

На правах рукописи

ГОРБАЧЕВ СЕРГЕЙ ВИКТОРОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ОДНОРОДНОСТИ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ  
СВОЙСТВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СТАЛЕЙ 20 И 30ХГСА В  
РЕЖИМЕ СВЕРХПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ**

Специальность 05.02.01 - Материаловедение  
(машиностроение в нефтегазовой отрасли)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Уфа – 2005



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Накопленный опыт эксплуатации нефтегазового оборудования показывает, что с течением времени происходит разрушение его элементов, как правило, по сварным соединениям вследствие воздействия температурных и силовых нагрузок, различных видов коррозии и других факторов. Это обусловлено тем, что для сварных соединений, выполненных сваркой плавлением, характерны структурная неоднородность и наличие концентрации остаточных напряжений.

Проблема увеличения ресурса нефтегазового оборудования, повышения его надежности является весьма актуальной ввиду острой необходимости снижения возможности возникновения аварийных ситуаций, связанных с гибелью людей, загрязнением окружающей среды, большими материальными затратами на их устранение. При этом одной из важнейших является задача повышения качества сварных соединений, в частности за счет снижения их напряженно-деформированного состояния и достижения свойств, максимально приближающихся к свойствам основного металла.

Решение этой задачи возможно путем использования термической обработки (ТО) или деформационного воздействия на сварное соединение. Проблема обработки сварных соединений из углеродистых и низколегированных сталей представлена в большом количестве научных исследований, а их результаты нашли применение на практике. Однако известные методы ТО ввиду продолжительности и энергоемкости не всегда являются эффективными, при этом не гарантируются устранение структурной неоднородности и достижение равнопрочности сварного соединения и основного металла.

Перспективным с позиций достижения высокого качества сварных соединений представляется использование температурно-скоростных режимов сверхпластической деформации (СПД). Обработка металлов и сплавов в режиме СПД обеспечивает малые нагрузки на инструмент и низкие энергозатраты.

Несмотря на обширные исследования СПД в кристаллических материалах, практически отсутствуют сведения по практическому использованию СПД для обработки сварных соединений из углеродистых и низколегированных сталей, которые широко применяются для изготовления сварных элементов нефтегазового оборудования.

### **ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Исследование возможности и эффективности использования СПД для снижения неоднородности структуры и механических свойств сварных соединений из углеродистых и низколегированных сталей с целью повышения работоспособности элементов нефтегазового оборудования.

### **ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Для достижения цели работы были поставлены следующие основные задачи:

- 1) разработка методики термомеханической обработки (ТМО) сварных соединений в температурно-скоростном режиме СПД;
- 2) выявление влияния деформации в температурно-скоростном режиме СПД на изменение механических свойств и структуры в зонах сварных соединений;
- 3) сравнительный анализ результатов механических испытаний, структурных исследований и коррозионной стойкости сварных соединений после ТМО в режиме СПД и после ТО и термоциклической обработки (ТЦО);
- 4) разработка практических рекомендаций по повышению качества сварных соединений, приводящих к совершенствованию технологического процесса изготовления сварных днищ и штуцеров сосудов, работающих под давлением.

### **НАУЧНАЯ НОВИЗНА**

1 Установлена принципиальная возможность снижения структурной неоднородности в различных зонах сварных соединений из сталей 20 и 30ХГСА путем СПД при температуре  $730 \pm 5$  °С и скорости деформации  $3 \cdot 10^{-3}$  с<sup>-1</sup>;

2 Показано, что СПД ( $\varepsilon = 20$  %) сварных соединений из сталей 20 и 30ХГСА позволяет более эффективно чем рекристаллизационный отжиг и ТЦО снижать

неоднородность структуры и механических свойств основного металла и зоны термического влияния;

3 Установлено, что максимальное снижение микронапряжений кристаллической решетки металла в ЗТВ сварных соединений из сталей 20 и 30ХГСА происходит также в ходе СПД ( $\varepsilon = 20 \%$ );

4 Показано, что СПД ( $\varepsilon = 20 \%$ ) сварных соединений из сталей 20 и 30ХГСА и их рекристаллизационный отжиг приводят к снижению скорости общей сероводородной коррозии металла до близких значений.

### **ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ**

Разработаны и приняты к внедрению в ОАО «Салаватнефтемаш» научно обоснованные энергосберегающие режимы ТМО, позволяющие снизить неоднородность механических свойств сварных соединений эллиптических днищ и штуцеров сосудов, работающих под давлением.

### **АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ**

Основные положения диссертационной работы доложены и одобрены на 6-й Российской научно-технической конференции «Прогрессивные технологии в транспортных системах» (г. Оренбург, 2003), региональной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов Оренбургской области (г. Оренбург, 2003), Международной научной конференции «Прикладная синергетика-II» (г. Уфа, 2004).

### **ПУБЛИКАЦИИ**

По теме диссертации опубликовано 7 работ.

### **СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и списка использованных источников (111 наименований).

Объем диссертации составляет 110 страниц, в том числе 38 рисунков и 12 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** раскрыта актуальность выбранной темы диссертационной работы, сформулированы цель, задачи, научная новизна исследований и их практическая значимость.

**В первой главе** проведен литературный обзор способов изготовления элементов и условий эксплуатации крупногабаритных сосудов, работающих под давлением, которые относятся к сложному технологическому оборудованию предприятий нефтегазовой отрасли с повышенными требованиями по безопасности. Для изготовления таких конструкций широко используются углеродистые и низколегированные стали.

На примере распределения причин отказов и неисправностей вертикальных цилиндрических резервуаров, эксплуатируемых на одном из нефтеперерабатывающем предприятии Республики Башкортостан, показано, что основными причинами отказов и неисправностей являются коррозионные процессы, нарушение герметичности днища и таких элементов, как штуцера, отводы и т.д.

