

СОПРОТИВЛЕНИЕ ХРУПКОМУ РАЗРУШЕНИЮ МЕТАЛЛА СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ИХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА УДАРНЫЙ ИЗГИБ ДО И ПОСЛЕ КОРРОЗИИ

В статье приведены результаты исследований судовых сталей и их сварных соединений при хрупком разрыве до и после коррозии в морской воде. Показано, что при испытании в морской воде сильно ухудшается пластичность сварных соединений судовых сталей. В зоне периодического смачивания морской водой образцы показывают промежуточные результаты. Результаты испытаний на ударный изгиб стали марки РСД32 проката толщиной 50 мм показали, что при минусовых температурах величины ударной вязкости имеют самые низкие значения. Однако в стали марки РСД32Ш величины ударной вязкости в зависимости от температуры имеют несколько иной характер. Так, например, некоторые образцы имеют меньшие значения ударной вязкости при температурах 0 и –20 °С, чем при –40 — +6 °С. Изучение сопротивления хрупкому разрушению сварного соединения стали РСД32, испытанной в различных условиях погружения в морскую воду в течение шести месяцев показало, что все испытанные образцы допускают угол изгиба 30 – 35 град. Увеличение содержания углерода в сварном шве значительно повышает уровень значений предела текучести и временного сопротивления разрыву металла сварных соединений, выполненных ручной сваркой. Определено, что коррозионное воздействие в морской воде ухудшает пластичность сварных соединений, причем низкая пластичность наблюдается в зоне периодического смачивания морской водой.

Ключевые слова: хрупкое разрушение, судовые конструкции, сварное соединение, ударный изгиб, коррозия.

Введение

Создание конструкционных материалов для изготовления судовых конструкций, а также решение вопроса влияния обработки на их структуру и коррозионностойкость требуют знания количественных закономерностей влияния способа сварки на их стойкость в морской воде. Сведения о влиянии термообработки и способа сварки сплава на его механическое и коррозионно-электрохимическое поведение в морской воде при различных условиях представляют интерес и в связи с выяснением механизма растворения, а также пригодности катодной защиты сплавов [1], [2]. Однако при выборе материала для конструирования того или иного изделия для работы при работе в морской воде часто учитывают лишь коррозионные потери металла, которые возникают вследствие развития процессов, т. е. равномерной коррозии, имеющей, как правило, незначительную величину [3], [4]. Для практики такая оценка недостаточна. Она может привести к серьезным ошибкам, так как не учитывает возможность появления сосредоточенной локальной коррозии. Практически же всегда причиной быстрого выхода из строя сооружений являются локальные коррозионные поражения материала, скорость которых в десятки раз выше скорости равномерной коррозии [5], [6]. В то же время в литературе отсутствуют систематические данные по зависимости кинетики растворения сплавов от способа термической обработки и сварки. Такое положение связано с тем, что в условиях морской коррозии сплавов учитывались лишь влияние состава сплава и внешние факторы, так что для оценки коррозионностойкости сплавов указанных факторов недостаточно [7], [8].

Исследования влияния различных способов сварки на изменения структуры, свойства и коррозионную стойкость сварного шва и околошовной зоны при эксплуатации морских сооружений в условиях Каспийского моря представляет определенный интерес [9]. Одна из задач работы — получение информации о коррозионностойкости сплавов после электродуговой сварки в лабораторных и натурных условиях в морской воде. С целью использования такой информации и для заключения о сопротивлении хрупкому разрушению металла судовых конструкций и

их сварных соединений при испытаниях на ударный изгиб до и после коррозии проведены настоящие исследования.

Основная часть

В качестве материалов для изготовления судовых конструкций исследовали листы из стали РСД32, сварку листов проводили электродуговым способом с применением покрытого электрода. Результаты испытания на ударный изгиб исследованных вариантов стали представлены на рис. 1 – 3 в виде значений ударной вязкости и доли волокна в изломе разрушенных образцов в зависимости от температуры испытания до и после коррозии. Испытанию подвергались образцы типов I и II по ГОСТ 9454-78, ориентированных поперек и вдоль направления прокатки. Вырезка образцов производилась из листового проката, а также из металла свальцованных труб в различном состоянии термообработки. Толщина проката составляла 50 мм.

