

П. А. ТОПОЛЯНСКИЙ, канд. техн. наук, А. П. ТОПОЛЯНСКИЙ, Н. А. СОСНИН, д-р техн. наук, С. А. ЕРМАКОВ, канд. техн. наук (Санкт-Петербургский ГПУ), e-mail: topoljansky@mail.ru

## Формирование нанопокрывтия на деталях трубопроводной арматуры путем финишного плазменного упрочнения

Установлено влияние шага параллельных полос на параметры упрочняющего нанопокрывтия на примере финишного плазменного упрочнения деталей трубопроводной арматуры.

**Ключевые слова:** плазменная технология, нанопокрывтие, толщина покрытия.

An influence of the step of parallel strips on the parameters of reinforcing nano-coating has been ascertained by the example of the finish plasma hardening of parts of pipeline valves.

**Keywords:** plasma technology, nano-coating, the coating thickness.

Одним из самых распространенных видов технологического оборудования, применяемого практически во всех отраслях промышленности, является запорно-регулирующая арматура. Поэтому повышение ее надежности и конкурентоспособности является актуальной задачей.

Новым направлением повышения качества и долговечности деталей трубопроводной арматуры является применение современных нанотехнологий, обеспечивающих нанесение упрочняющих нанопокрывтий. ОАО "Благовещенский арматурный завод" выпускает запорные задвижки DN 300, изготавливаемые из сталей 14X17H2 и 20X13 с вакуумным ионно-плазменным нанопокрывтием из нитрида титана [1]. Новая технология финишного плазменного упрочнения (ФПУ) [2] обеспечивает нанесение износостойкого нанопокрывтия на основе Si—O—C—N с использованием малогабаритной и мобильной аппаратуры на базе специальных электродуговых плазмотронов. Технология ФПУ не требует разрядки, может проводиться как в автоматическом, так и в ручном режимах, отличается минимальным расходом жидких средств упрочнения ( $\approx 0,5$  л в год) и низким

энергопотреблением (до 5 кВА). На рис. 1 (см. обложку) показано нанесение покрытия методом ФПУ на клин шиберной задвижки. Уплотняющие поверхности запорно-регулирующей арматуры деталей типа седло, диск, кольцо имеют типичную форму рабочих поверхностей шириной 5–50 мм.

Толщина износостойких нанопокрывтий, наносимых методом ФПУ, при скоростях перемещения плазменной струи 10–100 мм/с составляет соответственно от 30 до 3 нм. Толщина покрытия, наносимого за один проход плазмотрона, в поперечном сечении распределяется неравномерно. На рис. 2 (см. обложку) показаны распределения толщин покрытий в поперечном сечении при скорости перемещения плазменной струи 10 мм/с и  $b = 0$  для разного числа  $N$  полных проходов плазмотрона. Расчетную ширину полосы наносимого покрытия можно принять равной 8 мм. При этом на границах толщина покрытия будет не менее 72 % от максимальной толщины.

При нанесении полосы шириной от 10 мм и более решается задача оптимизации процесса с учетом перекрытия наносимых параллельно полос с определенным шагом. Определим влияние

шага параллельных полос на параметры упрочняющего нанопокрывтия при ФПУ. Производительность  $P$  ФПУ при нанесении нанопокрывтия толщиной  $F$  прямо пропорциональна расчетной площади  $S_p$  и обратно пропорциональна времени  $t$  нанесения:

$$P = S_p/t. \quad (1)$$

С другой стороны производительность можно выразить через коэффициент  $K_n$  производительности, определяемый по опытным данным, и толщину  $F$  покрытия:

$$P = K_n/F. \quad (2)$$

На некоторой условной длине  $L$  обрабатываемой поверхности расчетная площадь находится по формуле

$$S_p = L(8 + b), \quad (3)$$

где  $b$  — шаг наносимых параллельных полос.

С уменьшением шага  $b$  при постоянной длине  $L$  и времени  $t$  нанесения покрытия уменьшаются площадь  $S_p$  и производительность  $P$ .

Рассмотрим, как меняется при этом толщина покрытия по оси симметрии полос. При постоянной длине  $L$  полос и неизменной скорости движения плазмотрона (например  $v = 10$  мм/с) за 10 полных проходов будет формироваться одиночная полоса покрытия по оси толщиной 0,277 мкм (см. рис. 2). При наложении параллельных полос с шагом  $b \neq 0$  (рис. 3,  $F_1$  и  $F_2$ , см. обложку) получим в результате суммарное распределение  $F_{1,2}$ .

