DOI: 10.25515/PMI.2018.3.307

УДК 622.873

ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕСВАРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ НА СКОРОСТЬ СПЛОШНОЙ КОРРОЗИИ И МИКРОСТРУКТУРУ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛЕЙ 20 И 30ХГСА

А.М.ЩИПАЧЕВ[1], **С.В.ГОРБАЧЕВ**[2]
[1] *Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия*
[2] *Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия*

Сварные соединения конструкционных сталей имеют меньшую коррозионную стойкость по сравнению с основным металлом. Для повышения коррозионной стойкости сварного шва и околошовной зоны применяются длительные и энергоемкие способы термомеханической обработки.

Рассмотрена возможность применения эффекта сверхпластической деформации (СПД) для обработки сварных соединений. Эффект СПД заключается в том, что металлы и сплавы при малой величине зерна (порядка 10 мкм) в условиях изотермической деформации при определенной температуре приобретают способность к необычно большим пластическим деформациям при одновременном снижении сопротивления деформации. Зернограничное проскальзывание при сверхпластичности обеспечивает при развитии высокую степень структурной однородности. Если металл не обладает таким малым размером зерна, то при изотермической деформации при соответствующей температуре эффект СПД в нем в полной мере не проявится, однако вызовет релаксацию остаточных микро- и макронапряжений, рекристаллизацию, что может быть применено при воздействии на сварные соединения для обеспечения их равнопрочности с основным металлом.

Проведены исследования влияния методов обработки сварных соединений – СПД, термоциклической обработки, а также влияния послесварочной обработки на скорость коррозии и микроструктуру сталей 20 и 30ХГСА. Показано, что после деформирования в режиме сверхпластичности наблюдается меньшая скорость коррозии и более благоприятная микроструктура для исследованных сталей. Послесварочная обработка соединений в режиме СПД обеспечивает малые нагрузки на инструмент и низкие энергозатраты.

***Ключевые слова*:** сварное соединение, скорость коррозии, микроструктура, деформирование в режиме сверхпластичности, стали 20 и 30ХГСА, термоциклическая обработка

***Как цитировать эту статью*:** Щипачев А.М. Влияние послесварочной обработки на скорость сплошной коррозии и микроструктуру сварных соединений сталей 20 и 30ХГСА / А.М.Щипачев, С.В.Горбачев // Записки Горного института. 2018. Т. 231. С. 307-311. DOI: 10.25515/PMI.2018.3.307

Введение. Сварные соединения конструкционных сталей имеют меньшую коррозионную стойкость по сравнению с основным металлом. Вопросы обеспечения равнопрочности сварных швов со свариваемыми конструкционными сталями освещены в большом количестве научных исследований, а их результаты находят применение на практике [6, 8-11]. Для повышения коррозионной стойкости сварного шва и околошовной зоны применяются способы термомеханической обработки [1, 12, 13, 15, 16], которые являются длительными и энергоемкими. В связи с этим актуальным является применение метода пластического деформирования в режиме сверхпластичности.

Сверхпластическая деформация (СПД) металлов была открыта и исследована А.А.Бочваром и др. [14]. Широкие экспериментальные исследования и практическое внедрение были проведены в Институте проблем сверхпластичности металлов РАН [14]. Эффект СПД заключается в том, что металлы и сплавы при малой величине зерна (порядка 10 мкм) в условиях изотермической деформации при определенной температуре приобретают способность к необычно большим пластическим деформациям (порядка 10^2-10^3 %) при одновременном снижении сопротивления деформации.

При деформации в оптимальных температурно-скоростных условиях сверхпластичности форма зерен, несмотря на удлинение или сжатие, существенно не изменяется, зерна остаются равноосными [7]. Установлено, что эффект сверхпластичности проявляется у углеродистых сталей со структурой зернистого перлита [14]. При деформации в режиме сверхпластичности стали 45 возрастает дисперсность структуры: измельчаются как ферритные, так и перлитные зерна, уменьшается толщина цементитных пластин и расстояние между ними, существенно измельчаются и перераспределяются вторичные карбиды и карбонитриды.