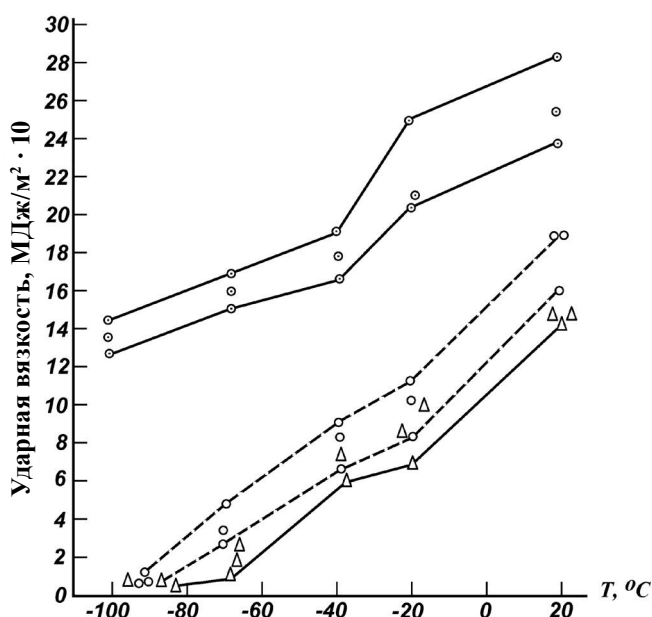


Рис. 1. Результаты испытаний на ударный изгиб стали марки РСД32 толщиной 50 мм:

○ — образцов типа I поперечные; ● — образцов типа II поперечные

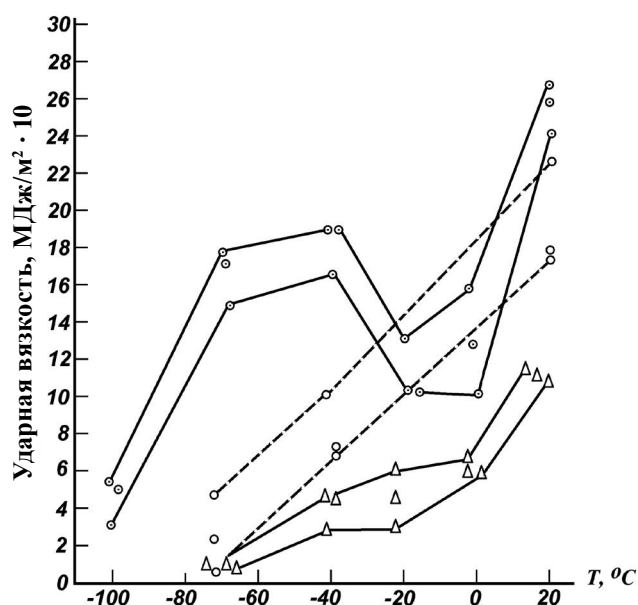


Рис. 2. Результаты испытаний на ударный изгиб стали РСД32Ш из обечайки, подвергнутой термической обработке:

○ — образцов типа I поперечные; ● — образцов типа II поперечные; Δ — образцов типа II продольные

Анализируя полученные результаты, можно установить, что для сталей РСД32 и РСД32Ш в интервале температур от +20 до –60 — (–70 °С) значения ударной вязкости, определенные на образцах с полукруглым надрезом типа I, вполне удовлетворительны. Отрицательное влияние остроты надреза на абсолютные значения ударной вязкости проявляется достаточно отчетливо в зоне хрупких разрушений. Анизотропия ударной вязкости по результатам испытаний продольных и поперечных образцов типа II незначительная.

