остаточных растягивающих напряжений и их трансформации в сжимающие. Данные способы хотя и являются производительными, но не всегда малозатратны, и оказывают ограниченное влияние на структуру материала шва, особенно на удалении от обрабатываемой поверхности. По этой причине разработка новых высокоэффективных способов постсварочной обработки неразъемных соединений конструкционных сталей является актуальной научной проблемой.

Для решения поставленной задачи в ИФПМ СО РАН была разработана импульсная механо-электрофизическая обработка (ИМЭО), в основу которой легло сразу на несколько способов воздействий: высокочастотное импульсное механическое, а также электрофизическое. В качестве объекта исследования выбрана трубная сталь 17Г1С, которая применяется для изготовления широкого спектра деталей и конструкций, а также для формирования сварных соединений. Сталь также активно применяется для

изготовления труб газопроводов, что повышает актуальность увеличения срока службы неразъемных соединений. Таким образом, целью данной работы было изучение влияния импульсной механо-электрофизической обработки на структуру и ударную вязкость сварного соединения стали 17Г1С.

В результате проведенных металлографических исследований показано, что в процессе ИМЭО основное воздействие концентрируется в поверхностном слое (не более 100 мкм), где не наблюдается пластическая деформация ферритных зёрен. При измерении микротвёрдости в поперечном сечении было выявлено повышение её значения в поверхностном слое на глубине до 500 мкм, как в сварном шве, так и в зоне термического влияния, находящейся на расстоянии 17 мм от центра шва. Снижение микротвёрдости происходит плавно: от максимального значения у самой поверхности ( $4\pm 0,1$  ГПа в сварном шве и  $1,95\pm 0,1$  ГПа в зоне термического влияния), до значений, соответствующих исходной структуре ( $3\pm 0,1$  ГПа в сварном шве и  $1,5\pm 0,1$  ГПа в зоне термического влияния) в нижележащих слоях, что не сопровождается формированием выраженной неоднородности, являющейся опасными концентраторами напряжений.

Формирование прочного поверхностного слоя после импульсной механо-электрофизической обработки приводит к небольшому повышению ударной вязкости при комнатной температуре, в сравнении со стандартным швом, но при понижении температуры испытания до  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  эта разница нивелируется (рис. 1). Причиной такого изменения свойств может служить высокая хладноломкость модифицированного слоя, что будет исследовано в дальнейших работах.

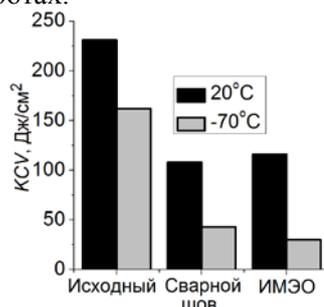


Рисунок 1 - Диаграмма ударной вязкости стали 17Г1С

**Благодарность:** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00679.

#### Список литературы

1. Кудрявцев П.И. Остаточные сварочные напряжения и прочность соединений. – М.: Машиностроение, 1964. – 93 с.
2. Копельман Л.А. Основы теории прочности сварных конструкций. – СПб: издательство «Лань». – 2010. – 464 с.
3. Ларионов В.П. Электродуговая сварка конструкций в северном исполнении. – Новосибирск : Наука, 1986. – 256 с.
4. Андреев В. Ультразвуковая ударная обработка, как метод повышения долговечности сварных соединений // Оборудование. – 2006. – № 3. – С. 32-33.
5. Аснис А.Е. Иващенко, Г.А. Повышение прочности сварных конструкций. – Киев: Наук. Думка, 1985. – 256 с.
6. Буторов В.С. Влияние вибрационной обработки на хладостойкость сварных металлоконструкций: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Якутск, 1987. – 16 с.
7. Винокуров В.А. Отпуск сварных конструкций для снижения напряжений. – М.: Машиностроение, 1973. – 213 с.
8. Лащенко Г.И. Энергосберегающие технологии снижения остаточных напряжений в сварных конструкциях // Сварщик в России. – 2006. – №1. – С. 15-19.