

ПРИМЕНЕНИЕ ИОННО-МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕПЛООБМЕНА В ТЕПЛООБМЕННОМ ОБОРУДОВАНИИ

Борисов Кирилл Алимович

студент, Московский Политехнический Университет, РФ, г. Москва

Ларионов Павел Дмитриевич

студент, Московский Политехнический Университет, РФ, г. Москва

Савельев Илья Леонидович

преподаватель, Московский Политехнический Университет, РФ, г. Москва

Цели работы:

1. Пояснение принципа действия ионной модификации.
2. Исследование влияния ионного модифицирования на различные материалы.
3. Отражение эффективности использования ионно-модифицированных поверхностей.

В настоящее время повышение эффективности использования установок промышленной теплоэнергетики играет очень важную роль. Уменьшение габаритных размеров установки, уменьшение тепловых потерь, нахождение более актуальных способов и вариантов использования топлива - являются актуальными задачами на этапе проектирования теплоэнергетических установок, так как масштабы использования подобных аппаратов глобальны, как и количество потребляемого ими топлива. Топливо - основной энергетический ресурс и неэффективное его использование приводит к увеличению стоимости продукции, что является неприемлемым. В большинстве случаев, тепловые установки функционируют с низким коэффициентом использования тепла топлива из-за ошибок, получившихся при проектировании, неправильном использовании, некорректном монтаже, недостатке квалификации персонала. Огромную роль играет своевременное проведение организационно-технических мероприятий, проверка квалификационных способностей персонала, доработка инструктажа по мере актуализации технологического процесса, направленного на экономию топлива и повышение эффективности используемого оборудования.

Одним из способов борьбы за экономию топлива, а, следовательно, повышения эффективности теплообменных процессов является использование современных теплообменных технологий.

Целью данной статьи является изучение ионно-модифицированных поверхностей теплообмена и сравнение их с аналогами.

СПОСОБЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА

Интенсификация - организация развития производства, в котором применяются наиболее эффективные методы и средства, направленные на эффективное использование всех затрачиваемых ресурсов (как материалов, так и рабочей силы) с целью повышения производительности.

Не редко теплообменные аппараты технических установок имеют значительно большие размеры, чем основное оборудование. В ряде случаев, при отсутствии свободного пространства, приходится жертвовать интенсивностью теплообмена, что очень сильно

ограничивает возможность решения поставленных задач. Использование интенсификации особенно незаменимо, когда коэффициенты теплоотдачи теплоносителей очень малы.

Основными задачами интенсификации теплообмена является:

1. Уменьшение массы и размеров теплообменного оборудования;
2. Снижение температурного напора (нахождение самой оптимальной зависимости температуры теплоносителя при заданной температуре стенок).

Способы, применяемые для реализации поставленных задач:

- Измерение скорости потока.
- Изменение термического сопротивления.
- Уменьшение геометрических размеров поверхности теплообмена.
- Использование оребренных поверхностей теплообмена.
- Искусственная турбулизация потока.
- Лучистый теплообмен.
- Использование нано/микромодифицированных поверхностей.
- Технологии ионного модифицирования.

Так как способов интенсификации невероятно огромное количество, в данной статье более подробно будет рассмотрен только метод ионного модифицирования.

ИОННО-МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

Ионное модифицирование – разновидность поверхностной обработки детали, путем взаимодействия высокоионизированных потоков вещества с проводящей поверхностью. Широко применяется в различных отраслях промышленности, металлургии, машиностроения. Принцип процесса основывается на использовании сильноточного вакуумного дугового разряда, создающего высокоионизированные пучки (потоки) вещества. Высокоионизированные пучки взаимодействуют с проводящей поверхностью, помещенной в плазму. Данный процесс возможно контролировать (управлять энергией ионов) с помощью подачи на поверхность отрицательного потенциала с постороннего автономного источника питания, положительный полюс которого подключен к другой токопроводящей поверхности, так же находящейся в плазменном потоке, но имеющем развитую поверхность. Как правило, средняя энергия ионов в потоке, приходящем на поверхность материала, равна величине положительного потенциала, умноженного на среднюю кратность заряда ионов.

На поверхности обрабатываемой детали, как правило, происходит один из следующих процессов: конденсация поверхностного слоя, конденсация покрытия с распылением (травлением) осаждающего слоя, ионное травление подложки материала, использование бомбардирующих частиц в поверхностном слое (ионное насыщение подложки при одновременном ионном травлении). Все процессы приводят к ионному нагреву обрабатываемой установки.

Следует заметить, что при протекании процесса ионной модификации поверхности, проводимой при средних энергиях ионов (от нескольких сотен и более эВ), характерен быстрый разогрев детали, что в совокупности с внедрением бомбардирующих частиц приводит к активной интенсификации диффузионных процессов в поверхностном слое, а само по себе модифицирование поверхностного слоя протекает благодаря развитию на поверхности материала термостимулирующей ионной диффузии.

Данные технологические процессы могут быть проведены и реализованы на ионно-плазменных установках типа МАП.

В ионном модифицировании основными технологическими параметрами являются: отрицательный потенциал U , подаваемый на поверхность детали, ток вакуумной дуги I , продолжительность самого процесса t .

