

РОЗДІЛ «МЕХАНІКА. МАШИНОБУДУВАННЯ»

УДК 671.791,927.5

КАМЕЛЬ Г.И., д.т.н., профессор

Днепродзержинский государственный технический университет

БИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РОТОРОВ ПИТАТЕЛЕЙ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Введение. На протяжении последних 30-и лет на предприятиях отрасли находятся в эксплуатации роторы из разных материалов, подвергшиеся более 10-15 раз восстановительной многослойной наплавке при ремонте, что повышает риск безопасной эксплуатации питателей. Так в 1981 г. на Соломбальском комбинате произошла авария всего загрузочного устройства варочного котла по причине разрушения ротора. В технической и зарубежной литературе отсутствует информация о целесообразности использования того или иного материала для изготовления роторов, их влияние на эксплуатационную надёжность.

Постановка задачи. При разработке технологии восстановления роторов необходимо учитывать характер их износа, условия эксплуатации, механические свойства материалов и режимов их термообработки.

Целью исследования является анализ химического состава, механических свойств и термообработки роторов, влияющих на эксплуатационную надёжность питателей высокого давления промышленного транспорта.

Результаты работы. Техническое состояние роторов питателей высокого давления (ПВД) зависит от многих конструктивных и технологических факторов, совокупность которых приводит к сложной схеме температурно-силового нагружения, трудно предсказуемой кинетике, деградации свойств металла. Одной из наиболее серьёзных причин отказа питателей Камюр являются необратимые изменения (деградация) структуры и физико-механических свойств материала ротора под действием различных силовых (динамических) воздействий, коррозии, старения, химического взаимодействия со щелочной средой. Деградация металла связана с накоплением рассеянных повреждений различной природы, трансформирующихся в дефекты типа трещин, которые приводят к снижению уровня работоспособности ротора и к полному отказу по показателю функционирования – местная потеря устойчивости.

Скорость деградации металла зависит от:

- 1 – природы материала;
- 2 – исходного структурного состояния;
- 3 – условий эксплуатации;
- 4 – режима нагружения.

Нагрузки на среднюю перегородку ротора изменяются циклически с коэффициентом асимметрии от -1 до +1. В течение всего срока эксплуатации ротора ПВД реализуется более 10^7 циклов (10-40 лет), разрушения носят типичный усталостный характер с длительным периодом стадий накопления рассеянных повреждений.

В качестве материалов для роторов используются различные стали и сплавы импортного и отечественного производства.

Материал ротора Avesta 739 шведской фирмы Камюр приближается по составу к отечественной стали типа 10X13 и отличается дополнительным легированием молибденом и марганцем. Структура этого сплава при нормальной температуре – мартенситно-ферритная. Дополнительное легирование высокохромистых сталей молибденом и никелем способствует повышению сопротивляемости в условиях повышенных температур [1, 2].

Основной задачей термообработки роторов из хромистой стали является получение пластичности и снижение остаточных напряжений после наплавки без существенного увеличения зерен. Поэтому для этой группы сталей недопустим нагрев выше 1150°С, так как при этой температуре хромистые стали склонны к росту зерна. Кроме того, при температуре 475°С наблюдается хрупкость, связанная с образованием δ-фазы (табл.1).

На основании изложенного выше был выбран оптимальный режим термообработки ротора, заключающийся в нагреве ротора до температуры 925-1000°С, выдержке при этой температуре пять часов, охлаждении в печи до температуры 730-780°С с выдержкой в течение пяти часов и охлаждении в печи до комнатной температуры.

Материал ротора из сплава 265МО150 приближается по составу к отечественной марке типа Х24Н8М2Д3 и отличается от него содержанием до трех процентов меди. Данная группа сплавов содержит хрома более 15% и после длительного воздействия температуры 400-540°С склонна к хрупкости. Кроме того, при температуре около 900°С в этой стали интенсивно выделяется δ-фаза. Наличие в этой стали таких элементов, как марганец и молибден расширяет область существования δ-фазы и интенсивность её образования [2].

Выделение δ-фазы понижает коррозионную стойкость и значительно снижает сопротивление явлению ползучести.

На основании выше изложенного был выбран следующий режим термообработки: нагрев ротора в печи до температуры 1100°С ± 20°С, выдержка при этой температуре в печи в течение восьми часов и охлаждение на воздухе.

