

УДК 669.017

**ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИИ В РЕЖИМЕ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ  
НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ  
СТАЛЕЙ 20 И 30ХГСА**

**INFLUENCE OF DEFORMATION ON MECHANICAL PROPERTIES  
OF 20 AND 30HGSA STEEL WELDED JOINTS  
IN SUPERPLASTICITY REGIME**

Горбачев С.В., Щипачев А.М., Лутфуллин Р.Я.,

ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет»,

г. Оренбург, Российская Федерация

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический  
университет», г. Уфа, Российская Федерация

ФГБУН «Институт проблем сверхпластичности металлов РАН»,

г. Уфа, Российская Федерация

S.V. Gorbachev, A.M. Shipachev, R.Ya. Lutfullin,

FSBEI HPE «Orenburg State University», Orenburg, the Russian Federation,

FSBEI HPE «Ufa State Aviation Technical University»,

Ufa, the Russian Federation,

FSBIS «Institute for Metals Superplasticity Problems, Russian Academy of  
Sciences», Ufa, the Russian Federation

e-mail: shipachev@ufanet.ru

**Аннотация.** Перспективным для достижения структурной однородности, сочетания высокой прочности и пластичности может быть использование горячей пластической деформации сварных швов в температурно-скоростных режимах проявления эффекта сверхпластичности металлов.

Изотермическая прокатка нагретыми валками образцов сварных соединений сталей 20 и 30ХГСА была проведена со степенями деформации 10, 20 и 40% при температуре  $730 \pm 5$  °С – оптимальной температуре сверхпластической деформации для конструкционных сталей с постоянной скоростью деформации  $0,003 \text{ с}^{-1}$ . Прокатка производилась на лабораторном шестивалковом стане ЛИС-6/200 Института проблем сверхпластичности материалов РАН, изотермические условия деформирования обеспечивали за счет нагрева рабочих валков и регулирования их температуры.

Минимальная разница в значениях предела прочности основного металла сварного соединения относительно исходного состояния наблюдается при степени деформации 20% и составляет для стали 20 – 6,3%, для стали 30ХГСА – 5,2%. Минимальная разница в значениях условного предела текучести основного металла сварного соединения относительно исходного состояния наблюдается также при степени деформации 20% и составляет для стали 20 – 6,0%, для стали 30ХГСА – 4,6%.

Показано, что изотермическая прокатка нагретыми валками в режиме сверхпластической деформации приводит к снижению рассеяния механических свойств в различных зонах сварного соединения конструкционных сталей 20 и 30ХГСА относительно исходного состояния.

Сравнительный анализ значений микротвердости и твердости сварных образцов сталей 20 и 30ХГСА после различных видов сварочной обработки, при равных затратах времени на обработку, показал преимущество прокатки изотермическими валками в режиме сверхпластической деформации со степенью деформации 20% в достижении однородности механических свойств по отношению к отжигу и термоциклической обработке.

**Abstract.** It may prove to be promising to use hot plastic deformation of welded joints in temperature/velocity regimes of metal superplasticity effect revealed, in order to get structural homogeneity and combination of high strength and plasticity.

Isothermal rolling with hot rolls of 20 and 30HGSA steel weld joint specimens was carried out at 10, 20 and 40% deformation degrees at a temperature of  $730 \pm 5$  °C being the optimal temperature of superplastic deformation for constructional steels, at a constant strain rate of  $0.003 \text{ s}^{-1}$ . The rolling was performed in the laboratory six-high LIS-6/200 mill of the Institute for Metals Superplasticity Problems, Russian Academy of Sciences, with isothermal deformation conditions being provided by heating the working rolls and regulating their temperature.

The minimum difference in the weld joint base metal ultimate strength values compared to the initial state is observed at 20% deformation degree and is equal to 6.3% for 20 steel and 5.2% for 30HGSA steel. The minimum difference in the weld joint base metal yield point values compared to the initial state is also observed at 20% deformation degree and is equal to 6.0% for 20 steel and 4.6% for 30HGSA steel.

It is shown that isothermal rolling with hot rolls in superplastic deformation regime results in reduction of scattering of mechanical properties in different zones of 20 and 30HGSA constructional steel welded joint compared to the initial state.

The comparative analysis of micro hardness and hardness values of the welded 20 and 30HGSA steel specimens after different kinds of welding treatment with equal time spent on the treatment showed that the rolling with isothermal rolls in superplastic deformation regime with 20% degree of strain has an advantage in achieving homogeneity of mechanical properties compared to annealing and thermal cycling treatment.

