**уЛЬТРАЗВУКОВая ударная обработка сварных соединений в УСЛОВИЯХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ температур окружающего воздуха\***

Сидоров М.М., Голиков Н.И.

ИФТПС СО РАН, г. Якутск, Россия

**Введение**

Для повышения физико-механических свойств сварных соединений деталей техники и конструкций ответственного назначения в низкотемпературных условиях Севера разработано немало эффективных методов упрочения послесварочной обработки [1-3]. К их числу относятся взрывная обработка, термообработка, механическая и аргонодуговая обработка и т.д. Одним из перспективных и эффективных методов для повышения металлических поверхностей является ультразвуковая ударная обработка (УУО).

Физическая основа этого метода лежит в использовании ультразвука низких частот, которые начинаются с 15 кГц, и доходит до 100 кГц. В диапазоне ультразвука низких частот возможно использование электродинамических и электростатических излучателей. Широкое применение в этом диапазоне частот нашли магнитострикционные преобразователи, основанные на эффекте магнитострикции, т.е. деформация тел, возникающая при наложении механических напряжений, изменяющих магнитное состояние тела. В качестве рабочего инструмента применяется оснастка с металлическими иглами (индентор), передающие энергию ультразвука посредством отражения от торца волновода [4, 5].

Нами выявлен положительный эффект при ультразвуковой ударной обработке кольцевых сварных стыков труб из низколегированных сталей на перераспределение остаточных напряжений с растягивающих на сжимающие, что создает определенный запас сжимающих остаточных напряжений при циклическом нагружении сварных соединений и на повышение ударной вязкости в диапазоне отрицательных температурах испытаний [6-8]. На основании этих результатов разработан способ снятия остаточных напряжений в сварных соединениях кольцевых стыках труб [9].

В настоящей работе исследовано влияние УУО на микротвердость и ударную вязкость сварных соединений пластин из низколегированной стали 09Г2С, после проведения обработки в условиях отрицательных температур окружающего воздуха.

**Методика эксперимента, применяемое оборудование и сварочные материалы**

Для проведения исследований были сварены встык ручной дуговой сваркой пластины размерами 200х300х6 мм из новой листовой стали 09Г2С со стандартной разделкой кромок маркировками «№ 1» и «№ 2». Результаты химического состава стали представлено в таблице 1.

|  |  |
| --- | --- |
| Материал | Содержание химических элементов. % |
| C | Si | Mn | Nb | Ti | Al | Ni | P | S | Cu | Cr | Fe |
| 09Г2С | 0,08 | 0,62 | 1,47 | - | - | 0,04 | 0,04 | 0,02 | 0,007 | 0,04 | 0,04 | Ост. |

Таблица 1

При ручной дуговой сварке на постоянном токе использовали инверторный сварочный источник питания «Kemppi Minarc Evo 150». Односторонняя сварка листовых проб выполнялась при комнатной температуре (+20 оС) в 2 слоя покрытыми электродами с основным типом покрытия типа Э50А (LB-52U) – для 1-го слоя диаметром 3,2 мм и электрод типа Э50А (LB-52U) диаметром 4,0 мм – для сварки 2-го слоя. Свариваемые фрагменты пластин были закреплены в кондуктор по периметру для сварки. Режимы сварки приведены в таблице 2.

Таблица 2

|  |
| --- |
| Режим дуговой сварки на постоянном токе |
| Маркировки пластин | Слой | I, А | U, В | Vсв, м/ч |
| № 1 | 1 слой | 70 | 21 | 3,06 |
| 2 слой | 140 | 22,5 | 5,99 |
| № 2 | 1 слой | 70 | 22 | 3,13 |
| 2 слой | 140 | 22,5 | 5,84 |

После сварки пластину № 1 выставили на открытую площадку при температуре воздуха -30 оС на сутки, далее пластину № 1 подвергали ультразвуковой ударной обработке на месте, пластина № 2 – без обработки (исходная).

Ультразвуковую ударную обработку осуществляли с применением технологического комплекса, состоящий из ультразвукового генератора УЗГТ 0.5/27 и оснастки типа «Шмель», разработанного в ФГБУН Институте физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск. Обработку проводили со стороны корневого шва шириной до 30 мм вдоль шва. Инструмент перемещали вдоль шва, с захватом механизированным способом. Частота колебаний инструмента составляла 26 кГц, амплитуда торца волновода 20 мкм, мощность подводимая к преобразователю 420 Вт, скорость перемещения инструмента не превышала 0,1 м/мин. Такой вид ударной обработки вызывал довольно интенсивную пластическую деформацию поверхности металла на глубину от 0,6 до 1,0 мм. Вследствие пластического деформирования в зоне перехода шва к основному металлу образовалось плавное сопряжение с радиусом, равным радиусу игл ударного инструмента в виде шара диаметром 3 мм.

Далее с каждой пластины были изготовлены образцы на ударный изгиб по ГОСТ 6996-66 «Сварные соединения. Методы определения механических свойств» с U-образными надрезами по основному металлу (ОМ) и металлу шва (МШ) при диапазоне температур испытаний от -60 до +20 оС. Надрезы образцов наводили на специальном станке для нарезки концентраторов глубиной 2 мм. Испытания проводили на инструментированном маятниковом копре «Amsler RKP 450». Образцы при температурах испытаний (-40 оС) и (-60 оС) охлаждали в температурной камере LAUDA. Интервал времени переноса образца с температурной камеры до испытания 5 секунд.

