

Артём Сергеевич Атамашкин^{1,2*}, Ярослав Сергеевич Сёмка^{1,2}, Владимир Андреевич Трушов¹, Елена Юрьевна Приймак^{1,2}, Егор Сагитович Тулибаев²

¹Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Российская Федерация

²АО «Завод бурового оборудования», г. Оренбург, Российская Федерация

**atamashkin2017@yandex.ru*

ВЛИЯНИЕ СИЛЫ ПРОКОВКИ ПРИ РОТАЦИОННОЙ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ НА УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛЕЙ 32Г2-40ХН

В работе исследовалось влияние силы проковки, как одного из параметров ротационной сварки трением, на циклическую долговечность сварного соединения сталей 32Г2-40ХН. Исследования проводились с двухсторонним креплением вращающегося образца с коэффициентом асимметрии $R=-1$ при действии постоянного изгибающего момента в рабочей зоне. Установлено, что сила проковки оказывает незначительное влияние на значения циклической долговечности сварных образцов. С помощью металлографического анализа показаны места зарождения и развития усталостной трещины в исследуемых сварных соединениях.

Ключевые слова: ротационная сварка трением, сварные соединения, зона термомеханического влияния, циклическая долговечность, усталостное разрушение.

Artem S. Atamashkin^{1,2}, Yaroslav S. Syomka^{1,2}, Vladimir A. Trushov¹, Elena Yu. Priymak^{1,2}, Egor S. Tulibaev²

¹Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation

²JSC "Drilling Equipment Plant", Orenburg, Russian Federation

INFLUENCE OF FORGING FORCE DURING ROTARY FRICTION WELDING ON THE FATIGUE STRENGTH OF 32G2-40KHN STEELS WELDED JOINTS

The work investigated the influence of forging force, as one of the parameters of rotary friction welding, on the cyclic durability of 32G2-40KhN steels welded joint. The studies were carried out with double-sided fastening of a rotating sample with an asymmetry coefficient $R=-1$ under the action of a constant bending moment in the working area. It has been established that the forging force has an insignificant effect on the cyclic durability values of welded samples. Using metallographic analysis, the places of initiation and development of fatigue cracks in the studied welded joints are shown.

Key words: rotary friction welding, welded joints, thermomechanically affected zone, cyclic durability, fatigue failure.

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 32Г2 (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 многоцикловую усталость сварного соединения сталей 32Г2 и 40ХН в соответствии с ГОСТ 25.502. Испытания проводились на машине с двухопорным креплением вращающегося образца при действии постоянного по величине изгибающего момента в рабочей части. Такая схема нагружения позволяет выявить наиболее слабые участки зоны сварного соединения, так как нагрузка распределяется равномерно по всей длине рабочей части образца. Сплошные цилиндрические образцы для испытаний были вырезаны из стенки трубы со сварным соединением диаметром 73 мм и толщиной стенки 12 мм согласно схеме, приведенной на рисунке 1.

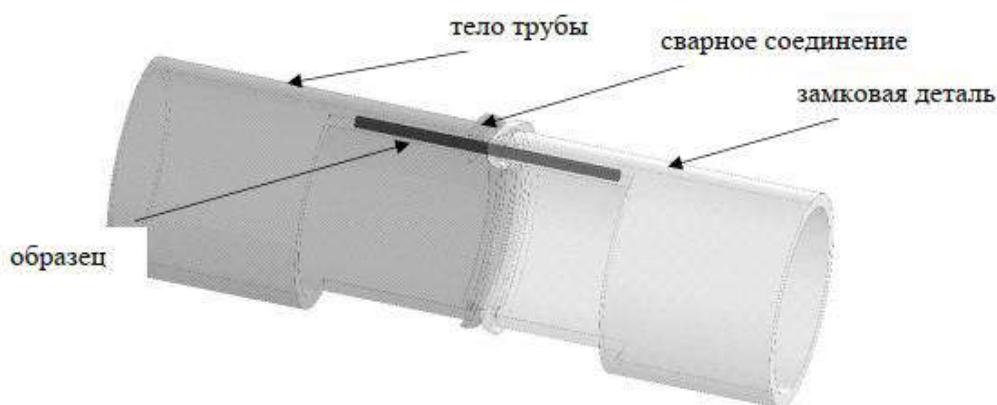


Рис.1 – Схема вырезки образца со сварным соединением для испытаний на усталость

Образцы принадлежали II типу согласно ГОСТ 25.502–79 и имели диаметр рабочей части 5 мм, длину рабочей части 50 мм, диаметр захватной части 7,5 мм. В процессе испытаний воспроизводится симметричный цикл нагружения с постоянными амплитудными значениями напряжений $\sigma_a \pm 470$ МПа при синусоидальной форме цикла. Коэффициент асимметрии цикла $R = -1$. Частота вращения образца составила 3000 об/мин. В процессе испытаний определяли количество циклов до разрушения. При каждом режиме сварки испытывалось по три образца.

