

УДК 669.14:539.25

А. С. Атамашкин^{1*}, Е. Ю. Приймак²¹ Оренбургский государственный университет, г. Оренбург² Завод бурового оборудования, г. Оренбург

*atamashkin2017@yandex.ru

Научный руководитель — доц., канд. техн. наук Е. Ю. Приймак

ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ РОТАЦИОННОЙ СВАРКИ ТРЕНИЕМ И ПОСЛЕСВАРОЧНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

В работе проведены исследования структуры и механического поведения сварных соединений сталей 32Г2 и 40ХН после ротационной сварки трением и послесварочного отпуска. Выявлены уязвимые места, в которых произошло зарождение и распространение трещины в условиях статического растяжения. Проанализировано влияние различных температурных режимов послесварочного отпуска на изменение механических свойств и механизма разрушения.

Ключевые слова: ротационная сварка трением (РСТ), зона термомеханического влияния (ЗТМВ), среднеуглеродистые стали, прочность, механизм разрушения

A. S. Atamashkin, E. Y. Priymak

EVOLUTION OF THE STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF WELDED JOINTS OF MEDIUM–CARBON STEELS UPON ROTARY FRICTION WELDING AND POST-WELD HEAT TREATMENT

In this work the structure and mechanical behavior of welded joints of 32G2 and 40KhN after rotary friction welding and post-weld heat treatment were investigated. Vulnerabilities in which the crack nucleated and spread under static tension were identified. The influence of various temperature conditions of post-weld tempering on the change in the mechanical properties and mechanism of fracture is analyzed.

Key words: rotary friction welding, thermomechanical affected zone, medium-carbon steels, strength, mechanism of fracture

В работе приведены результаты исследований сварного соединения сталей 32Г2 и 40ХН, выполненного методом ротационной сварки трением на сварочной машине «Thompson-60», в состоянии после сварки и после последующей локальной термической обработкой, которая производилась на установке индукционного нагрева «ЭЛ-СИТ-100» при температурах от 300 до 600 °С с шагом 100 °С с выдержкой при данной температуре в течение 60 секунд.

В результате термодиформационного процесса сварки трением в приконтактных зонах происходят структурные изменения в привариваемых материалах, которые подробно рассмотрены в работе [1].

Характер распределения микротвердости исследуемых сварных соединений, представленный на рис. 1 показывает, что после сварки сварное соединение характеризуется механической неоднородностью: в приконтактных зонах значения микротвердости повышены за счет образования закалочных структур, а в переходной зоне к основному металлу формируется небольшой участок с твердостью меньше значений основного металла. Последующий нагрев зоны сварного соединения способствует снижению микротвердости упрочненных участков, что связано с распадом термодинамически неустойчивых закалочных структур, образованных при сварке. При температуре отпуска 600 °С наблюдается дополнительное разупрочнение участка переходной зоны к основному металлу, выражающееся в снижении значений микротвердости в этой зоне по сравнению с исходным состоянием после сварки.

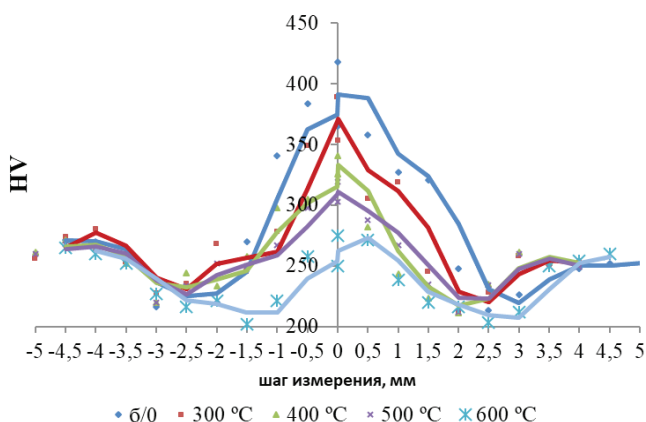


Рис. 1. Распределение микротвердости по сечению фрикционного сварного соединений сталей 32Г2–40ХН в исходном состоянии и после различных температурных режимов отпуска

Механические испытания сварных соединений на статическое растяжение показали, что в исходном состоянии прочностные характеристики сварного соединения не уступают материалу тела трубы. Отпуск способствует снижению характеристик интегральной прочности тем интенсивнее, чем выше его температура.

Анализ деформационного поведения свидетельствует, что деформация при растяжении развивается преимущественно со стороны стали 32Г2 и локализуется в участке с наименьшей микротвердостью. Однако с увеличением температуры отпуска место разрыва смещается ближе к сварному стыку. В исходном состоянии после сварки разрыв образца произошел на расстоянии 6,3 мм от сварного стыка, а после отпуска при 600 °С разрыв образца произошел на расстоянии 3,1 мм от сварного стыка (рис. 2). При этом со стороны стали 32Г2 наблюдается более выраженная локализация пластической деформации в поперечном направлении.

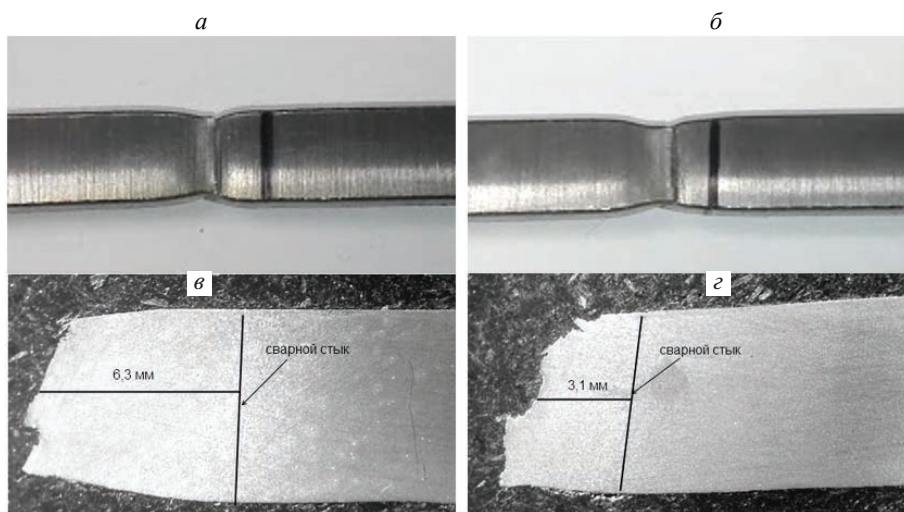


Рис. 2. Фотографии образцов сварных соединений после испытаний на статическое растяжение:

а, в — в исходном состоянии после сварки; *б, г* — после отпуска при температуре 600 °С

Микрофрактографический анализ показал, что характер разрушения исследуемых образцов во всех случаях подчиняется законам вязкого разрушения с формированием мелкоямочного микрорельефа, су-

щественно не изменяющего морфологию с увеличением температуры отпуска до 500 °С. При температуре отпуска 600 °С можно отметить увеличение доли микропластической деформации, что выражается в увеличении глубины и пластического течения образующихся ямок.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ
в рамках научного проекта № 19–38–90079.*

Литература

1. Эволюция структуры и механизм образования сварных соединений среднеуглеродистых сталей при ротационной сварке трением / Е. Ю. Приймак [и др.] // ФММ. 2019. Т. 120, № 11. С. 1187–1192.