

УДК 621.771.01;621.774.25

Добронос Ю. К.  
Макаренко Н. А.  
Кассов В. Д.  
Дмитриев П. В.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СВАРНЫХ ШВОВ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Сварной шов отличается от основного катаного металла трубы литой структурой, характеризующейся низкими механическими свойствами и большей вероятностью наличия дефектов сплошности. На переходе сварного шва к основному металлу имеется зона термического влияния, также отличающаяся по структуре и от сварного шва, и от основного металла, которая служит концентратором напряжений (рис. 1). Поэтому, прежде всего, зона сварного шва является источником возникновения дефектов на сварных трубах. Несмотря на успехи, достигнутые в технологии сварки, отмеченные факторы не удается устранить полностью. Одним из способов повышения механических свойств сварного шва является процесс его локальной термомеханической обработки (ЛТМО), осуществляемый горячей прокаткой до полного устранения усиления. Теоретические и экспериментальные исследования подтвердили высокую эффективность этого способа [1–5], однако представляет интерес оценка его энергосиловых параметров именно для обработки труб большого диаметра из стали категорий прочности Х70-Х90.

Целью работы является исследование энергосиловых параметров процесса локальной термомеханической обработки, оценка структуры и механических свойств металла зоны шва после обработки на основе экспериментального исследования процесса локальной термомеханической обработки сварного шва применительно к трубам большого диаметра.

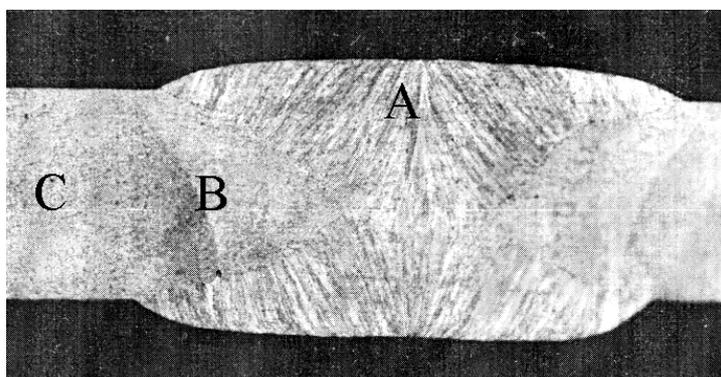


Рис. 1. Сварной шов (А) с прилегающими зонами: зоной термического влияния (В) и основным металлом (С)

В качестве объекта исследования были использованы образцы, вырезанные на участке сварного шва трубы из стали категории прочности Х70 производства Харцызского трубного завода (рис. 2). Толщина стенки трубы составляла 19 (+0,3 – (-0,2)) мм, толщина сварного шва по усилениям – 22–23 мм, ширина сварного шва – 28–30 мм. Всего было подготовлено и прокатано 5 образцов. Еще один образец не обрабатывался и был использован для проведения сравнительных испытаний на ударную вязкость и микроструктурного анализа.

Эксперименты были проведены с использованием оборудования Донбасской государственной машиностроительной академии. Методика эксперимента включала нагрев заготовки, собственно прокатку с измерением силы прокатки, исследование ударной вязкости и структуры образца до и после деформации.

Металл нагревали до температуры прокатки, которая составила 1000–1050 °С, Нагрев образцов осуществляли в камерной электропечи сопротивления ОКБ-333С, контроль температуры – платиновой термопарой с выводом показаний на потенциометр, проградуированный в °С.