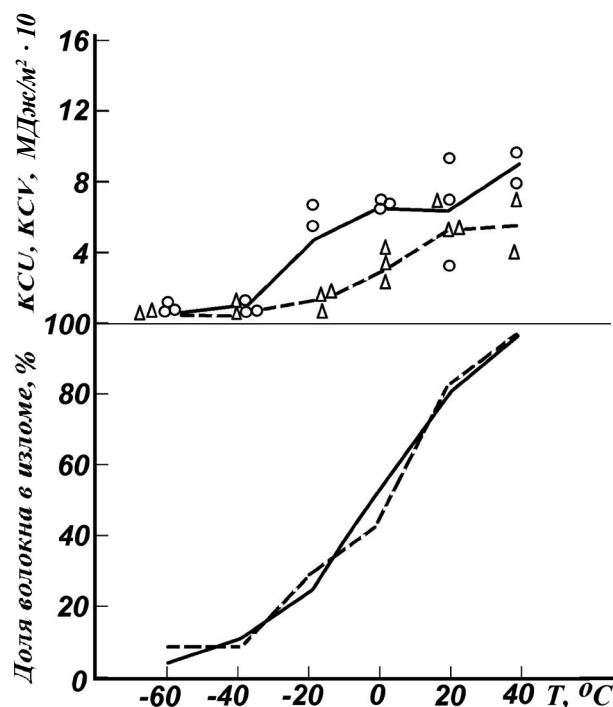


Рис. 3. Ударная вязкость и доля волокна в изломе стали РСД32Ш в направлении Z:
О — тип I; Δ — тип II

Исследованная сталь марки РСД32Ш обладает несколько меньшим сопротивлением динамическому разрушению в направлении толщины проката, несмотря на несколько более низкое значение критической температуры — $T_k^{50} = 5$ °С. Удельная работа разрушения при $T = -20$ °С составляет $KCU = 0,2 — 0,68$ МДж/м². Пример несплошности, выявленной при испытаниях на ударных изгибах, представлен на рис. 4. Оценка сопротивления хрупкому разрушению сварных соединений обечаек производилась при испытании на ударный изгиб образцов типа I, вырезанных из центра сварного шва и по границе сплавления основного металла в корневой зоне шва.



Рис. 4. Макроизлом несплошности толстолистового проката из стали марки РСД32Ш, выявленный при испытаниях на ударный изгиб (x20)

В результате проведенного анализа химического состава металла сварного соединения, выполненного электродами марки ОЗС-18, установлено, что содержание марганца в нем (1,0 %) находится на верхнем пределе марочного состава по ГОСТ 9466-75, 9467-75, ТУ 4-804-77, а содержание углерода (0,17 %) более чем в 1,5 раза превышает предельно допустимую норму ($C \leq 0,11 \%$). Этим следует объяснить высокие значения характеристики прочностных свойств металла шва, выполненного электродами марки ОЗС-18, что отрицательно может сказаться на трещиностойкости соединения в целом. Результаты влияния на механические свойства низколегированной стали с содержанием марганца (1 %) и углерода (0,17 %) объясняется переходом от ферритно-перлитной структуры металла к бейнитной или частично аустенитной, т. е. повышаются прочностные характеристики, но снижаются пластические свойства металла.

Наряду с указанным, представляет интерес информация о влиянии коррозионной среды на механические свойства сварных соединений сталей [10]. С этой целью нами были испытаны образцы из сварного соединения стали РСД32 после коррозионного разрушения при различных условиях соприкосновения с морской водой в течение шести месяцев. При испытании на изгиб образцов, вырезанных из сварного соединения после ручной сварки и подверженных коррозионному разрушению, были получены следующие результаты (рис. 5). Для сопоставления испытан образец из сварного соединения, не подвергавшийся коррозионному разрушению.

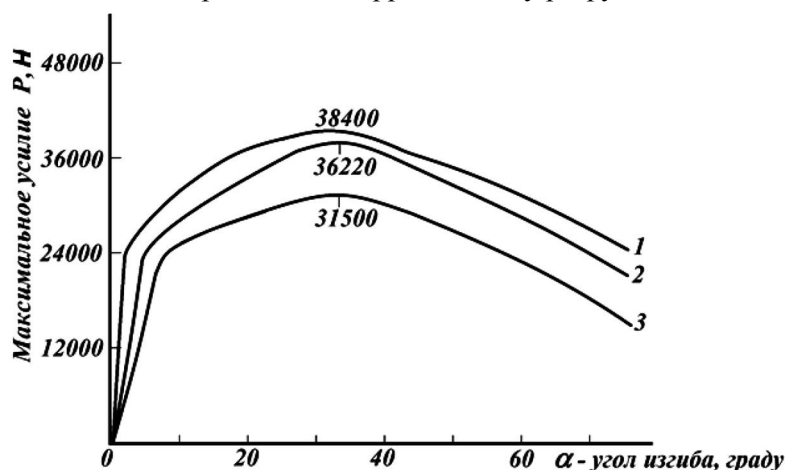


Рис. 5. Сопротивление хрупкому разрушению после ручной сварки сварного соединения стали РСД32, испытанного в различных условиях погружения в морскую воду в течение шести месяцев:

- 1 — образец, не подвергшийся коррозионному разрушению;
- 2 — образец, испытанный при полном погружении;
- 3 — образец, размещенный в зоне периодического смачивания

Из результатов, представленных на рис. 5, видно, что все испытанные образцы допускают угол изгиба 30 — 35 град. Однако разрушение образцов в зависимости от их состояния и от условия погружения в морскую воду происходит при различных нагрузках, а именно до коррозионного разрушения 38400 Н, после коррозии при полном погружении 36220 Н, а в зоне периодического смачивания 31500 Н.

