

РАЗОГРЕВ САДКИ В УСТАНОВКАХ ИОННОГО АЗОТИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ТИПА

¹Босьяков М.Н., к.ф.-м.н, доцент,

²Куделич А.Ю.

¹ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»

Минск, Республика Беларусь;

²Институт подготовки научных кадров НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь

Аннотация:

Цель работы и ее актуальность – анализ режимов разогрева садок деталей различной массы при ионно-плазменной химико-термической обработке (ХТО).

Используемое в промышленности ионное азотирование в плазме тлеющего разряда пульсирующего тока по сравнению с печным, имеет несколько основных преимуществ, это, в первую очередь, значительное сокращение общего времени процесса за счет уменьшения времени нагрева и охлаждения садки и исключения промежуточных технологических операций по активации поверхности деталей, что обеспечивает высокую экономичность метода, связанную с повышением коэффициента использования электроэнергии и сокращением расхода насыщающих газов.

Большинство современных промышленных установок ионного азотирования имеют рабочие камеры с так называемой «холодной» стенкой, охлаждаемой водой и расположенными внутри теплозащитными экранами из листового металла (см. рисунок 1а).

Разогрев садки в таких установках осуществляется тлеющим разрядом. Мощность разряда, необходимая для поддержания нужной температуры садки на стадии выдержки, определяется геометрическими размерами камеры и системой теплоизоляции, т.е. тепловыми потерями камеры. Теплоизоляция таких камер, как правило, экранная, но иногда и комбинированного типа, когда, например, на основании камеры и на крышке колпака имеется дополнительно волокнистый теплоизоляционный материал. Остывание садки происходит в вакууме.

Другой тип установок с так называемой «горячей» стенкой, когда на стенках дополнительно имеются нагреватели сопротивления, расположенные либо внутри, либо снаружи основной стенки (см. рисунок 1б).

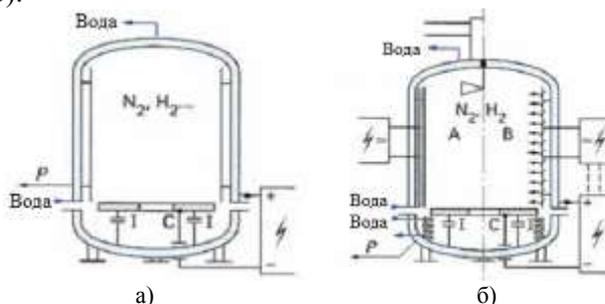


Рис. 1. Схематичное изображение камеры с «холодными» (а) и «горячими» (б) стенками

В установках с горячими стенками нагрев садки деталей комбинированный – частично излучением от стенок, а частично тлеющим разрядом. Цикл разогрева садки в таких установках начинается с разогрева стенки камеры и детали нагреваются от стенки до температуры 200-300°C, а далее, при достижении в камере определенного вакуума, зажигается разряд и происходит комбинированный нагрев. По истечению заданного времени выдержки нагрев стенок отключается. Скорость охлаждения определяется геометрией деталей и плотностью загрузки, и ее можно регулировать путем выбора метода охлаждения – например, в камеру подается азот до давления порядка 0,7-0,8 атм. и включается вентилятор, расположенный внутри камеры, а также вентиляторы снаружи камеры. В некоторых специальных случаях целесообразно проводить охлаждение в плазме, причем в данном случае можно задавать нужный темп охлаждения.

Уравнение баланса энергии в тлеющем разряде при ионном азотировании имеет следующий вид [1,2]:

$$cm \frac{dT}{dt} = P_{\text{нагр}} - P_{\text{охл}} \quad (1)$$

где dT/dt – темп разогрева садки, °C/c, $P_{\text{нагр.}} = jU_{\text{кпп}}$ - мощность, идущая на нагрев катода-садки - это удельная мощность, здесь j – плотность тока A/m^2 , а $U_{\text{кпп}}$ – катодное падение потенциала, В, c – теплоемкость стали, Дж/кг·град, m – масса садки, кг. Как прави-

ло, величина $U_{кпп}$ составляет значение от 80 до 90 % приложенного к электродам напряжения в зависимости от давления и состава плазмообразующего газа и для оценки можно использовать среднее значение – 0,85. Если умножить произведение $jU_{кпп}$ на площадь садки S , то получим мощность, которую получает деталь в процессе нагрева в разряде:

$$P_{нагр.} = j \times U_{кпп} \times S. \quad (2)$$

Таблица 1. Скорость разогрева садки деталей в зависимости от соотношения S/m

$\Delta T, ^\circ C$	$V_1, ^\circ C/мин$				
	$S/m=0,022$	0,023	0,072	0,006	0,002
20-100	1,78	2,5	2,3	1,4	1,7
100-200	3,23	2,7	3	1,9	1,4
200-300	3,13	2,78	4	1,85	1,37
300-400	2,17	1,82	2,05	1,85	1,14
400-500	1,54	1,09	1,43	1,7	0,58
500-450	1,3	0,51	0,84	1,3	0,4

По мере повышения температуры деталей тепло с их поверхности посредством излучения передается либо на стенку камеры (в установках с «горячими» стенками) или на теплозащитный экран камеры с «холодными» стенками, либо на соседнюю деталь. Таким образом, темп разогрева детали согласно уравнению (1) будет определяться уравнением:

$$dT/dt = j \times U_{кпп} \times S / c \times m - P_{охл.} / c \times m \quad (3)$$

В таблице 1 представлены результаты анализа стадии разогрева деталей с различным соотношением параметра S/m для температурного интервала $20^\circ C - 540^\circ C$.

Как следует из представленных в таблице 1 данных, независимо от параметра S/m в диапазоне от 20 до $300^\circ C$ разогрев садки происходит с достаточно приемлемой скоростью, затем, по мере повышения температуры и уменьшения параметра S/m , наблюдается замедление, причем оно коррелирует с величиной S/m . Следовательно, в случае обработки деталей с достаточно малым значением S/m (0,002 и менее), более целесообразной будет конструкция камеры с дополнительными нагревателями (см. рисунок 2). Это будет более

эффективным, нежели увеличение мощности плазмогенератора, поскольку при повышении мощности тлеющего разряда будет наблюдаться повышенное дугообразование, что замедляет темп разогрева и приводит к повреждению поверхности детали (см. рисунок 2).

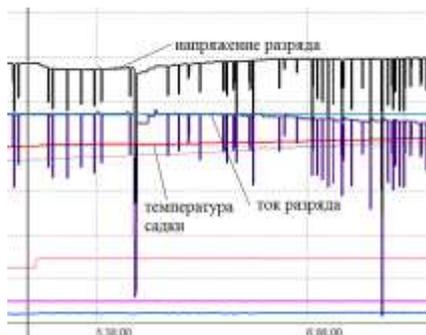


Рис. 2.Графический протокол процесса разогрева садки

Список использованных источников

1. Босяков М.Н., Козлов А.А. Энергетические и газодинамические характеристики установок ионного азотирования промышленного типа. Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. 2018. Т. 63, № 3. – С. 342–350.