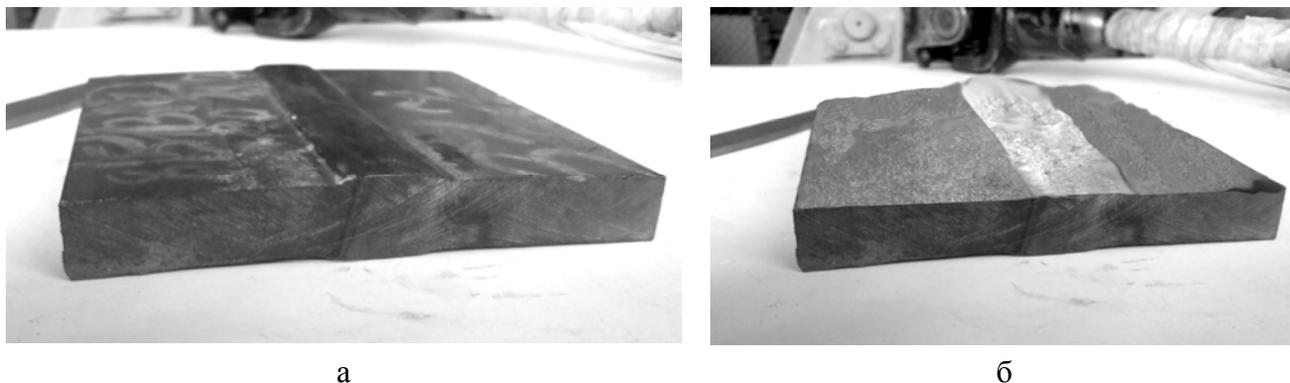


Рис. 2. Исходный (а) и прокатанный (б) образцы участка сварного шва

Для прокатки металла использовали промышленно-лабораторный стан 260 × 250 ДГМА (рис. 3). Стан находится в непосредственной близости от реки, что позволило исключить остывание образцов. Прокатку вели в один проход, относительное обжатие, соответствующее полному выкатыванию усиления сварного шва, то есть выравнивания их по толщине с основным металлом, составило  $\varepsilon = 0,16–0,2$ . Скорость прокатки составила 0,5–0,75 м/с. Силу прокатки измеряли мездозами, установленными между подушками верхнего валка и нажимными винтами, Запись регистрируемых параметров исследуемого процесса осуществляется при помощи ПЭВМ со встроенным аналого-цифровым преобразователем АЦП-ЛОС16-32.

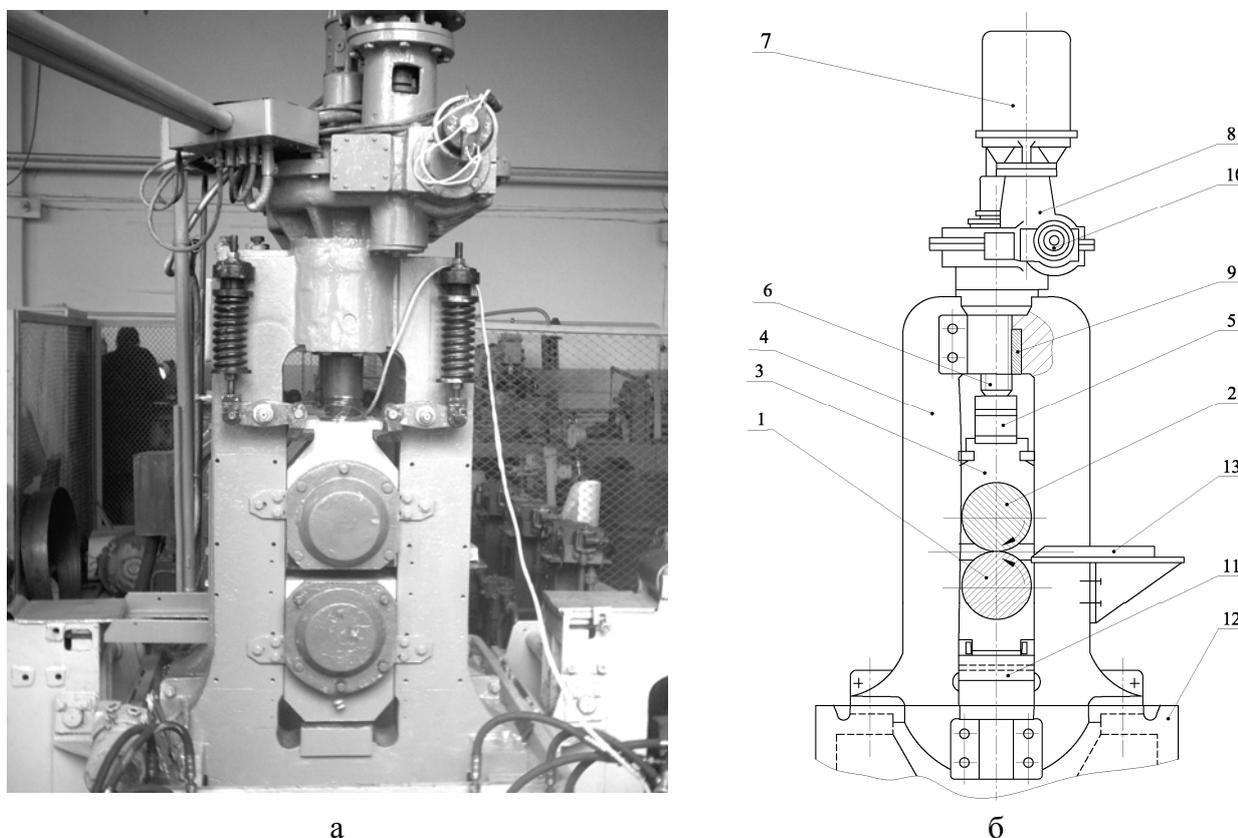


Рис. 3. Общий вид (а) и конструкция (б) двухвалковой рабочей клетки типоразмера 260 × 250 реверсивного промышленно-лабораторного прокатного стана ДГМА