Заключительная часть

Данные исследования показывают, что коррозионное разрушение ухудшает пластичность сварных соединений. При этом самая низкая пластичность наблюдается на образце, размещенном в зоне периодического смачивания, что указывает на более интенсивное коррозионное разрушение в указанной зоне.

Анализ полученных данных по механическим испытаниям сталей РСД32 и РСД32Ш показал, что их прочностные свойства, определенные на образцах Ø 6 мм, вырезанных поперек направления прокатки, совпадают при аналогичных условиях термической обработки.

Относительное удлинение (δ_s) и относительное сужение (ψ) для поперечных образцов из стали указанных марок вполне удовлетворительно как в исходном состоянии, так и в образцах.

Пластические характеристики этих сталей в направлении Z хотя и отличаются нестабильностью, но в определенной мере отвечают требованиям, предъявляемым к прокату. Применение термообработки сварных соединений с целью снятия остаточных сварочных напряжений снижает сопротивляемость материала сварного соединения развитию усталостных трещин и прочностные свойства сталей РСД32Ш на 100 МПа. С целью снижения степени ослабления границ кристаллитов в процессе термообработки целесообразно сокращение пребывания металла при повышенных температурах. Длительность отпуска необходимо сохранить до 1 ч при повышении температуры отпуска до 630 ± 20 °С.

Кроме того, желательно увеличение скорости охлаждения металла до 160° с/ч в диапазоне температур (630 – 800 °С). Высокий уровень значений предела текучести и временного сопротивления разрыву металла сварных соединений, выполненных ручной сваркой, связано с существенным превышением предельно допустимой нормы содержания углерода в металле шва, что отрицательно может сказаться на трещиностойкости соединения в целом.

Для устранения указанного недостатка целесообразно применение ручной сварки электродами марки УОНИ-13/55. Применение такого электрода может способствовать обеспечению условия равнопрочности основного металла и металла шва. Применение автоматической сварки устраняет указанные недостатки. Полученные данные механических свойства сварных соединений, конечно, недостаточны для применения конструкций в условиях эксплуатации в морской воде.

Для того чтобы сделать вывод о пригодности сварных соединений из стали РСД32 и РСД32Ш, необходимо получить информацию об их коррозионном поведении в данной среде. Низколегированные высокопрочные стали в основном применяются для строительства судовых конструкций, для которых характерны особые условия эксплуатации, поэтому необходимо учитывать не только их механические, но и физико-химические свойства.

Выводы

1. Подвергшиеся хрупкому разрушению образцы показали сопротивление до коррозии в морской воде 38400 Н, после коррозии 36220 Н, а в зоне периодического смачивания морской водой 31500 Н. Установлено, что коррозионное воздействие в морской воде ухудшает пластичность сварных соединений, при этом низкая пластичность наблюдается в зоне периодического смачивания морской водой.

2. Для снижения степени ослабления границ кристаллитов сварного шва в процессе термообработки целесообразно сокращение пребывания металла при повышенных температурах. При повышении температуры отпуска до 630 ± 20 °С длительность отпуска необходимо сократить до одного часа.

3. Для повышения сопротивления хрупкому разрушению сварных соединений судовых конструкций до и после коррозии и устранения указанных недостатков рекомендуется применение автоматической сварки под слоем флюса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sharifov Z. Z. Methods of increasing of the resistance to corrosion of the powder materials / Z. Z. Sharifov // 2-nd Chemical Engineering Conference for Collaborative Research in Eastern Mediterranean, Ankara, Turkey, 20-24 may 2001. — 2001. — 2 p.
2. Sadawy M. M. Influence of heat treatment on the corrosion and electrochemical behavior of austenitic stainless steel type (14X17H11Г) / M. M. Sadawy, T. I. Shirinov, R. Q. Heseinov [et.c.] // Tenth international conference. — Cairo, Egypt: Al Azhar University, 2008. — Pp. 7–11.