**Ключевые слова:** сварные швы, сверхпластическая деформация, механические свойства, микротвердость, послесварочная обработка, зона термического влияния.

**Key words:** welded joints, superplastic deformation, mechanical properties, microhardness, post weld treatment, heat-affected zone.

Типичной формой предельного состояния сосудов, работающих под давлением, является разрушение или повреждение как результат развития трещины. Обычным местом зарождения трещин являются сварные швы или их окрестности [1]. Элементом нефтегазового оборудования присущи структурные, фазовые и химические неоднородности материалов, характерные для состояния поставки, которые чаще всего проявляются при механическом и термическом воздействии на металл. В создании неравновесных структур особенно велика роль сварочных процессов. В процессе сварки проявляются практически все виды гетерогенности: геометрическая, структурная, химическая и др. Образование дефектов (поры, шлаковые включения, горячие и усадочные трещины и т.д.) происходит в процессе кристаллизации металла, в межоперационные периоды и при хранении сварных конструкций. В определенной мере технологический характер имеет требование равнопрочности сварного соединения основному металлу.

Сварные соединения, выполненные сваркой плавлением, можно разделить на несколько зон, отличающихся макро- и микроструктурой, химическим составом, механическими свойствами и другими признаками: зону наплавленного металла или сварного шва; зону термического влияния и зону основного металла. Максимальные изменения структуры металла, его химического состава, а также вероятность возникновения различного рода дефектов наблюдаются в зоне сплавления. Участок перегрева характеризуется существенным увеличением зерна, наличием полных структурных и фазовых превращений. На участке полной

перекристаллизации температура нагрева выше температуры фазовых превращений, однако, интенсивность превращений меньше, чем на участке перегрева, также как и меньше время пребывания металла при этих температурах, поэтому существенного увеличения зерна здесь не происходит. Там, где имеется крупнозернистая зона, она всюду граничит с мелкозернистой зоной. В зоне частичной перекристаллизации в результате распада закалочных структур отмечается существенное снижение прочности металла. Аналогичные явления могут наблюдаться в зоне высокотемпературного отпуска. Зона низкотемпературного отпуска характеризуется менее существенными изменениями в металле [2].

Зона основного металла располагается за пределами зоны термического влияния и не претерпевает изменений при сварке, однако может влиять на превращения в зоне термического влияния в зависимости от его макро- и микроструктуры, определяемых способом первичной обработки металла и последующей термообработкой.

Последствием структурных изменений является снижение механических и эксплуатационных свойств сварных соединений. Сварочные напряжения также способствуют ускорению коррозионных процессов. Известно, что главными причинами повышенной склонности сварных соединений к замедленному разрушению при наводороживании являются концентраторы напряжений, структурное состояние и технологические остаточные напряжения. Остаточные макронапряжения в конструкции возникают под действием различных технологических факторов при ее изготовлении. Остаточные сварочные напряжения – следствие пластических деформаций при неравномерном нагреве металла. Наложение остаточных напряжений на рабочие приводит к увеличению действующих в материале конструкции напряжений, а повышение уровня макронапряжений вызывает уменьшение стойкости материалов в сероводородсодержащей среде.

Вопросы обработки сварных швов из конструкционных сталей освещены в большом количестве научных исследований, а их результаты нашли применение на практике. Однако используемые методы их термической обработки являются длительными и энергоемкими, не обеспечивают равнопрочности шва и основного металла. Перспективным для достижения структурной однородности, сочетания высокой прочности и пластичности представляется использование горячей пластической деформации сварных швов в температурно-скоростных режимах проявления эффекта сверхпластичности металлов. Обработка материалов в режиме сверхпластической деформации (СПД) обеспечивает малые нагрузки на инструмент и низкие энергозатраты [3,4].

Изотермическая прокатка нагретыми валками образцов сварных соединений была проведена со степенями деформации 10, 20 и 40% при температуре  $730 \pm 5^{\circ}\text{C}$  – оптимальной температуре СПД для конструкционных сталей с постоянной скоростью деформации  $0,003 \text{ c}^{-1}$ . Прокатка производилась на лабораторном шестивалковом стане ЛИС-6/200 Института проблем сверхпластичности материалов РАН [5-7], изотермические условия деформирования обеспечивали за счет нагрева рабочих валков и регулирования их температуры.

