

Разработка технологии изготовления рабочих колес из низкоуглеродистой мартенситной стали 1.4313

Е.Р. Ибрагимов, Е.Н. Поморцев, З.Р. Габдрахманова
(АО «НИИТурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа», Группа ГМС, г. Казань)

В последнее время в различных отраслях промышленности широкое применение получили низкоуглеродистые мартенситные стали, благодаря комплексу их свойств – высокие механические свойства и коррозионная стойкость, а также хорошие технологические свойства. Применение данной стали позволит соответствовать требованиям, предъявляемым к материалам рабочих колес центробежного компрессора. Для обеспечения высокой работоспособности рабочих колёс центробежного компрессора, выбранный материал должен соответствовать ряду технических требований.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований физико-механических свойств и структуры образцов, полученных по технологии пайки и сварки из низкоуглеродистой мартенситной стали 1.4313. Установлено, что механические свойства сварных и паяных соединений из стали 1.4313 близки к свойствам основного металла и удовлетворяют требованиям конструкторской документации. Микроструктурный анализ стали после термоупрочнения показал, что структура представляет собой мелкоигльчатый мартенсит. По положительным результатам опытных работ из стали 1.4313 изготовлены экспериментальные рабочие колёса сварной и паяной конструкции, которые прошли заводские испытания и признаны годными, тем самым подтвердив работоспособность материала.

Ключевые слова: центробежный компрессор, рабочее колесо, низкоуглеродистая мартенситная сталь, механические свойства, микроструктура.

Development of manufacturing process impellers from low-carbon martensitic steel 1.4313

E R Ibragimov, E.N. Pomortsev, Z.R. Gabdrakhmanova
(NII turbokompressor named after V.B. Shnepp, HMS Group, Kazan)

Recently, low-carbon martensitic steels have been widely used in various industries because of their properties - high mechanical properties and corrosion resistance, as well as good technological properties. The use of this steel will make it possible to satisfy the requirements for materials of centrifugal compressor impellers. To ensure high working capacity of the impellers of a centrifugal compressor, the selected material must satisfy a number of technical requirements. This research presents the results of experimental studies of the physical and mechanical properties and structure of samples obtained by brazing and welding from low-carbon martensitic steel 1.4313. It has been established that the mechanical properties of welded and brazed joints made of steel 1.4313 are close to those of the base metal and satisfy the requirements of engineering documentation. The microstructural analysis of the steel after thermal hardening showed that the structure is a fine-needled martensite. According to the positive results of experimental work, experimental impellers of welded and brazed design were made from steel 1.4313, which passed manufacturing tests and were pass as ready-for-service, thereby confirming the working capacity of the material.

Keywords: centrifugal compressor, impeller, low-carbon martensitic steel, mechanical properties, microstructure.

Введение

Развитие общего и энергетического машиностроения, химической, нефтехимической и других отраслей промышленности непосредственно связано с эффективной работой компрессорных установок. Для повышения эффективности компрессорного оборудования необходимо использовать новые технологии и подходы к проектированию и изготовлению. Известно, что наиболее важными и ответственными узлами центробежного компрессора, независимо от его типа, являются рабочие колеса, которые работают в напряженно-деформированном состоянии. Конструкция закрытых рабочих колес имеет три ос-

новных элемента: основной и покрывной диски, а также расположенные между ними лопатки (рисунк 1). Рабочее колесо подвержено действию сил газового потока, центробежных сил и сил, возникающих в результате горячей посадки на вал. От эффективности рабочих колес зависит общая эффективность центробежного компрессора [1].

Материал, используемый для изготовления рабочих колес, оказывает большое влияние на выбор технологии производства. К числу требований, предъявляемых к материалам элементов рабочих колес, относятся высокие прочностные свойства, при за-





Рисунок 1 – Рабочее колесо центробежного компрессора

данных надежности и ресурсе, хорошая технологичность и химическая стойкость в рабочих средах.

На сегодняшний день на производствах АО «Казанькомпрессормаш» и АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа» рабочие колеса центробежных компрессоров, в основном, изготавливают из аустенитно-мартенситной стали 07X16H6, которая отвечает требованиям, предъявляемым к материалу. Однако, технологический процесс изготовления колёс из данной стали сравнительно трудоемкий и энергозатратный. Поэтому становится актуальной задача поиска более технологичного материала, отвечающего требованиям рабочего колеса.