Таблица 1 – Материалы фирменных и отечественных роторов

Группа сплавов	Материалы роторов инофирм	Отечественные материалы роторов Камюр
I	Хромистые стали Avesta 739, S 395	1X13 (ЭЖ-1)
II	Хромомолибденовые стали 265 МО 150. Швеция	Х24Н18М2Д3 (ВК-1)
III	Хромоникелевые стали	1X18Н10Т, 1X18Н9Т, X18Н9Т, (ЭЯ-1Т)
IV	Хромоникельтитанистая сталь с медью. Мюренс (Финляндия)	X15Н5Д2Т (ЭП-410, ВНО-2)

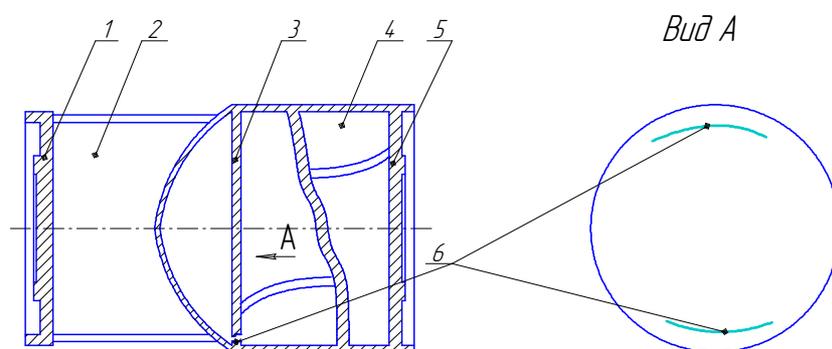
В роторах из стали типа 12Х18Н10Т в процессе термообработки при длительном нагреве и медленном охлаждении при температуре ниже 900-950°С происходит образование δ-фазы. Она обладает ограниченной растворимостью в аустените и феррите, выделяется преимущественно по границам зерен, упрочняет сплав и одновременно резко снижает пластичность и ударную вязкость металла [4]. Учитывая изложенное выше, был выбран такой режим термообработки, который обеспечивает максимальную ударную вязкость и высокую пластичность: нагрев ротора в печи до температуры 1000±20°С, выдержка в течение пяти часов, охлаждение на воздухе. Остаточные напряжения, являющиеся основной причиной возникновения коррозионного растрескивания, при нагреве до температур 1000°С практически полностью снимаются.

В последние годы финской фирмой Мюренс начали поставляться роторы из хромоникельтитаномедистой стали мартенситного класса, приближающейся по составу к отечественной марке типа Х15Н5Д2Т (ЭП-410, ВНО-2).

Основной трудностью, возникающей при наплавке сталей мартенситного класса [3], является обеспечение стойкости металла наплавки. Поэтому целесообразно легировать металл шва небольшим количеством титана, осуществлять предварительный подогрев до температуры не ниже 300°С и термообработку изделия.

Для получения оптимальной структуры основного металла и в околошовной зоне целесообразно сразу после наплавки ротор нагревать в печи до температуры $950+20^{\circ}\text{C}$, затем охлаждать на воздухе (с тем, чтобы в нем оставалось минимальное количество остаточного аустенита, способствующего росту зерна), снова нагревать в печи до 250°C в течение восьми часов и охлаждать вместе с печью.

На рис.1 приведен продольный разрез ротора ПВД из стали 1X13 после 10 лет эксплуатации. Из рис.1 видно, что ротор состоит из двух секций 2 и 4, двух боковых стенок 1 и 5, средней перегородки ротора 3. На средней перегородке ротора по очереди за один оборот действует справа и слева давление щелочи 1,4 МПа. За десять лет эксплуатации средней перегородки под действием $5,236 \times 10^7$ циклов переменных напряжений образовались трещины длиной 80 и 120 мм по диаметру, равному 850 мм, и толщиной стали 40 мм. В изломе трещин было окисление, и имелись дефекты литья. Излом имел мелкозернистую структуру, характерную для усталостного износа.



1, 5 – боковые стенки ротора; 2, 4 – секции ротора; 3 – средняя перегородка ротора;
6 – усталостные трещины по периметру средней перегородки ротора

Рисунок 1 – Продольное сечение ротора

Разрушение ротора привело к возникновению аварии секции [5]. Произошел выброс щелочи из карманов секций ротора. Для предотвращения разрушения роторов было предложено использовать хромоникелевые стали типа 1X18Н10Т с последующей термообработкой. Кроме того, необходимо выполнять следующие виды контроля:

- внешний осмотр 100% поверхности;
- капиллярную дефектоскопию или цветную дефектоскопию средней перегородки ротора.

