

**Защита сталей от высокотемпературной газовой коррозии**

Студент гр.104213 Елизаров А.В.

Научный руководитель ст. преп. Вейник В.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г.Минск

Целью работы являлось повышение жаростойкости, термостойкости, термостабильности, увеличение толщины диффузионных алитированных покрытий на сталях и повышение их пластичности. Для конструкционного сплава, предназначенного для работы в условиях высокотемпературной газовой коррозии необходимо выполнение как специфических требований к структуре, так и увеличения стабильности поверхности, т.е. одновременно решаются три вопроса: условия применения, выбор сплава, выбор защиты. Покрытие для каждого сплава должно быть не только защитным, но и дешевым и надёжным.

При этом защитные свойства, достигнутые на экспериментальных образцах, должны быть реализованы на каждой детали. Надёжность покрытия заключается в хорошем сопротивлении износу, т. е. оно не должно разрушаться при небольших повреждениях. Для того чтобы быть действительно защитным для данного основного материала, покрытие должно удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Образовывать тонкую, плотно прилегающую оксидную плёнку, свободную от таких дефектов, как трещины, пузыри и т.д., иметь минимальный коэффициент переноса массы в плёнке ( оксиды не должны отслаиваться, испаряться, подвергаться фазовым превращениям или разрушаться в результате реакции с отложениями солей ).
2. Оставаться металлически связанным с основой; в процессе изготовления и работы должны отсутствовать несплошности и поры как в слое покрытия, так и на поверхности основного материала.
3. Быть диффузионно-инертным по отношению к сплаву-основе, чтобы в процессе эксплуатации детали не изменялся заданный состав системы покрытие – сплав.
4. Не оказывать неблагоприятного влияния на механические свойства основного сплава.
5. Иметь сходные характеристики по теплопередаче и термическому расширению с основным металлом.
6. Быть жаростойким, обладать хорошей термической выносливостью, сопротивлением эрозии и другими воздействиями.
7. Быть пластичным при всех температурах или иметь границу перехода хрупкость – пластичность при температурах более низких, чем рабочие температуры.
8. Не способствовать образованию жидкой фазы на поверхности основного сплава на в процессе выдержки при высоких температурах.

Типичным примером широко применяемого термодиффузионного покрытия является класс алюминидных покрытий . Этот метод повышения сопротивления жаропрочных сталей и сплавов окислению включает осаждение алюминия из внешних источников и диффузию его в основной металл с образованием в поверхностном слое интерметаллических соединений алюминия типа FeAl. Алюминидная фаза в

противоположность алюминию имеет высокую температуру плавления. Более того, она очень медленно окисляется, образуя защитный оксид  $Al_2O_3$ . В процессе выдержки в случае частичного отслаивания оксида соединения алюминия на вновь образовавшейся поверхности повторно окисляется до  $Al_2O_3$ . Это качество «самозалечивания» алюминидного покрытия замедляет действие окисления на металл основы. У сплавов без покрытия отслаивание окалина вызывает обеднение алюминием. При отсутствии процессов самозалечивания это приводит к быстрому местному окислению.

Несмотря на большое количество исследований, сведения о которых приведены в литературе, данные о механизме формирования алитированных слоев на сталях, их структуре и жаростойкости после насыщения при различных условиях противоречивы и нуждаются в уточнении. Применение алитированных слоев ограничивается образованием на поверхности изделий хрупкой зоны алюминидов, которая скалывается при взаимодействии механических нагрузок и термических ударов. Ниже приведены результаты исследования возможности получения на сталях алитированных слоев, обладающих наряду с высокой жаростойкостью стойкостью против воздействия термических ударов.

Образцы технического железа и стали 45, 20X13, 08X18H10T и 12X23H18 алитировали в порошковых смесях из алюминия АПС-1 и оксида алюминия марки х. ч. в контейнерах с плавким затвором. В качестве активаторов использовали фтористый алюминий и хлористый аммоний. Увеличение содержания алюминия в смеси приводило к значительному росту толщины слоев (см. таблицу 1).

Таблица 1. Толщина алитированных слоев на сталях в зависимости от содержания алюминия в смеси из АПС-1,  $Al_2O_3$  и 2%  $AlF_3$  полученных при 1000 °С за 5 ч, мкм

Содержание алюминия в смеси, %	Марка стали			
	45	20X13	08X18H10T	12X23H18
0	210	220	180	150
10	410	430	250	200
20	650	570	310	250
30	860	670	380	310
40	1100	740	440	350
50	1300	800	500	400

При содержании алюминия в смеси более 20%, алитированные слои имели низкое качество поверхности, трещины, сколы. Поэтому в дальнейших исследованиях более подробно изучали насыщение в смесях с содержанием алюминия до 20 %.

Структура диффузионных слоев на железе и сталях, полученных при 900-1100 °С, состояло из двух основных зон: поверхностной зоны алюминидов и зоны столбчатых кристаллов  $\alpha$ -твердого раствора с концентрацией алюминия на границе раздела с зоной алюминидов приблизительно 35 %. В зоне столбчатых кристаллов  $\alpha$ -твердого раствора при охлаждении от температуры алитирования происходит упорядочение с образованием сверхструктур  $Fe_3Al$  и  $FeAl$ .

