УДК 621.51

Исследование материала рабочих колес центробежного компрессора зарубежного производства

Е.Н. Поморцев, В.И. Чигарин, З.Р. Габдрахманова
(АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа», Группа ГМС)

Исследованы свойства стали, применяемой для изготовления рабочих колес зарубежного центробежного компрессора, а также сравнение её с отечественными аналогами. Выполнен анализ химического состава, механических свойств и микроструктуры стали. Установлено, что технология изготовления рабочего колеса зарубежным производителем имеет ряд особенностей.

Ключевые слова: *центробежный компрессор, рабочее колесо, сталь, химический состав, механические свойства, металлографический анализ.*

Research of the material of a centrifugal compressor impellers of foreign manufacture

E.N. Pomortsev, V.I. Chigarin, Z.R. Gabdrahmanova
(JSC «NIIturbocompressor n.a.V.B. Shnepp», HMS Group)

The properties of steel used for the manufacture of impellers of a foreign centrifugal compressor have been studied here, as well as its comparison with domestic analogs. The chemical composition, mechanical properties and microstructure of steel are analyzed. It is established that the manufacturing technology of the impeller by a foreign manufacturer has a number of features.

Keywords: *centrifugal compressor, impeller, steel, chemical composition, mechanical properties, metallographic analysis.*

Центробежный компрессор является одним из основных типов установок в компрессоростроении, который обеспечивает успешное развитие и стабильную работу нефтегазовой, нефтехимической, машиностроительной и других отраслей. К числу наиболее ответственных деталей компрессора относятся рабочие колёса, которые работают в напряженно-деформированном состоянии. Выбор материала колёс осуществляется, исходя из свойств материала, в рабочих условиях эксплуатации. К числу требований, предъявляемых к материалам элементов рабочих колес, относятся высокие прочностные свойства при заданных надежности и ресурсе, хорошая технологичность и химическая стойкость в рабочих средах. В основном, в компрессорных установках, изготавливаемых на базе АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа», в качестве материала колес используется коррозионностойкая сталь аустенитно-мартенситного класса.

Поскольку развитие современной компрессорной техники неразрывно связано с проблемой повышения ресурса и долговечности деталей и узлов промышленных центробежных компрессорных установок, с технической точки зрения вызывает интерес мировая практика применения зарубежных конструкционных сталей.

В производственный комплекс АО «НИИтурбокомпрессор им.В.Б.Шнеппа» для технической диагностики поступил двухколёсный ротор японской фирмы со сроком эксплуатации около 40 лет. На рабочих колёсах имелась значительная выработка от коррозии и эрозии. Рабочее колесо представляло собой трёхзвенную сварную конструкцию с наружным диаметром 570 мм, состоящую из лопаток основного и покрывного дисков.

Целью проводимой работы было исследование свойств стали, применяемой для изготовления рабочих колес зарубежного производства, а также сравнение её с отечественными аналогами.

Анализ материалов, из которых изготовлен импортный ротор

В рабочей документации на японский ротор были представлены марки материалов деталей ротора и определены их ближайшие отечественные аналоги (табл. 1). Для данного исследования наибольший интерес представлял материал сварного рабочего колеса. Ближайший отечественный аналог материала колеса – сталь 40ХН2МА (ГОСТ 4543). Особенность исследования заключается в том, что в сварной конструкции колеса применена трудносвариваемая марка стали [1].

Методы исследования

Для исследования свойств стали были вырезаны образцы из периферии и ступичной части рабочего колеса. Фактическую массовую долю химических элементов определяли с помощью оптико-эмиссионного спектрометра PMI-Master Smart. Испытания на определение прочностных характеристик проводились на разрывной машине FP-100/1 согласно ГОСТ 1497. Твердость определяли по ГОСТ 9012, а ударную вязкость – по ГОСТ 9454. Металлографические исследования проводились с помощью оптического микроскопа Olympus GX-51.

Результаты исследования и их обсуждение

Химический состав материала рабочего колеса представлен в табл. 2. Результаты механических испытаний основного материала рабочего колеса представлены в табл. 3. Ввиду отсутствия возможности вырезки образцов, выполнить механические испытания сварного соединения не представилось возможным.

