



Научно-технический
и информационный журнал

Журнал зарегистрирован
в Минпечати РФ
Рег. свид. ПИ №7-11904

Учредители

Ассоциация компрессорщиков
и пневматиков
ООО «Издательство «КХТ»

Издатель

ООО «ИИЦ «КХТ»

Главный редактор

Галеркин Ю.Б., д.т.н., проф.
Yu.B. Galerkin, doctor of Engineering
Science
yuri_galerkin@mail.ru

Зам. главного редактора

Морозова Э.И.
E.I. Morozova
morozova@chemtech.ru

Научный редактор

Крузе А.С.

Редакционная коллегия

Амин Хаджу, д.т.н.

Amin Haghjoo (Germany),
PhD Technology Leader

Бухолдин Ю.С., канд. техн. наук

Bukholdin Yu.S. (Ukraine), cand. of Eng. Sc.

Демиков К.Е., д.т.н., проф.

Demikhov K.E., d-r of Eng. Sc., prof.

Захаренко В.П., д.т.н., проф.

Zakharenko V.P., d-r of Eng. Sc., prof.

Игнатъев Д.К., к.т.н.

D.K. Ignatiev (USA), PhD(Eng)

Кузнецов Л.Г., д.т.н., проф.

Kuznetsov L.G., d-r of Eng. Sc., prof.

Кулагин В.А., д.т.н., проф.

Kulagin V.A., d-r of Eng. Sc., prof.

Парафейник В.П., д.т.н., проф.

Parafeinik V.P. (Ukraine), d-r of Eng. Sc., prof.

Сальников С.Ю., канд. техн. наук

Salnikov S.Yu., cand. of Eng. Sc.

Сухомлинов И.Я., д.т.н., проф.

Sukhomlinov I.Ya., d-r of Eng. Sc., prof.

Хисамеев И.Г., д.т.н., проф.

Khisameev I.G., d-r of Eng. Sc., prof.

Цыганков А.В., д.т.н., проф.

Tsigankov A.V., d-r of Eng. Sc., prof.

Шайхутдинов А.З., канд. техн. наук

Shaikhutdinov A.Z., cand. of Eng. Sc.

Ян Крысинский, д.т.н., проф.

Ian Krysynski (Poland), D.Sc., PhD, D.h.c.

mult

Ян Кеннет Смит, д.т.н., проф.

Ian Kenneth Smith (UK), B.Sc(Eng), DIC, PhD

Дизайн и компьютерная верстка

Япин О.Ю.

Адрес редакции

107258, Москва,
ул. 1-я Бухвостова, 12/11,
ИИЦ «КХТ»
Для почты: 107061, Москва, п/о 061, а/я 547,
ИИЦ «КХТ»
Тел./факс: (495) 223-66-35
E-mail: info@chemtech.ru
www.compressortech.ru

Журнал входит в перечень ВАК РФ

Юридическую ответственность
за достоверность рекламы
несут рекламодатели.
Полная или частичная перепечатка
материалов допускается только
с письменного разрешения редакции.

© «Компрессорная техника и пневматика», 1991

Сдано в набор 20.07.2016.
Подписано в печать 10.08.2016.
Формат 60×90/8. Печать офсетная.
Усл.-печ.л. 5,0. Зак. 1395

Отпечатано в ООО «АМА-пресс»,
111116, Москва., Зельев пер., 3

Компрессорная техника и Пневматика

Compressors & Pneumatics

6/сентябрь
2016

СОДЕРЖАНИЕ

Мехника

Хоринек А., Пестов Д.А., Москаленко Д.С.

Преимущества компрессорных клапанов с профилированными пластинами
A. Horinek, D. Pestov, D. Moskalenko. Compressor Valves Benefit from Profiled Plate 2

Расчет и конструирование

Бусаров С.С., Гошля Р.Ю., Громов А.Ю., Недовенчаный А.В., Бусаров И.С., Титов Д.С.