Известно использование деформации в температурно-скоростных условиях сверхпластичности и для повышения качества сварных соединений, получения более однородного структурного состояния в зоне сварки, снижения остаточных напряжений [2]. Если металл не обладает таким малым размером зерна, то при изотермической деформации при соответствующей температуре

DOI: 10.25515/PMI.2018.3.307

эффект СПД в нем в полной мере не проявится, однако, как предполагают авторы, вызовет релаксацию остаточных микро- и макронапряжений, рекристаллизацию, что может быть применено для воздействия на сварные соединения для обеспечения их равнопрочности с основным металлом.

Было проведено сравнение скоростей коррозии, параметров микроструктуры на примере сталей 20 и 30ХГСА после применения указанного метода в сравнении с термомеханической обработкой, отжигом и при отсутствии послесварочной обработки.

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

Для сравнения был выбран метод термоциклической обработки (ТЦО) сварных соединений. Образцы сварных соединений нагревали до температуры 880 °С, затем выдерживали при температуре верхней ступени нагрева 5 мин. Далее образцы переносили в печь, нагретую до температуры 730 °С и выдерживали 5 мин. Количество циклов составляло от 2 до 15, после чего образцы охлаждали на воздухе. Для сравнительных исследований влияния термоциклической обработки и деформации в режиме СПД использовались образцы после двух циклов обработки, так как они имеют соизмеримые затраты времени на проведение послесварочной обработки по сравнению с деформационной обработкой.

При проведении исследований влияния отжига и определения роли сверхпластической деформации на структуру и механические свойства сварных соединений образцы помещали в трубчатую электрическую печь сопротивления, которую нагревали до температуры 730 ± 5 °С. С помощью термоэлектрических термометров осуществлялся контроль температурного режима. Образцы выдерживали при заданной температуре 30; 60; 180; 300 и 600 мин с последующим охлаждением на воздухе.

Обсуждение результатов. Оценка стойкости образцов сварного соединения и основного металла против сплошной коррозии в среде (5 %-ный хлористый натрий NaCl + 0,5 %-ная уксусная кислота CH_3COOH), насыщенной газообразным сероводородом до концентрации 2,8 г/л, pH 3,15, осуществлялась гравиметрическим методом [4]. Результаты изменения скорости коррозии сварных образцов в зависимости от времени выдержки представлены на рис.1-4.

Отжиг, термоциклическая обработка и деформация в режиме сверхпластичности сварных соединений стали 20 позволяют в равной степени снизить скорость сплошной коррозии сварных соединений в сероводородной среде до уровня основного металла (рис.1, 2).

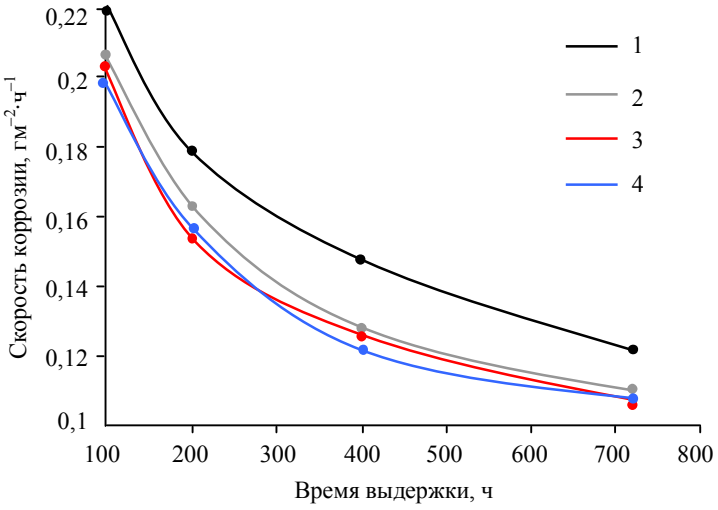


Рис.1. Зависимость изменения скорости коррозии сварных соединений стали 20 от времени выдержки в коррозионной среде
1 – исходное сварное соединение; 2 – ТЦО; 3 – деформация в режиме СП – 20 %; 4 – отжиг

