

**ПРИМЕНЕНИЕ ПАЙКИ ДЛЯ СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛИ ИЗГОТОВЛЕННОЙ  
ИЗ ПРЕЦИЗИОННОГО СПЛАВА 36НХТЮ, С ЭЛЕМЕНТАМИ РЕЗОНАТОРНОГО КОНТУРА  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПЛОТНОСТИ И ВЯЗКОСТИ**

**Мартынюк А.О., Филюшин В.В.**

*Научный руководитель доцент Рудаченко А.В.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Работа посвящена рассмотрению пайки, как способа соединения чувствительного элемента вибрационного преобразователя вязкости и плотности. Применение данного вида соединения было обусловлено использованием изделия при высоких давлениях и необходимостью обеспечения высокого коэффициента запаса прочности. Для проверки удовлетворению данным условиям паяное соединение было подвергнуто испытанию на герметичность и прочность.

В статье представлены результаты о выполнении соединения с применением пайки.

Ключевые слова: резонатор, пайка, 36НХТЮ, металлографический анализ.

По результатам разработки и изготовления опытного образца поточного преобразователя плотности и вязкости, и как следствие создание ключевого элемента - резонатора, который является основным во всей конструкции, была применена трубка цилиндрического сечения. Изготовлена трубка из прецизионного сплава марки 36НХТЮ с заданными параметрами упругости. Диаметр трубки составил 25 мм, а толщина стенки 1 мм. По средством сварки, резонатор соединяется с другими упругими элементами изделия. Через сильфоны, изготовленные из стали 38-6-0,21x6 ГОСТ 55019-2015, трубка соединяется с переходными втулками и опорными кольцами, которые изготовлены из стали 12Х18Н10Т.<sup>[1]</sup>

В работе [1] было детально рассмотрено применение двух видов высокотехнологических сварок (аргонодуговой с неплавящимся электродом и электронно-лучевой в вакууме) для соединения деталей резонаторной системы преобразователей вязкости и плотности. В результате детального рассмотрения, они доказали возможность своего применения, однако, каждая из них имела свои недостатки. Исходя из этого был рассмотрен альтернативный вариант соединения деталей резонаторной системы, с помощью пайки.

Пайка производилась с помощью установки индукционного нагрева. Перед нагревом на детали наносился флюс, а после его плавления подавался припой. Процесс пайки и сборки деталей под пайку можно увидеть на рис.1.



**Рис. 1. Процесс пайки и сборки деталей под пайк:**

**а) – детали собранные под пайку в индукторе; б) – детали под пайку в сборке**

Для пайки сплава 36НХТЮ со сталью 12Х18Н10Т было решено использовать серебряный припой ПСр40 по ГОСТ 19738 – 74, описание и свойства которого приведены в табл. 1. [2]

Таблица 1

**Описание и свойства припоя ПСр40**

Применение:	Лужение и пайка меди, медных и медно-никелевых сплавов, никеля, кобальта, нейзильбера, латуни и бронз; пайка стали с медью, никелем, медными и медно-никелевыми сплавами; пайка меди и латуни с коваром, никелем, с нержавеющей стали и жаропрочными сплавами, пайка свинцово-оловянистых бронз
Предел прочности:	38 – 44 кг/мм <sup>2</sup>
Предел текучести:	21 – 23 кг/мм <sup>2</sup>
Относительное удлинение:	18 – 37 %
Относительное сужение:	22 – 44 %
Температура плавления:	590 – 610 °С
Величина зазора, мм, на сторону при 20 °С	Медь и ее сплавы: 0,1 – 0,2 Сталь и никелевые сплавы: 0,075 – 0,15
Рекомендуемые флюсы:	ФК – 250, ПВ – 209
Примечание:	Механические характеристики припоя в температурном диапазоне работы конструкции не ухудшаются

В качестве флюса использовали флюс ФК-250 выпускаемый по ТУ 48 – 17228138/ОПП – 013 – 97, описание и свойства которого приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Описание и свойства флюса ФК-250**

Применение:	Предназначен для высокотемпературной пайки меди, никеля, серебра, их сплавов, жаропрочных конструкционных и нержавеющей сталей. Является улучшенной заменой стандартных флюсов ПВ 209 и ПВ 284.
Температура плавления:	400 – 450 °С
Температурный интервал активности:	550 – 950 °С

Для проверки надежности паяного соединения оно было подвергнуто испытанию на герметичность. Испытание проводилось при давлении в 8 МПа, с последующей выдержкой в 24 ч. По результатам испытания падения давления, протечек и разрушения образца выявлено не было.