Рассмотрим влияние содержания алюминия в смеси на толщину зон алюминидов и  $\alpha$ -твердого раствора на стали 08X18H10T. При послойном рентгеноструктурном анализе диффузионного слоя, полученного в смеси, содержащей 20% алюминия, установлено наличие в поверхностной зоне алюминидов  $Fe_2Al_5$ , вероятно, легированного хромом и никелем. Под алюминидным слоем располагался слой  $\alpha$ -твердого раствора столбчатого строения с выделением алюминидов. Повышение температуры алитирования и содержания алюминия в смеси приводило к увеличению общей толщины слоя, особенно толщины зоны алюминидов. После насыщения в смесях с 15 и 20 % алюминия при 900 °С на острых краях образцов наблюдались мелкие трещины и сколы. С повышением температуры насыщения до 1100 °С качество поверхности образцов ухудшалось, заметно увеличивались размеры трещин, появлялись сколы. При содержании алюминия в смеси 5 – 10% алитированные образцы имели поверхность хорошего качества, без сколов и трещин.

На техническом железе и стали 45 алитирование в смесях с 15 и 20 % алюминия при температуре 1100 °С приводит к формированию на поверхности образцов структурной зоны алюминидов, по внешнему виду напоминающей пластинчатый перлит. Вероятно, это эвтектоид, образовавшийся при распаде  $\epsilon$ -фазы и состоящий из алюминидов  $FeAl_2$  и  $\alpha$ -твердого раствора. При тех же условиях насыщения на легированных сталях в поверхностной зоне алюминидов наблюдались участки со структурой, напоминающей зернистый перлит, на острых краях – участки эвтектоида с пластинчатой структурой.

Рассмотрим результаты испытаний на жаростойкость образцов стали 08X18H10T после алитирования в смесях с 5 – 10% алюминия при температурах насыщения 800, 900, 1000 и 1100 °С в течение 5ч. Испытания проводили по схеме: нагрев до 1000 °С, 2-2,5ч, выдержка при 1000 °С 5ч, охлаждение до 200-300 °С вместе с печью, 15ч, а затем на воздухе. После каждого цикла испытаний определяли относительное

изменение массы (г/м<sup>2</sup>). Длительность испытаний составляла 20 циклов, суммарная выдержка при 1000<sup>0</sup>С – 100ч.

На поверхности образцов без покрытий, взятых для сравнения, уже после первого цикла испытаний на жаростойкость образовывался толстый слой окалины, появлялись трещины, изменялась форма образцов.

Слои, полученные в смеси с 5% алюминия при 800 и 900<sup>0</sup>С, имели практически одинаковое увеличение массы за 100ч испытаний, полученные при 1000<sup>0</sup>С – несколько меньшее, при 1100<sup>0</sup>С – несколько большее. Однако скорости окисления слоев, полученных при различных температурах в смеси с 5% алюминия, после двух – четырех циклов испытаний становились практически одинаковыми.

В смеси с 10% алюминия при 800, 900 и 1000<sup>0</sup>С получены слои, уровень жаростойкости которых одного порядка с таковым слоев, полученных в смеси с 5% алюминия. Повышений температуры алитирования до 1100<sup>0</sup>С привело к уменьшению удельного изменения массы образцов за 100ч испытаний до 35г/м<sup>2</sup>.

Аналогичные зависимости по жаростойкости получены также для технического железа и сталей 45 и 20Х13.

Циклические испытания на жаростойкость в сочетании с резкими термическими ударами проводили по следующему режиму: нагрев до 1000<sup>0</sup>С за 5 мин, выдержка при 1000<sup>0</sup>С 5ч, охлаждение в воде. Увеличение массы образцов, которое наблюдается для некоторых режимов насыщения, объясняется образованием на поверхности покрытий плотных, не скалывающихся окисных пленок, надежно защищающих сталь от окисления. Уменьшение массы образцов при таких испытаниях связано с отслаиванием образовавшейся при 1000<sup>0</sup>С окалины и хрупкой зоны алюминидов покрытия. Наилучшими защитными свойствами при таких испытаниях обладают слои, полученные в результате насыщения в смеси с 5% алюминия при 1100<sup>0</sup>С, имеющие структуру  $\alpha$ -твердого раствора, зону FeAl на поверхности и концентрацию алюминия около 35%. Алитирование в смеси с 10% алюминия приводит к образованию на поверхности зоны алюминидов Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>, обладающего повышенной хрупкостью. Эта зона скалывалась при испытаниях.

Для устранения хрупкой зоны алюминидов Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub> проводили отжиг алитированных слоев, полученных при 1000<sup>0</sup>С в смеси с 10% алюминия, при 1100<sup>0</sup>С в течении 5 часов, который привел к увеличению общей толщины слоя, уменьшению концентрации алюминия на поверхности, обеспечил получение плотной защитной окисной пленки, практически не скалывающейся при испытаниях.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать условия алитирования, позволяющие получить слои, пригодные для работы в условиях высокотемпературной газовой коррозии и термических ударов: 1) алитирование в смеси с 5% алюминия при 1100<sup>0</sup>С 5 ч; 2) алитирование в смеси с 10% алюминия при 1000<sup>0</sup>С 5 ч, отжиг при 1100<sup>0</sup>С 5ч.