

УДК 621.515:621.791.3

Исследование сплава на основе никеля 718 (N07718) для изготовления рабочих колес центробежных компрессорных установок

Е.Р. Ибрагимов, Е.Н. Поморцев, З.Р. Габдрахманова

(АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа», Группа ГМС, г. Казань)

Надежность и целостность компрессорного оборудования напрямую связана со сроком его эксплуатации. Главными причинами снижения ресурса такого оборудования являются коррозионные повреждения и их эрозионно-механический износ. Широкий спектр условий среды, свойственный нефтегазовой индустрии, делает необходимым разумный и экономически эффективный подбор материалов и мер по борьбе с коррозией. Никелевый сплав 718 широко используется в различных отраслях промышленности, благодаря своим превосходным механическим свойствам и коррозионной стойкости в агрессивных средах. В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований физико-механических свойств и структуры образцов, полученных по технологии пайки из никелевого сплава 718 (N07718). Для пайки сплава 718 были выбраны припои на основе никеля. Установлено, что данные припои позволяют получать высокую прочность паяных соединений, соизмеримой с пределом текучести основного металла, что свидетельствует о высокой адгезии припоев к основе. Показаны морфологические особенности структурообразования паяных швов, полученных с помощью высокотемпературной вакуумной пайки припоями на основе никеля. По результатам отработки временного и температурного режимов разработана технология пайки никелевого сплава 718 (N07718). Никелевый сплав 718 (N07718) рекомендован для изготовления рабочих колес паяной конструкции центробежного компрессора.

Ключевые слова: центробежный компрессор, рабочее колесо, никелевый сплав 718, пайка, механические свойства.

Investigation of nickel-based alloy 718 (N07718) for the manufacture of impellers of centrifugal compressors

E.R. Ibragimov, E.N. Pomortsev, Z.R. Gabdrakhmanova

(NIIturbokompressor named after V.B. Shneppe, HMS Group)

The reliability and completeness of compressor equipment is directly related to its service life. The main reasons for reducing the resource of such equipment are corrosion damage and their erosion and mechanical wearing out. A wide range of environmental conditions, which are characteristic of the oil and gas industry, makes it necessary to make a reasonable and cost-effective selection of materials and measures to corrosion protection. The nickel alloy 718 is widely used in various industries due to its excellent mechanical properties and corrosion resistance in aggressive environments. This research presents the results of experimental studies of the physical and mechanical properties and structure of samples obtained by brazing technology from nickel alloy 718 (N07718). Nickel-based brazing alloy were chosen for brazing alloy 718. It is established that these brazing alloys allow obtaining high strength of brazed joints commensurate with the yield strength of the base metal, which indicates high adhesion of solders to the base. The morphological features of the structure formation of brazed seams obtained by high-temperature vacuum brazing with nickel-based brazing alloys are shown. Based on the results of working out the time and temperature conditions, the technology of brazing nickel alloy 718 (N07718) has been developed. Nickel alloy 718 (N07718) is recommended for the manufacture of impellers of the brazing design of a centrifugal compressor.

Keywords: centrifugal compressor, impeller, nickel alloy 718, brazing, mechanical properties.

Введение

Центробежные компрессорные установки являются важнейшим оборудованием для повышения давления и транспортировки газов, которые используются в технологических процессах нефтехимической и газовой промышленности, металлургии, энергетике, машиностроении и других промышленных

отраслях. Широкое применение центробежных компрессоров в различных отраслях промышленности ставит задачи повышения надежности как отдельных деталей и элементов компрессоров, так и работы всей компрессорной установки в целом [1].

Перспективным материалом, отвечающим требованиям по длительной прочности, долговечности и



Марка сплава	Массовая доля основных легирующих элементов, %						
	Ni	Cr	Nb+Ta	Mo	Ti	Al	Co
Alloy 718 (N07718)	50,0-55,0	17,0-21,0	4,87-5,20	2,80-3,30	0,80-1,15	0,40-0,60	1,00 max

надежности, является жаропрочный никелевый сплав 718 (N07718). Он обладает необходимой коррозионной стойкостью, а также высокими показателями механической прочности, благодаря чему, широко применяется для изготовления наиболее ответственных деталей машиностроения [2, 3].