Кроме того, было произведено механическое испытание образца. Испытание проводилось на разрывной машине, максимальная нагрузка которой составляет 5 т. По результатам механического испытания разрушения образца не выявлено.

С целью получения данных о внутренней структуре металла был произведен металлографический анализ. На рис. 2 представлены образцы для металлографического анализа.

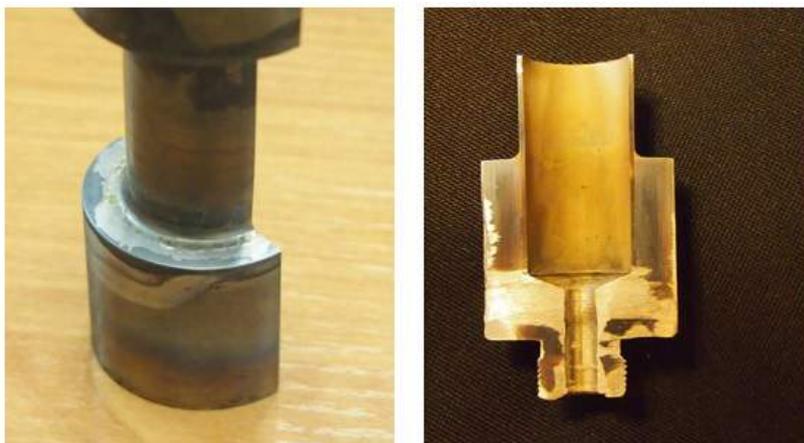
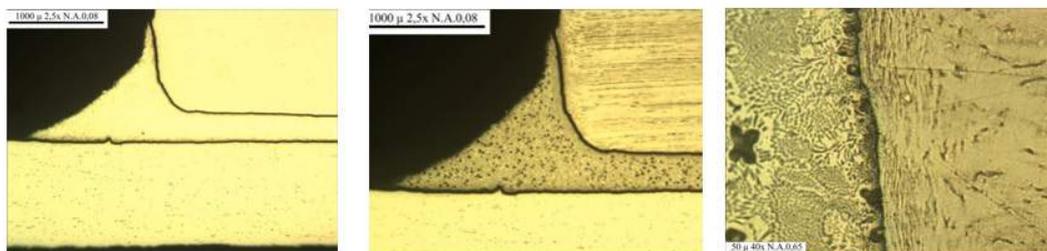


Рис. 2. Внешний вид образцов для металлографического анализа а) – внешняя сторона шва, б) – разрез соединения

Подготовку шлифов осуществляли по стандартной методике, путем шлифования и полирования на алмазных пастах (зернистость от 60/40 до 0,5/0,1). Травление производили в течение 1 минуты в реактиве Марбле и в течение 30 секунд в 10%-м водном растворе щавелевой кислоты (напряжение 10 в, образец - анод).[3] Микрофотографирование производили на микроскопе UnitronVersamets применением освещения по методам светлого поля, темного поля и их комбинации, а также по методу дифференциально-интерференционного контраста Номарского (ДИК). Общий вид микрошлифа без травления, после травления в реактиве Марбле показан на рис. 3.

Микроструктура присадочного материала представляет собой эвтектическую смесь твердого раствора на основе серебра и выделений избыточной меди. Пора, примыкающая к стальной детали (12X18H10T) образовалась в связи с местным уменьшением смачиваемости стали. На прочностные и эксплуатационные свойства данный дефект влияния не оказывает.