Анализ свойств сварных соединений из углеродистых и низколегированных сталей, выполненных сваркой плавлением, показал неоднородность структуры и свойств по зонам сварного соединения. В ЗТВ возникают нежелательные крупнозернистые структуры, высокие остаточные макро- и микронапряжения. Последствием структурных изменений является снижение механических и эксплуатационных свойств сварных соединений. Остаточные напряжения могут стать причинами возникновения трещин, снижают сопротивляемость хрупким разрушениям, способствуют ускорению коррозионных процессов по сравнению с основным металлом.

С целью достижения однородности свойств сварного шва, ЗТВ и основного металла, а также снятия остаточных напряжений в сварном соединении широко в практике применяются различные виды его последующей обработки, описанные в работах Винокурова В.А., Куркина С.А., Николаева Г.А., Земзина В.Н, Сагалевича, Федюкина В.К. и других ученых. Однако широко используемые виды ТО не

устраняют полностью неоднородность сварных соединений, сопровождаются снижением прочности, могут иногда приводить к охрупчиванию, а также после выдержки при температуре обработки в изделии возможно образование нового поля остаточных напряжений. Максимальные возможности ТЦО реализуются только при полном использовании всех эффектов, связанных с пластической деформацией, которая является наиболее удобным технологическим способом управления несовершенствами в металле.

Для уменьшения остаточных напряжений применяются различные способы деформирования: прокатка роликами, проковка, обработка взрывом. Недостатками всех указанных методов является снижение пластичности деформируемой зоны. Особенностью как холодной, так и горячей пластической деформации является ее неоднородность. Кристаллические материалы вследствие своего строения и механизмов деформации склонны к неравномерному ее развитию. Неравномерность обуславливается схемой приложения внешних сил, неравномерным распределением внутренних напряжений, ограниченностью систем скольжения и рядом других факторов, приводящих к локализации деформации.

Вместе с тем результаты экспериментальных исследований, полученные учеными Института проблем сверхпластичности металлов (ИПСМ) РАН, на примере сварных соединений титановых сплавов показывают, что пластическая деформация в температурно-скоростном режиме СПД приводит к эффективной трансформации исходной крупнозернистой пластинчатой структуры в микродуплексную, определяя достижение уникального сочетания высокой прочности и пластичности.

Таким образом, на основе анализа литературных данных был сделан вывод, что перспективным способом обработки сварных соединений из углеродистых и низколегированных сталей может являться ТМО в температурно-скоростном режиме СПД, основной особенностью которой является увеличение роли такого микромеханизма деформации, как зернограничное проскальзывание.

В заключении первой главы сформулированы цель и задачи исследования.

**Во второй главе** рассмотрены вопросы подготовки образцов для проведения исследований, приведены обоснование и описание использованных методов исследований.

В качестве материала для проведения сравнительных исследований были выбраны углеродистая сталь 20, широко используемая в нефтегазовой отрасли, и низколегированная сталь 30ХГСА в виде листового проката, которые отличаются процентным содержанием углерода и наличием легирующих элементов.

С целью изучения механических характеристик различных зон сварных соединений в результате ТМО в режиме СПД были разработаны методики осадки и прокатки роликами образцов сварных соединений из сталей 20 и 30ХГСА в температурно-скоростном режиме СПД.

Для получения заготовок сварных соединений использовались пластины металла, в канавку которых был наплавлен валик ручной электродуговой сваркой покрытыми электродами диаметром 4 мм типа Э50А для стали 20 и типа Э60 для стали 30ХГСА при силе тока 160...170 А. После этого была произведена шлифовка наплавочного валика до поверхности пластины. Для прокатки роликами в режиме СПД были изготовлены образцы сварных соединений размером 120x70x5 мм. Образцы для осадки в режиме СПД, а также для отжига и ТЦО размером 20x8x5 мм с наличием всех зон сварного соединения были вырезаны из заготовок на фрезерном станке с охлаждением. Разметку места вырезки образцов производили по макрошлифам.

С целью оптимизации режимов ТМО были произведены прокатка роликами и осадка образцов сварных соединений с величиной деформации 10 %, 20 % и 40 % в температурно-скоростном режиме СПД для исследуемых сталей – температуре  $730\pm 5$  °С и скорости деформации  $3\cdot 10^{-3}$  с<sup>-1</sup>. Прокатка проводилась на лабораторном шестивалковом стане ЛИС-6/200, изотермические условия на котором обеспечивались за счет нагрева рабочих валков и автоматического регулирования их температуры. Осадка образцов проводилась на установке сложного нагружения, разработанной специалистами ИПСМ РАН.

При проведении сравнительных исследований влияния ТМО в режиме СПД на структуру, механические и коррозионные свойства сварных соединений с широко используемыми видами ТО и ТЦО использовались образцы после рекристаллизационного отжига со временем выдержки 30 минут в трубчатой электрической печи марки Т 40/600, нагретой до температуры  $730\pm 5$  °С, и образцы после двух циклов ТЦО. ТЦО образцов проводилась в интервале температур  $(880...730)\pm 5$  °С. Последующее охлаждение образцов после отжига и ТЦО осуществлялось на воздухе. Данные образцы имеют сопоставимые затраты времени на проведение послесварочной обработки и температурный режим по сравнению с ТМО в режиме СПД.

Для каждого способа послесварочной обработки было принято к исследованию по шесть образцов сварных соединений каждой марки стали.

Испытания на статическое растяжение плоских образцов, вырезанных из различных зон сварных соединений после прокатки роликами в режиме СПД, проводились на универсальной машине УММ-50 при температуре  $20\pm 2$  °С. Рабочее сечение образцов сварного шва и основного металла, согласно ГОСТ 6996-66, полностью состояло из металла испытываемого участка. В рабочем сечении образцов ЗТВ допускалось некоторое наличие металла других участков. Все образцы располагались вдоль продольной оси испытываемого участка.