Ранними исследованиями [2] сварного соединения труб диаметром 73 мм и толщиной стенки 12 мм из сталей 32Г2 и 40ХН при режиме ротационной сварки трением, соответствующим силе при нагреве 140 кН, силе проковки 300 кН, частоте вращения при нагреве 800 об/мин, осадке при нагреве 8 мм, установлено, что предел выносливости сварного соединения уступает пределу

выносливости исходной стали 32Г2 на величину до 30 %. С целью повышения данной характеристики в настоящей работе производилась оценка влияния силы проковки на усталостную прочность сварного соединения. Таким образом, при неизменных других параметрах сила проковки варьировалась от 220 кН до 300 кН. Результаты определения циклической долговечности приведены на рисунке 2.

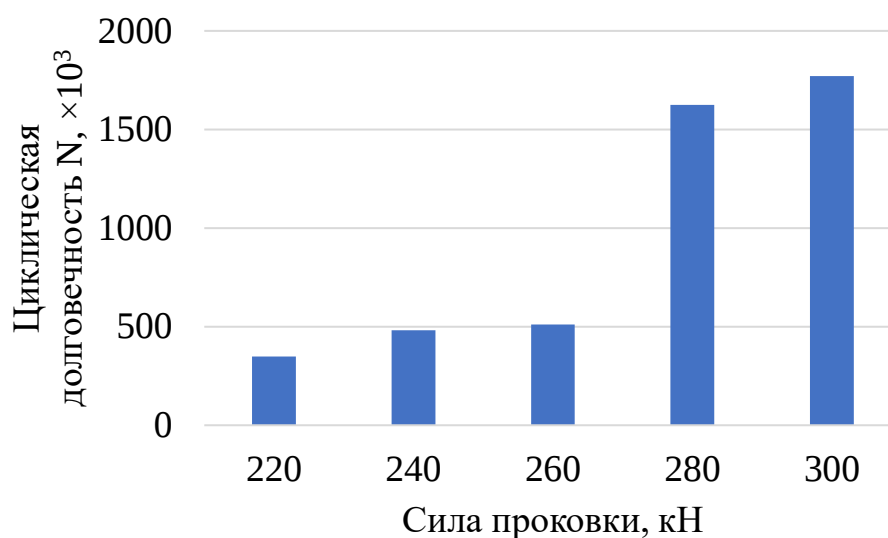


Рис. 2 – Влияние силы проковки на циклическую долговечность сварных соединений сталей 32Г2-40ХН при $\sigma_a \pm 470$ МПа

Полученные данные свидетельствуют, что с увеличением силы проковки среднее количество пройденных циклов возрастает. С помощью металлографического анализа разрушенных образцов установлено, что зарождение и развитие усталостной трещины с последующим разрушением во всех случаях произошло на периферийных участках зоны термомеханического влияния стали 32Г2. Данные участки характеризуются образованием феррито-карбидной микроструктуры различной степени дисперсности в зависимости от силы проковки. По данным EBSD-анализа установлено, что микроструктура периферийных зон образцов, обладающих наибольшей долговечностью, характеризуется образованием ультрамелкозернистой микроструктуры с размером зерна 0,3-0,5 мкм с развитой разориентацией субграниц и значениями микротвердости, соизмеримых со значениями микротвердости исходной стали 32Г2 (317-331 HV 0,2). В образцах, обладающих наименьшей долговечностью, микроструктура периферийных зон стали 32Г2 представляет собой совокупность полигонизованных и рекристаллизованных зерен со значениями микротвердости ниже исходной стали 32Г2 (244-246 HV 0,2). Таким образом, с увеличением силы проковки в процессе ротационной сварки трением происходит интенсификация деформационного упрочнения в зоне термомеханического влияния, что повышает усталостную прочность сварных соединений.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-01311, <https://rscf.ru/project/23-79-01311>

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Приймак Е. Ю. Применение ротационной сварки трением для изготовления геологоразведочных бурильных труб: промышленный опыт и исследования / Е. Ю. Приймак [и др.] // Черные металлы. 2020. №4. С. 37-42.
2. Атамашкин А. С. Предел выносливости и механизм разрушения фрикционных сварных соединений геологоразведочных бурильных труб / А. С. Атамашкин [и др.] // Черные металлы. 2021. №5. С. 33-38.

REFERENCES

1. Priymak E. Yu. The use of rotational friction welding for manufacture of exploration drill pipes: Industrial experience and research / E. Yu. Priymak [et al.] // Chernye Metally. 2020. No. 4. P. 37-42.
2. Atamashkin A. S. Endurance limit and mechanism of fracture of friction welded joints of exploration drill pipes in the conditions of multi-cycle fatigue // A. S. Atamashkin [et al.] // Chernye Metally. 2021. No. 5. P. 33-38.