Особый интерес вызывает применение данного сплава для рабочих колёс компрессоров, которые эксплуатируются в высоко-коррозионных средах. Поскольку, применяемые на сегодняшний день, высокопрочные стали (например, 07X16H6), имеют высокую чувствительность к коррозионному растрескиванию под напряжением. Сочетание химических элементов, входящих в состав сплава, обеспечивает сплаву 718 высокую стойкость против коррозионного растрескивания, что позволяет применять его при нефтедобыче, в средах кислого газа, содержащих H_2S , CO_2 и хлориды.

Целью работы является исследование влияния параметров технологического процесса на микроструктуру и механические свойства образцов сплава на основе никеля 718 (N07718), полученных с помощью технологии пайки.

Материалы и методы исследования

Объектами исследований являются образцы никелевого сплава 718 (N07718), химический состав которого представлен в таблице 1.

Заготовки из сплава 718 прошли предварительную термообработку по режиму: закалка при 1030 °C, выдержка 1,5 ч, охлаждение на воздухе; старение при 795 °C, выдержка 6 ч, охлаждение на воздухе.

Для пайки образцов использовались припои на основе никеля, которые представлены в таблице 2. Данные припои имеют хорошие технологические свойства, обеспечивают хорошую прочность и коррозионную стойкость паяных соединений [4, 5].

Для имитации условий изготовления паяного рабочего колеса, из исследуемого сплава были изготовлены заготовки размером 37x42x14 мм и 37x42x18 мм с чистотой поверхности R_a 1,6. Схема сборки образца под пайку представлена на рисунке 1. Перед сборкой образцы металла и припойная лента обезжиривались бензином типа «Калоша» ГОСТ 443-76 и ацетоном техническим ГОСТ 2768-84. Пластины металла собирались на прихватках, с предварительно уложенной в зазор, лентой припоя, как показано на рисунке 1. Для наиболее полного заполнения па-

Марки исследуемых припоев

Таблица 2

Марка припоя	Состав основных элементов
Припой №1	Ni-Cr-Si-Fe-B
Припой №2	Ni-Cr-Co-Si-Mo
Припой №3	Ni-Cr-Si-Fe-B
Припой №4	Ni-Si-B
Припой №5	Ni-Cr-Si-B-Fe
Припой №6	Ni

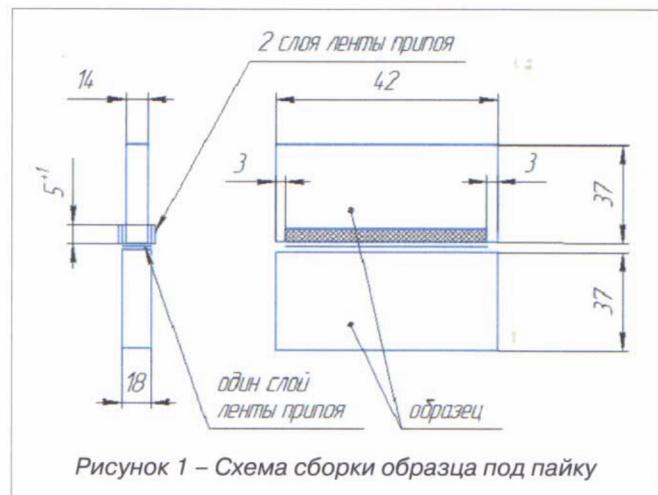


Рисунок 1 – Схема сборки образца под пайку

яного шва, применялась боковая укладка ленты припоя. Также изготавливались образцы-свидетели для испытаний свойств основы никелевого сплава. Образцы-свидетели проходили, совместный с паяными образцами, режим обработки. Пайка образцов выполнялась в вакуумных печах СЭВ 11,5 и СЭВ 5,5. Для каждого припоя отрабатывался временной и температурный режимы пайки. После пайки выполнялась термическая обработка образцов.