По полученным диаграммам растяжения, согласно ГОСТ 1497-84, были определены следующие характеристики прочности и пластичности: условный предел текучести  $\sigma_{0,2}$ , предел прочности  $\sigma_{np}$ , относительное удлинение  $\delta_0$ .

Измерение твердости различных зон сварного соединения по методу Роквелла проводилось с использованием прибора ТК-2 по ГОСТ 6996-66, для измерения микротвердости по ГОСТ 9450-76 при нагрузке 0,5 Н использовался микротвердомер ПМТ-3.

Исследование микроструктуры осуществлялось на образцах, подвергнутых механической шлифовке и полировке. Использовались приемы химического травления для определения различных составляющих структуры зон сварного

соединения с помощью реактива, состоящего из 4%-ного спиртового раствора  $\text{HNO}_3$ . После травления образцы промывались и высушивались фильтровальной бумагой. Съемку микроструктуры осуществляли на базе микроскопа “Neophot-30” при увеличениях  $\times 200$  и  $\times 500$ . Металлографический анализ проводили с использованием промышленной системы анализа изображений SIAMS 600.

Коррозионная стойкость образцов против общей коррозии оценивалась гравиметрическим методом. Определялись потери массы образцов на единицу площади за время их пребывания в коррозионной среде с последующей оценкой коррозионной стойкости по изменению скорости коррозии. Значения скорости коррозии определяли согласно ГОСТ 9.506-87 через 96, 200, 400 и 720 часов выдержки образцов в агрессивной среде.

Для проведения коррозионных испытаний использовали агрессивную среду NACE (5 % -ный хлористый натрий  $\text{NaCl}$  + 0,5 % -ная уксусная кислота  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), насыщенную газообразным сероводородом до концентрации 2,8 г/л, pH 3,15. Образцы помещали в герметичную камеру с приготовленной средой так, чтобы исключить контакт между образцами. Испытания проводили при атмосферном давлении и температуре  $20 \pm 2$  °C.

Электролитическое полирование образцов для рентгеноструктурного анализа, проводимого с целью оценки уровня микронапряжений, осуществляли в электролите, состоящем из 10 % хлорной кислоты  $\text{HClO}_4$  и 90 % бутанола. После электрополировки образцы промывали в дистиллированной воде и сушили фильтровальной бумагой.

Рентгеноструктурный анализ проводили на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3М в  $\text{Cu-K}_\alpha$  излучении ( $\lambda = 1,54418 \text{ \AA}$ ). Съемку дифракционного пика (112) осуществляли методом пошагового сканирования с вращением образца и использованием графитового монохроматора на дифрагированном пучке. Интегральную ширину пика определяли с использованием пакета прикладных компьютерных программ OUTSET.

**В третьей главе** приведены результаты механических испытаний.

Проведенные измерения на образцах сварных соединений в исходном состоянии выявили большой разброс значений микротвердости и твердости в ЗТВ. При этом превышение максимальных значений твердости в ЗТВ относительно основного металла для стали 20 достигало 27 %, для стали 30ХГСА – 29 %.

После осадки и прокатки роликами в режиме СПД сварных соединений из сталей 20 и 30ХГСА с величиной деформации 20% и 40 % наблюдается равенство дисперсий и средних значений микротвердости и твердости для участков основного металла и ЗТВ при уровне доверительной вероятности 0,95.

Анализ результатов измерений по зонам сварных соединений из сталей 20 и 30ХГСА после деформации в режиме СПД (рисунок 1) выявил, что минимальный разброс значений твердости в ЗТВ, а также минимальная разница в средних значениях твердости основного металла и ЗТВ наблюдаются после прокатки роликами в режиме СПД с величиной деформации 20 % по сравнению с деформациями 10 % и 40 %.