Математическое моделирование процессов теплообмена
в рабочей камере тихоходной ступени поршневого компрессора
S.S. Busarov, R.Yu. Goshlya, A.Yu. Gromov, A.V. Nedovenchany, I.S. Busarov, D.S. Titov.
Mathematical Modeling of Processes of Heat Exchange in the Working Chamber of Low-speed
Reciprocating Compressors STAGE 6

Галеркин Ю.Б., Дроздов А.А., Рекстин А.Ф., Солдатова К.В.

Альтернативный способ расчета характеристики коэффициента
теоретического напора центробежного компрессорного колеса
Yu.B. Galerkin, A.A. Drozdov, A.F. Reksin, K.V. Soldatova. Alternative
Method of Centrifugal Compressor Loading Factor Modeling 11

Чернявский Л.К. Профилирование сварных входных устройств

центробежных компрессоров с радиальным подводом газа
L.K. Chernyavsky. Shaping of Centrifugal Compressors input Devices
having Weld Construction and Radial Intake 19

Кузнецов Ю.В., Никифоров А.Г.

Расчет количества сконденсированной влаги при охлаждении сжатого воздуха
Yu.V. Kuznetsov, A.G. Nikiforov. The Calculation of the Amount
of Condensed Moisture on Cooling the Compressed Air 23

Теория и методы испытаний

Кистойчев А.В., Машечкин Н.В., Урьев Е.В.

Вибрационная надежность турбокомпрессоров на магнитных подшипниках
A.V. Kistoychev, N.V. Mashechkin, E.V. Ur'ev. Vibrational Reliability
of Turbochargers on Magnet Bearings 29

Сусликов Э.В., Мазитов И.Д., Ахметзянов А.М., Сальников С.В., Москалев А.В.

Стенд-имитатор центробежного компрессора
с электромагнитным подвесом ротора
E.V. Suslikov, I.D. Mazitov, A.M. Akhmetzyanov, S.V. Salnikov, A.V. Moskalyov.
Simulator Stand for Centrifugal Compressor with Electromagnetic Suspension of the Rotor 34

Энергетическое машиностроение

Крюков О.В.

Стартер-генераторные комплексы газотурбинных газоперекачивающих агрегатов
O.V. Kryukov. The Starter-Generator Complexes of Gas-turbine Gas Compressor Units 38

Технологии

Чигарин В.И., Поморцев Е.Н. Применение в компрессоростроении

аморфных и порошковых сплавов для защиты сталей от коррозии
V.I. Chigarin, E.N. Pomortsev. Using Amorphous and Powder Alloy
for Steel Cladding in Compressor Construction 43

Информация

Померанцев М.М. Информация о продукции, прошедшей сертификацию

в Ассоциации «СЦ НАСТХОЛ» за июль – август 2016 г. 45

IX Международный промышленно-экономический Форум

«Стратегия объединения» 46

Поздравляем с юбилеем!

Борису Сергеевичу Хрусталеву 70 лет 33

Применение в компрессоростроении аморфных и порошковых сплавов для защиты сталей от коррозии

В.И. Чигарин, Е.Н. Поморцев (АО «НИИТурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа», Группа ГМС)

Проведено исследование возможности применения аморфных сплавов для плакирования сталей. Показаны коррозионная стойкость и жаростойкость лакирующего слоя. Проведены металлографические исследования плакированных образцов. Установлена коррозионная стойкость и жаростойкость, исследована адгезия слоя. Показаны достоинства плакирования.

Ключевые слова: плакирование, коррозионная стойкость, покрытие, аморфный сплав, адгезия

Using Amorphous and Powder Alloy for Steel Cladding in Compressor Construction V.I. Chigarin, E.N. Pomortsev (JSC «NII turbocompressor n.a. V.B. Shnepp», HMS Group)

A possibility of using amorphous alloy for steel cladding was researched. Corrosion and heat resistance of the clad layer was shown. Material study of the clad samples was conducted. The corrosion and heat resistance was determined, the layer adhesion was examined. The advantages of cladding were shown.

Keywords: cladding, corrosion resistance, coating, amorphous alloy, adhesion.