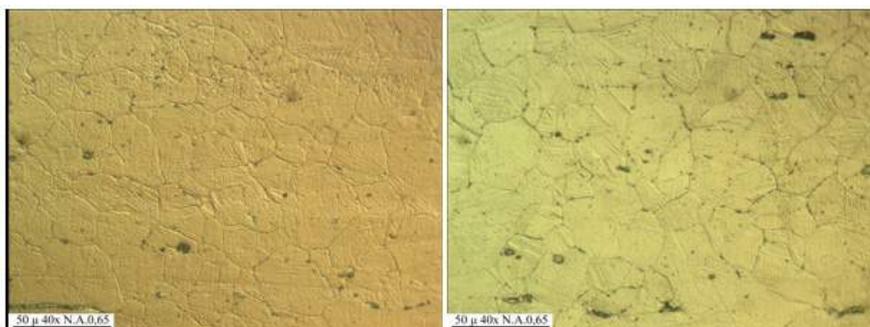
После травления в реактиве Марбле различие структуры основного металла и зоны термического влияния (ЗТВ) выявить не удалось. Электролитическое травление позволило выявить границы зерен в сплаве 36НХТЮ стали 12X18H10



**Рис. 3. Паяный шов:**

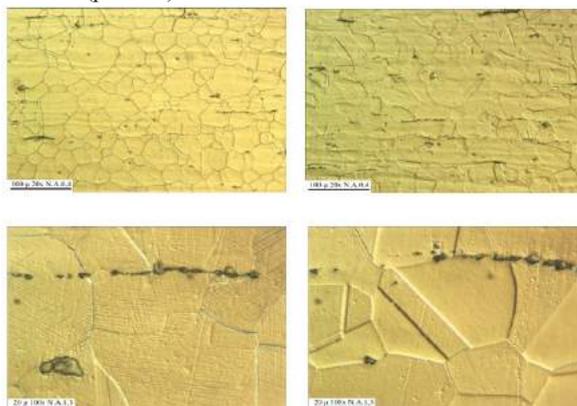
*а) – не травлено; б) – после травления в реактиве Марбле; в) – граница ПСр40 и стали 12Х18Н10Т*

Размер зерна на участке, прилегающем к паяному шву составляет  $15 \div 60$  мкм, в основном металле –  $15 \div 60$  мкм (рис. 4). Таким образом можно заключить, что на стальную втулку пайка влияния не оказала.



**Рис. 4. Структура стали 12Х18Н10Т (электролитическое травление; ДИК):**  
*а) – участок, примыкающий к паяному шву; б) – основной металл втулки*

Со стороны трубки наблюдается четкое различие микроструктуры металла ЗТВ и основного металла. Протяженность ЗТВ составляет 8 мм от края втулки. ЗТВ характеризуется разнотермической структурой ( $10 \div 90$  мкм). При этом зерна имеют равноосную форму без двойников, что говорит о рекристаллизационных процессах при нагреве. Границы зерен утолщены, за счет выделения зернограничной  $\gamma'$ -фазы (рис. 5 а). Внутри зерна наблюдаются дисперсные стержне видные выделения (предположительно  $\eta$ -фаза), что так же говорит о нагреве до температур старения и рекристаллизации. Зерно основного металла имеет характерные для деформированного аустенита двойники. Граница зерен четко выделяется лишь при применении ДИК. Фактической толщины границы не имеют. Размер зерна составляет  $25 \div 70$  мкм (рис. 5 б).



**Рис. 5. Структура сплава 36НХТЮ (электролитическое травление; ДИК):**  
*а) – участок, примыкающий к паяному шву, б) – основной металл трубки*

В ходе работы было выяснено, что пайка не влияет на структура металла втулки, изготовленной из стали 12Х18Н10Т. Однако, наблюдается ЗТВ со стороны трубки протяженностью порядка 8 мм. В теле шва каких-либо дефектов не наблюдается.