3. Sadawy M. M. Corrosion and electrochemical behavior of austenitic-ferritic stainless steel in Sulfuric acid solutions / M. M. Sadawy, R. Q. Heseinov, T. I. Shirinov // "Neftin,qazın geotexnoloji problemləri və kimya" ETŞ Elmi əsərləriç Bakıç. — 2009. — Pp. 327–332.
4. Sharifov Z. Z. Ways of Increase of corrosion resistance provider materials / Z. Z. Sharifov // Journal of Metallurgy. — 2002. — Vol. 8. — Is. 2. — Pp. 7.
5. Sharifov Z. Z. Improvement of a corrosion stability of composite materials on the ferrum's base. International valium of scientific lab our / Z. Z. Sharifov // Progressive Technology and Machine building systems. — 2002. — Is. 19. — Pp. 7.
6. Ширинов Т. И. Коррозионно-электрохимическое поведение термообработанных аустенитных нержавеющей сталей в различных кислотах / Т. И. Ширинов, Р. К. Гусейнов, Мосаад Мохаммед // AzTU, professor-müəllim heyətinin və aspirantların 54-jü elmi-texniki və tədris-metodiki konfransı, məruzə materialları, I hissə, Bakı-2009. — 2009. — С. 313–314.
7. Sadawy M. M. Effect of Alloying Elements on the Corrosion and Electrochemical Behavior of Stainless Steel in Hydrochloric Acid solition / M. M. Sadawy, R. Q. Heseinov, T. I. Shirinov // Egyptian Second International Conference in chemistry (The 18th Egyptian Chemical Conference). — Hurghada, Egypt, 2009. — Pp. 12–20.
8. Sadawy M. M. The effect of heat treatment on the corrosion and electrochemical properties of ferric-austenitic stainless steel in sulfuric acid soluteon / M. M. Sadawy, T. I. Shirinov, R. Q. Heseinov // Труды международного форума «Наука и инженерное образование без границ». — Алма-Аты: Казахский национальный технический университет имени К. И. Сатпаева, 2009. — Т. 1. — С. 496–499.
9. Пат. 2167954 Российская Федерация, МПК C22C 38/60 (2000.01). Конструкционная сталь / Шарифов З. З., Гусейнов Р. К., Насибов А. Г., Мамедов В. М.; Заявитель и Патентообладатель Азербайджанский технический университет (AZ). — № 98109674/02. Заявл.: 19.05.1998; опубл. 27.05.2001. Бюл. № 15.
10. Баширов Ф. Р. Коррозионное поведение сварных соединений из стали РСД32 в каспийской морской воде / Ф. Р. Баширов // Вестник МГУ. Серия: судостроение и судоремонт. — 2014. — № 64. — С. 5.

RESISTANCE TO BRITTLE FRACTURE METAL SHIP CONSTRUCTIONS AND THEIR WELDED JOINTS AT TESTING THE IMPACT STRENGTH BEFORE AND AFTER OF CORROSION

The results of studies of ship steels and their welded joints in brittle resolution before and after corrosion in sea water. It is shown that when tested in sea water greatly deteriorates the ductility of welded joints of ship steel. In the area of seawater samples show intermediate results. The test results on the impact strength of the brand styles РСД32 rolled 50 mm showed that at sub-zero temperatures greatness toughness have the lowest values. However, the steel toughness РСД32Ш value depending on the temperature are slightly different in nature. For example, some samples have lower toughness values at temperatures between 0 and -20°C than at -40 ÷ + 6 °C. Study of resistance to brittle fracture of welded joints of steel РСД32 tested in different conditions of immersion in sea water for 6 months showed that all tested samples allow the bending angle of 30-35 degrees. Increasing the carbon content in the weld significantly increases yield strength and ultimate tensile strength of weld metal made by manual welding. It is determined that the corrosive effects of seawater welds deteriorates ductility, the ductility is observed in the low area of seawater.

Key words: brittle failure, ship constructions, welded joint, impact bending, corrosion.