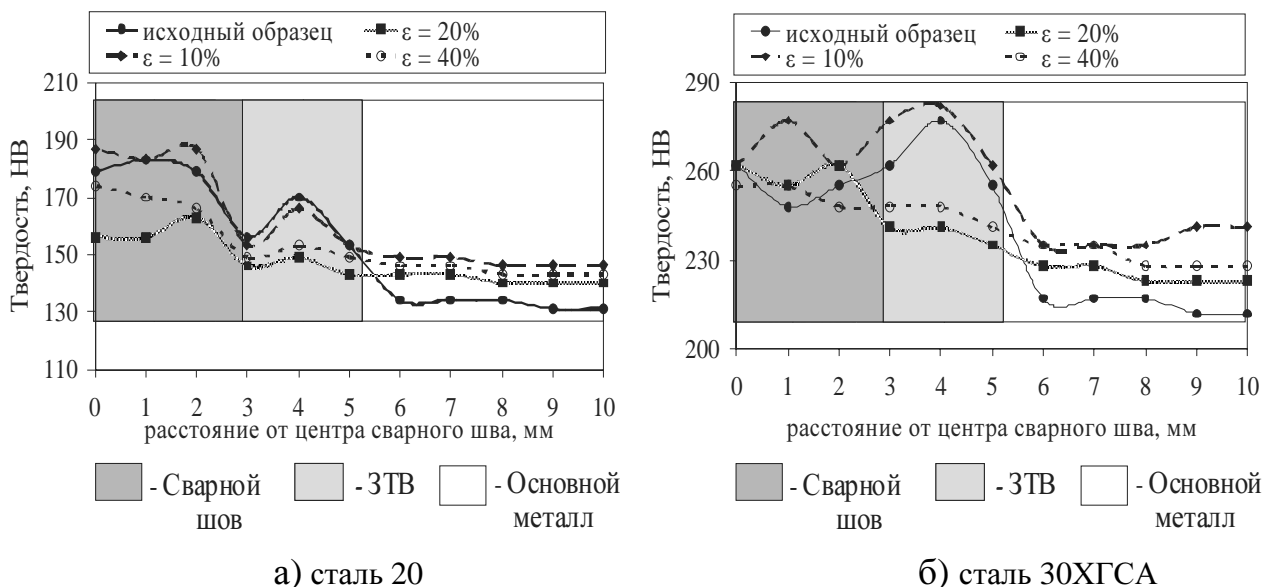
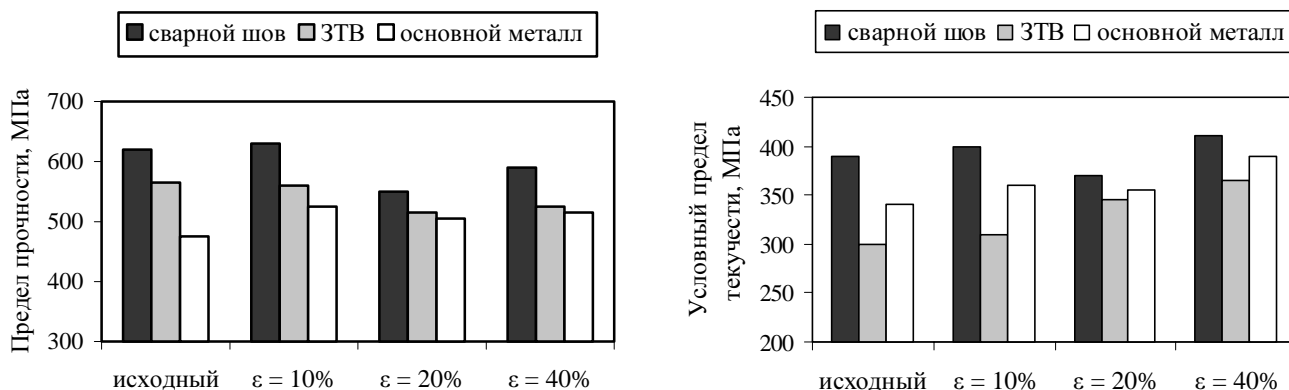
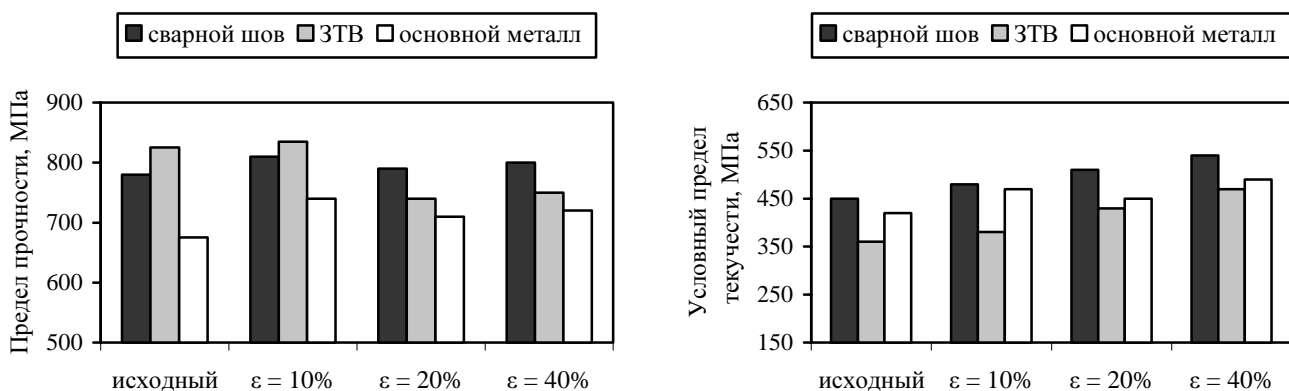


Рисунок 1 - Характер изменения значений твердости по зонам сварных соединений из сталей 20 и 30ХГСА при деформации в режиме СПД

Характер изменения средних значений предела прочности и условного предела текучести по зонам сварных соединений из сталей 20 и 30ХГСА представлен на рисунке 2, а относительного удлинения – на рисунке 3.

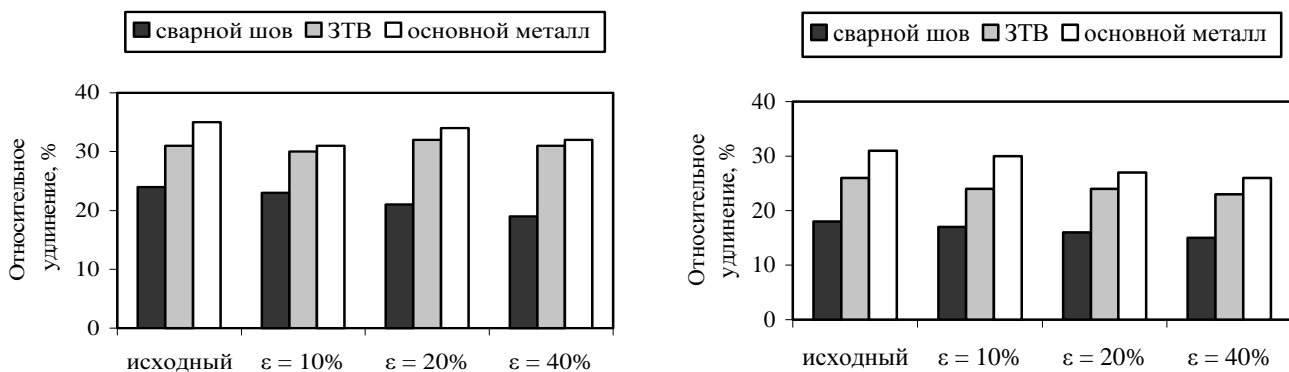


а) сталь 20



б) сталь 30ХГСА

Рисунок 2 - Характер изменения основных механических свойств по зонам сварных соединений из сталей 20 и 30ХГСА при деформации в режиме СПД