Были изготовлены микрошлифы образцов для измерений микротвердости сварного соединения до и после УУО. Измерение микротвердости проводили прибором ПМТ-3 при нагрузке на индентор 0,5 Н (50 г). Подготовку шлифов для исследований выполняли по стандартной методике.

**Результаты работы и их обсуждение**

Результаты ударных испытаний образцов исходных и подвергнутых УУО, изготовленных из основного металла и сварного шва пластины из стали 09Г2С, представлены на рис. 1 (а, б). Видно, что в основном металле по сравнению с необработанными образцами у образцов подвергнутых УУО средние значения ударной вязкости значительно выше: при комнатной температуре (+20 оС) примерно на 70 кДж/см2, что составляет 32 %, при снижении температуры до -60 оС на 30 кДж/см2 (примерно на 16 %) (рис. 1, а). В зоне металла шва практически не изменилось (рис. 1, б). Это можно объяснить тем, что УУО сварного соединения проводилась без снятого усиления шва, а при изготовлении образцов на ударный изгиб усиление было снято.



Рис. 1. Зависимость средних значений ударной вязкости от температуры испытаний основного металла (а) и металла шва (б) пластины из стали 09Г2С:

1. Исходная; 2. После УУО

Результаты измерений микротвердости образцов исходного и подвергнутого УУО приведены в таблице 3. На образцах после обработки микротвердость измеряли непосредственно в зоне тонкого белого слоя, который образовывается в результате физического воздействия УУО.

Таблица 3

|  |  |
| --- | --- |
| **Образец** | **Средние значения микротвердости металла шва** |
| **H, кг/мм2** | **H, МПа** |
| Исходная | 214 | 2099 |
| После УУО (белый слой) | 269 | 2645 |

Результаты измерений показывают, что микротвердость на поверхности обработанного участка выше по сравнению с исходным на 55 кг/мм2 (546 МПа). Тем самым показано, что после обработки на поверхностном слое формируется упрочненный тонкий слой, что может послужить повышению трещиностойкости стали и стойкости металлических поверхностей к коррозионному растрескиванию.

**Выводы**

1. Показано, что проведение УУО при отрицательных температурах не снизила значения ударной вязкости сварного соединения из низколегированной стали 09Г2С, а значения ударной вязкости основного металла: при комнатной температуре по сравнению с необработанным материалом выше на 30 %, при отрицательной температуре на 16 %;

2. Выявлено, что в результате УУО на поверхности сварного соединения пластины из стали 09Г2С образуется упрочненный слой с повышенной микротвердостью;

*Список литературы*

1. *Аммосов, А.П. Яковлева, С.П. Голиков, Н.И. [и др.] Перераспределение остаточных напряжений при взрывной обработке кольцевых сварных соединений магистрального трубопровода // Сварочное производство. №1. 1997. С. 13-15.*
2. *Слепцов, О.И., Шульгинов, Б.С. Михайлов В.С. [и др.] Повышение прочности сварных металлоконструкций горнодобывающей и транспортной техники в условиях Севера. Новосибирск: Наука, 2012. 183 с.*
3. *Голиков, Н.И. Прочность сварных соединений резервуаров и трубопроводов, эксплуатирующихся в условиях Севера: монография / Н.И. Голиков, А.П. Аммосов; Ин-т физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН. Якутск: Изд-во СВФУ, 2012. 232 с.*
4. *Панин, В.Е. Каблов, Е.Н. Плешанов, В.С. [и др.] Влияние ультразвуковой ударной обработки на структуру и сопротивление усталости сварных соединений высокопрочной стали ВКС-12 // Физическая мезомеханика. 2006. №2. С.85-96.*
5. *Зарипов, М.З. Ибрагимов, И.Г. [и др.] Исследование влияния вибрационных и ультразвуковых колебаний в процессе сварки на свойства сварных соединений нефтегазового оборудования из стали 12Х18Н10Т // Нефтегазовое дело. 2010. № 2. С. 1-12.*
6. *Голиков, Н.И. Сидоров, М.М. Влияние ультразвуковой ударной обработки на ударную вязкость сварных соединений стыков труб, изготовленных из сталей 09Г2С и 13Г1С-У // Упрочняющие технологии и покрытия. 2011. №7. С. 3-6.*
7. *Голиков, Н.И. Сидоров, М.М. Перераспределение остаточных сварочных напряжений при ультразвуковой ударной обработке сварных соединений стыков труб // Сварочное производство. 2011. №5. С. 3-6.*
8. *Голиков, Н. И. Сидоров, М.М. Исследование перераспределений остаточных напряжений при циклическом нагружении сварных соединений // Сварочное производство. 2013. № 12. С. 18-20.*
9. *Пат. 244423 РФ. Способ снятия остаточных сварочных напряжений в сварных соединениях стыков труб / Сидоров М.М., Голиков Н.И., Аммосов А.П. Заявл. 26.07.2010 ; опубл. 10.03.2012, бюл. №7.*

\*Работа выполнено при финансовой поддержке программ фундаментальных исследований ОЭММПУ РАН № 2 16 2 (в рамках фундаментальных проектов институтов СО РАН в программах специализированных отделений РАН в 2014 году).