В результате расшифровки полученных осциллограмм силы прокатки было установлено, что она изменялась в пределах 109–120 кН. Теоретические расчетные значения, силы прокатки, полученные по методике работ [3, 4] для условий, соответствующих экспериментальным, составили 103–111 кН (соответственно, по минимальным и максимальным параметрам сварного шва), что свидетельствует о высокой сходимости теоретических и экспериментальных результатов.

Кроме того, была проведена оценка уширения сварного шва при его раскатке. Продольное течение металла имело место только на краях образцов (рис. 2, б), характеризующихся отсутствием внешних зон. Уширение на краях составило 0,6–1,1 мм, в то время как на остальной части образца, в зависимости от размеров усиления, оно изменялось в пределах 2,4–6,1 мм, что соответствовало теоретическим расчетам для поперечного течения металла шва исходя из закона постоянства объема (максимальное расчетное – 6,4 мм). Тем самым было подтверждено допущение о преимущественно поперечном течении металла при ЛТМО сварного шва.

Для оценки показателей качества два прокатанных образца использовали для испытаний на ударную вязкость, а два – для микроструктурного анализа. Испытания на ударную вязкость проводились с использованием маятникового копра КМ 30 согласно методике ГОСТ 9454-78 при температуре +20 °С с оценкой KCV по центру сварного шва, на линии сплавления и для основного металла. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели ударной вязкости образцов KCV (Дж/см<sup>2</sup>)

	Неупрочненный образец	Упрочненный образец № 1	Упрочненный образец № 2
Центр шва	124	196	207
Зона сплавления	152	208	216
Основной металл	234	217	223

Таким образом, показатели ударной вязкости сварного шва в результате ЛТМО увеличились в 1,6–1,65 раза по отношению к необработанному образцу и составили  $\approx 0,85$  по отношению к основному металлу.

Для исследования микроструктуры прокатанных образцов из них были изготовлены микрошлифы, исследование проводили на металлографическом микроскопе МИМ 8 с увеличением  $\times 100$ . На рис. 4 представлены фрагменты фотографий микроструктуры различных зон сварного шва необработанного (а) и прокатанного (б) образцов.

Как следует из рис. 4, а, на необработанном образце в центре шва имеет место ярко выраженная литая структура с баллом зерна 6–7. Выражена четкая граница между литым металлом сварного шва и переходной зоной с крупнозернистой структурой. В основном металле имеется мелкозернистая катаная структура с баллом зерна 9–10. На прокатанных образцах (см. рис. 3, б) мелкозернистая равноосная структура с баллом зерна 10 распространяется на всю зону сварного шва, при этом размеры зерна почти вдвое меньше, чем в основном металле. Переходная зона практически отсутствует. В то же время размеры зерна основного металла несколько выше, чем в исходном образце, вследствие исходного нагрева без последующей деформации.

В результате микроструктурного анализа было также установлено, что при исследованных соотношениях ширины сварного шва к его высоте ( $b/h = 1,22–1,3$ ) с учетом усиления деформация проникает на всю его толщину, о чем свидетельствует одинаковый размер зерна в зоне сварного шва по всей толщине, что подтверждает теоретические положения о возможности проработки сварного шва на всю глубину при  $b/h > 1$ .