а) сталь 20

б) сталь 30ХГСА

Рисунок 3 – Зависимости изменения относительного удлинения различных зон сварных соединений из сталей 20 и 30ХГСА при деформации в режиме СПД

Из рисунков 2 и 3 видно, что прокатка роликами в режиме СПД приводит к снижению неоднородности механических свойств различных зон сварных соединений из сталей 20 и 30ХГСА относительно исходного состояния. При этом наилучшее сочетание прочностных свойств и характеристик пластичности достигается у образцов сварных соединений из сталей 20 и 30ХГСА после прокатки роликами в режиме СПД с величиной деформации 20 %.

Для сравнения полученных свойств сварных соединений из сталей 20 и 30ХГСА после прокатки роликами в режиме СПД с величиной деформации 20 % с известными и применяемыми на практике видами послесварочной обработки были проведены измерения микротвердости и твердости образцов сварных соединений из сталей 20 и 30ХГСА после отжига и ТЦО.

Распределение средних значений твердости по зонам сварных соединений из сталей 20 и 30ХГСА представлено на рисунке 4.

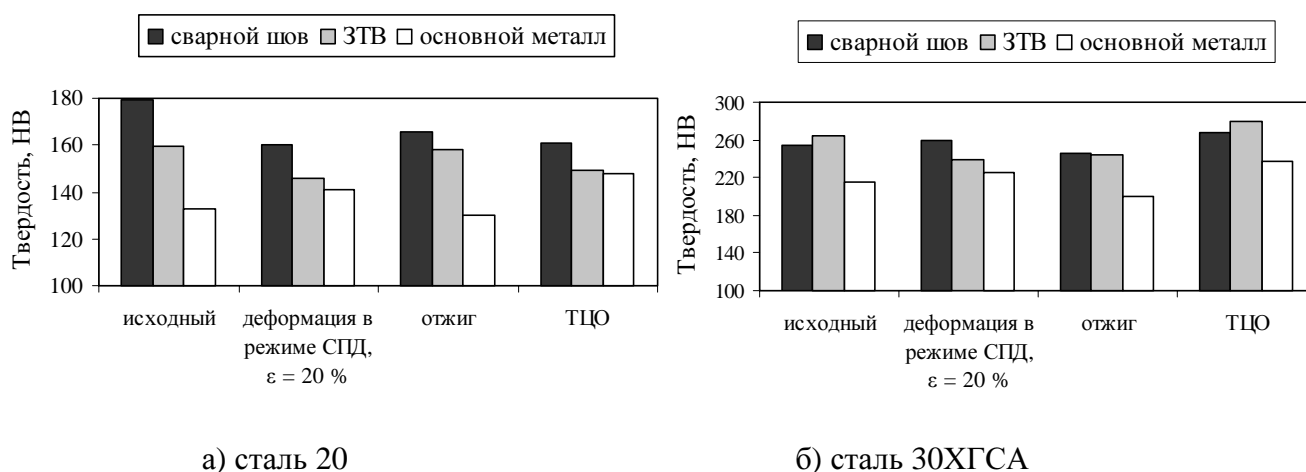


Рисунок 4 – Распределение средних значений твердости по зонам сварных соединений после различных видов обработки

Анализ значений твердости по зонам сварных соединений из сталей 20 и 30ХГСА после отжига показал одинаковый характер изменения их значений в сторону уменьшения. ТЦО сварных образцов стали 30ХГСА приводит к повышению значений твердости во всех зонах сварного соединения, а ТЦО сварных образцов стали 20 приводит к повышению твердости только в основном металле.

Минимальный разброс значений твердости в каждой из зон сварного соединения наблюдается после ТЦО и прокатки роликами в режиме СПД. При этом минимальная разница в средних значениях твердости основного металла и ЗТВ сварных соединений обеих марок сталей наблюдается после прокатки роликами в режиме СПД с величиной деформации 20 %.

**В четвертой главе** приведены результаты исследований микроструктуры сварных соединений сталей 20 и 30ХГСА, результаты коррозионных испытаний и рентгеноструктурных исследований.

Были получены фотографии микроструктур различных участков сварного соединения в исходном состоянии и после различных видов обработки. Микроструктуры основного металла и участка перегрева ЗТВ сварных соединений представлены на рисунках 5 и 6.

