



УДК 621.791.14

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЯ СВАРНЫХ  
СОЕДИНЕНИЙ СТАЛИ ВКС-180-ИД, ПОЛУЧЕННЫХ  
РОТАЦИОННОЙ СВАРКОЙ ТРЕНИЕМ НА  
СТАТИЧЕСКИЙ УГОЛ ИЗГИБА**

М.Л. Саморуков

**Июнь 2013**

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

Статья подготовлена для опубликования в журнале «Труды ВИАМ»,  
№6, 2013 г.

УДК 621.791.14

*М.Л. Саморуков*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛИ ВКС-180-ИД, ПОЛУЧЕННЫХ РОТАЦИОННОЙ СВАРКОЙ ТРЕНИЕМ НА СТАТИЧЕСКИЙ УГОЛ ИЗГИБА**

*Приведены результаты работ по определению статического угла изгиба сварных образцов, полученных ротационной сваркой трением. Приведен эскиз испытываемых образцов. Разработана методика испытания на статический изгиб.*

**Ключевые слова:** *ротационная сварка трением, мартенситостареющие стали, свариваемость.*

*M.L. Samorukov*

## **DEVELOPMENT OF THE METHOD OF STATIC BEND ANGLE DETERMINING OF FRICTION WELDED SAMPLES MADE FROM STEEL VKS-180-ID**

*The article is about the results of determining of static bending angle of welded samples made by continuous drive friction welding. The drawing of the test sample is shown. The methodology of determining of static bending angle is developed.*

**Key words:** *direct drive friction welding, continuous drive friction welding, age-hardening martensite steel, weldability.*

В условиях постановки стратегических целей развития авиационной науки и техники [1–3] необходимо не только предусматривать разработку новых решений актуальных проблем, но и использовать хорошо зарекомендовавшие себя подходы из смежных областей. Так, ротационная сварка трением является одним из наиболее эффективных процессов получения неразъемных соединений [4]. Но, несмотря на низкую себестоимость, малую длительность процесса, относительную простоту оборудования, высокое качество получаемых сварных соединений, этот технологический процесс практически не применяется на отечественных предприятиях авиационной промышленности по причине отсутствия достоверных методов неразрушающего контроля и достаточного объема данных по технологическим режимам и механическим свойствам получаемых

сварных соединений применительно к современным конструкционным материалам. В работах [4–8] приводятся данные по технологиям ротационной сварки трением применительно к полуфабрикатам жаропрочных деформируемых никелевых сплавов. Видно, что свойства получаемых сварных соединений сравнимы со свойствами основного материала. Это позволяет говорить о возможности использования этого метода при производстве тяжело нагруженных узлов типа «вал–вал», «вал–диск», «труба–труба» ГТД и ГТУ.

На начальном этапе разработки технологии сварки, как правило, необходимо определиться с диапазоном оптимальных режимов, позволяющих получать качественное сварное соединение, и далее в рамках этого режима вести дальнейшие исследования. Одним из наиболее простых, эффективных и достоверных методов определения качества сварного соединения является испытание на статический угол изгиба [9]. Метод обеспечивает сложное напряженно-деформированное состояние в зоне сварного шва. Поведение сварного шва в таких условиях характеризует его пластичность, наличие дефектных зон и хрупких интерметаллидных включений, которые могут работать как концентраторы напряжения и приводить к разрушению. Для получения достоверных данных по пластичности шва и околошовной зоны, по наличию дефектных участков и качеству сварного соединения вне зависимости от режима сварки и типа сварного соединения необходимо разработать унифицированную методику испытания на статический изгиб. Важными элементами такой методики являются:

- применение унифицированного образца для испытания;
- обязательное удаление грата, который является концентратором напряжения, но оценить степень его «работы» при разрушении каждого конкретного образца не представляется возможным;
- необходимость проведения испытаний на испытательных машинах, позволяющих деформировать образец с постоянной скоростью и отслеживать изменение прикладываемого усилия.

Только с учетом этих данных можно проводить сравнительный анализ качества сварных соединений и делать выводы относительно эффективности того или иного режима для каждой группы материалов.

В данной статье приводится информация по испытанию на статический угол изгиба сварных образцов из высокопрочной стали типа ВКС-180-ИД [10], полученных ротационной сваркой трением. Работа проводилась на установке сварки трением ПСТ 50-2М производства ОАО «КТИАМ» (г. Челябинск).