REFERENCES

1. Sharifov, Z. Z. "Methods of increasing of the resistance to corrosion of the powder materials." 2-nd Chemical Engineering Conference for Collaborative Research in Eastern Mediterranean, Ankara, Turkey. 2001: 2 p.
2. Sadawy, M. M., T. I. Shirinov, R. Q. Heseinov, H. M. Tahirli, and E. M. Akperov. "Influence of heat treatment on the corrosion and electrochemical behavior of austenitic stainless steel type (14X17H11Г)." Tenth international conference. Cairo, Egypt: Al Azhar University, 2008: 7–11.
3. Sadawy, M. M., R. Q. Heseinov, and T. I. Shirinov. "Corrosion and electrochemical behavior of austenitic-ferritic stainless steel in Sulfuric acid solitions." "Neftin,qazın geotexnoloji problemləri və kimya" ETŞ Elmi əsərləriç Bakıç. 2009: 327–332.

4. Sharifov, Z. Z. "Ways of Increase of corrosion resistance provider materials." *Journal of Metallurgy* 8.2 (2002): 7.
5. Sharifov, Z. Z. "Improvement of a corrosion stability of composite materials on the ferrum's base. International valium of scientific lab our." *Progressive Technology and Machine building systems* 19 (2002): Pp. 7.
6. Shirinov, T. I., R. K. Gusejnov, and Mosaad Mohammed. "Korrozionno-jelektrohimicheskoe povedenie termoobrabotannyh austenitnyh nerzhavejushhih stalej v razlichnyh kislotah." *AzTU, professor-müəllim heyətinin və aspirantların 54-jü elmi-texniki və tədris-metodiki konfransı, məruzə materialları, I hissə, Bakı-2009*. 2009: 313–314.
7. Sadawy, M. M., R. Q. Heseinov, and T. I. Shirinov. "Effect of Alloying Elements on the Corrosion and Electrochemical Behavior of Stainless Steel in Hydrochloric Acid solition." *Egyptian Second International Conference in chemistry (The 18th Egyptian Chemical Conference)*. Hurghada, Egypt, 2009: 12–20.
8. Sadawy, M. M., T. I. Shirinov, and R. Q. Heseinov. "The effect of heat treatment on the corrosion and electrochemical properties of ferric-austenitic stainless steel in sulfuric acid soluteon." *Trudy mezhdunarodnogo foruma «Nauka i inzhenernoe obrazovanie bez granic», Vol.1*. Alma-Aty: Kazahskij nacionalnyj tehniçeskij universitet imeni K.Iju.Satpaeva, 2009: 496–499.
9. Sharifov, Z. Z., R. K. Gusejnov, A. G. Nasibov, and V. M. Mamedov. Konstrukcionnaja stal. Russian Federation, assignee. Patent 2167954. 27 May 2001.
10. Bashirov, F. R. "Korrozionnoe povedenija svarnyh soedinenij iz stali RSD32 v kaspiskoj morskoy vode." *Vestnik MGU. Serija sudostroenie i sudoremont* 64 (2014): 5.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шарифов Захид Зиядхан оглы —
доктор технических наук, профессор.
Азербайджанская Государственная
Морская Академия
science-asma@rambler.ru
Ханкишиев Исаг Абузар оглы — аспирант.
Научный руководитель:
Шарифов Захид Зиядхан оглы.
Азербайджанская Государственная
Морская Академия
isaq_x@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sharifov Zahid Ziyadkhan —
Dr. of Technical sciences, professor.
Azerbaijan State Marine Academy
science-asma@rambler.ru
Khankishiev Isag Abuzar — postgraduate.
Supervisor:
Sharifov Zahid Ziyadkhan.
Azerbaijan State Marine Academy
isaq_x@mail.ru

Статья поступила в редакцию 8 декабря 2015 г.

УДК 629.5.03: 632.151

**К. Н. Сахно,
А. С. Дьяков,
Ч. К. Во**

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ПО ПРОЕКТНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРИВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБ

Рассматриваются проблемы изготовления и монтажа труб по проектной информации. Проведён анализ регламентированных, стандартных допусков на изготовление труб и определено их влияние на отклонение трасс трубопроводов при монтаже. Выявлены причины, способствующие отказу от технологии изготовления труб по проектной документации методом гибки. Дано обоснование применения заводами более затратной технологии изготовления труб из фасонных частей. Предложена новая технология установки приварных соединений на трубы, устраняющая причины отказа от технологии изготовления труб методом гибки. Поставлены задачи исследования компенсационных возможностей трасс трубопро-