Для определения качества паяных соединений образцов, оценивались следующие критерии:

- физико-механические свойства, характеризующие адгезионную прочность соединений;
- технологичность, характеризующая способность заполнять зазор;
- микроструктура – для оценки диффузионной способности и степени структурных изменений металла основы в околосшовной зоне.

Спаянные образцы подвергались визуальному

осмотру, на предмет смачиваемости основы, заполнения припоем зазора и наличия галтели с помощью лупы ЛП-1-4х. Исследование механических свойств паяных соединений проводилось на универсально-испытательной машине FP100/1, для чего были изготовлены цилиндрические образцы в соответствии с ГОСТ 28830-90. Образцы-свидетели основного металла подвергались испытаниям на растяжение по ГОСТ 1497-84 и на ударный изгиб по Шарпи по ГОСТ 9454-78 с помощью маятникового копра ТСКМ-300.

Исследования микроструктуры образцов после травления проводились на оптическом микроскопе BX51-OLYMPUS и стереоскопическом микроскопе МБС-2М.

Экспериментальные результаты

На графике приведены данные по результатам испытаний на растяжение образцов сплава 718 (N07718), полученных с использованием различных припоев (рисунок 2 а и б). Механические свойства образцов-свидетелей основного материала представлены в таблице 3.

Как видно из рисунка, наилучшие прочностные показатели паяных соединений продемонстрировали все припои, кроме припоя №2. Соединения, полученные данными припоями, имеют прочность паяных соединений на разрыв, соизмеримой с пределом текучести основного материала, что свидетельствует о высокой адгезии припоев к основе. Температура пайки данными припоями составляла 1050-1070°C.

Прочностные свойства образцов, паяных припоеем №2, оказались ниже, чем у остальных припоев, а также отмечено снижение физико-механических свойств основного металла. Излом основного металла от испытаний на работу удара имеет камневидный хрупкий характер, что указывает на перегрев, полученный в процессе пайки (температура пайки составляла 1150°C).

Визуальным осмотром и микроисследованием установлено, что паяные образцы имели удовлетворительную галтель, не имели поднутрений, имели

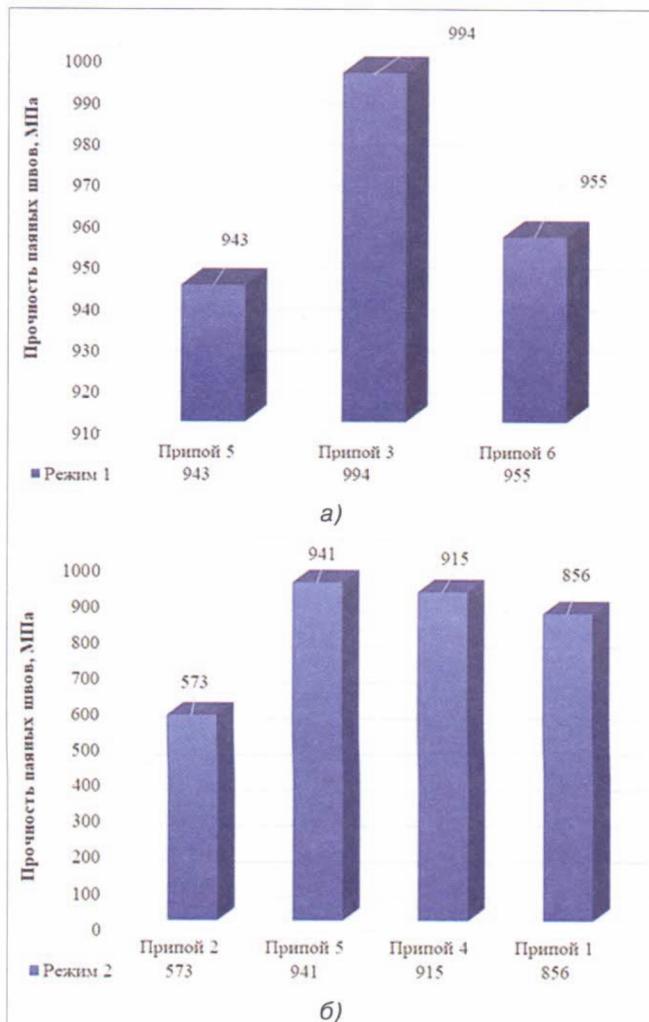


Рисунок 2 – Прочность паяных соединений

проплав на всю глубину, что свидетельствует об удовлетворительных температурных режимах и расчёте количества припоя. Установлено, что образцы, прошедшие пайку в печи СЭВ 5,5, имеют потемнение поверхности, в отличие от образцов, прошедших пайку в печи СЭВ 11,5, где образцы имели металлический