Различные варианты распределений толщин покрытий при разных значениях  $b$  показаны на рис. 3–6 (рис. 3–5, см. на обложке). При нанесении полос с шагом 8 мм (см. рис. 5) происходит суммирование семи ( $7F$ ), пяти ( $5F$ ), четырех ( $4F$ ) и трех ( $3F$ ) полос, получаем толщину покрытия



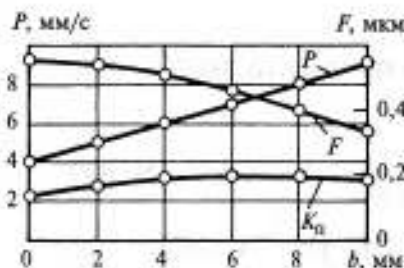


Рис. 6. Зависимости изменений производительности  $P$ , коэффициента  $K_p$ , производительности и толщины  $F$  покрытия от шага  $b$

$F = 0,430 - 0,003$  мкм, а для двух параллельных полос с шагом 8 мм толщина покрытия составляет 0,4 мкм, т. е. всего на 7 % меньше. В таблице приведены значения параметров нанопокровов при разных  $b$ , рассчитанные по формулам (1)–(3). Максимальный коэффициент  $K_p$  производитель-

ности получаем при  $b = 6,5$  мм, он превышает  $K_p$  для шага 8 мм всего на 1 %.

При одинаковом времени нанесения покрытия с увеличением шага от 0 до 8 мм толщина покрытия уменьшается с 0,554 мкм до 0,4 мкм, а производительность  $P$  возрастает в 2 раза (см. рис. 6 и таблицу).

При постоянной толщине  $F$  покрытия увеличение шага от 0 до 8 мм приводит к росту площади  $S_p$  и к увеличению, но в меньшей степени, времени  $t$  нанесения покрытия, так как возрастает  $K_p$ :  $t = S_p F / K_p$ , в результате производительность увеличивается примерно в 1,5 раза.

Оптимальным можно считать шаг  $b = 8$  мм, так как в этом случае достигается достаточно высокая производительность при вы-

сокой равномерности толщины покрытия на всей обрабатываемой поверхности. Увеличение шага свыше 10 мм ведет к появлению провалов по границам полос.

Таким образом, при ФПУ с увеличением шага нанесения параллельных полос упрочняющего нанопокровов от 0 до 8 мм и сохранении времени нанесения имеет место уменьшение толщины покрытия на 28 %, но повышается производительность в 2 раза. При сохранении толщины покрытия производительность повышается в 1,5 раза. При большем шаге снижается термическое воздействие на упрочняемое изделие, что уменьшает опасность перегрева. Оптимальным можно считать шаг  $b = 8$  мм. При  $b > 10$  мм существенно возрастает неравномерность толщины покрытия.

Значения параметров износостойкого нанопокровов в зависимости от шага  $b$  параллельных полос ( $L = \text{const}$ ,  $t = \text{const}$ )

Параметр	$b$ , мм					
	0	2	4	6	8	10
$S_p/L$ , мм	8	10	12	14	16	18
$F$ , мкм	0,5540	0,5425	0,5104	0,4616	0,4000	0,3320
$P$ , мм <sup>2</sup> /с	4	5	6	7	8	9
$K_p$ , км · мм <sup>2</sup> /с	2,216	2,7125	3,0624	3,2312	3,200	2,988

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Тополянский П. А. Использование нанотехнологий при изготовлении деталей трубопроводной арматуры // Арматуростроение. 2010. № 2(65). С. 70–75.
2. Соснин Н. А., Ермаков С. А., Тополянский П. А. Плазменные технологии. Руководство для инженеров. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2008. 406 с.

## АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА: справочник

И. Х. Стратиевский, В. Г. Юрьев, Ю. М. Зубарев

2010 г. 352 с.: ил.

ISBN 978-5-94275-522-5

Цена 700 р.



Содержит данные об основных видах современных абразивных инструментов, выборе их характеристик и подготовке к эксплуатации. Для наиболее распространенных способов абразивной обработки приведены рекомендации по режимным параметрам, применяемому оборудованию и технологической оснастке, смазывающим технологическим средствам, оценке эксплуатационных свойств инструментов. Учтены изменения в стандартах, произошедшие в последние годы.

Предназначен для инженерно-технических работников машиностроительных предприятий, конструкторов и технологов, студентов и преподавателей высшего и среднего профессионального образования.

107076, г. Москва, Стромьинский пер., 4; факс: (499) 269-48-97; e-mail: realiz@mashin.ru  
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98  
и на сайте WWW.MASHIN.RU