

Таблица

	T_{отп}	Сталь 20	Сталь 35	Сталь 45
Δf (%)	200 ⁰	0.035	0.057	0.13
	400 ⁰	0.024	0.051	0.036
ΔA (%)	200 ⁰	28	54	50
	400 ⁰	45	53	65
ΔQ (%)	200 ⁰	46	32	45
	400 ⁰	44	50	63

Как видно из таблицы, наблюдается достаточно уверенная тенденция повышения чувствительности этих параметров к наводороживанию, в особенности для температуры отпуска 400⁰С, с увеличением процентного содержания углерода. К такому же результату, за исключением частоты резонанса, приводит повышение температуры отпуска. С повышением температуры отпуска изменение частоты при наводороживании менее выражено. В образцах, прошедших закалку без последующего отпуска, из-за высокого уровня внутренних напряжений наблюдался очень слабый уровень сигнала, что затруднило проведение всего комплекса измерений в процессе наводороживания. Удалось измерить лишь изменение частоты и амплитуды в стали 35. Эти измерения продемонстрировали наибольшие изменения параметров ЭМАП. для образцов, прошедших закалку. Например, для стали 35 при 6-часовом наводороживании изменение частоты составило 1.7 %, а амплитуды – 75%.

Исследование процессов релаксации после 6-часового наводороживания показало, что такое же время обезводороживания не приводит к полному восстановлению параметров ЭМАП. Примерно через сутки происходит практически полная релаксация этих параметров, что свидетельствует об отсутствии необратимых структурных изменений в процессе наводороживания. Монотонное уменьшение частоты и амплитуды при наводороживании, по аналогии с влиянием на эти параметры температуры отпуска [3], косвенно указывают на то, что основной причиной этих изменений является накопление внутренних напряжений.

Список литературы

1. Гельд П.В.,Рябов Р.А., Мохрачев Л.П. Водород и физические свойства металлов и сплавов. М.: Наука, 1985. С.155-209.
2. И.Н.Бурнышев, К.А. Абрамов .Об акустической эмиссии при наводороживании малоуглеродистой стали // Письма в ЖТФ.- 2009,- том 35, вып.2.- С. 90-94.
3. Ильясов Р.С., Величко В.В., Бабкин С.Э. Особенности электромагнитно-акустического преобразования в стали 30ХГСА, подвергнутой термической обработке // Дефектоскопия.- 2001, -№9. –С.34-45.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ТЕРМОДИФфуЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Бурнышев И. Н., Тарасов В. В.

ИПМ УрО РАН, г. Ижевск, РФ, inburn@mail.ru

К недостаткам титановых сплавов следует отнести их невысокие показатели жаро-, износо- и коррозионной стойкости в ряде агрессивных сред. Одним из способов повышения этих характеристик титана и его сплавов является термодиффузионная обработка (ТДО). Анализ свойств химических соединений, образующихся при взаимо-

действии насыщающего элемента с титановой подложкой, показал, что высоким комплексом физико-механических свойств обладают силициды, алюминиды, карбиды, нитриды и карбонитриды титана, а также твердые растворы азота и углерода в титане. Силициды титана обладают высоким сопротивлением высокотемпературному окислению и коррозионной стойкостью; их микротвердость, превышающая 10 ГПа, обеспечивает высокую износостойкость, в том числе и в агрессивных средах. Алюминиды титана характеризуются как жаростойкие и жаропрочные материалы, а карбиды, нитриды и карбонитриды как износостойкие и коррозионностойкие. В настоящее время наибольшее распространение для упрочнения титана получило газовое азотирование и для его интенсификации предложены различные варианты ионной обработки. В данной работе рассмотрены наиболее перспективные процессы насыщения титана из порошковых сред такие, как силицирование, алитирование и азотонауглероживание.

Для реализации большинства разработанных способов ТДО из порошковых сред необходимы высокие температуры обработки, что может приводить к необратимому ухудшению механических свойств металла. С целью снижения температуры силицирования предложено вводить в состав насыщающей среды легкоплавкие металлы или металлы, образующие с кремнием низкотемпературную эвтектику. Наибольший эффект с точки зрения снижения температуры ТДО получен при силицировании в порошках кремния, меди и цинка. Обработка в таких средах позволяет получать при температурах (850-950) °С силицидные слои толщиной 40-120 мкм.

При азотонауглероживании в качестве углеродсодержащего вещества использовали стандартный карбюризатор, активированный уголь и графит, а в качестве источника азота – желтую кровяную соль и карбамид. Для интенсификации азотонауглероживания использовали ТДО в динамических средах, создаваемых при вращении контейнера с насыщающей смесью и упрочняемыми изделиями. Исследовано влияние скорости вращения контейнера, состава и количества насыщающей смеси на толщину азотонауглероженных слоев. Установлено, что максимальная скорость насыщения достигается при скоростях вращения, обеспечивающих в контейнере режим «переката» насыщающей смеси. Применение динамических сред позволило сократить время обработки в 1,5-2 раза. Фазовый состав полученных диффузионных покрытий после азотонауглероживания представлен карбонитридами, нитридами титана и твердым раствором азота, углерода и кислорода в титане. При ТДО в динамической среде без предварительного вакуумирования контейнера или без применения защитных газов диффузионные слои содержали повышенное количество кислорода, в частности, на упрочненной поверхности обнаружены следы оксидов титана, которые отсутствовали при насыщении в контейнере с плавким затвором.