Сопоставительные исследования паяных и сварных соединений тонкостенных трубопроводов гидравлических и топливных систем летательных аппаратов показали, что предпочтение необходимо отдать паяным соединениям перед соединениями, полученными аргонодуговой сваркой.<sup>[4]</sup>

### Литература

1. Мартынюк А.О. Сравнения качества сварных соединений детали из прецизионного сплава с заданными параметрами упругости, полученных при применении аргонодуговой и электронно-лучевой высокотехнологических сварок // Проблемы геологии и освоения недр: труды XX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня основания Томского политехнического университета, «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – Т. 2. – с. 928 – 932.
2. Лашко Н.Ф., Лашко С.В. Пайка металлов. М., «Машиностроение», 1977. 328 с.
3. Л.В. Баранова, А.Н. Демина. Металлографическое травление металлов и сплавов. М.: «Металлургия», 1986, 256 с.
4. Губин А.И., Китаев А.М. Сварка и пайка тонкостенных трубопроводов, 2 – е изд., М., «Машиностроение», 1972. 128 с.

## ПУТИ СНИЖЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ

А.А. Мерзляков

Научный руководитель профессор А.А. Кукьян

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,

г. Пермь, Россия

2017 год в России объявлен годом экологии в соответствии с Указом Президента Российской Федерации В.В. Путина от 05.01.2016. Цель данного решения – привлечь внимание к проблемным вопросам, существующим в экологической сфере, и улучшить состояние экологической безопасности страны.

По данным ПАО «Газпром» наибольшая часть валовых выбросов вредных веществ приходится на объекты транспорта газа. К одним из значимых экологических факторов относятся выбросы оксидов азота и углерода (NO, NO<sub>2</sub> и CO) в атмосферу, образующиеся в камере сгорания газотурбинной установки. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в период с 2011 по 2015 уменьшились на 294 тыс. тонн и в 2015 году составили 2,8 млн. тонн. Несмотря на значительное снижение, эта цифра по-прежнему остаётся высокой. [1], [7].

Газоперекачивающий агрегат ГПА-Ц-16/76 с двигателем НК-16 СТ [2] и нагнетателем НЦ-16/76 [3] имеет мощность 16 МВт. Транспортируемый газ соответствует требованиям и нормам СТО Газпром 089-2010 «Газ горючий природный, поставляемый и транспортируемый по магистральным газопроводам» [5].

Для проведения экологического расчёта по сокращению вредных выбросов в атмосферу были произведены замеры концентрации вредных веществ в выхлопной шахте газоперекачивающего агрегата при открытом и закрытом отборе циклового воздуха при различных частотах вращения свободной турбины, различной температуре топливного газа, а так же при временном отсоединении трубопровода эжекции масляных паров от выхлопной шахты. Результаты измерений приведены в таблицах 1-3 и рисунках 1,2. Для расчета использовался СТО ГАЗПРОМ 2-3.5-038-2005 «Инструкция по проведению контрольных измерений вредных выбросов газотурбинных установок на компрессорных станциях» [6].

Таблица 1

Результаты измерений объемов выбросов загрязняющих веществ при изменении режима отбора воздуха и скорости вращения свободной турбины

Частота вращения свободной турбины, об/мин	Минимальная		Рабочая		Максимальная		
	4030 об/мин		4250 об/мин		4410 об/мин		
Отбор воздуха	откр.	закр.	откр.	закр.	откр.	закр.	
Концентрация, мг/м <sup>3</sup>	NO	16,8	12,3	26	17,8	31,5	24,7
	NO <sub>2</sub>	27,9	14	24,4	13,2	24,4	13,4
	CO	385	297	358,8	281,9	323,5	252,7
Валовый выброс, т/год	NO	3,54	2,85	4,38	3,87	6,13	5,68
	NO <sub>2</sub>	9,14	2,2	11,3	7,36	13,7	9,98
	CO	126,19	98,8	121,48	98,72	117,43	94,74
S	138,87	103,85	137,16	109,95	137,26	110,4	
Δ, %	22		20		19,5		