Скорость коррозии сварных образцов стали 30ХГСА необработанных сварных соединений превышает скорость коррозии основного металла на 17 % (рис.3, 4). Последующая обработка сварных соединений позволяет снизить скорость коррозии до уровня основного металла, при этом наилучшие результаты наблюдаются при применении отжига и прокатки роликами в режиме СПД. Разница между значениями скорости коррозии относительно основного металла достигает 3-6 %. Термоциклическая обработка не оказывает существенного влияния на снижение скорости коррозии, что объясняется повышением твердости в области сварного шва.

DOI: *10.25515/PMI.2018.3.307*

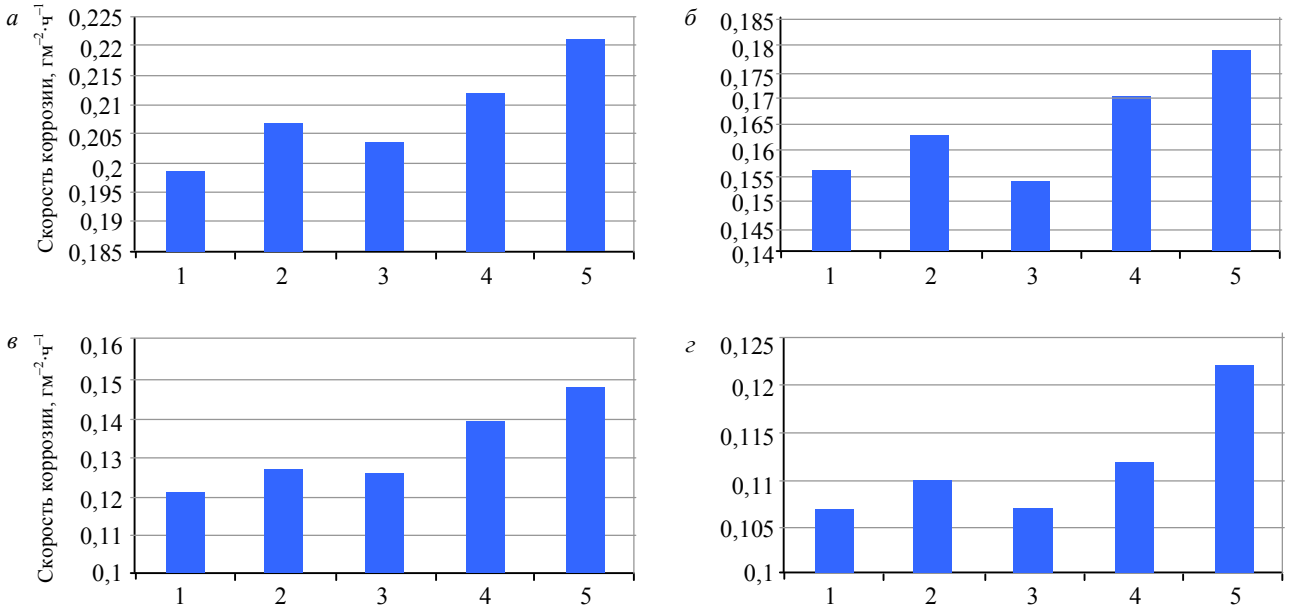


Рис. 2. Изменение скорости коррозии сварных соединений стали 20 в результате послесварочной обработки:
а – время выдержки 96 ч; *б* – 200 ч; *в* – 400 ч; *г* – 720 ч
1 – отжиг; 2 – ТЦО; 3 – деформация в режиме СП – 20 %; 4 – основной металл; 5 – исходное сварное соединение

