

Внедрение технологичного коррозионно-стойкого материала взамен стали 07Х16Н6 для изготовления рабочих колес центробежных компрессоров

Е.Н. Поморцев, И.Г. Галиахметов, В.И. Чигарин, З.Р. Габдуллина

(ЗАО «НИИтурбокомпрессор им. В. Б. Шнеппа»),

Б.М. Лившиц, Ю.А. Басаркин, Е.П. Тесленко (ОАО «Казанькомпрессормаш»)

Рассмотрены выбор и внедрение более технологичного коррозионно-стойкого материала взамен стали 07Х16Н6 в производство рабочих колес. В качестве заменителя была выбрана сталь ВНС-2. Представлены результаты испытаний образцов основного металла, сварных и паяных соединений ВНС-2. Установлены зависимости механических свойств от режимов термообработки. Разработаны режимы термической обработки для изготовления рабочих колес.

Ключевые слова: сталь ВНС-2, рабочее колесо, термообработка, сварка, пайка, механические свойства, микроструктура

Adoption of technological corrosion resistant material instead of Steel 07X16H6 for production of driving wheels for centrifugal compressors

E.N. Pomortsev, I.G. Galiakhmetov, V.I. Chigarin, Z.R. Gabdullina, B.M. Livshits, Yu.A. Basarkin, E.P. Teslenko

In the article the selection and adoption of more technologically corrosion resistant material instead of Steel 07X16H6 in the driving wheels production is studied. As the substitution Steel BHC-2 was chosen. Test results of the main metal, soldered and welded samples are presented. Dependence between thermal processing modes and mechanical properties are determined. The thermal processing modes for driving wheels are developed.

Keywords: Steel BHC-2, driving wheel, thermal processing, soldering, welding, mechanical properties, microstructure.

Обеспечение работоспособности, эксплуатационной надежности и ресурса эксплуатации компрессорных машин во многом зависит от их материального исполнения. В конструкции центробежной компрессорной установки наиболее нагруженной и ответственной деталью является рабочее колесо (РК), служащее для непосредственного сжатия компримируемой среды. Создание РК – это трудоемкий и наукоемкий технологический процесс. В этой связи приоритетные направления научно-технического развития, особенно в новой технике, зависят от применения новых конструкторских и технологических решений.

Зачастую компримируемые газовые смеси содержат компоненты, которые могут вызывать различные виды коррозии [1].

Для изготовления РК компрессоров для сжатия коррозионных газов в ОАО «Казанькомпрессормаш» и ЗАО «НИИтурбокомпрессор» им. В.Б. Шнеппа применяется сталь 07Х16Н6 аустенитно-марганситного класса. Сталь имеет высокие показатели свариваемости, механических свойств, коррозионной стойкости. Однако ее применение имеет ряд технологических недостатков. Сталь 07Х16Н6 – переходного класса (аустенитно-марганситная), для нее необходима многооперационная термическая обработка (12 операций) для превращения структуры преимущественно в марганситную. В случае получения неудовлетворительных результатов необходима повторная длительная термообработка. Так как термообработка проводится в печах с воздушной атмосферой, это может приводить к изменению размеров проточного

канала РК из-за окисления и окалинообразования поверхности. На проведение такой термической обработки необходимо затратить большое количество электроэнергии и труда.

Данная работа проводилась с целью выбора и внедрения, вызванных экономической и технологической необходимостью, более технологичного коррозионно-стойкого материала взамен стали 07Х16Н6.

Стали, рассмотренные в качестве материала для рабочих колес:

Стали марганситного класса

06Х14Н6Д2МБТ
ВНС-16
05Х14Н5ДМ
09Х16Н4Б
ВНС-2
03Х11Н10М2Т

Разработчик

ФГУП «ВИАМ»
ФГУП «ВИАМ»
ОАО «ЦНИИТМАШ»
–
ФГУП «ВИАМ»
ОАО «ЦНИИТМАШ»

Сталь аустенитно-марганситного класса

13Х15Н4АМ3

ФГУП «ВИАМ»

Механические свойства этих сталей представлены в табл. 1 [2, 3]. По уровню механических свойств, коррозионной стойкости, технологичности и стоимости заготовок для изготовления РК была выбрана сталь ВНС-2. Для установления применимости стали ВНС-2 в качестве материала РК была разработана программа работ по испытанию образцов металла, а также сварных и паяных соединений.