На основании опыта зарубежных производителей компрессорной техники предложен материал 1.4313 (X3CrNiMo13-4) EN10250-4. Известно [2, 3], что низкоуглеродистые стали со структурой мартенсита, получаемой охлаждением на воздухе, обладают комплексом высоких механических характеристик и

технологических свойств, обеспечивающим важные преимущества этих сталей для широкого применения в изделиях повышенной прочности. Также хорошая свариваемость в любом состоянии, в том числе, термоупрочненном и высокая стойкость к коррозии делают эти стали актуальными для применения в области компрессоростроения.

Цель данной работы исследовать возможность применения низкоуглеродистой стали мартенситного класса 1.4313 (X3CrNiMo13-4) для изготовления рабочих колёс центробежных компрессоров.

Материалы и методы исследования

Сталь 1.4313 (X3CrNiMo13-4) относится к низкоуглеродистым нержавеющим сталям мартенситного класса, химический состав которой представлен в таблице 1.

Поскольку рабочие колеса центробежного компрессора, как правило, изготавливают сварной или паяной конструкции, для исследования материала 1.4313 (X3CrNiMo13-4) были изготовлены сварные и паяные образцы из металла с химическим составом по сертификату качества, согласно таблицы 1.

Сварка образцов выполнялась ручным аргодуговым способом с помощью сварочной проволоки, которая была выбрана, исходя из химического состава, входящих в нее легирующих элементов, максимально близких по содержанию к элементам основного металла. Пайка образцов была выполнена припоем на основе палладия в вакуумной печи СЭВ 11,5. Технология термообработки стали 1.4313 отражена в нормативном документе EN 10250-4 и отрабатана экспериментальным путем.

В рамках данного исследования были проведены испытания стали 1.4313 на определение механических свойств и микроструктуры. Механические испытания образцов выполнялись на универсаль-

Химический состав стали 1.4313 (X3CrNiMo13-4)

Таблица 1

Стандарт	Содержание элементов, %							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Mo
EN 10250-4	≤ 0,05	max 0,70	max 1,50	12,00-14,00	3,50-4,50	max 0,015	max 0,040	0,30-0,70
Сертификат качества	0,017	0,36	0,66	12,60	3,65	0,003	0,024	0,53

Механические свойства образцов

Таблица 2

Механические свойства образцов	Требования конструкторской документации	Основной металл	Сварное соединение	Паяное соединение
Предел прочности, МПа	≥1019	1039	1064	986
Предел текучести, МПа	≥835	929	886	919
Относительное удлинение, %	≥9	15,2	14,3	13,8
Относительное сужение, %	≥36	70	72,9	40,1

но-испытательной машине FP100/1, для чего были изготовлены цилиндрические образцы в соответствии с ГОСТ 28830-90 и ГОСТ 1497-84. Исследования микроструктуры образцов после травления проводились на оптическом микроскопе и МИМ 8 с видео приставкой Micromet.

Экспериментальные результаты

Механические свойства сварных и паяных образцов представлены в таблице 2. Установлено, что механические свойства сварных и паяных соединений из стали 1.4313 (X3CrNiMo13-4) близки к свойствам основного металла и удовлетворяют требованиям конструкторской документации.

Сталь 1.4313 (X3CrNiMo13-4) упрочняется в две стадии. В начале получают мартенситную структуру с высокой плотностью дислокаций, а затем мартенсит упрочняют в процессе отпуска. Микроструктурный анализ стали 1.4313 показал, что структура представляет собой мелкоигольчатый мартенсит 5-6 балла по ГОСТ 8233-56 (рисунок 2). Низкоуглеродистый мартенсит обеспечивает стали 1.4313 хорошие технологические свойства: уменьшает склонность к выделению карбидов хрома Cr₂₃C₆, препятствуя обеднению хромом материала при выполнении первой стадии упрочнения – заковки. Данное свойство материала позволяет выполнять закалку крупногабаритных деталей на воздухе. Процесс закалки на воздухе уменьшает коробление деталей, по сравнению с процессом закалки на воду высокоуглеродистых марок ряда российских сталей мартенситного и аустенитно-мартенситного класса.

По положительным результатам опытных работ из стали 1.4313 изготовлены экспериментальные рабочие колёса сварной и паяной конструкции. Сварку и пайку экспериментальных рабочих колёс выполняли по разработанным технологическим режимам.