Механические свойства образца основного материала

Таблица 3

Режим пайки и термообработки	Механические свойства					
	Предел прочности σ _в , МПа	Предел текучести σ _т , МПа	Отн. удлинение δ, %	Отн. сужение ψ, %	Работа удара KV, Дж при 20°C	Твердость HRC
Т пайки 1150°C + ТО 1	955	834	9	19	37,6	37
Т пайки 1050°C + ТО 2	1250	980	26	40	140	37
Т пайки 1070°C + ТО 3	1151	887	21	30,5	91,4	39



блеск, не имели потемнения поверхностей и имели лучшую смачиваемость припоем. Также отмечена нестабильность результатов механических свойств образцов, паяных в вакуумной печи СЭВ 5,5.

Металлографические исследования паяных соединений никелевого сплава 718 показали, что припои на основе никеля формируют швы толщиной до 50-60 мкм. Наблюдается диффузионное проникновение припоя в границы зёрен основного металла глубиной до 100 мкм.



а) в исходном состоянии, увеличение x100

б) паяный припой 5, увеличение x100

Рисунок 3 – Микроструктура образцов никелевого сплава 718 (N07718)

Исследованием установлено, что температура пайки близка к температуре закалки сплава 718 (1030°C-1050°C), что позволяет выполнять совместный процесс закалки (отжига на твёрдый раствор) сплава с процессом пайки.

Заключение

Испытания и исследования сплава 718 показали возможность его применения в конструкции рабочего колеса центробежного компрессора паяного типа.

По проведённому комплексу исследований и результатам отработки временного и температурного режимов, разработана технология пайки никелевого сплава 718 (N07718). Установлено, что припои на основе никеля №5, №3, №6 имеют наиболее высокую прочность паяных соединений, соизмеримой с пределом текучести основного материала, что свидетельствует о высокой адгезии припоея к основе. Данные припои рекомендованы для изготовления рабочих колес из никелевого сплава 718 (N07718) паяной конструкции.

Список литературы

1. Проектирование и эксплуатация промышленных центробежных компрессоров / И.Г. Хисамеев, В.А. Максимов, Г.С. Баткис, Я.З. Гузельбаев. – Казань: Изд-во «ФЭН», 2010. – 671 с.

2. API STD 6ACRA. Age-hardened nickel-based alloys for oil and gas drilling and production equipment. – American Petroleum Institute (API), 2019. – 56 р.

3. ANSI/NACE MR0103/ISO 17495-1:2016. Нефтяная, нефтехимическая газовая промышленность – Металлические материалы, стойкие к сульфидному растрескиванию под напряжением

в коррозионной среде нефтеперерабатывающих производств. – National Association of Corrosion Engineers, 2015. – 52 с.

4. Петрунин, И.Е. Справочник по пайке / И.Е. Петрунин. – М.: Машиностроение, 2003. – 480 с.

5. Перспективные разработки в области высокотемпературной пайки жаропрочных сплавов / О.Г. Оспенникова, В.И. Лукин, А.Н. Афанасьев-Ходыкин [и др.] // Авиационные материалы и технологии. – 2017. – №5. – С. 144-158.

TERMOОБРАБОТКА
Пятнадцатая международная специализированная выставка

13 - 15 сентября 2022 / Россия, Москва, ЦВК «Экспоцентр», павильон 7

Change language

Ufi Approved Event

Expo Rating

19-я международная специализированная выставка

КРИОГЕН-ЭКСПО
Промышленные газы

13 - 15 сентября 2022
Россия, Москва,
ЦВК "Экспоцентр"

Реклама