Программа испытаний сварных соединений из стали ВНС-2 включала следующие мероприятия: изготовление образцов, термообработку, определение механических свойств, анализ микроструктуры. Изготовление образ-



Таблица 1

Механические свойства сталей

Марка стали	Механические свойства ¹				
	Временное сопротивление σ_b , МПа	Предел текучести $\sigma_{0.2}$, МПа	Относительное удлинение δ , %	Относительное сужение ψ , %	Ударная вязкость a_h , кгс·м/см ²
06Х14Н6Д2МБТ	1400	1250	11	50	10
ВНС-16	1200	—	—	—	—
05Х14Н5ДМ	950	860	20	60	10
09Х16Н4Б	1000	850	10	45	6
ВНС-2	1230	930	10	55	8
03Х11Н10М2Т	1500	1400	10	50	5
13Х15Н4АМ3	1400	1030	15	50	10

¹Механические свойства существенно зависят от соответствующих режимов термической обработки.

цов заключалось в ковке заготовок, их фрезеровке, предварительной или окончательной термообработке и сварке. Сварка производилась аргонодуговым способом с применением специально разработанных присадок ЭП410У-Ш, ЭП659А-ВИ. Испытания образцов на механические свойства сварных соединений и основного металла производились по ГОСТ 6996–66 [4] на оборудовании центральной заводской лаборатории ОАО «Казанькомпрессормаш».

Необходимо отметить, что для повышения чистоты металла и уменьшения анизотропии свойств сталь для прутков, поковок и труб необходимо получать методом электрошлакового или вакуумно-дугового переплава. Штамповки и поковки из металла электрошлакового переплава для удаления диффузионно-подвижного водорода подвергаются специальному отжигу – обезвожороживанию.

Пайку образцов проводили с использованием припоя ПЖК 1000 при температуре 1250°C. Паяные образцы подвергали термообработке и испытывали на прочность по ГОСТ 28830–90 [5].

Принимая во внимание технологию изготовления паяных, сварных и сварно-паяных РК в ОАО «Казанькомпрессормаш», для получения необходимого и достаточного уровня механических свойств ВНС-2 отрабатывались различные режимы термообработки (ТО). По проведенным режимам ТО исследовали микроструктуру образцов (темплеты) основного металла на микроскопе МИМ 8М. Способ травления – электролитический, в качестве химического реагента использовали раствор щавелевой кислоты.

На рис. 1 приведены зависимости механических свойств (σ_b , $\sigma_{0.2}$, δ , ψ , a_h) основного металла ВНС-2 от температуры старения. Как видно, высокие показатели механических свойств ВНС-2 достигнуты при температуре старения 450...480°C.

На рис. 2 и 5 представлены микроструктуры основ-

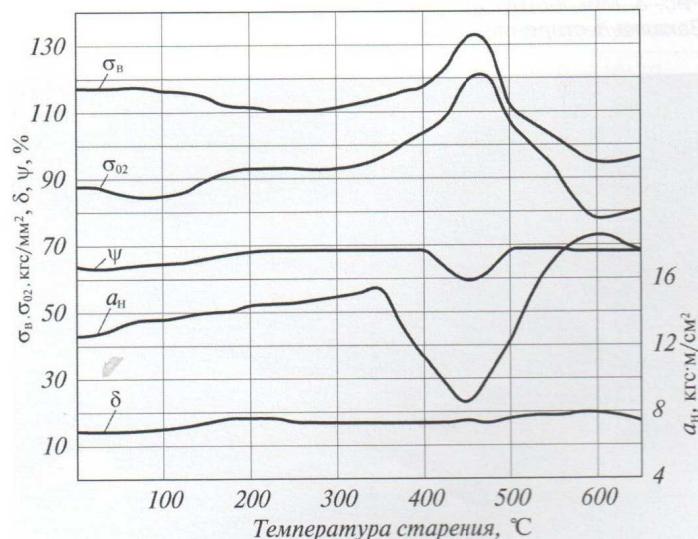


Рис. 1. Влияние температуры старения на механические свойства стали ВНС-2



Рис. 2. Микроструктура образца с карбидной сеткой. Закалка + старение (510°C). $\times 300$