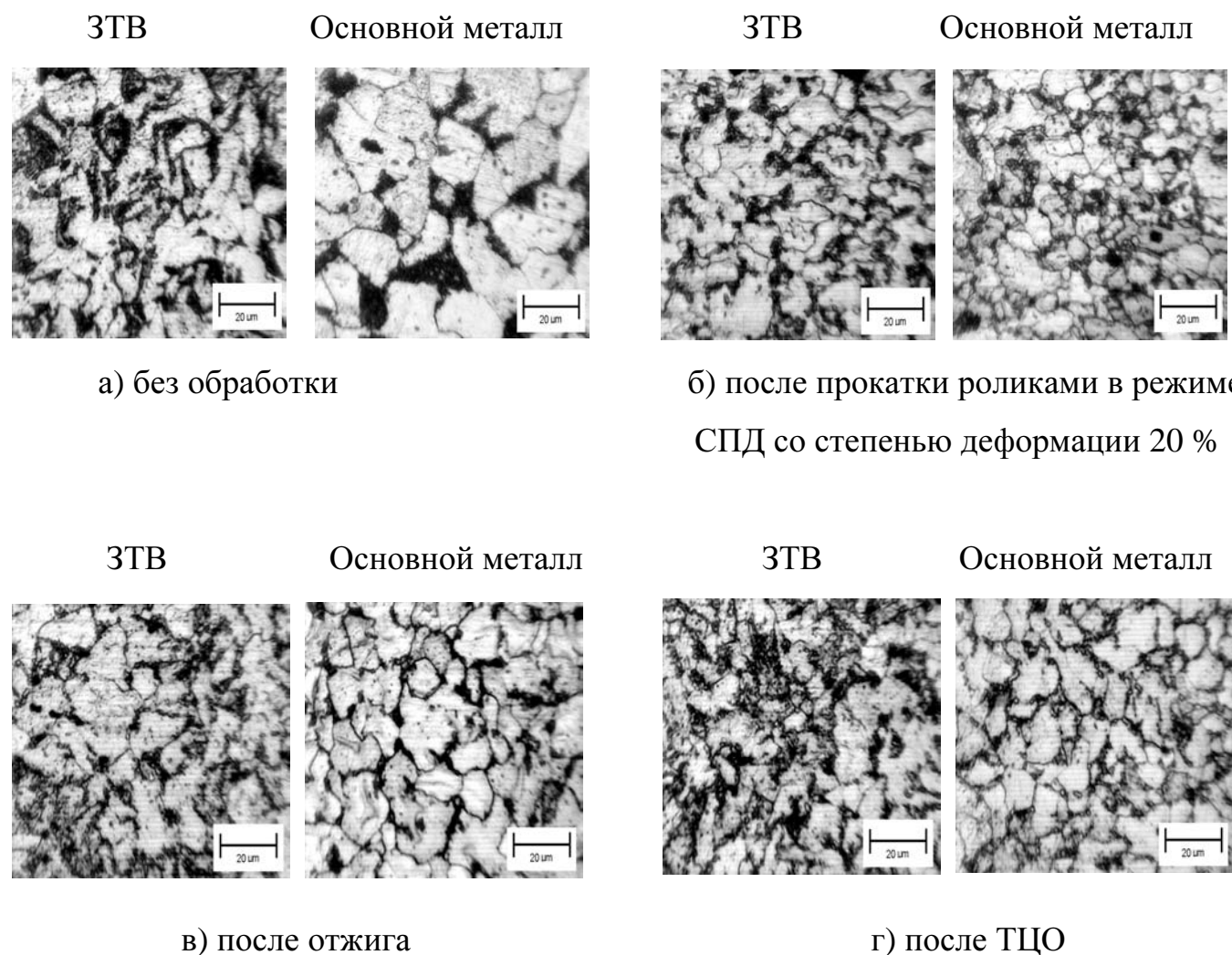


Рисунок 5 – Микроструктура сварных соединений из стали 20 (x500)