Характер изменения значений твердости по зонам сварного соединения сталей 20 и 30ХГСА в исходном состоянии и после прокатки роликами в изотермических условиях с различной степенью деформации представлен на рисунках 1 и 2. На них видно, что в исходном состоянии твердость зоны термического влияния существенно превышает твердость основного металла.

После прокатки нагретыми валками сварных соединений со степенью деформации 10% для сталей 20 и 30ХГСА наблюдается увеличение твердости во всех зонах сварного шва, кроме зоны термического влияния сварного соединения, где твердость практически не изменяется.

С увеличением степени деформации до 20% во всех зонах сварного соединения обеих марок сталей наблюдается снижение твердости. При этом следует отметить, что наиболее интенсивно происходит снижение твердости в зоне термического влияния, в результате чего средние значения твердости в этой зоне становятся практически равными твердости основного металла.

С увеличением степени деформации до 40% во всех зонах сварного соединения наблюдается некоторое увеличение твердости, при этом разброс значений и разница в средних значениях твердости зоны термического влияния и основного металла сохраняется.

На основании данного анализа изменения значений твердости по зонам сварных соединений сталей 20 и 30ХГСА можно принять в качестве оптимальной прокатку нагретыми валками сварного соединения со степенью деформации 20% в режиме СПД.

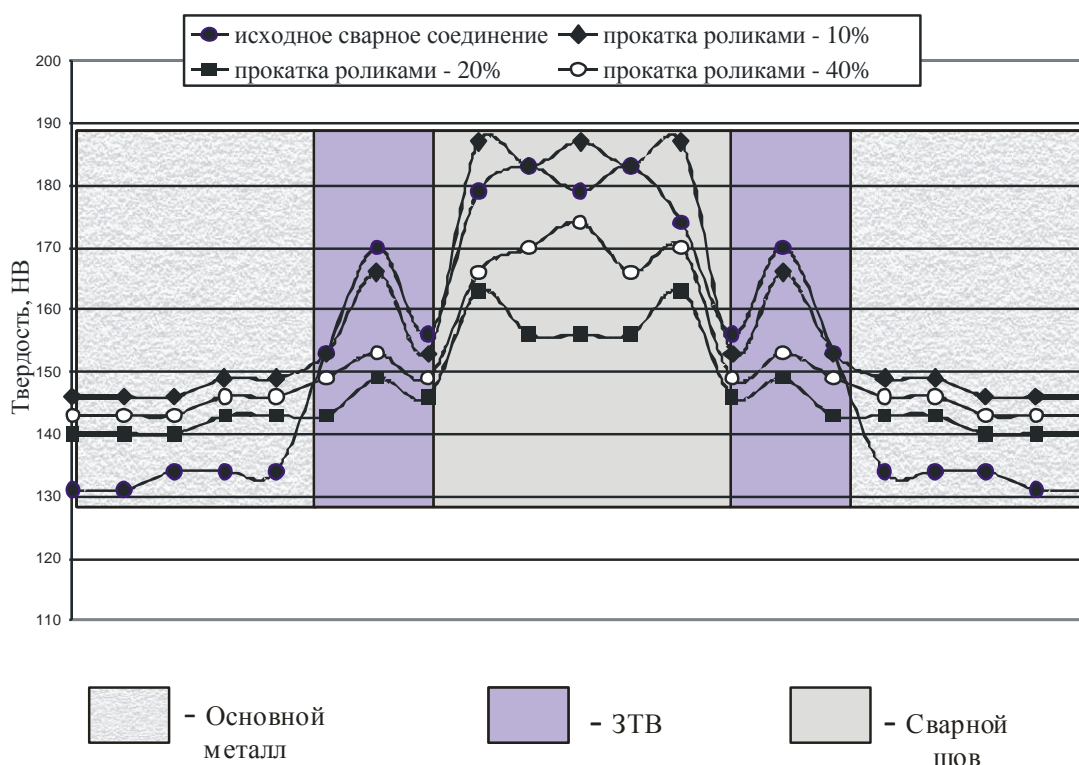


Рисунок 1. Характер изменения твердости по зонам сварного соединения стали 20 от степени деформации в режиме СПД