После выбора диапазона варьирования основных технологических параметров сварки, которыми являются: давление при нагреве и проковке, время нагрева и проковки, происходит условное разделение на «мягкие», «средние» и «жесткие» режимы. Жестким режимам соответствуют более высокие значения сварочных усилий и короткое время сварки. Мягким, наоборот, более низкие сварочные усилия наряду с большей длительностью процесса. Для выбора наилучшего режима образцы испытываются на статический угол изгиба. Внешний вид разработанного образца для испытаний на статический угол изгиба на установке Instron 5882 показан на рис. 1.



Рисунок 1. Образец для испытания на статический изгиб

Из литературных источников [11, 12] была получена информация по режимам сварки трением [13] аналога стали ВКС-180-ИД – стали 18Ni (250) – применительно к трубным заготовкам  $\varnothing 75$  мм и отношением диаметра к толщине стенки 30:1. Режимы сварки, на которых сваривались указанные образцы, варьировались в интервале: давление нагрева ( $P_n$ ): 200–800 ат (20–80 МПа), давление проковки ( $P_{пр}$ ): 200–1400 ат (20–140 МПа); скорость вращения ( $n$ ): 1000, 1500, 2000 и 3000 об/мин; суммарное время сварки: 3–8 с.

На основании анализа полученной информации были выбраны режимы применительно к сварке цилиндрических заготовок длиной 70–80 мм, диаметром 18 мм, которые обеспечили величины осадки, показанные в таблице. Осадка 6–8 мм является приемлемой с технологической точки зрения, так как гарантирует разрушение или выход в грат оксидных плен с поверхности контакта, активацию контактных поверхностей и их объемное взаимодействие, гарантирующее высокое качество сварного соединения [11], а также экономное расходование материала и времени.

**Величины суммарной осадки сварных соединений,  
полученных на различных режимах ротационной сварки трением**

Режим	Величина осадки, мм
Средний	6,4–7,5
Жесткий	6,5–8,1
Мягкий	6,0–7,0

Сваренные на выбранных режимах образцы испытаны на статический угол изгиба как в состоянии поставки, так и в термоупрочненном состоянии. Испытание проводилось на динамической разрывной машине Instron 5882 при скорости деформации 2 мм/мин (рис. 2).

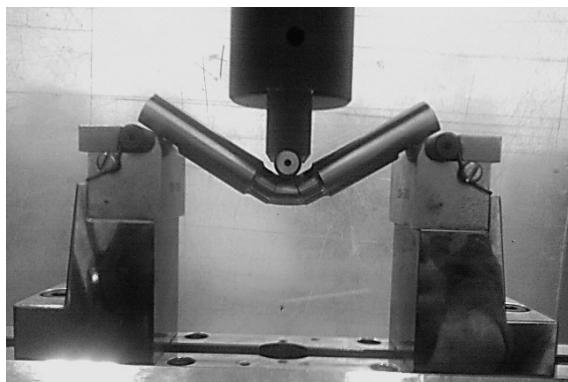


Рисунок 2. Испытание на статический угол изгиба на разрывной машине Instron 5882

В результате проведенных испытаний образцы без термической обработки были продеформированы на угол  $\sim 90$  град. В растянутых зонах, которые соответствовали расположению сварного шва, отсутствовали какие-либо очаги разрушения (рис. 3).



Рисунок 3. Образцы после испытаний на статический угол изгиба

Для этих образцов была получена типовая зависимость «усилие–деформация» (рис. 4). Испытание показало, что все режимы сварки являются приемлемыми и обеспечивают хорошую пластичность сварных соединений, поэтому было решено увеличить угол изгиба образцов до 180 град и уже на основании полученных данных оценить выбранные режимы. Деформация проводилась на вертикальном прессе. Результаты испытания представлены на рис. 5. И в этом случае в растянутой зоне также отсутствовали какие-

либо очаги разрушений. На рис. 6 представлен типичный для всех образцов вид растянутой зоны.

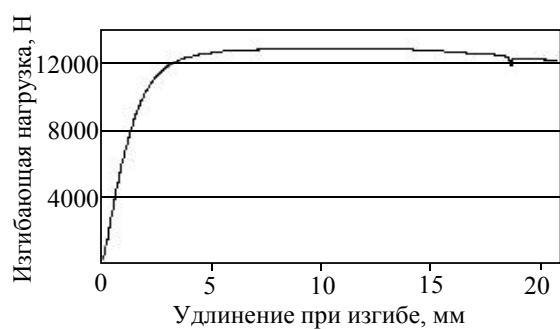


Рисунок 4. Типовая для всех образцов зависимость «усилие–деформация»



Рисунок 5. Образцы после испытаний на статический угол изгиба, проведенных на вертикальном прессе



Рисунок 6. Вид растянутой зоны закаленного образца после испытания на статический угол изгиба, проведенного на вертикальном прессе

Испытание на статический угол изгиба образцов в термоупрочненном состоянии также не показало значительных различий в характере их разрушения. Максимальное усилие во всех случаях было на уровне 23500 Н, деформация до разрушения 7–9 мм (рис. 7). Во всех случаях разрушение происходило на расстоянии 5 мм от сварного шва

(рис. 8), что, вероятно, связано со схемой распределения внутренних напряжений в образце в процессе испытания, вызванных его конструктивными особенностями.