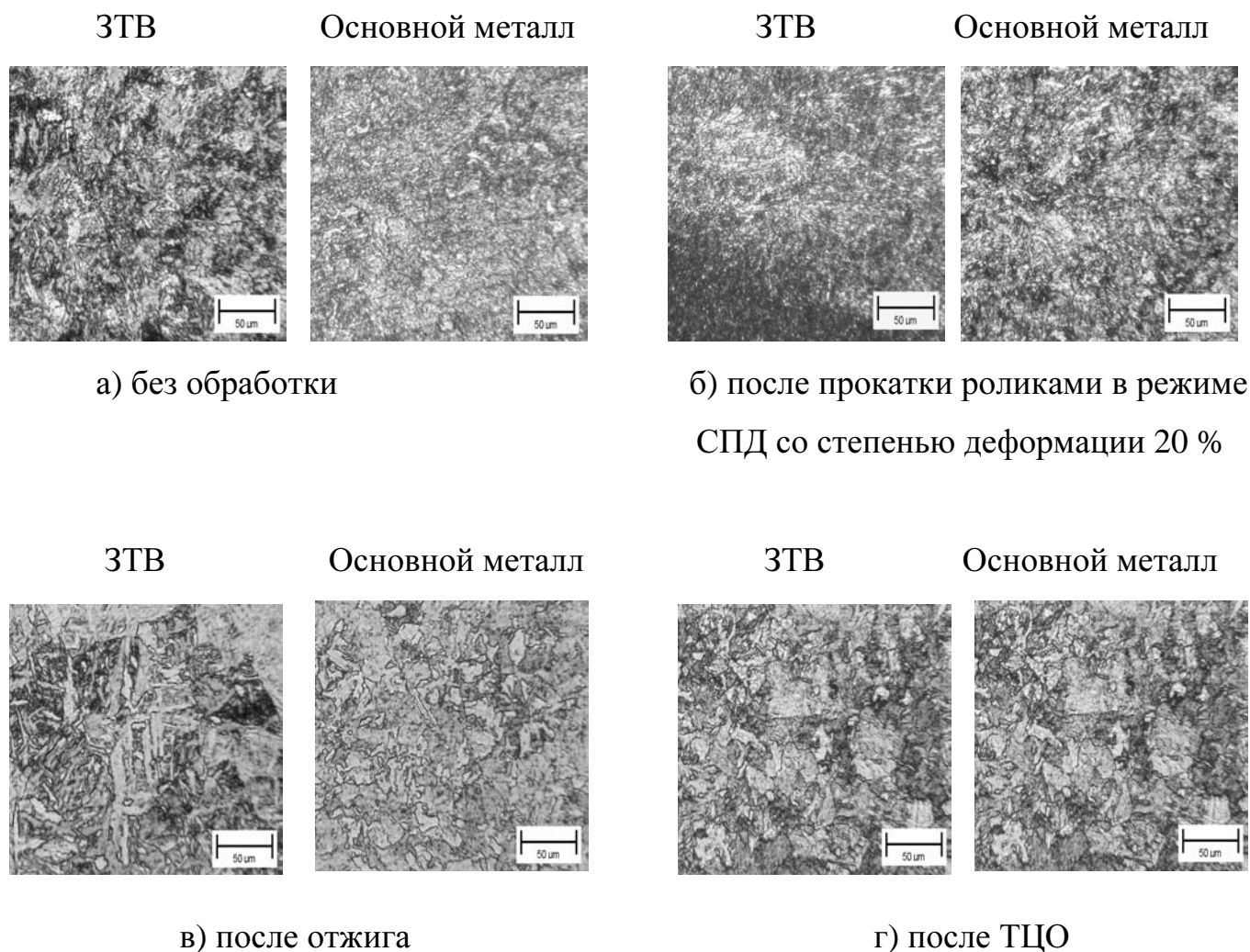


Рисунок 6 – Микроструктура сварных соединений из стали 30ХГСА (x200)

Анализ микроструктур исходных сварных соединений из стали 20 показал, что основной металл и ЗТВ всех сварных соединений состоит из феррита и перлита, для микроструктуры сварного шва характерна дендритная структура зерен, ориентированных вдоль отвода тепла из зоны плавления металла при охлаждении. При этом на участке перегрева ЗТВ было отмечено возникновение крупных зерен размером до 48 мкм. После отжига как в основном металле, так и в ЗТВ существенных изменений размера зерна не происходит. После ТЦО и прокатки роликами в режиме СПД с величиной деформации 20 % наблюдается уменьшение среднего размера зерна в основном металле и на участке крупного зерна в ЗТВ. В результате этого средний размер зерен стали 20 в сварном соединении после ТЦО колеблется от 6 мкм до 7 мкм, после прокатки роликами в режиме СПД – от 7 мкм

до 8 мкм. По полученным фотографиям микроструктур сварных соединений из стали 30ХГСА прослеживается уменьшение степени дисперсности ферритно-цементитной структуры в ЗТВ образцов после прокатки роликами в режиме СПД с величиной деформации 20 %, что является подтверждением некоторого снижения твердости на данном участке.

Результаты распределения размеров зерна в основном металле и ЗТВ сварных соединений из стали 20 представлены на рисунке 7.

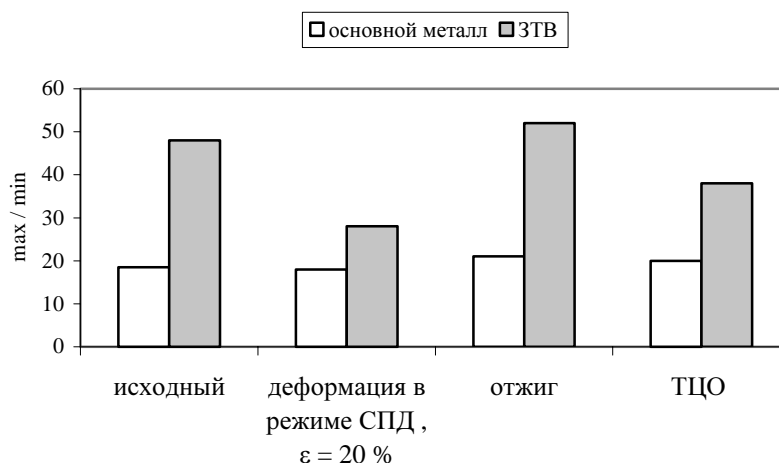
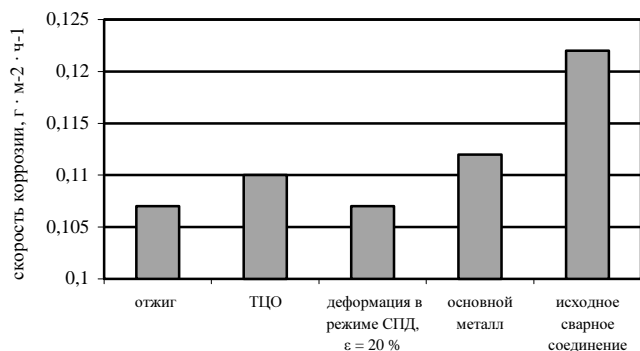


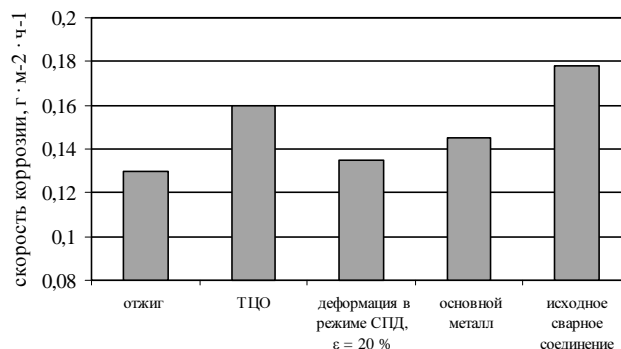
Рисунок 7 – Зависимость отношения максимального и минимального размеров зерен от способа обработки сварных соединений из стали 20

Из представленной зависимости очевидно, что после прокатки роликами в режиме СПД и ТЦО разнотернистость в ЗТВ уменьшается и структура становится более однородной. При этом наименьшие значения разнотернистости наблюдаются в ЗТВ после прокатки роликами в режиме СПД, которые приближаются к значениям разнотернистости основного металла.

Результаты изменения скорости коррозии сварных образцов после выдержки 720 часов, характеризующие общую картину изменения скорости коррозии, представлены на рисунке 8. На основании анализа изменения скорости коррозии сварных образцов был сделан вывод, что различные способы послесварочной обработки сварных соединений из сталей 20 и 30 ХГСА, кроме ТЦО сварных соединений из стали 30ХГСА, позволяют в равной степени снизить скорость общей сероводородной коррозии.



