

Л.В. Кожитов, Н.А. Чиченев, В.А. Демин, П.А. Златин, С.Г. Емельянов, Ю.Н. Пархоменко, О.К. Курбатов. – М.: МГИУ, 2010. – 444 с.

УДК 621.762.4

Босяков М.Н., Малевич А.В.

**ВЗАИМОСВЯЗЬ МАССОГАБАРИТНЫХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ И ПАРАМЕТРОВ  
УПРОЧНЕННОГО СЛОЯ ПРИ ИОННОМ АЗОТИРОВАНИИ**

*Физико-технический институт НАН Беларуси,  
г. Минск, Республика Беларусь  
Барановичский государственный университет,  
г. Барановичи, Республика Беларусь*

При упрочняющей обработке деталей машин, инструмента, литейной и штамповой оснастки в ряде случаев приходится в одной садке комбинировать детали различной массы и геометрии. При этом может возникнуть такая ситуация, что при разогреве деталей и их изотермической выдержке, когда происходит насыщение поверхности азотом, температура различных деталей может различаться, что может сказаться на результатах азотирования – поверхностной твердости и глубине слоя.

Целью настоящей работы являлось изучение влияния массогабаритных характеристик деталей на результаты ионного азотирования. Исследования проводились на установке ионного азотирования промышленного типа, размеры рабочего пространства камеры – диаметр – 2000 мм, высота загрузки – 850 мм. Обрабатывались детали цилиндрического типа единичной массой порядка 100 кг, а вся масса садки была чуть более 2000 кг. Измерения температуры проводилось непосредственно в детали, вторая термопара измеряла температуру цилиндра (контрольного образца), расположенного рядом с садкой деталей (см. рисунок 1).

Контрольные образцы для металлографического анализа располагались непосредственно на детали и на цилиндре. Марка стали обрабатываемых деталей и контрольных образцов – 40Х.

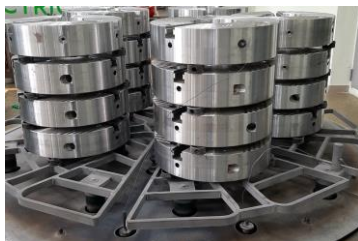


Рис. 1. Расположение деталей в рабочей камере

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

$$cm \frac{dT}{dt} = P_{\text{нагр}} - P_{\text{охл}}$$

где  $dT/dt$  – темп разогрева садки,  $^{\circ}\text{C}/\text{с}$ ,  $P_{\text{нагр.}} = jU_{\text{кпп}}$  – мощность, идущая на нагрев катода-садки – это удельная мощность, здесь  $j$  – плотность тока  $\text{A}/\text{м}^2$ , а  $U_{\text{кпп}}$  – катодное падение потенциала, В,  $c$  – теплоемкость стали,  $\text{Дж}/\text{кг} \cdot \text{град}$ ,  $m$  – масса садки, кг. Как правило, величина  $U_{\text{кпп}}$  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  $jU_{\text{кпп}}$  на площадь садки  $S$ , то получим мощность, которую получает деталь в процессе 0

$$P_{\text{нагр}} = j \times U_{\text{кпп}} \times S$$

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, либо на соседнюю деталь. Таким образом, темп разогрева детали согласно уравнению (1) будет определяться уравнением

$$\frac{dT}{dt} = j \times U_{\text{кпп}} \times \frac{S}{c} \times m - \frac{P_{\text{охл}}}{c \times m}$$

И если обрабатываемая деталь имеет достаточно большую массу (800–1200 кг) и относительно небольшую площадь (малое значение  $S/m$ ), то разогрев ее с приемлемой скоростью (порядка 2–2,5°С/мин) практически невозможен, так как повышение мощности тлеющего разряда будет неминуемо приводить к срыву тлеющего разряда в дуговой, что замедляет темп разогрева и приводит к повреждению поверхности детали. В таких случаях отдают предпочтение конструкциям камер с дополнительным нагревателем, который может размещаться как снаружи вакуумной обечайки камеры, так и внутри ее.

Поток излучения  $Q_{(с,ст)э}$  от садки с излучающей площадью  $F_c$  и температурой  $T_c$  к стенке, имеющей температуру  $T_{ст}$ , при наличии теплозащитных экранов будет выглядеть следующим образом  $P_{охл.} = Q_{(с,ст)э}$ :

$$Q_{(с,ст)э} = C_0 A_{(с,ст)э} F_c \left( \left[ \frac{T_c}{100} \right] - \left[ \frac{T_{ст}}{100} \right] \right)$$

где  $A_{(с,ст)э}$  – приведенный коэффициент поглощения рассматриваемой излучающей системы, имеющий различные значения для случая цилиндрических экранов и плоских экранов;  $C_0$  – константа излучения черного тела,  $C_0 = 5,67 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{К}^4$ . Для камеры с горячей стенкой величина  $A_{(с,ст)}$  определяется следующим образом

$$A_{(с,ст)} = 1 / (\varepsilon_c^{-1} + (\varepsilon_{ст}^{-1} - 1) \left( \frac{F_c}{F_{ст}} \right))$$

а для камеры с холодными стенками соответственно

$$A_{(с,ст)} = \frac{1}{\left( \varepsilon_{12}^{-1} + \frac{\sum(F_c)}{F_{эi}} \right) \left( \frac{2}{\varepsilon_{эi}^{-1}} - 1 \right)} + F_c / F_{ст}$$

где  $\varepsilon_c$  и  $\varepsilon_{ст}$  – соответственно степень черноты садки и стенки,  $F_c$  и  $F_{ст}$  – площади излучающей поверхности садки и стенки соответственно,  $\varepsilon_{12}$  – приведенная степень черноты системы «садка – стенка», определяемая по формуле (5),  $F_{эi}$  и  $\varepsilon_{эi}$  – площадь и степень черноты соответствующего  $i$ -го экрана.

На рисунке 2 приведен график изменения температуры массивной детали и температуры цилиндра массой 0,924 кг.

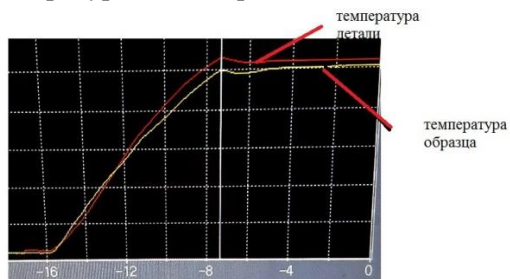


Рис. 2. Изменение температуры обрабатываемой детали и цилиндрического образца при разогреве садки и изотермической выдержке

Как видно из представленных данных, температура образца была ниже, чем температура детали, как на стадии разогрева, так и на стадии изотермической выдержки. Отставание от температуры детали на стадии разогрева составило в среднем 30°C, соответственно на стадии выдержки – 15°C.

Такое различие в температуре привело к тому, что результаты азотирования оказались разными: при практически одинаковой глубине слоя твердость поверхности образца, который располагался на массивной детали составила 525 HV, а образца на цилиндре – 620 HV.

Таким образом, как показали проведенные исследования, в одной садке деталей можно комбинировать детали с различными массогабаритными характеристиками и получать прогнозируемый результат по параметрам азотированного слоя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Босяков М.Н., Козлов А.А. Энергетические параметры процессов ионного азотирования на промышленном оборудовании / Доклады БГУИР, 2013, № 3(73). – С. 76–82.
2. 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.