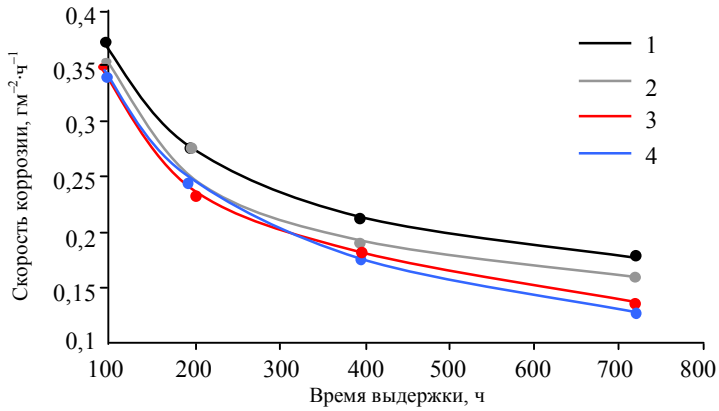


Рис.3. Зависимость скорости коррозии сварных соединений стали 30ХГСА от времени выдержки в коррозионной среде
1 – исходное сварное соединение; 2 – ТЦО;
3 – деформация в режиме СП – 20 %; 4 – отжиг

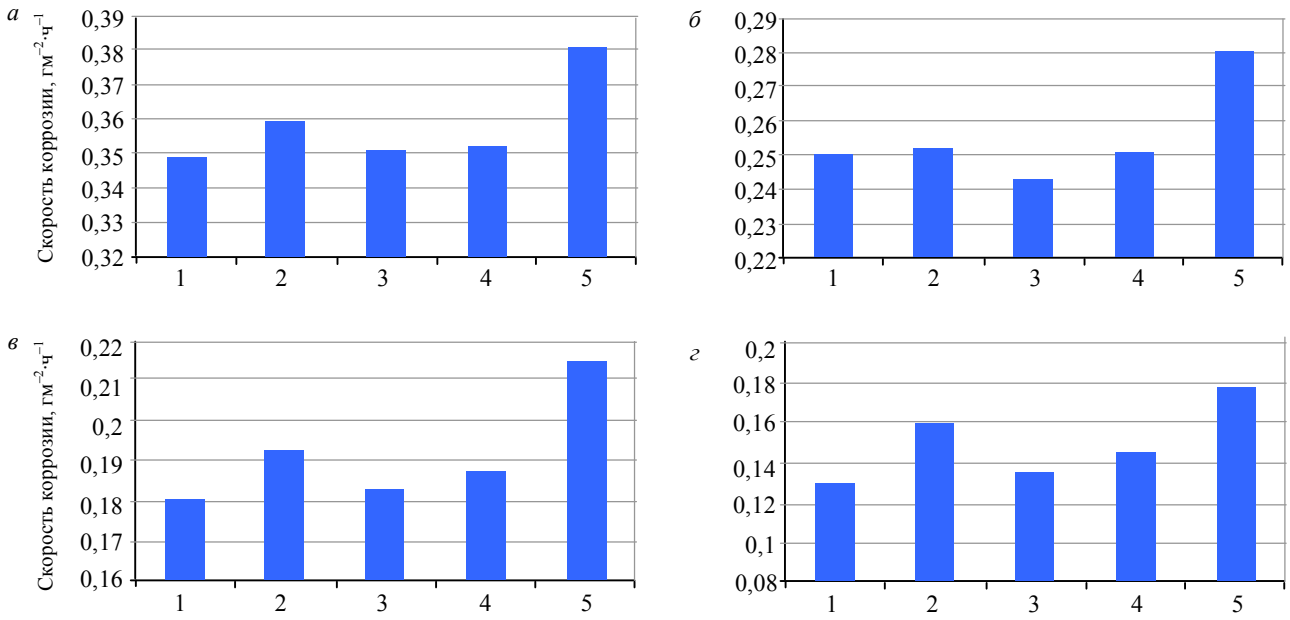


Рис. 4. Изменение скорости коррозии сварных соединений стали 30ХГСА в результате послесварочной обработки:
а – время выдержки 96 ч; *б* – 200 ч; *в* – 400 ч; *г* – 720 ч
1 – отжиг; 2 – ТЦО; 3 – деформация в режиме СП – 20 %; 4 – основной металл; 5 – исходное сварное соединение

