

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ РАВНОПРОЧНОГО СОЕДИНЕНИЯ КРУПНЫХ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ АВТОВАКУУМНОЙ ПАЙКИ РЕЗЬБОВОГО ПРОФИЛЯ

М. А. ПОЛЕЩУК, М. Г. АТРОШЕНКО, А. Л. ПУЗРИН, В. Л. ШЕВЦОВ

ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Исследованы механические свойства резьбовых паяных соединений из одно- и разнородных сталей в направлении поперек резьбы, полученных методом автовакуумной пайки. Установлено, что при пайке низколегированных конструкционных сталей предел прочности на отрыв соответствует пределу текучести стали после стандартной термической обработки. В паяных резьбовых соединениях стали 12Х18Н10Т со сталью 40Х сопротивление отрыву значительно превосходит границу текучести нержавеющей стали. Неразъемные соединения, полученные с помощью резьбы с последующей автовакуумной пайкой, можно рекомендовать для производства изделий ответственного назначения. Библиогр. 11, табл. 1, рис. 3.

Ключевые слова: автовакуумная пайка, резьбовые соединения, разнородные стали, механические свойства

В настоящее время специальными методами высокотемпературной пайки можно получать паяные швы, прочность которых равна или близка прочности материала соединяемых деталей из различных марок сталей. Такой результат достигается при минимально возможной ширине паяного шва с использованием припоев с высокой температурой плавления, так как тугоплавкие припои имеют большой модуль упругости и обеспечивают более высокую прочность паяного соединения [1, 2].

Технологию получения равнопрочных паяных швов можно использовать для создания в крупногабаритных изделиях неразъемных резьбовых соединений, которые должны выдерживать большие усилия, вызванные нагрузками или давлением. В этом случае требуемая прочность изделия вдоль продольной оси обеспечивается выбором резьбы соответствующего профиля, а поперек оси — прочностью паяного соединения. Такие соединения могут быть применены для изготовления фасонных изделий, в том числе из разнородных сталей, при выполнении силовых швов обечаек, составляющих толстостенные сосуды, участков толстостенных трубопроводов энергетических установок вместо электрошлаковой или многопроходной дуговой сварки [3].

Резьбовые паяные соединения используют в различных отраслях, например, в авиастроении, нефтяной, газовой промышленности и др. Однако при ранее применяемых методах пайки припой проникает в резьбовое соединение только на глубину нескольких витков. В связи с этим пайка резьбовых соединений производится только для их уплотнения [4–6].

Увеличить глубину затекания припоя в узкий капиллярный зазор позволяет метод автовакуумной пайки (АВП). Благодаря этому методу можно соединять металлы, в том числе и разнородные, путем заполнения припоем герметичного зазора между деталями. При нагреве стальных деталей до температуры выше 1000 °С металлические поверхности, обращенные в герметичный зазор, самопроизвольно очищаются от оксидных пленок за счет диффузии кислорода с поверхности вглубь металла [7]. Этот процесс продолжается до тех пор, пока весь кислород, находящийся в герметичном зазоре, продиффундирует в объем металла. При этом в зазоре образуется вакуум. Самопроизвольная очистка от оксидных пленок и отсутствие заметного испарения компонентов припоя в герметичном объеме способствует увеличению глубины его проникновения в зазор [8].

Цель настоящей работы — оценка принципиальной возможности получения резьбовых соединений, пропаянных методом АВП. На первом этапе определяли способность припоя затекать в резьбовые соединения на значительную глубину, а на втором этапе проверяли механические свойства паяных соединений, в том числе прочность в направлении поперек резьбы.

Для проведения работы в качестве припоя была выбрана медь, которая является наиболее распространенным припоем для пайки углеродистых и низколегированных сталей. Температура пайки составляла 1150 °С.

Для обеспечения высокой прочности всего изделия температура плавления припоя должна быть выше температуры закалки сталей, исполь-



зуемых для изготовления резьбового соединения, поскольку пайка должна предшествовать термической обработке готового изделия.

Известно, что нагрев стали при пайке значительно выше температуры закалки приводит к росту зерна и потере ею пластичности и вязкости. Специальные исследования показали, что дальнейшая закалка с отпуском стальных деталей, паяных при температуре более 1000 °С, не только полностью восстанавливает прочностные свойства металла, но и повышает показатели пластичности и вязкости по сравнению с такими же показателями металла, который предварительно не нагревался до высокой температуры [9].