Силицидные и алюминидные покрытия испытывали на жаростойкость при температурах (750-1000) °С. В результате проведенных испытаний показано, что при температурах (750-850) °С наибольшей стойкостью обладают алюминидные покрытия. При более высоких температурах наиболее стойкими к высокотемпературному окислению и термоциклированию являются силицидные покрытия, полученные насыщением из порошков кремния, меди и цинка.

Коррозионная стойкость титановых сплавов с силицидными покрытиями в 80 %-ной серной кислоте повысилась на 2 порядка, а в концентрированной соляной кислоте – в 40-70 раз. Высокие показатели коррозионной стойкости получены после азотонауглероживания в контейнерах с плавким затвором. В этом случае потери массы сплавов в 40 %-ной серной кислоте после 600 часов испытаний составили 1,5-2 г/м², а потери незащищенных сплавов после 400 часов испытаний составили 600-800 г/м².

Испытания на износостойкость упрочненных образцов титановых сплавов проводили на машине трения 2070СМТ-1 и на многофункциональном испытательном комплексе SRV. Установлено, что диффузионное силицирование повышает износостойкость в условиях механического и фреттинг-коррозионного изнашивания по сравнению

с оксидированием и карбооксидированием. Коэффициент трения силицированного сплава ВТ3-1 в паре с бронзой составил 0,17. Коэффициент трения азотонауглероженного титана ВТ1-0 в паре с закаленной сталью У8 определяли при испытаниях по схеме диск – шарик (условия испытаний: температура 25 °С, нагрузка 50 Н, частота колебаний 50 Гц, амплитуда колебаний 1 мм). Испытания проводились в стандартной смазке И-20А и в смазках с добавками наноструктурных композиций (И-20Z, Ровелита 1). На образце без покрытия схватывание наблюдалось после 4 минут испытаний, что приводило к резкому возрастанию величины коэффициента трения от значения 0,34 до 0,5 (рис.1). На образцах, упрочненных азотонауглероживанием, наблюдалось интенсивное снижение коэффициента трения уже в первые минуты испытаний до величины 0,14 – 0,15. В смазках с наноструктурными модификаторами низкое значение коэффициента трения устанавливалось сразу же с началом испытаний и в дальнейшем практически не изменялось.

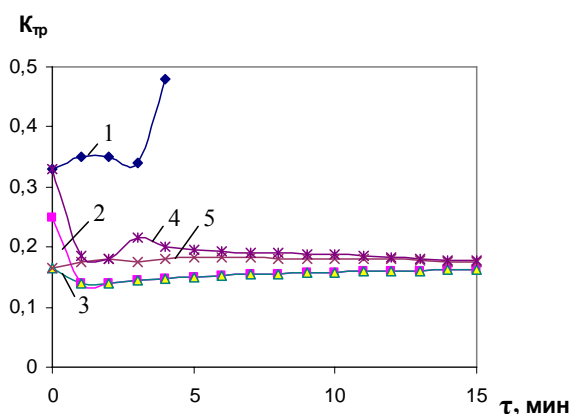


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от времени испытаний образцов без обработки (1,4) и после азотонауглероживания (2,3,5):
1,2 – смазка И20-А; 3 – смазка И20-Z;
4,5 – смазка Ровелита 1

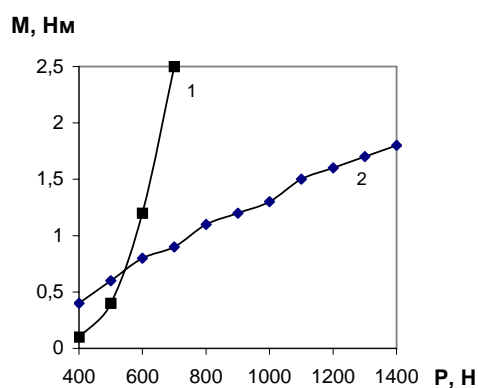


Рис. 2. Зависимость момента трения сплава ВТ1-0 от нагрузки: 1 – без упрочнения, 2 – после азотонауглероживания

Момент трения определяли при испытаниях по схеме диск – колодка в смазке И-20А. На неупрочненных образцах увеличение нагрузки приводило к резкому росту момента трения и при нагрузке, равной 700 Н, наблюдалось схватывание (рис. 2). Момент трения на упрочненных совместным насыщением поверхности азотом и углеродом образцах линейно возрастал с увеличением нагрузки без признаков схватывания, что подтверждается исследованием топологии поверхности после испытаний.

Таким образом, разработанные диффузионные покрытия на основе силицидов титана могут быть рекомендованы для защиты титановых сплавов от высокотемпературного окисления, от коррозии в серной, соляной и фосфорной кислотах и от различных видов изнашивания. Азотонауглероживание титановых сплавов повышает износостойкость и коррозионную стойкость. Алюминидные покрытия надежно защищают титановые сплавы от высокотемпературного окисления до температур 900 °С.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 10-08-96028).