

Научная статья

УДК 620.172.24:620.178.322.3

Механическое поведение фрикционных сварных соединений сталей 32Г2 и 40ХН в условиях статического и циклического нагружения

**Артем Сергеевич Атамашкин¹, Елена Юрьевна Приймак²,
Анна Викторовна Степанчукова³, Егор Сагитович Тулибаев⁴,
Сергей Викторович Гладковский⁵, Дмитрий Иванович Вичужанин⁶**

^{1,2,3} Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

^{2,3,4} АО «Завод бурового оборудования», Оренбург, Россия

^{5,6} Институт машиноведения УрО РАН, Екатеринбург, Россия

¹ atamashkin2017@yandex.ru

Аннотация. На основании карт деформации, полученных методом корреляции цифровых изображений, установлены особенности развития деформации при статическом растяжении образцов со сварным соединением сталей 32Г2 и 40ХН, выполненного ротационной сваркой трением. Представлены результаты исследований усталостной прочности образцов сварных соединений 32Г2-40ХН. На основании металлографического и фрактографического анализа проанализировано место развития магистральной трещины в сварном соединении в условиях статического и циклического нагружения.

Ключевые слова: ротационная сварка трением (РСТ), сварные соединения, метод корреляции цифровых изображений (КЦИ), предел выносливости

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 19-38-90079.

Original article

Mechanical Behavior of 32G2 And 40KHN Frictional Welded Joints under Static and Cyclic Loading

**Artem S. Atamashkin¹, Elena Yu. Priymak², Anna V. Stepanchukova³,
Egor S. Tulibaev⁴, Sergey V. Gladkovsky⁵, Dmitry I. Vichuzhanin⁶**

^{1,2,3} Orenburg State University, Orenburg, Russia

^{2,3,4} JSC “Drilling Equipment Plant”, Orenburg, Russia

^{5,6} Institute of Mechanical Engineering, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

¹ atamashkin2017@yandex.ru

Abstract. On the basis of the deformation maps obtained by the method of correlation of digital images, the features of the development of deformation during static tension of samples with a 32G2 and 40KhN welded joint, performed by rotary friction welding, are established. The results of studies of the fatigue strength of specimens of 32G2–40KhN welded joints are presented. On the basis of metallographic and fractographic analysis, the place of development of a main crack in a welded joint under conditions of static and cyclic loading is analyzed of static and cyclic loading is analyzed.

Keywords: rotary friction welding (RFW), welded joints, digital image correlation method (DIC), endurance limit

Funding. The research was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of scientific project No. 19-38-90079.

Ротационная сварка трением как один из перспективных и высокопроизводительных методов сварки широко используется для изготовления бурильных труб [1]. Исследованию механических свойств и механического поведения подлежали сварные соединения сталей 32 Г2 (тело трубы, группа прочности Л по ГОСТ Р 50278–92) и 40ХН (замковая часть), предназначенные для производства геологоразведочных бурильных труб. Как известно, бурильные трубы для геологоразведки работают в сложных условиях механического нагружения, сочетающих воздействие растягивающих и знакопеременных

изгибающих нагрузок, что определяет актуальность настоящих исследований.

В работе представлены результаты испытаний на растяжение образца сварного соединения сталей 32Г2 и 40ХН и цельного образца из стали 32Г2 с записью полей деформации методом корреляции цифровых изображений (КЦИ). Выявлено, что на начальных этапах растяжения сварного соединения деформация сосредотачивается в зоне стыка привариваемых материалов. При дальнейшем растяжении деформация относительно равномерно развивается со стороны стали 32Г2, а на завершающем этапе локализуется в ЗТМВ данной стали, где и происходит разрушение.

Полученные интегральные прочностные характеристики сварного соединения не уступают основному материалу (стали 32 Г2) [2].

Испытания в условиях многоциклового усталости исследуемого сочетания сварного соединения проводили, согласно ГОСТ 25.502, на испытательной машине с двухопорным креплением вращающегося образца при действии постоянного по величине изгибающего момента в рабочей части. Произведена математическая обработка результатов усталостных испытаний, получены уравнения линейной регрессии, построены кривые усталости, определены пределы выносливости образцов со сварным соединением и цельных образцов с учетом относительной погрешности уравнений регрессии. Установлено, что:

- предел выносливости гладких образцов фрикционных сварных соединений геологоразведочных бурильных труб сталей 32Г2 и 40ХН уступает пределу выносливости цельного образца из стали 32Г2 на 5,5–31,7 %;
- уязвимым участком, где происходит разрушение образца сварного соединения, является периферийный участок зоны термомеханического влияния (ЗТМВ) стали 32 Г2 с наименьшими значениями микротвердости относительно других областей ЗТМВ и основного металла;
- зона ускоренного роста трещины усталостного излома образца сварного соединения характеризуется более развитой пластической деформацией по сравнению с цельным, что вызвано рекристаллизацией металла в зоне разрушения сварного соединения в результате воздействия термомеханического цикла сварки;
- сварное соединение сталей 32 Г2 и 40ХН, выполненное ротационной сваркой трением, обеспечивает достаточно высокое со-

противление усталостным нагрузкам без последующего отпуска, т. к. значение предела выносливости сварного соединения находится в диапазоне 0,43–0,47 от временного сопротивления стали 32 Г2 группы прочности Л, применяемой в качестве тела геологоразведочной бурильной трубы [3].

Полученные данные предполагают безаварийную работу зоны сварного соединения в колонне бурильных труб из стали 32Г2, группы прочности Л с приварными замками из стали 40ХН.

Список источников

1. Применение ротационной сварки трением для изготовления геологоразведочных бурильных труб: промышленный опыт и исследования / Е. Ю. Приймак, А. С. Атамашкин, Е. С. Тулибаев [и др.] // Черные металлы. 2020. № 4. С. 37–42.
2. Атамашкин А. С., Приймак Е. Ю., Фирсова Н. В. Влияние послесварочного отпуска на механическое поведение фрикционных сварных соединений среднеуглеродистых сталей при испытании на одноосное растяжение // Вопросы материаловедения. 2020. № 2 (102). С. 40–49.
3. Предел выносливости и механизм разрушения фрикционных сварных соединений геологоразведочных бурильных труб / А. С. Атамашкин, Е. Ю. Приймак, Е. С. Тулибаев [и др.] // Черные металлы. 2021. № 5. С. 33–38.

References

1. The use of rotational friction welding for the manufacture of exploration drill pipes: industrial experience and research / E. Y. Priymak, A. S. Atamashkin, E. S. Tulibayev [et al.] // Ferrous metals. 2020. No. 4. P. 37–42.
2. Atamashkin A. S., Priymak E. Yu., Firsova N. V. Influence of post-welding tempering on the mechanical behavior of friction welded joints of medium-carbon steels during uniaxial tensile testing // Questions of Materials Science. 2020. No. 2 (102). P. 40–49.
3. Endurance limit and mechanism of destruction of friction welded joints of geological exploration drill pipes / A. S. Atamashkin, E. Yu. Priymak, E. S. Tulibayev [et al.] // Ferrous metals. 2021. No. 5. P. 33–38.