а) сталь 20



б) сталь 30ХГСА

Рисунок 8 - Изменение скорости коррозии сварных соединений в результате послесварочной обработки после выдержки в коррозионной среде 720 часов

Результаты рентгеноструктурных исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты рентгеноструктурных исследований

Марка материала	Способ обработки сварного соединения	Интегральная ширина дифракционного максимума, град.	
Сталь 20	Исходное состояние (без обработки)	0,6106±0,11	
	Деформационная обработка в режиме сверхпластичности	ε = 10%	0,5310±0,11
		ε = 20%	0,4203±0,07
		ε = 40%	0,5729±0,13
	Термоциклическая обработка	0,4599±0,08	
	Отжиг	0,5252±0,12	
Сталь 30ХГСА	Исходное состояние (без обработки)	0,6682±0,13	
	Деформационная обработка в режиме сверхпластичности	ε = 10%	0,6334±0,12
		ε = 20%	0,4757±0,08
		ε = 40%	0,5463±0,12
	Термоциклическая обработка	0,6962±0,14	
	Отжиг	0,6843±0,13	

Рентгеноструктурные исследования позволили провести оценку микронапряжений кристаллической решетки металла в ЗТВ сварных соединений. Установлено, что для сварных соединений из стали 20 все виды послесварочной обработки приводят к снижению микронапряжений, причем их минимальные значения наблюдаются после прокатки роликами в режиме СПД ( $\varepsilon = 20 \%$ ). Для сварных соединений из стали 30ХГСА после отжига и ТЦО уменьшение микронапряжений не наблюдается, а прокатка роликами в режиме СПД ( $\varepsilon = 20 \%$ ) позволяет максимально снизить микронапряжения.

### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1 Разработаны методики осадки и прокатки роликами образцов сварных соединений из сталей 20 и 30ХГСА при температуре 730 °С и постоянной скорости деформации  $3 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ , что соответствует режиму СПД основного материала.

2 Установлено, что при величине СПД 20 % достигается минимальная неоднородность механических свойств различных зон сварных соединений из сталей 20 и 30ХГСА. Значения предела прочности основного металла и ЗТВ для сварных соединений из стали 20 отличаются на 3,0 %, для сварных соединений из стали 30ХГСА на 4,2 %. При этом значения прочности и условного предела текучести основного металла и ЗТВ наиболее близки к значениям этих параметров до проведения сварки и СПД.

3 Показано, что по сравнению с ТЦО и рекристаллизационным отжигом прокатка роликами в режиме СПД с величиной деформации 20 % обеспечивает большую однородность структуры ЗТВ и основного металла. Вероятно, это связано с проявлением эффекта зернограничного проскальзывания, приводящего к активизации диффузионных процессов на границах зерен, что способствует повышению структурной однородности металла.

4 Установлено, что при величине СПД 20 % происходит максимальное уменьшение микронапряжений в ЗТВ сварных соединений из сталей 20 и 30ХГСА, что способствует снижению скорости общей сероводородной коррозии.

5 На основании полученных результатов в ОАО «Салаватнефтемаш» переданы для внедрения рекомендации по обеспечению энергосберегающих режимов ТМО, позволяющих снизить неоднородность механических свойств сварных соединений эллиптических днищ и штуцеров сосудов, работающих под давлением.

Автор выражает признательность д-ру техн. наук Р.Я. Лутфуллину за помощь в постановке экспериментальных исследований и консультации при выполнении диссертационной работы.

**Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:**

1 Лутфуллин Р.Я., Горбачев С.В. Использование режимов сверхпластической деформации для повышения качества сварных швов // Сб. матер. Региональной науч.-практ. конф. молодых ученых Оренбургской области. – Оренбург: РИК ГОУ ОГУ, 2003. – С. 54-55.

2 Лутфуллин Р.Я., Горбачев С.В. Повышение эксплуатационных свойств сварных соединений из конструкционных сталей в условиях авторемонтного производства // Прогрессивные технологии в транспортных системах: Сб. докл. VI Российской науч.-техн. конф.– Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. – С.66-69.

3. Щипачев А.М., Лутфуллин Р.Я., Горбачев С.В. Самоорганизация структуры зоны термического влияния сварного соединения конструкционных сталей 20 и 30ХГСА в температурно-скоростных режимах сверхпластической деформации // Прикладная синергетика – II: Сб. науч. трудов. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2004. – Т.2. – С. 52-57.

4 Щипачев А.М., Лутфуллин Р.Я., Горбачев С.В. Повышение однородности структуры при деформационно-термической обработке сварных соединений стали 20 в режиме сверхпластической деформации // Перспектива: Сб. ст. молодых ученых №4. – Оренбург: ОГУ, 2004. – С.159-161.

5 Щипачев А.М., Горбачев С.В. Применение режимов сверхпластической деформации для повышения однородности механических свойств сварных швов в

элементах нефтегазового оборудования // Перспектива: Сб. ст. молодых ученых №4. – Оренбург: ОГУ, 2004. – С.162-166.

6 Щипачев А.М., Горбачев С.В., Лутфуллин Р.Я. Влияние сверхпластической деформации на механические свойства сварных соединений сталей 20 и 30 ХГСА // Мировое сообщество: проблемы и пути решения: Сб. науч. ст. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2004. - № 16.- С.31-36.

7 Горбачев С.В., Щипачев А.М. Структурные изменения при деформационно-термической обработке сварных соединений стали 20 // Мировое сообщество: проблемы и пути решения: Сб. науч. ст. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2004. - № 16.- С.102-105.