DOI: *10.25515/PMI.2018.3.307*

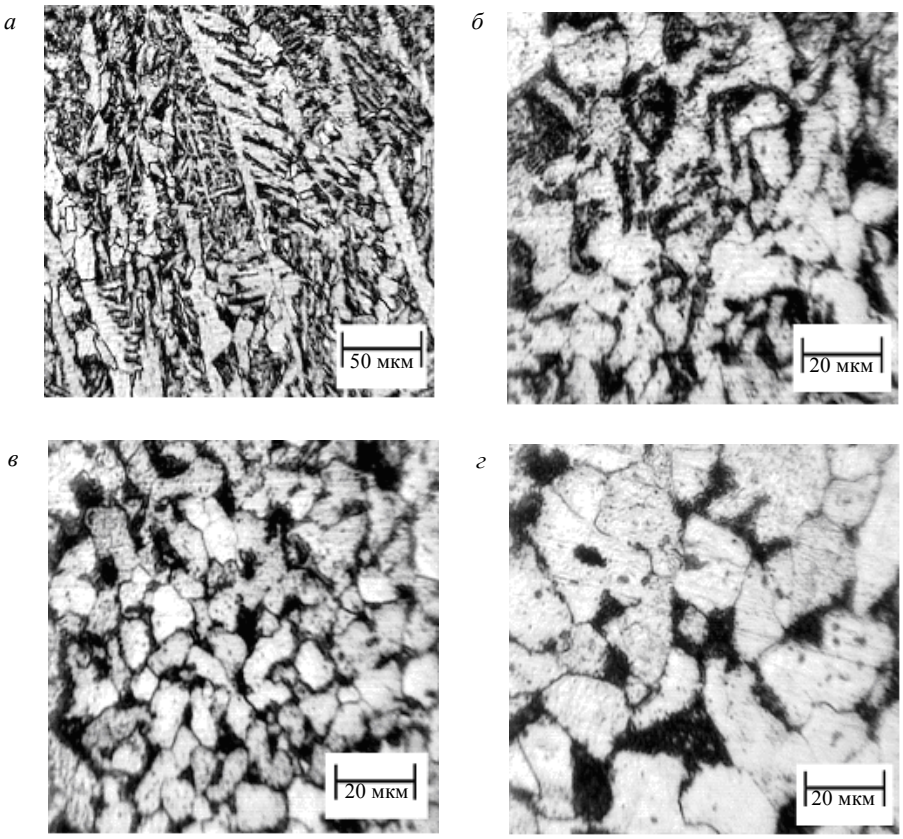


Рис.5. Микроструктура образца сварного соединения стали 20 до обработки:
а – участок сварного шва; *б* – крупного зерна ЗТВ; *в* – мелкого зерна ЗТВ; *г* – основного металла