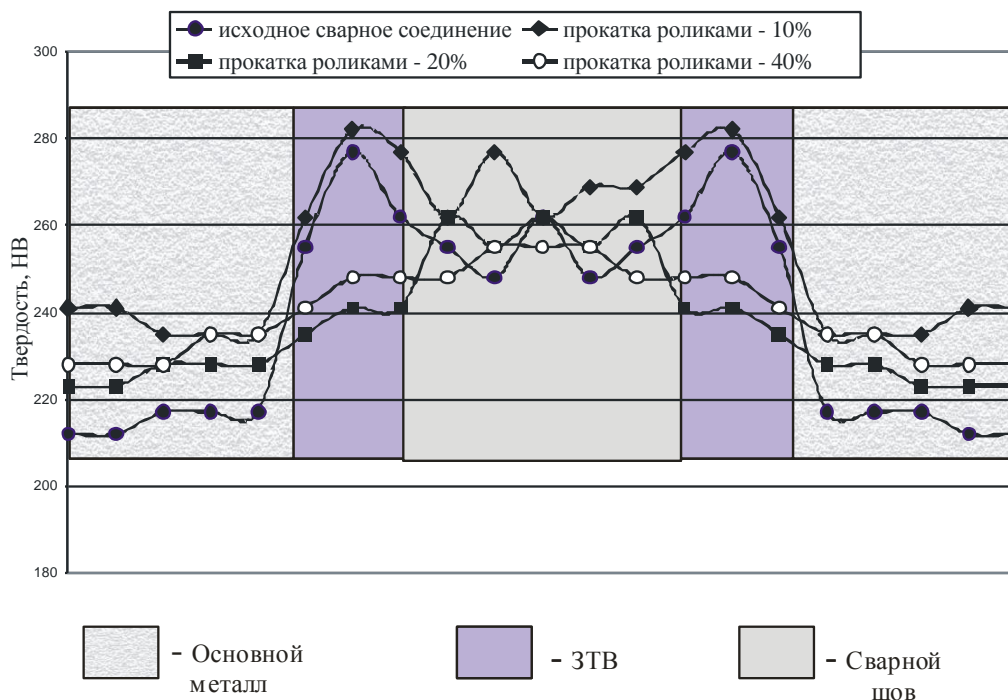


Рисунок 2. Характер изменения твердости по зонам сварного соединения стали 30ХГСА от степени деформации в режиме СПД

Характер изменения значений временного сопротивления разрыву и условного предела текучести по зонам сварного соединения сталей 20 и 30ХГСА в исходном состоянии и после прокатки нагретыми валками в режиме СПД с различной степенью деформации представлен на рисунках 3 - 6.

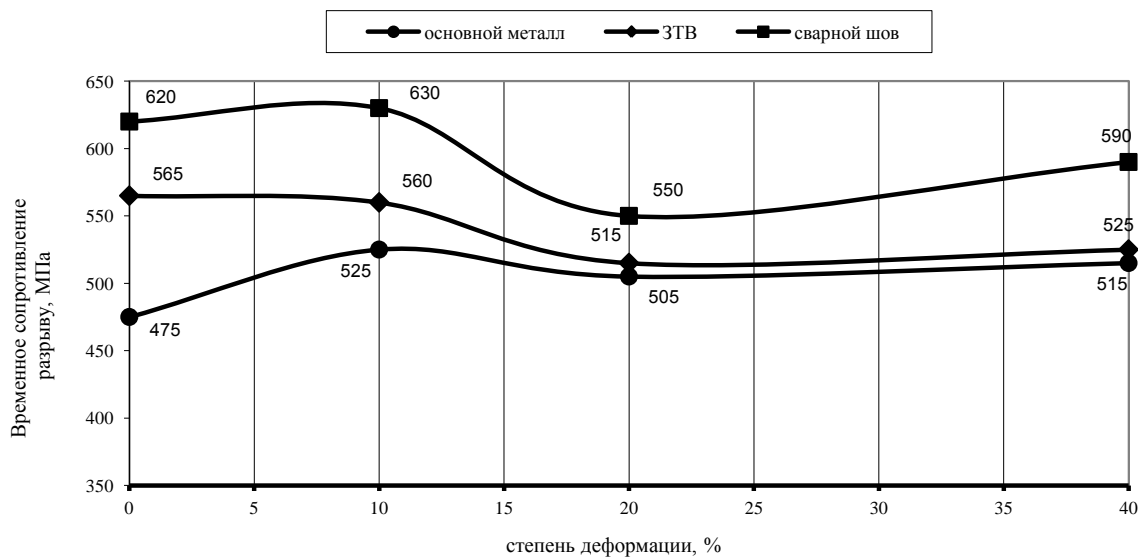


Рисунок 3. Зависимость изменения временного сопротивления разрыву различных зон сварного соединения стали 20 от степени деформации в режиме СПД