Для проведения экспериментов изготавливали специальные образцы двух типов. На одном резьбовое соединение выполняли из стали одной марки (40Х), на другом — из сталей разного класса (40Х и 12Х18Н10Т). Корпуса экспериментальных образцов выполняли из круглого проката диаметром 80 мм, длиной 300 мм. В них высверливали сквозные отверстия диаметром 18 мм. На половине длины этих отверстий нарезали резьбу М18×1, а вторая половина оставалась гладкой.

Экспериментальные корпуса изготавливали из стали 40Х, которая после стандартной термической обработки (закалка в масле с последующим отпуском) обеспечивает механические свойства металла для широкого диапазона размеров поковок на уровне требований категории прочности КП 490 [10], в частности для изготовления деталей ответственного назначения.

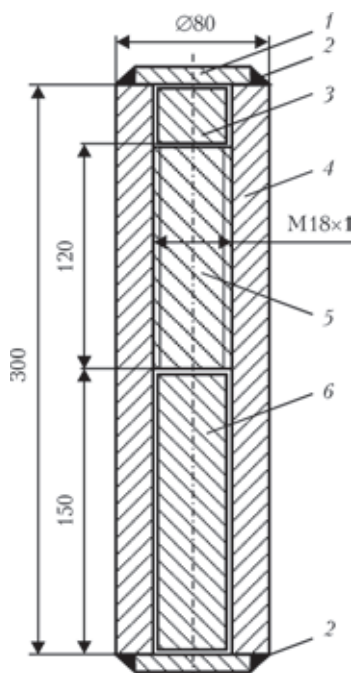


Рис. 1. Схема образца для АВП в сборе: 1 — технологический фланец; 2 — герметизирующие швы; 3 — припой; 4 — корпус; 5 — стержень с резьбой; 6 — гладкий стержень

Для каждого корпуса изготавливали по два стержня. Один с резьбой М18×1, а другой с гладкой поверхностью, причем зазор между ним и корпусом составлял 0,02 мм на сторону.

Один комплект стержней изготавливали из прутка стали 40Х диаметром 20 мм, а другой — из нержавеющей стали 12Х18Н10Т того же диаметра. В качестве припоя использовали прутки меди М1 диаметром 15 мм длиной 30 мм.

Перед сборкой для пайки все детали тщательно отмывали от остатков эмульсии, которую использовали при механической обработке деталей. После сборки образцов для пайки (рис. 1) зазоры с обеих сторон корпуса герметизировали электродуговой сваркой.

Пайку проводили в печи с воздушной атмосферой, корпуса в печи размещали вертикально припоем вверх.

Термический цикл пайки был следующим: нагрев до температуры 1150 °С, выдержка 1 ч, охлаждение с печью до комнатной температуры. После пайки корпуса подвергли закалке с отпуском по стандартному режиму для стали 40Х. Затем по центру корпусов вдоль продольной оси вырезали темплеты толщиной 14 мм. Визуальный осмотр этих шлифованных темплетов показал, что в однородном образце со стержнем из стали 40Х медный припой проник не только через резьбу, но и на всю длину гладкого паяльного зазора. С помощью лупы с десятикратным увеличением непропаев в образце обнаружено не было (рис. 2).

В то же время в комбинированном образце припой лишь частично заполнил резьбу, а в гладкий зазор совсем не проник. Причиной этого мо-