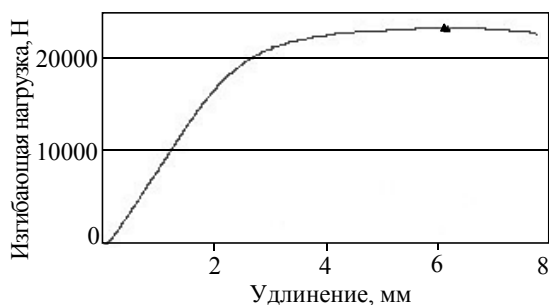


Рисунок 7. Типовая для всех термоупроченных образцов зависимость «усилие–деформация»



Рисунок 8. Термоупроченные образцы после испытаний на статический угол изгиба

Таким образом, можно сделать вывод, что пластичность и прочность сварных соединений, полученных ротационной сваркой трением, на всех выбранных режимах находится на высоком уровне. В шве отсутствуют структурные дефекты и включения, которые могут привести к зарождению трещин и последующему разрушению. Это позволяет говорить о хорошей свариваемости высокопрочной стали ВКС-180-ИД ротационной сваркой трением. Кроме того, разработанный подход к определению статического угла изгиба позволит в дальнейшем говорить о сравнительном анализе результатов, полученных для различных материалов, и анализировать поведение зон сварного шва в условиях деформации растяжения–сжатия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 7–17.
2. Оспенникова О.Г. Стратегия развития жаропрочных сплавов и сталей специального назначения, защитных и теплозащитных покрытий //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 19–35.
3. Смирнов А.В. Исследование и прогнозирование развития гражданского авиационного двигателестроения как сложной системы /В сб.: Научные чтения памяти К.Э. Циолковского. Секция «Авиация и воздухоплавание». 2006. /<http://readings.gmik.ru/lecture/2006-issledovanie-i-prognozirovanie-razvitiya-grazhdanskogo-viatsionnogo-dvigatlestroeniya-kak-slozhnoy-sistemi/>.
4. Satyanarayana V.V. et al. Dissimilar metal friction welding of austenitic – ferritic stainless steels //Journal of Mat. Proc. Tech. 2005. V. 160. P. 128–137.
5. Лукин В.И., Ковальчук В.Г., Саморуков М.Л., Гриднев Ю.М. Исследование влияния технологии ротационной сварки трением деформируемого жаропрочного никелевого сплава ВЖ175 на структуру и прочностные характеристики сварных соединений //Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2011. Спец. вып. С. 1–8.
6. Лукин В.И., Ковальчук В.Г., Саморуков М.Л., Гриднев М.Ю., Жегина И.П., Котельникова Л.В. Исследование влияния параметров сварки трением и термической обработки на качество сварных соединений жаропрочных деформируемых никелевых сплавов //Сварочное производство. 2011. №4. С. 26–30.
7. Lukin V.I., Koval'chuk V.G., Samorukov M.L., Gridnev Yu.M., Zhegina I.P., Kotel'nikova L.V. Effect of friction welding parameters and heat treatment on the quality of welded joints in creep-resisting deformable nickel alloys //Welding Int. 2012. V. 26. №9. P. 728–731.
8. Uday M.B., Ahmad Fauzi M.N. et. al. Effect of welding speed on mechanical strength of friction welded joint of YSZ-alumina composite and 6061 aluminum alloy //Mater. Sci. and Eng. A. 2011. V. 528. P. 4753–4760.
9. Лебедев В.К., Черненко И.А., Михальски Р. и др. Сварка трением: Справочник. Л.: Машиностроение. 1987. 236 с.

10. Маркова Е.С., Покровская Н.Г., Шалькевич А.Б., Громов В.И. Мартенситостареющие стали – новые перспективные материалы для валов ГТД //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 81–84.
11. Seifert D.A., Meiners K.E., Hanes H.D. Friction welding of missile systems hardware: Technical report AD Battelle Columbus Laboratories. 1972.
12. Lang F.H., Kenyon N. Welding of Maraging Steels. WRC Bulletin 159.
13. Каракозов Э.С. Соединение металлов в твердой фазе. М.: Metallurgy. 1976. С. 38–67.