После изготовления и контроля геометрических

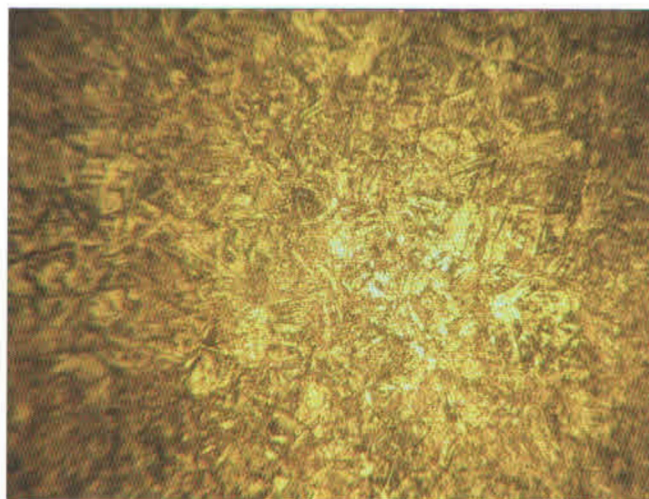


Рисунок 2 – Микроструктура стали 1.4313, увеличение $\times 100$

размеров, рабочие колёса прошли заводские испытания:

1. Цветная дефектоскопия по ГОСТ 18442-80, класс чувствительности II.
2. Механические испытания по ГОСТ 1497-84 и ГОСТ 28830-90.
3. Магнитопорошковая дефектоскопия по ГОСТ Р 56512-2015.
4. Разгонные испытания.

По результатам цветной дефектоскопии экспериментальных рабочих колёс дефекты не были обнаружены.

Механические свойства образцов основного и покрывного дисков рабочих колёс сварной и паяной конструкции представлены в таблице 3. Полученные данные механических свойств экспериментальных рабочих колёс соответствуют требованиям конструкторской документации.

Механические свойства экспериментальных рабочих колёс

Таблица 3

Наименование	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Ударная вязкость КСЧ, кгс·м/см ²
Требования конструкторской документации	≥ 1019	≥ 835	≥ 9	≥ 36	≥ 5
Сварное рабочее колесо (основной диск)	1080	953	18	74	14
Сварное рабочее колесо (покрывной диск)	1079	953	20	72	12
Паяное рабочее колесо (основной диск)	1087	908	21	71	24
Паяное рабочее колесо (покрывной диск)	1020	896	18	70	19

Магнитопорошковая дефектоскопия до и после разгонных испытаний рабочих колёс не выявила наличие дефектов. Рабочие колёса сварной и паяной конструкции прошли заводские испытания и признаны годными, тем самым подтвердив работоспособность материала.

Технологический процесс изготовления рабочих колёс включает многокомпонентную термическую обработку (таблица 4). Технологический цикл термической обработки стали 1.4313 исключает несколько операций, необходимых при термической обработке стали 07X16H6, что позволяет сократить технологический процесс и затраты на изготовление.

Заключение

По результатам комплекса работ марка стали 1.4313 (X3CrNiMo13-4) рекомендована для изготовления рабочих колёс сварной и паяной конструкции центробежных компрессоров. Разработанная технология сварки и пайки стали 1.4313 позволяет получать требуемые механические свойства, необходимые для материала рабочих колёс.

Список литературы

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

Таблица 4
Технология термической обработки рабочих колёс

№	Наименование операции	Сталь	
		07X16H6	1.4313 (X3CrNiMo13-4)
1	Аустенизация	Требуется	Требуется
2	Отжиг	Требуется	Не требуется
3	Отпуск	Требуется	Требуется
4	Обезводораживание	Требуется	Не требуется
5	Сварка		
6	Отжиг после сварки	Требуется	Требуется
7	Пайка		
8	Отжиг	Требуется	Не требуется
9	Закалка	Требуется	Требуется
10	Обработка холодом	Требуется	Не требуется
11	Отпуск / Старение	Требуется	Требуется

2. Клейнер, Л.М. Конструкционные высокопрочные низкоуглеродистые стали мартенситного класса / Л.М. Клейнер, А.А. Шацов. – Пермь: ПГТУ, 2008. – 303с.

3. Клейнер, Л.М. Низкоуглеродистые мартенситные стали: легирование и свойства / Л.М. Клейнер, А.А. Шацов, Д.М. Ларинин // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2010. – № 11. – С. 29-34.

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»



24-27.10.22

Международная специализированная выставка
«Оборудование, технологии и материалы
для процессов сварки и резки»

www.rusweld-expo.ru

Организатор



ЭКСПОЦЕНТР

При поддержке



МИНПРОМТОРГ
РОССИИ

Под патронатом



НАКС

Реклама 12+





СПИД РО



SUPT