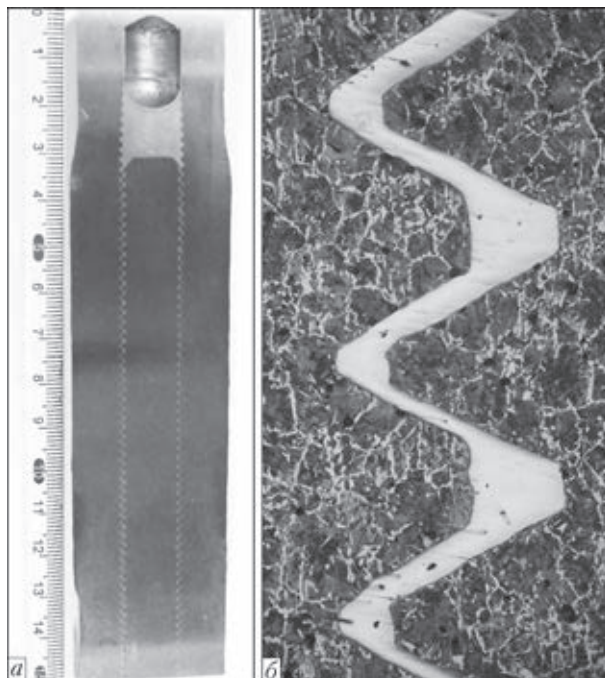


Рис. 2. Макрошлиф темплета (а) и микрошлиф резьбовой части паяного образца (б) из стали 40

Результаты механических испытаний основного металла после нагрева для пайки и последующей термической обработки

Место вырезки образцов	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %
Корпус сталь 40X	<u>540,9...581,8</u>	<u>771,8...778,4</u>	<u>17,5...19,1</u>	<u>62,4...65,4</u>
	561,4	775,1	18,3	63,9
Стержень сталь 40X	<u>552,6...561,4</u>	<u>742,2...763,1</u>	<u>16,2...18,2</u>	<u>60,3...61,2</u>
	557,0	752,7	17,2	60,8
Стержень сталь 12X18Н10Т	<u>207,7...215,0</u>	<u>555,0...555,0</u>	<u>61,3...61,7</u>	<u>69,5...69,8</u>
	211,4	555,0	61,5	69,7

Примечание. 1. В числителе приведены минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние значения по трем образцам. 2. Требования ГОСТ к КП ≥ 490 .

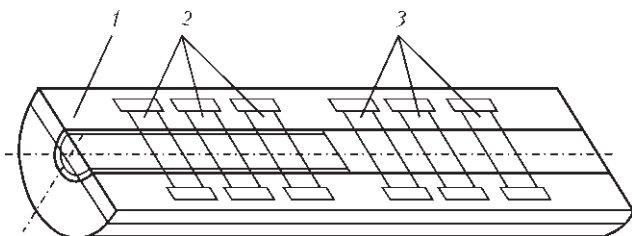


Рис. 3. Схема вырезки образцов для механических испытаний: 1 — темплет; 2, 3 — образцы с резьбой и без соответственно

жет быть различие в тепловом расширении конструкционных и нержавеющей сталей. Так, на длине 20 мм разница в тепловом расширении таких сталей составляет 0,14 мм, а фактический зазор до нагрева у гладких образцов — 0,04 мм. Однако это не может быть единственной причиной отсутствия пайки, поскольку медь успешно применяют даже для пайки деталей из углеродистых сталей, предварительно собранных прессовой посадкой [11].

Причиной также препятствующей проникновению меди в узкий зазор комбинированного образца может быть растворение в ней легирующих компонентов нержавеющей стали в первую очередь хрома и никеля, что повышает температуру плавления легированной меди до температуры пайки.

Образцы для механических испытаний паяных соединений изготавливали из заготовок, вырезанных поперек продольных темплетов (рис. 3).

Испытания проводили путем растяжения образцов с рабочей частью диаметром 8 мм. При этом на ней находились по два паяных соединения, расположенных на расстоянии 18 мм друг от друга. При испытаниях на растяжение разрушение проходило по одному соединению.

Так, у паяного соединения из однородной стали 40X с гладкой поверхностью сопротивление на отрыв составляло 485,0...500,1 МПа, с резьбой — 412,6...458,4, а у образцов из разнородной стали 40X + 12X18Н10Т с резьбой — 294,7...323,7 МПа.

Визуальный осмотр образцов после испытаний показал, что паяное соединение поперек продольной оси разрушается без пластической деформации. Так как при оценке прочности деталей в ка-

честве расчетного значения принимают значение предела текучести материала, из которого изготавливается данная деталь, то результаты, приведенные выше, необходимо сравнивать с пределом текучести основного металла. Результаты механических испытаний на растяжение образцов из основного металла стали 40X и нержавеющей стали 12X18Н10Т представлены в таблице.