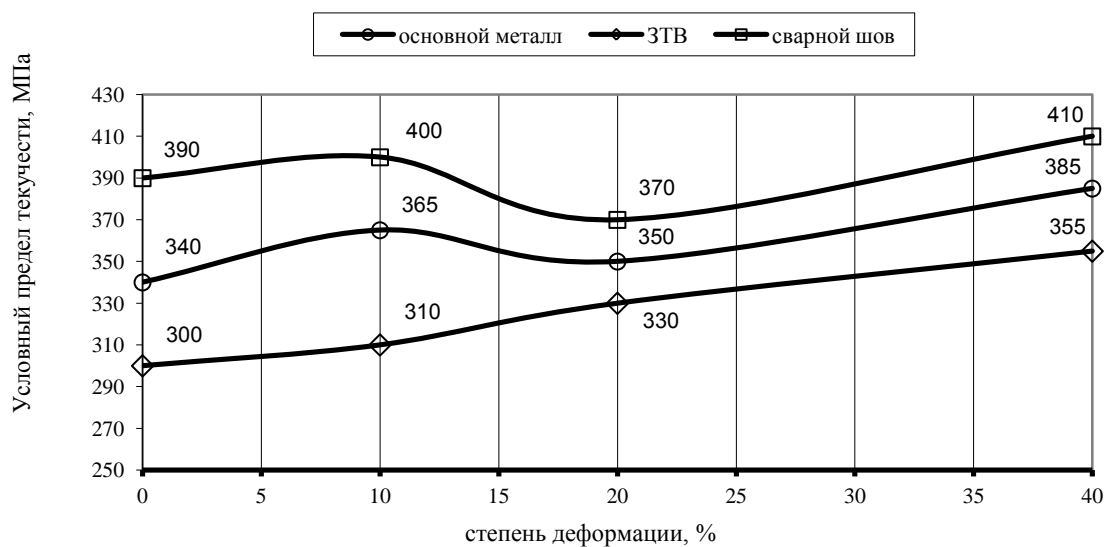


Рисунок 4. Зависимость изменения условного предела текучести различных зон сварного соединения сталей 20 от степени деформации в режиме СПД

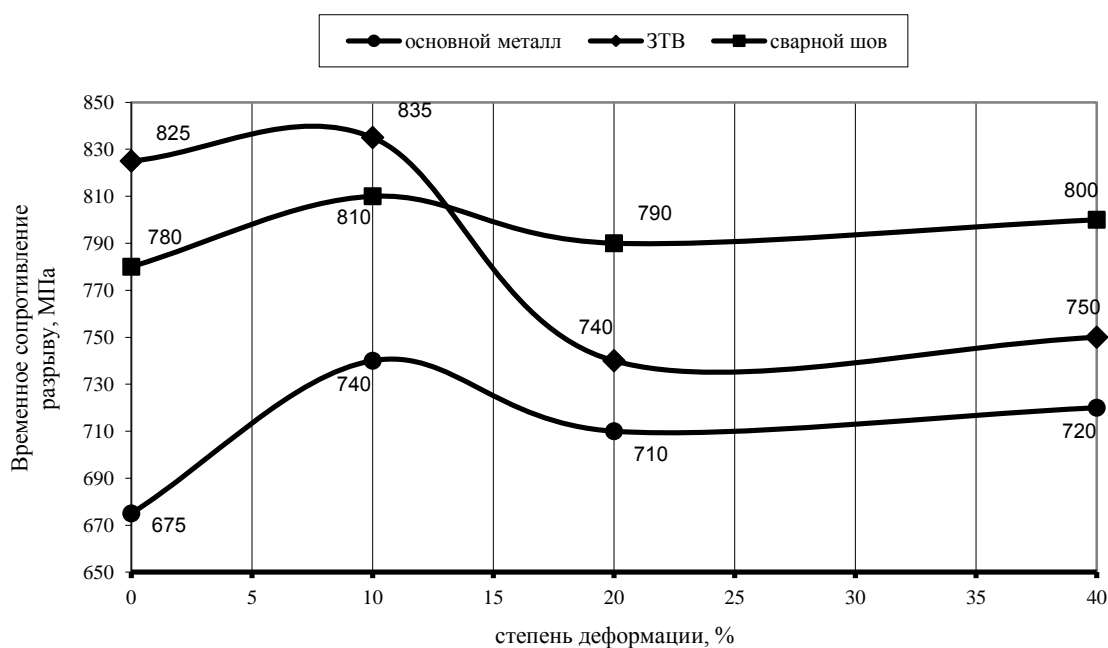


Рисунок 5. Зависимость изменения временного сопротивления разрыву различных зон сварного соединения сталей 30ХГСА от степени деформации в режиме СПД