Статорные узлы, находящиеся в непосредственном контакте с газом, обычно изготавливаются из углеродистых и низколегированных сталей, обладающих низкой коррозионной стойкостью. Вместе с тем большинство газовых смесей содержат коррозионные компоненты и влагу, которые приводят к коррозионному и эрозионному изнашиванию поверхностей деталей газового тракта центробежных компрессоров. При этом увеличивается шероховатость поверхностей деталей, а также вероятность налипания на них продуктов среды (коксования), что в определенной степени препятствует прохождению газа по тракту, снижает ресурс оборудования и его надежность. Появление продуктов коррозии на углеродистых и низколегированных сталях возможно уже в процессе транспортировки оборудования до места монтажа. В связи с этим технически и экономически целесообразно для защиты статорных деталей применять коррозионно-стойкие покрытия.

Наиболее распространенные способы нанесения покрытий для увеличения коррозионной стойкости поверхностей деталей газового тракта центробежных компрессоров представлены в таблице.

Проведенный анализ показал перспективность плакирования металлов прецизионными аморфными и порошковыми сплавами. Эти сплавы на основе никеля разрабатываются, как правило, для создания неразъемных соединений способом пайки и обладают высокой жидкотекучестью и адгезией к паяемым материалам, а также коррозионной стойкостью [1].

Плакирование поверхностей аморфным ленточным сплавом на основе никеля как наиболее перспективный способ покрытия был опробован при изготовлении статорных узлов компрессорной установки 4ГЦ2-130/6-65 для Оренбургского ГПЗ. Компрессор эксплуатируется в линии переработки высокосернистого углеводородного газа при парциальном давлении сероводорода $p_{H_2S} =$

Способ покрытия	Достоинства	Недостатки
Гальванический		
Химический	Высокая коррозионная стойкость	Низкая адгезия, хрупкость покрытия
Погружение в расплав		
Плазменное напыление	Высокая адгезия, коррозионная стойкость	Невозможность обработки всех поверхностей, высокая стоимость оборудования
Плакирование	Высокая адгезия, коррозионная стойкость	Применение дорогостоящего вакуумного оборудования

$= 0,7$ МПа. Установлено, что на статорных узлах начальных ступеней всасывания эксплуатируемого компрессора имелась значительная выработка поверхностей вследствие коррозионно-эрозионного изнашивания.

Метод нанесения защитного покрытия для сведения к минимуму данного вида изнашивания заключался в фиксации ленты из аморфного сплава на основе никеля на поверхности, требующие защиты от коррозии и эрозии, после чего детали подвергались высокотемпературному вакуумному процессу пайки. В результате данного процесса произошла пайка деталей, а также оплавление и диффузия зафиксированной на поверхностях ленты аморфного сплава [2].

Пайка применяется достаточно часто из-за конструктивной особенности узлов газового тракта. В случае совпадения химического состава припоя и лакирующего материала процесс возможно совместить, что исключит дополнительные трудозатраты и затраты на электроэнергию. В связи с трудоемкостью наложения ленты было предложено заменить ее порошковым материалом.

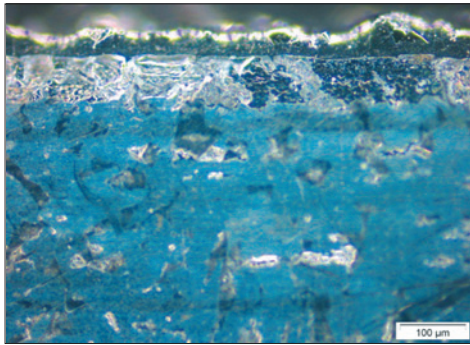


Рис. 1. Микроструктура области взаимодействия плакирующего слоя с основным металлом. $\times 200$

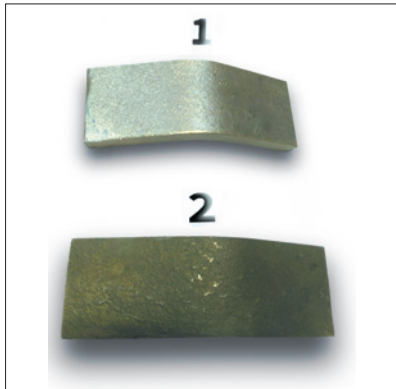


Рис. 2. Образцы с плакирующим слоем до термообработки (1) и после нее (2). $\times 200$

Таким образом, необходимо было разработать технологию пайки рабочих колес и статорных узлов из конструкционной легированной стали порошковым припоем с сопутствующим плакированием поверхностей.