Сравнение результатов сопротивления на отрыв паяных соединений с пределом текучести основного металла показало, что сопротивление на отрыв паяного соединения стали 40X с такой же сталью при гладких поверхностях составляет 485...500 МПа. Это соответствует требованиям стандарта для КП 490, но несколько ниже предела текучести реальных образцов стали 40X после термической обработки (540...580 МПа), полученных в направлении прокатки. Известно, что свойства катаного металла в поперечном направлении будут ниже. Следовательно, полученные нами результаты механических испытаний гладких образцов на отрыв можно считать хорошими.

Сопротивление на отрыв паяного соединения с резьбой из однородной стали (40X) в направлении поперек ее оси оказалось несколько ниже (413...458 МПа).

Меньшее значение прочности на отрыв поперек резьбового соединения по сравнению с гладким может быть объяснено большей шириной зазора между деталями резьбы.

При испытании паяных образцов нержавеющей стали 12X18Н10Т со сталью 40X с резьбой прочность соединений (295...308 МПа) была заметно выше предела текучести нержавеющей стали (208...215 МПа).

Таким образом, неразъемные соединения, полученные с помощью резьбы с последующей АВП, можно применять для производства изделий ответственного назначения. Медь в качестве припоя может быть эффективно использована для получения такого типа соединений из конструкционных сталей, а для комбинированных (нержавеющая – конструкционная стали) лишь для резьбовых соединений относительно небольшой глубины.



1. *Хорунов В. Ф.* Основы пайки тонкостенных конструкций из высоколегированных сталей. – Киев: Наук. думка, 2008. – 238 с.
2. *Справочник по пайке* / Под ред. С. Н. Лоцмонова. – М.: Машиностроение, 1975. – 408 с.
3. *Серебряник И. П.* Автовакуумная некапиллярная конструкционная пайка. – Киев: Альфа Реклама, 2011. – 62 с.
4. *Кузнецов В. А.* Определение величины давления газа при пайке с принудительным заполнением зазора расплавленным припоем // *Материалы семинара «Современное состояние и перспективы развития высокотемпературной пайки»*. – М.: Знание, 2004. – 35 с.
5. *Карабанов В. В., Бохаров И. О.* Решение проблемы герметичности и надежности обсадных колонн // *Нефт. хозяйство*. – 2012. – № 1. – С. 42–45.
6. *Пат. 2193477 2002 кл. 23К 1/00 РФ.* Способ пайки тонкостенных труб при телескопическом соединении / В. И. Муравьев, Б. Н. Марьин, Л. В. Чернышов. – Опубл. 27.11.2002; Бюл. № 33.
7. *О растворении газов воздуха в твердом металле в процессе самопроизвольной очистки его поверхности* / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, Л. Г. Пузрин и др. // *Докл. АН СССР*. – 1968. – **181**, № 1. – С. 70.
8. *Пузрин Л. Г., Бойко Г. А., Атрошенко М. Г.* Автовакуумная высокотемпературная пайка. – Киев: Знание, 1975. – 18 с.
9. *Влияние высокотемпературного нагрева на свойства сталей при пайке композиционных корпусов фланцевых задвижек высокого давления* / Г. М. Григоренко, А. Л. Пузрин, М. Г. Атрошенко, М. А. Полещук, В. Л. Шевцов // *Совр. электрометаллургия*. – 2012. – № 2. – С. 45–50.
10. *ГОСТ 8 479–70.* Поковки из конструкционной углеродистой и легированной стали. – Введ. 01.01.71.
11. *Брукер Х. Р., Битсон Е. В.* Пайка в промышленности. – М.: Оборонгиз, 1957. – 296 с.

Поступила в редакцию 02.04.2014

IX конференция «Сварка и термическая обработка живых тканей. Теория. Практика. Перспективы»

28–29 ноября 2014 г.

Киев, ИЭС им. Е. О. Патона

Организаторы:

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины
НТК ИЭС

Международная ассоциация «Сварка»
Киевский городской центр электрохирургии

Архивы сборников трудов предыдущих семинаров за 2009–2013 гг.
на <http://weldinglivetissues.com/rus/seminars>.

По вопросам участия в конференции просьба обращаться:

тел.: (38044) 200-81-45, 200-81-08

E-mail: tomik@mac.relc.com