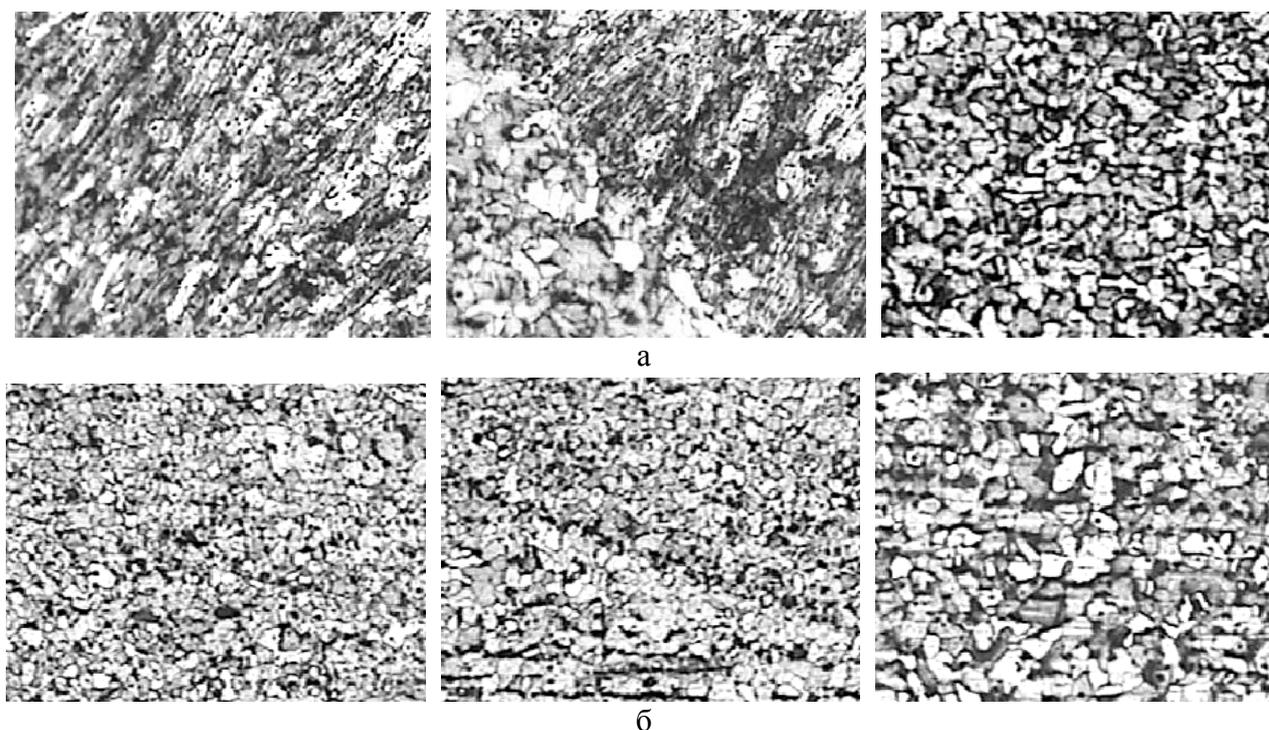


Рис. 4. Микроструктура металла исходного (а) и обработанного (б) образцов ( $\times 100$ ): слева – зона сварного шва; по центру – зона сплавления; справа – основной металл

### ВЫВОДЫ

В результате проведенных экспериментальных исследований подтверждена высокая эффективность процесса локальной термомеханической обработки сварных труб. Высокая сходимость оценок энергосиловых параметров, полученных теоретически и экспериментально, свидетельствует о достоверности полученных ранее теоретических результатов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Морозов Ю. Д. Состояние и перспективы развития сталей для труб большого диаметра в России / Ю. Д. Морозов, Л. И. Эфрон // *Высокотехнологичное оборудование для металлургической промышленности*. – М. : ВНИИМетмаш, 2004. – С. 254–264.
2. Плясунов В. А. Локальная термомеханическая обработка сварных соединений газонефтепроводных труб большого диаметра / В. А. Плясунов, И. А. Романцов, А. А. Федоринов // *Сталь*. – 2001. – № 6. – С. 81–83.
3. Технология, оборудование и методы расчета процесса локальной термомеханической обработки электросварных труб большого диаметра с использованием горячей прокатки / В. Ф. Потапкин, А. В. Сатонин, Ю. К. Доброносков, С. В. Новоселов, С. Б. Вольченко, А. В. Послушник // *Металлург*. – 2004 (Спецвыпуск). – С. 27–30.
4. Доброносков Ю. К. Повышение качества сварных швов путем локальной термомеханической обработки горячей прокаткой / Ю. К. Доброносков, В. В. Тимченко // *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*. – Краматорськ : ДДМА. – 2007. – С. 37.
5. Экспериментальные исследования процесса локальной термомеханической обработки сварных швов с использованием процесса горячей прокатки / В. К. Заблоцкий, Ю. К. Доброносков, С. А. Дмитриев и др. // *Обработка материалов давлением*. – Краматорск : ДГМА, 2009. – № 1(20). – С. 333–337.

Доброносков Ю. К. – канд. техн. наук, доц. кафедры АММ ДГМА;

Макаренко Н. А. – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой СП ДГМА;

Кассов В. Д. – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ПТМ ДГМА;

Дмитриев П. В. – студент ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: amm@dgma.donetsk.ua