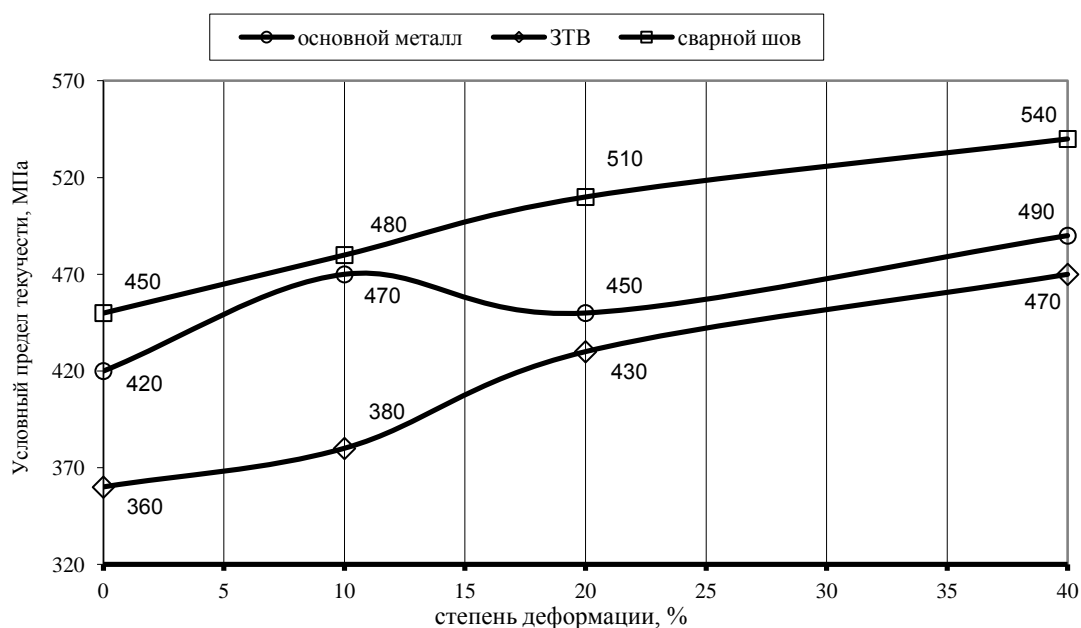


Рисунок 6. Зависимость изменения условного предела текучести различных зон сварного соединения сталей 30ХГСА от степени деформации в режиме СПД

Из представленных рисунков видно, что наибольшая разница в средних значениях временного сопротивления разрыву основного металла и зоны термического влияния наблюдается у образцов сварных соединений в исходном состоянии. Минимальная разница в значениях предела прочности основного металла сварного соединения относительно исходного состояния наблюдается при степени деформации 20% и составляет для стали 20 – 6,3%, для стали 30ХГСА – 5,2%.

Минимальная разница в значениях условного предела текучести основного металла сварного соединения относительно исходного состояния наблюдается также при степени деформации 20% и составляет для стали 20 – 6,0%, для стали 30ХГСА – 4,6%.

## Выводы

1. Прокатка роликами в режиме СПД приводит к снижению разброса механических свойств в различных зонах сварного соединения конструкционных сталей 20 и сталей 30ХГСА относительно исходного

состояния. При этом минимальный разброс значений твердости в зоне термического влияния, минимальная разница в средних значениях твердости основного металла и зоны термического влияния, наилучшее сочетание прочностных свойств и характеристик пластичности достигается у образцов сварных соединений обеих сталей, подвергнутых прокатке валками в режиме СПД со степенью деформации 20%.

2. Сравнительный анализ значений микротвердости и твердости сварных образцов сталей 20 и 30ХГСА после различных видов послесварочной обработки, при равных затратах времени на обработку, показал преимущество прокатки валками в режиме СПД со степенью деформации 20% в достижении однородности механических свойств по отношению к отжигу и термоциклической обработке.