Рис. 3. Микроструктура образца.
Закалка + старение (450°C). $\times 300$

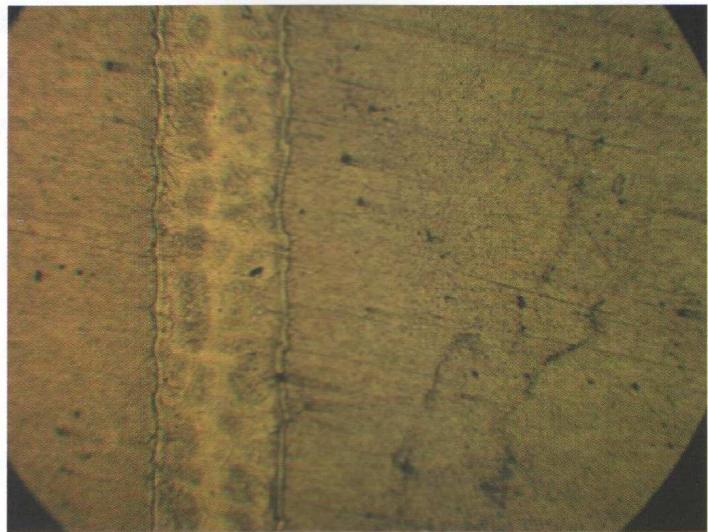


Рис. 6. Микроструктура паяного шва, формированного припоем ПЖК-1000 с последующей закалкой и старением. $\times 300$



Рис. 4. Микроструктура образца.
Закалка + старение (480°C). $\times 300$

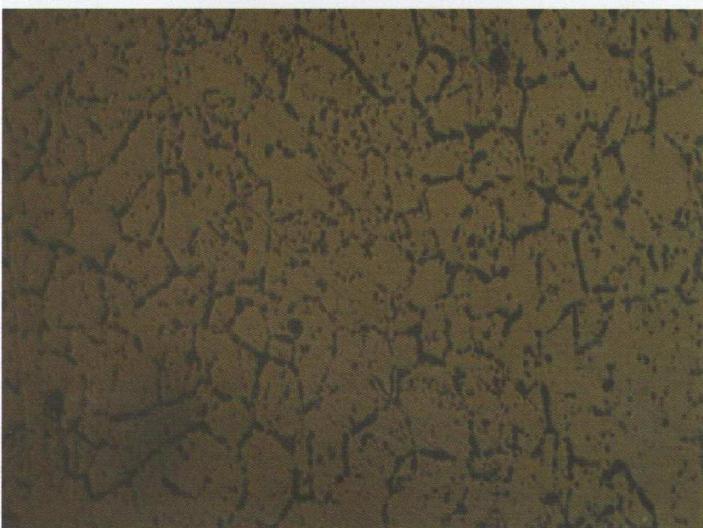


Рис. 5. Микроструктура образца с карбидной сеткой.
Закалка + старение (550°C). $\times 300$

ного металла ВНС-2 с карбидной сеткой, образованные в результате закалки и старения ($510\ldots 550^{\circ}\text{C}$). Выявленная структура представляет цепочку карбидов хрома, объединенную в сетку по границам зерен металла. Наличие зернограничных карбидов, объединенных в сетку, ослабляет межзеренное сцепление, тем самым снижая длительную прочность материала. На рис. 3 – представлены микроструктуры основного металла ВНС-2, образованные в результате закалки и старения ($450\ldots 550^{\circ}\text{C}$). Выявлены дисперсно-выделенные карбиды хрома. Данная структура является наиболее благоприятной.

По данным результатов испытаний образцов ВНС-2, разработаны режимы ТО для изготовления РК, заключающиеся в объемной закалке и старении после пайки припоем ПЖК 1000. Механические свойства паяных образцов из стали ВНС-2 после закалки и старения: закалка ($990 \pm 10^{\circ}\text{C}$, старение (450°C) – $\sigma_{\text{в}} = 1287 \text{ МПа}$; твердость 415 НВ; закалка ($990 \pm 10^{\circ}\text{C}$, старение (480°C) – $\sigma_{\text{в}} = 1104$; твердость 388 НВ.

Разрушение образцов происходило без образования заметной шейки. Микроструктура паяного образца представлена на рис. 6.

По результатам испытаний паяных образцов установлено, что соединения, паяные припоем ПЖК 1000 равнопрочны с основным металлом.

В табл. 2, 3 приведены механические свойства сварных образцов, изготовленных с применением присадок (ЭП410У-Ш, ЭП659А-ВИ) после закалки и старения.