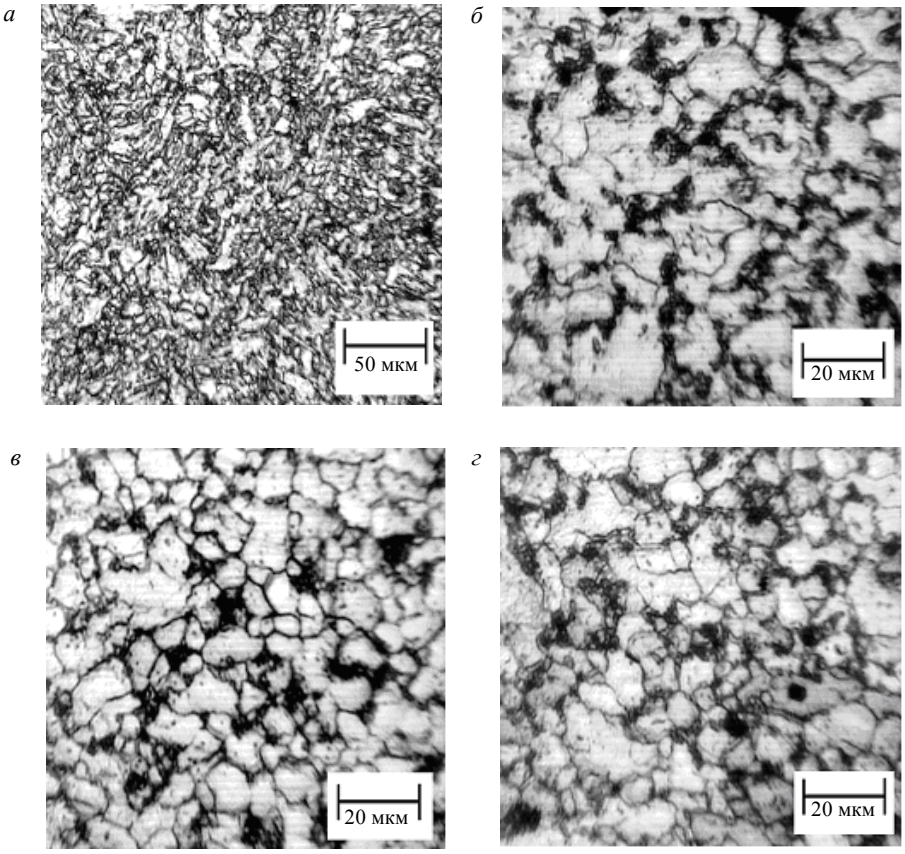


Рис. 6. Микроструктура образца сварного соединения стали 20 после деформации в режиме СПД:
а – участок сварного шва; *б* – крупного зерна ЗТВ; *в* – мелкого зерна ЗТВ; *г* – основного металла

DOI: *10.25515/PMI.2018.3.307*

Были проведены металлографические исследования микроструктуры сварного соединения стали 20 [3]. Металл сварного шва стали 20 в исходном состоянии (без послесварочной обработки) состоит из феррита и перлита, для его микроструктуры характерна дендритная структура зерен, ориентированных вдоль направления отвода тепла из сварочной ванны при охлаждении.

Средний размер зерна в металле сварного шва в исходном состоянии составляет 12 мкм, в зоне термического влияния средний размер зерна колеблется от 6 мкм для участка мелкого зерна до 9 мкм на участке перегрева (рис.5). При этом на участке перегрева было отмечено возникновение крупных зерен размером до 48 мкм.

После прокатки нагретыми валками в режиме СПД средний размер зерна уменьшается как в основном металле, так и в зоне термического влияния (рис.6). В результате средний размер зерен в этих зонах сварного соединения после прокатки в режиме СПД составляет от 7 до 8 мкм.

Выводы. Использование горячей пластической деформации для обработки сварных швов в температурно-скоростных режимах сверхпластичности позволяет обеспечивать их структурную однородность, а также сочетание высокой прочности и пластичности. Обработка сварных швов в режиме сверхпластической деформации (СПД) обеспечивает низкие энергозатраты и высокую эффективность производства.

Энергосберегающие режимы обработки сварных соединений позволяют снизить неоднородность механических свойств и повысить надежность сварных соединений трубопроводов, деталей и конструкций нефтехимического оборудования

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абдеев Р.Г.* Целесообразность дополнительной обработки сварных швов после ремонта трубопроводов / Р.Г.Абдеев, И.В.Золотушкин, К.В.Петров // Современные технологии в нефтегазовом деле; УГНТН. Уфа, 2017. С. 95-98.

2. Влияние послесварочной обработки на структурные особенности сварных соединений сталей 20 и 30ХГС А / С.В.Горбачев, А.П.Фот, А.М.Щипачев, Р.Я.Лутфуллин // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 4. С. 159-164.