Внедрение этих методов контроля на предприятии позволило предотвратить аварии на установках Камюр.

Выводы. 1. Из существующих материалов для изготовления роторов ПВД Камюр наиболее предпочтительным материалом является хромоникелевая сталь типа 1X18Н10Т.

2. Для полного исключения разрушения роторов необходим 100% контроль всех поверхностей ротора, цветная или капиллярная дефектоскопия средней перегородки ротора.

3. Все виды контроля необходимо производить во время ремонтно-восстановительных работ и после термообработки ротора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудрявцев Н.В. Усталость сварных конструкций / Кудрявцев Н.В., Наумченко Е.Е. – М.: Машиностроение, 1976. – 216с.

2. Земзин В.Н. Термическая обработка и свойства сварных соединений / Земзин В.Н., Шорин Р.З. – Л.: Машиностроение, 1978. – 368с.
3. Химушин Ф.Ф. Нержавеющие стали / Химушин Ф.Ф. – 2-е издание. – М.: Metallургия, 1968. – 798с.
4. Каховский Н.Н. Сварка нержавеющей сталей / Каховский Н.Н. – К.: Техника, 1968. – 312с.
5. Расулов Ю.А. Неразрушающие виды контроля роторов питателей высокого давления непрерывной варки целлюлозы: информ. листок №198-81 / Расулов Ю.А. Камель Г.Н. – Архангельск: АНТУКТНП, 1981. – 3с.

Поступила в редколлегию 23.06.2014.

УДК 669.187.2:536.24

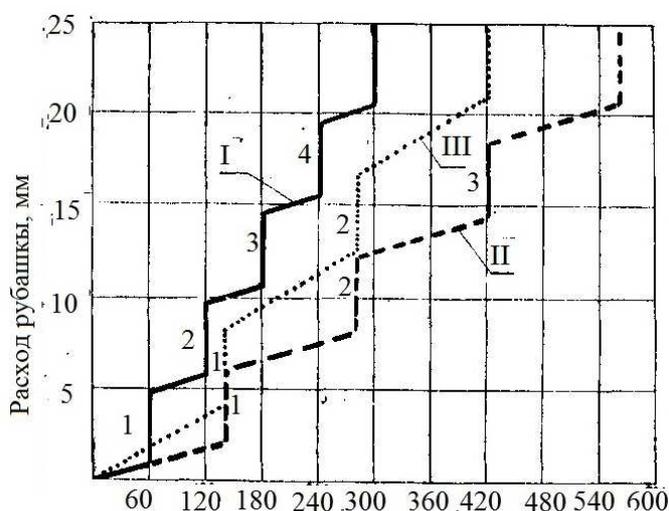
КАМЕЛЬ Г.И., д.т.н., профессор

Днепродзержинский государственный технический университет

РАЦИОНАЛЬНЫЙ РАСХОД БИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ РУБАШКИ ПИТАТЕЛЯ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Введение. В промышленности установилась технология ремонта питателей, заключающаяся в проточке рубашки корпуса и восстановительной наплавке ротора. До настоящего времени отсутствуют рекомендации о влиянии конструктивных факторов на долговечность рубашки корпуса. На примере питателя Камюр производительностью 320 т/с рассмотрим эти вопросы.

Постановка задачи. Целью работы является разработка новой конструкции рубашки корпуса питателя фирмы Камюр, позволяющей уменьшить массу заготовки.



Суммарное осевое перемещение ротора, мм

- I – прижим ротора 60 мм; конусность 1:20;
- II – прижим ротора 140 мм; конусность 1:20;
- III – прижим ротора 140 мм; конусность 1:10
- 1-4 – количество переточек рубашки корпуса

Рисунок 1 – Зависимость расхода рубашки корпуса от осевого перемещения ротора и используемой конусности

Результаты работы. На рис.1 (график 1) представлена зависимость расхода рубашки от суммарного осевого перемещения ротора. Исходная толщина слоя рубашки равна 26 мм, а рабочего слоя – 16-18 мм. Когда толщина рубашки со стороны большего диаметра достигнет 10 мм, производится ее замена. В работе [1] показано изменение расхода рубашки в виде ступенчатого графика. Участки наклона графиков соответствуют постепенному износу рубашки при эксплуатации. При прижиме ротора 60-миллиметровая толщина рубашки уменьшается на 0,9 мм, что составляет 60% от суммарного износа питателя.