### **Список используемых источников**

1 Захаров Н.М., Евдокимов Г.И. Обеспечение ресурса оболочковых конструкций. Уфа: УГНТУ, 2002. 158 с.

2 Винокуров В.А., Куркин С.А., Николаев Г.А. Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности. М.: Машиностроение, 1996. 576 с.

3 Кайбышев О.А., Утяшев Ф.З. Сверхпластичность, измельчение структуры и обработка труднодеформируемых сплавов. М.: Наука, 2002. 438 с.

4 Кузеев И.Р., Диньмухаметова Л.С., Пояркова Е.В. Прогнозирование безопасности эксплуатации сварных конструкций в условиях нефтесодержащих сред // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2011. №6. С. 254-262. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/Kuzeev/Kuzeev\\_7.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Kuzeev/Kuzeev_7.pdf)

5 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. тр. Уфа: изд-во УГНТУ, 2004. Т.2. С.52-57.

6 Астанин В.В. Получение металло-матричных композитов с применением эффекта сверхпластичности//Вестник УГАТУ. 2002. Вып. 2 С. 34-43.

7 Перспектива изготовления наноструктурного листа из титанового сплава ВТ6 изотермической прокаткой /Лутфуллин Р.Я. и др.// Перспективные материалы. (Спец. выпуск). №15. 2013.С. 66-69.

## References

1 Zahkarov N.M., Yevdokimov G.I. Obespechenie resursa obolochkovykh konstruksii // Ufa: UGNTU, 2002.158 s. [in Russian].

2 Vinokurov V.A., Kurkin S.A., Nikolaev G.A. Svarnye konstruksii. Makhanika razrusheniya I kriterii rabotosposobnosti. M.: Mashinostroeniye, 1996. 576 s. [in Russian].

3 Kaibyshiv O.A., Utyashev F.Z. Sverhplastichnost', iz'mel'chenie struktury I obrabotka trudnodeformiruemyykh splavov. Nauka, 2002. 438 s. [in Russian].

4 Kuzeev I.R., Dinmuhametova L.S., Pouarkova E.V. Prognjzirovanie bezopasnosti ekspluatatsii svarnykh konstruksiyi v usloviyah naftesoderzhashchih sred // Neftegazovoe delo. electron. nauch. zhurn. 2011. No.6 S. 254-262 [in Russian].

5 Shchipachev A.M., Lutfullin R.Y., Gorbachyov C.V. Samoorganizatsiya struktury zony termicheskogo vliyaniya svarnogo soedineniya konstruksionnykh staley 20 i 30HGSA v temperaturno-skorostnykh rezhimakh sverhplasticheskoy deformatsii // Prikladnaya sinergetika-II: Sbornik nauch. trudov. Ufa: izd-vo UGNTU, 2004. Т.2, S.52-57. [in Russian].

6 Astanin V.V. Polucheniye metallo-matrichnykh kompozitov s primeneniem effecta sverhplastichnosti // Vestnik UGATU, 2002, vypusk 2 s. 34-43 [in Russian].

7 Perspektiva izgotovleniya nanostrukturnogo lista iz titanovogo splava VT6 izotermicheskoy prokatkoy/ Lutfullin R.Y. i dr. // Perspektivnye materialy. Spets. vypusk (15). 2013. S. 66-69 [in Russian].

### **Сведения об авторах**

#### **About the authors**

Горбачев С.В., канд. техн. наук, доцент кафедры автомобилей и безопасности движения, ФГБОУ ВПО Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Российская Федерация

S.V. Gorbachev, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair “Cars and Traffic Safety” FSBEI HPE “Orenburg State University”, Orenburg, the Russian Federation

Щипачев А.М., д-р техн. наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВПО УГАТУ, г. Уфа, Российская Федерация.

A.M. Shchipachev, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Chair “Engineering Technology” FSBEI HPE “Ufa State Aviation Technological University”, Ufa, the Russian Federation

Лутфуллин Р.Я., д-р техн. наук, зав. лабораторией «Сверхпластическая обработка конструкционных материалов» ФГБУН «Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа, Российская Федерация.

R.Y. Lutfullin, Doctor of Engineering Sciences, Head of the Laboratory “Superplastic Processing of Constructional Materials”, FSBIS, “Institute for Metals Superplasticity Problems, Russian Academy of Sciences”, Ufa, the Russian Federation

e-mail: shipachev59@mail.ru