По результатам оценки твердости было установлено, что твердость сварного шва рабочих колёс на 30-35% ниже твердости основного материала, что указывает на меньшую прочность наплавленного металла по сравнению с основой. В соответствии с ГОСТ 8479 твердость 217-229 НВ может находиться в диапазоне предела текучести 440-490 МПа. Данный показатель ниже предела текучести материала основы 735-785 МПа при НВ 288-311.

Марки материалов основных деталей ротора *Таблица 1*

Наименование деталей	Марка материала	Отечественный аналог
Рабочее колесо	SNCM8	40ХН2МА
Вал	SCM4	38ХМА
Втулка вала	SUS 304	08Х18Н10
Упорный диск	S45C	45

Макро- и микроструктурные исследования образцов представлены на рис.1-4.

По результатам металлографического исследования установлено, что металл рабочего колеса в местах сварных соединений имеет зону термического влияния (ЗТВ) (рис. 2), что указывает на отсутствие проведения высокотемпературной обработки (термоулучшения) после сварки. Известно [2], что в зоне термического влияния в результате неравномерного нагрева и охлаждения наиболее резко изменяются структура и свойства основного металла: снижается пластичность и ударная вязкость, возникают растягивающие напряжения. Вероятно, данное изменение свойств частично устранено изготовителем последующим отпуском для снятия напряжений.

Для установления последовательности выполнения операций сварки и термообработки рабочих колёс зарубежным производителем, была выполнена термообработка образца по режимам, применяемым для стали 40ХН2МА КП 735-785 по ГОСТ 8479 (рис. 3-4).

Химический состав материала *Таблица 2*

Марка материала	Массовая доля элемента, %						Ближайший отечественный аналог
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	
SNCM8 – основа	0,395	0,733	0,207	0,786	1,69	0,168	Сталь 40ХН2МА ГОСТ 4543
Наплавленный металл сварного шва	0,199	0,878	0,296	0,441	2,98	0,211	Аналогов не найдено

Механические свойства основного материала *Таблица 3*

Марка материала	Предел текучести, кгс/мм^2	Временное сопротивление, кгс/мм^2	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Ударная вязкость KCU кгс • м/см^2	Число твердости НВ
SNCM8	91,6	100,9	11,7	35	7,2 (при +20°С)	Основа 288-311
					3,1 (при –60°С)	ЗТВ* 255-269
						Св. шов 217-229

**ЗТВ – зона термического влияния (зона сплавления и зона крупного зерна)*

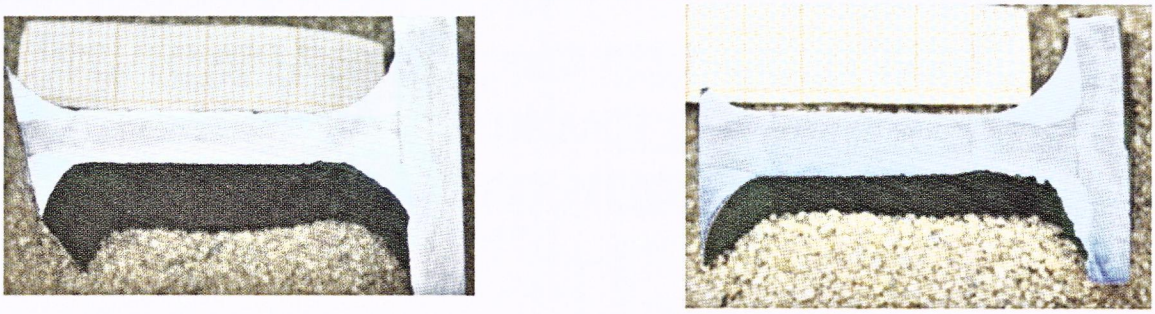
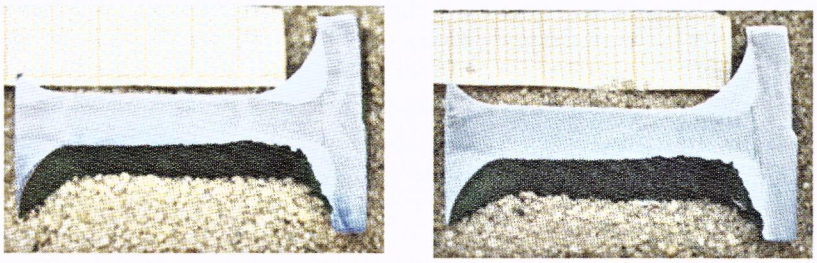