В связи с этим были проведены следующие исследования:

- получение оптимальной по вязкости смеси порошка со связующим сополимером для распыления на различные пространственные поверхности;
- определение химического и грануляционного состава порошка для достижения необходимых технологических свойств и подбор оптимального температурного режима;
- определение адгезионных свойств покрытия.

В качестве плакирующего материала был взят порошок сплава на никелевой основе системы Ni-Co-Cr-W, фракцией 50...100 мкм с температурой плавления 1090...1100°C. В качестве подложки использовали образцы из стали 20.

Образцы помещались в вакуумную печь СЭВ 5/5 и подвергались плакированию при температуре 1140°C и выдержке 15 мин. Визуальным осмотром образцов было установлено, что расплав удовлетворительно растекается по стали.

На рис. 1 представлена микроструктура области взаимодействия плакирующего слоя с основным металлом.

Термическую обработку образцов с плакированным слоем проводили в атмосферной лабораторной печи. Режим обработки: закалка при температуре 900°C с последующим резким охлаждением в воде и отпуск при температуре 650°C. После термообработки было установлено, что плакирующий слой обладает хорошей адгезией с подложкой без образования трещин на границе между плакирующим сплавом и материалом подложки (рис. 2).

Коррозионные испытания образцов проводились по методу АМУ ГОСТ 6032-2003. Установлено, что корро-

зионная стойкость плакирующего слоя зависит от его толщины (значительно увеличивается при увеличении толщины). При наличии на поверхности дефектов нанесения порошка с малым радиусом кривизны при кристаллизации наблюдается сглаживание поверхности. По всей вероятности, это происходит в результате действия сил поверхностного натяжения в условиях сильного разупрочнения материала в процессе структурной перестройки.

Исследование микроструктуры образцов проводилось на микроскопах МИМ-6, МИМ-7, OLIMPUS BX-51.

Установлено, что плакирующий слой толщиной 40...50 мкм распределен равномерно по всей поверхности подложки, глубина диффузии слоя составляет 50...80 мкм. Рельеф поверхности развит незначительно, формируется дендритная структура, которая не зависит от предварительной подготовки поверхности (шероховатости). Величина диффузионной зоны на границе плакирующий слой – сталь зависит от температуры и времени выдержки. Увеличение времени плакирования может привести к увеличению зоны взаимодействия стали и плакирующего сплава, что будет способствовать выравниванию концентрации элементов в плакированной зоне по всему объему.

Таким образом, на основании проведенных исследований установлена возможность плакирования порошковым сплавом на основе никеля поверхностей углеродистых сталей для придания им коррозионной и жаростойкости, что в ряде случаев позволит исключить применение дорогостоящих высоколегированных сталей. Плакирующий слой имеет жаростойкость, достаточную для подавления окисления на поверхности углеродистой стали при нагреве в атмосферной печи до температуры до 900°C, благодаря чему нет необходимости в дополнительной защите поверхности от окисления.

Детали с плакирующим слоем после термической обработки не нуждаются в последующей зачистке, что уменьшает трудозатраты и время обработки изделий.

Предлагаемая технология обработки может найти практическое применение при изготовлении паяных и сварных статорных узлов и рабочих колес.

Список литературы

1. *Справочник по пайке*/Под. ред. И.Е. Петрунина. М.: «Машиностроение», 2003. 480 с.
2. Калин Б.А., Плющев А.Н. Влияние структурного состояния припоя на физико-механические свойства паяных соединений // Сварочное производство. 2001. №8. С. 38–41.