3. *Горбачев С.В.* Исследование разнозернистости при деформационно-термической обработке сварных соединений из стали 20 / С.В.Горбачев, А.М.Щипачев, Р.Я.Лутфуллин // Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. 2014. № 1. С. 302-316. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Gorbachev/Gorbachev

4. *Горбачев С.В.* Повышение однородности структуры и механических свойств сварных соединений из сталей 20 и 30ХГСА в режиме сверхпластической деформации: Автореф. дис.…канд. техн. наук; УГНТУ. Уфа, 2005. 20 с.

5. *Гуляев А.П.* Высокотемпературная пластичность углеродистых сталей / А.П.Гуляев, Л.М.Сарманова // Металловедение и термическая обработка металлов. 1972. № 4. С. 43.

6. *Ильиных А.С.* Исследование сварных соединений рельсов после механической обработки при различной послесварочной температуре / А.С.Ильиных, М.С.Галай, Э.С.Сидоров // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2017. № 3 (76) С. 28-34

7. *Кайбышев О.А.* Сверхпластичность, измельчение структуры и обработка труднодеформирумых сплавов / О.А.Кайбышев, Ф.З.Утяшев. М.: Наука, 2002. 438 с.

8. *Корольков П.М.* Влияние местной термообработки на свойства сварных соединений технологических трубопроводов малых диаметров из стали 20 // Сварочное производство. 1993. № 11-12. С. 9-12.

9. *Корольков П.М.* Работоспособность сварных соединений тонкостенных трубопроводов из стали 20 в коррозионной среде // Сварочное производство. 1991. № 4. С. 13-15.

10. *Паршуков Л.И.* Исследование сварных швов мартенситостареющей стали типа 03Н18К9М5Т после локальной термоциклической обработки / Л.И.Паршуков, Ф.З.Гильмутдинов, А.А.Скупов // Труды ВИАМ. 2017. №7 (55). С. 55-60.

11. Andersen P. Slow strein rate Stress Corrosion Testing at Elevated Temperatures and High Pressures / P.Andersen, D.Duguette // Corrosion Science. 1980. Vol. 20. P. 211-223.

12. Formation of structure in the heat-affected zone and properties of welded joinrs of pipe steels of strength classes X80 and X90 / A.Yu.Ivanov, R.V.Sulyagin, V.V.Orlov, F.F.Kruglova // Met. Science. 2012. Vol. 53. № 11. P. 560-566.

13. *Goli-Oglu E.A.* Influence of heat treatment after welding on the microhardness of steel joints in marine platforms // Steel in Translation. 2016. Vol. 46. Iss. 5. P. 361-363.

14. *Mulyukov R.R.* Current status of research and development on superplasticity at the Institute for Metals Superplasticity Problems / R.R.Mulyukov, A.A.Nazarov, R.M.Imayev // Mater. Sci. Forum. 2013. Vol. 735. P. 403-408.

15. *Taniguchi G.* Effects of post weld heat treatment (PWHT) temperature of mechanical properties of weld metals for high-Cr ferritic heat -resistant steel / G.Taniguchi, K.Yamashita // Kobelko Technology Review. 2013. № 32. P. 33-39.

16. *Tavares S.S.* Effects of post weld heat treatments on the microstructure and mechanical properties of dissimilar weld of supermartensitic Stainless steel / S.S.Tavares, C.R.Rodriges, J.M.Pardal // Materials Reseach. 2014. Vol. 17(5). P. 1336-1343.

***Авторы*: А.М.Щипачев,** *д-р техн. наук*, *профессор*, *Schipachev_AM@pers.spmi.ru* (*Санкт-Петербургский горный университет*, *Санкт-Петербург*, *Россия*), **С.В.Горбачев**, *канд. техн. наук*, *доцент*, *trf12@mail.osu.ru* (*Оренбургский государственный университет*, *Оренбург*, *Россия*).

Статья поступила в редакцию 25.06.2017.
Статья принята к публикации 10.05.2018.