При подаче тока вакуумной дуги изменяется концентрация заряженных частиц в

генерируемом пучке: Чем больше сила тока I - тем больше плотность потока заряженных частиц, как следствие - термодиффузионные процессы интенсифицируются. Величина отрицательного потенциала U задает среднюю энергию ионов в генерирующем пучке и определяет тем самым температуру нагрева модифицированной поверхности, создавая условия для протекания реакций стимулирования ионной диффузии.

Продолжительность обработки, так же, как и отрицательный потенциал с током дуги, влияет на характеристики модифицируемой поверхности. Правильный подбор технологических параметров обеспечивает высокую эффективность ионной модификации.

При неоднократных исследованиях было выявлено, что основные технологические параметры колеблются в следующих пределах:

$$I=200-700 \text{ А}; U=250-700 \text{ В}; t=15 \text{ мин.}$$

ПРИМЕРЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СЛОЕВ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В данном исследовании будут представлены образцы из различных материалов, ионно-модифицированных в плазменных пучках, проведенных на установке МАП-2, при параметрах: $I=300-400 \text{ А}$; $U=300-600 \text{ В}$; $t=60 \text{ мин.}$

Таблица 1

Удельное изменение массы образцов после ионного модифицирования

Материал	P/S, мг/(ч), после бомбардирования ионами			
	Ti	Cr	Zr	
ЭП718-ИД	-6,1	-7,0	-2,6	
ЭП866	-2,5	-5,0	-2,4	
ЭИ962	-1,1	-3,0	-3,5	
ОТ4-1	-	-	-	
ВТ8М-1	-	-	+1,94	+
ВТ20	-	-	+2,00	+
ВТ9	-	-	+1,96	+

Используемыми образцами служили материалы подложен, такие как: стали ЭП718-ИД, ЭП866, ЭИ962 и титановые сплавы ВТ18У, ВТ9, ВТ8М-1 Бомбардировка производилась ионами разных химических элементов.

Были опробованы различные методы ионной обработки поверхности:

- Модифицирование в плазменном потоке чистых металлов, многокомпонентных сплавов;
- Модифицирование поверхности материала с применением конденсированных слоев;
- Последовательное модифицирование в плазменных потоках с различным составом.

После проведения исследования следует, что в процессе ионной обработки из-за ионного травления произошло насыщение обрабатываемой поверхности модифицирующим материалом и потеря массы обрабатываемого образца.

Таким образом была экспериментально доказана эффективность использования ионной модификации, для облегчения массы обрабатываемого материала.

Таблица 2

Элементный состав модифицированных слоев

Материал	Вид бомбардировки	Содержание элементов, % (по массе)							
		Cr	NI	MO	W	Ti	Al		Si
основы ЭИ962	Без обработки	11,5	1,2	0,5	2,0	2,2	-		-
	Ti	10,0	0,8	0,2	1,8	97,2	-		-
BT18Y	Без обработки	-	-	1,0	-	90,0	3,5		0,2
	Zr	-	-	0,2	-	59,0	1,4		-
	Al	-	-	0,5	-	46,5	49,7		-
BT8M-1	Ni-Al-Y	2,5	84,6	0,3	-	5,9	5,0		0,4
	Ni-Al-Y	0,2	55,7	0,3	0,5	39,1	2,4		-

Предоставленные результаты показывают, что после модифицирования ионами конструкционных слоев в их поверхности помимо структурных изменений наблюдается изменение фазового и элементного состава, о чем наглядно свидетельствует образование на поверхности подложки модифицированного слоя.

Полученные образцы из стали ЭП866 были подвергнуты коррозионным испытаниям.

Таблица 3

Коррозионное поражение поверхности образцов из стали ЭП866

Вид ионной обработки	Степень коррозионного поражения, % поверхности, после							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Без обработки	10	15	30	40	60	70	75	75
Ti	0	1	10	20	25	30	70	70
Zr	0	0	0	0	0	0	0	20
Al	0	0	2	3	6	10	15	25

Сравнение данных после проведения испытаний позволяет оценить состояние поверхности и отследить зависимость изменения зоны коррозионного поражения для каждого испытуемого образца. Можно сделать вывод, что материал без обработки характеризуется большим очагом поражения коррозией чем материалы, подверженные ионной модификации. В целом результаты показывают, что с помощью ионного модифицирования можно значительно увеличить коррозионную стойкость стали ЭП866 в условиях солевой коррозии.

После проведения всех экспериментов установлено, что использование технологии ионного

модифицирования обеспечивает улучшение эксплуатационных характеристик и значительно увеличивает стойкость к солевой коррозии.

Список литературы:

Лобанов И.Е., Штейн Л.М. Теория интенсифицированного теплообмена и эффективности его применения для перспективных компактных теплообменных аппаратов, применяемых в современном металлургическом производстве (дата обращения 10.12.2018).

Лобанов И.Е. Применение интенсификации теплообмена для двигателей внутреннего сгорания в качестве различного рода энергоустановок в современном металлургическом производстве. Электронный научный журнал "Теплофизика и теплотехника" (дата обращения 08.12.2018).

[Электронный ресурс] – режим доступа – URL: http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=2 (дата обращения 14.12.2018).

[Электронный ресурс] – режим доступа URL: <http://www.findpatent.ru/patent/240/2402584.html> (дата обращения 14.12.2018).

https://www.researchgate.net/publication/313108239_Nanotehnologii_v_teplofizike_teploobmen_i_k_rizisnye_avlenia_pri_kipenii (дата обращения 12.12.2018).