Рис. 1. Образцы-темплеты (поперечное сечение лопатки, основного и покрывного дисков) после травления на макроструктуру

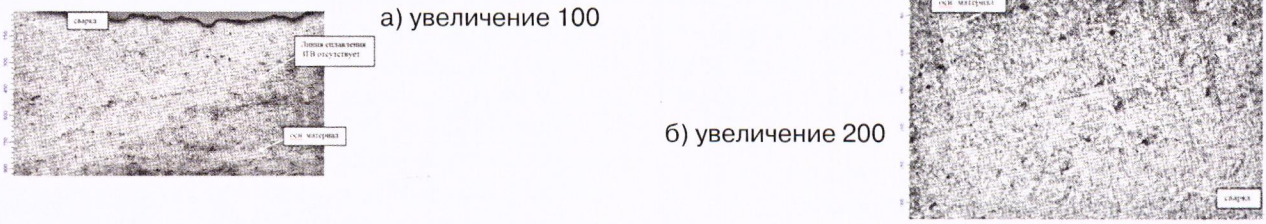
а) увеличение 100 б) увеличение 200

Рис. 2. Микроструктура в зоне сварки (большой темплет до термообработки)



а) до термообработки б) после термообработки

Рис. 3. Макроструктура поперечного сечения образца до и после термообработки (малый темплет)



а) увеличение 100

б) увеличение 200

Рис. 4. Микроструктура в околошовной зоне после термообработки (малый темплет). Структура сорбит

По результатам металлографического исследования установлено, что металл рабочего колеса в местах сварных соединений имеет зону термического влияния (ЗТВ) (рис. 2), что указывает на отсутствие проведения высокотемпературной обработки (термоулучшения) после сварки. Известно [2], что в зоне термического влияния в результате неравномерного нагрева и охлаждения наиболее резко изменяются структура и свойства основного металла: снижается пластичность и ударная вязкость, возникают растягивающие напряжения. Вероятно, данное изменение свойств частично устранено изготовителем последующим отпуском для снятия напряжений.

Для установления последовательности выполнения операций сварки и термообработки рабочих колёс зарубежным производителем, была выполне-

на термообработка образца по режимам, применяемым для стали 40ХН2МА КП 735-785 по ГОСТ 8479 (рис. 3-4).

Проведенный нами эксперимент, заключающийся в закалке и отпуске (термоулучшение) образца, показал отсутствие зоны термического влияния (рис. 4). Это позволило установить, что окончательная термообработка на требуемые механические свойства, была произведена в заготовках дисков до их сварки.

Выводы

1. Технология изготовления рабочего колеса японским производителем отличается от технологии изготовления производства АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа».

2. В материальном исполнении рабочих колёс японского ротора не применён принцип равной прочности основы и сварного соединения. Установлено, что прочность сварного соединения колёс составляет 60-65% от прочности основного материала.

3. Установлено, что в качестве материала рабочего колеса применена трудносвариваемая сталь, склонная к образованию холодных трещин при сварке. Для сталей подобного химического состава рекомендован предварительный и сопутствующий подогрев при сварке с последующим отпуском для снятия напряжений.

4. Установлено, что сварка рабочего колеса производителем выполнялась через межлопаточные полости.

5. Применение сварочных материалов из легированных сталей с пределом текучести 440-490 МПа снижает вероятность растрескивания швов рабочих колёс по сравнению с более прочными сварочными материалами, не снижая надёжности конструкции изделия.

6. Установлено, что сварка рабочего колеса с последующим отпуском для снятия напряжений технологически выполнялась после термоулучшения. Таким образом, применен наиболее эффективный способ производства рабочих колёс.

Список литературы

1. *Зубченко А.С.* Марочник сталей и сплавов / А.С. Зубченко и др. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.

2. *Лахтин Ю.М.* Материаловедение / *Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева* – М.: Машиностроение, 1980. – 493 с.