Исследовалась также микроструктура сварного шва, сформированного сварочными проволоками ЭП410У-Ш и ЭП659А-ВИ после термической обработки образцов по приведенным режимам. Установлено, что

Таблица 2
Механические свойства сварных соединений, сформированных присадкой ЭП410У-Ш с последующей закалкой и старением

Режим ТО после сварки	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	a_{H_z} , кгс·м/см ²	HB
Закалка (990±10)°C, старение (450°C)	1326	1141	10	58	8...10	415
Закалка (990±10)°C, старение (480°C)	1056	958	15	62	14...16	341
Закалка (990±10)°C, старение (510°C)	1054	942	13	66	11...14	331

Таблица 3
Механические свойства сварных соединений, сформированных присадкой ЭП659А-ВИ с последующей закалкой и старением

Режим ТО после сварки	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	a_{H_z} , кгс·м/см ²	HB
Закалка (990±10)°C, старение 450°C	1271	1117	11	58	7	415
Закалка (990±10)°C, старение 480°C	1089	999	11	65	10...17	415
Закалка (990±10)°C, старение 510°C	1131	970	15	65	7	415



Рис. 7. Микроструктура сварного шва, сформированного сварочной проволокой ЭП410У-Ш с последующей закалкой и старением. $\times 100$

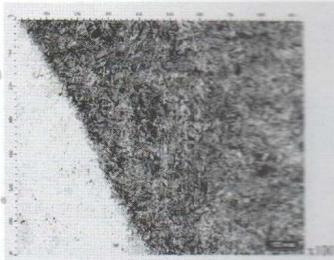


Рис. 8. Микроструктура сварного шва, сформированного сварочной проволокой ЭП659А-ВИ с последующей закалкой и старением. $\times 100$

микроструктуры имеют структуру мартенсита с баллами зерна 8–9, мелкие карбиды, отсутствие остаточного аустенита (рис. 7, 8).

Полученные результаты показали, что сталь ВНС-2 имеет хорошую свариваемость. Следует отметить, что для выполнения условия равнопрочности детали, а также коррозионной стойкости по всему сечению после сварки и пайки необходимо проводить объемную закалку с последующим старением.

На основании полученных данных был проведен сравнительный анализ технико-экономических показателей для сталей 07Х16Н6 и ВНС-2 (табл. 4) [6].

Таким образом, в ходе проведенной работы были установлены зависимости режимов термообработки и механических свойств. Разработаны режимы термиче-

Таблица 4
Технико-экономические показатели сталей 07Х16Н6 и ВНС-2 для изготовления РК

Операция	Сталь	
	07Х16Н6	ВНС-2
Аустенитизация	(1000 ± 20)°C	Не требуется
Отжиг	(770 ± 20)°C	Не требуется
Отпуск	(670 ± 20)°C	(650 ± 10)°C
Обезводороживание	490°C	490°C
Отжиг после сварки	770°C	650°C
Пайка	Припой ПЖК 1000	Припой ПЖК 1000
Закалка	1000°C, вода	Не требуется
Обработка холодом	-70°C, 24	Не требуется
Отпуск	625°C, вода	Не требуется
Отпуск	625°C, вода	Не требуется
Закалка	(990 ± 10)°C, вода	(990 ± 10)°C, вода
Обработка холодом	-70°C, 24	Не требуется
Старение	(360 ± 30)°C	450...480°C
Контроль балла зерна	Проблема получения требуемого балла зерна	Мелкозернистая структура, контроля не требуется
Контроль карбидов хрома	Проблема получения структуры без карбидной сетки	Необходимость контроля
Контроль механических свойств	ТИ 0.002.562	Согласно принятым нормам
Стоимость поковки-шайбы, руб/т	307 000	308 000

ской обработки для изготовления РК, заключающиеся в объемной закалке и старении. По результатам разработанных режимов были изготовлены два опытно-экспериментальных РК, успешно прошедших технологический разгон, тем самым подтвердив работоспособность материала. Также установлено, что при переходе со стали марки 07Х16Н6 на ВНС-2 при изготовлении РК, для получения требуемых свойств материала, количество операций термообработки сократилось с 12 до 5.

Список литературы

- Сокол И.Я., Ульянин Е.А. и др. Структура и коррозия металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1989.
- Марочник сталей и сплавов. Под ред. Зубченко А.С.М.: Машиностроение, 2003.
- ГОСТ 14-1-2918-80. Поковки из высоколегированных сталей и сплавов.
- ГОСТ 6996-66. Сварные соединения. Методы определения механических свойств.
- ГОСТ 28830-90. Соединения паяные. Методы испытаний на растяжение и длительную прочность.
- ТУ 14-1-744-73. Поковки горячекатаные и кованые из стали марки 08Х15Н5Д2ТУ-Ш (ЭП410У-Ш) и 08Х15Н5Д2ТУ-ВД (ЭП410У-ВД).