

## УПРОЧНЕНИЕ ПОКРЫТИЙ ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ ИНДУКЦИОННЫМ НАГРЕВОМ

Методы обработки металлов путем нагрева их в быстропеременных электромагнитных полях сравнительно недавно стали играть довольно важную роль в области упрочнения покрытий.

Наряду с существующими методами повышения прочности сцепления покрытия и основы (поверхностное оплавление, ультразвуковое упрочнение и др.) способ индукционного оплавления покрытия преимущественно отличается нагревом покрытия и основы одновременно под действием вихревых токов.

Кроме того, воздействие на многослойную поверхность токами высокой частоты с различными удельными сопротивлениями материалов и их магнитной проницаемостью подтверждают эффективность данной технологии для повышения адгезии нанесенного покрытия (рис. 1).

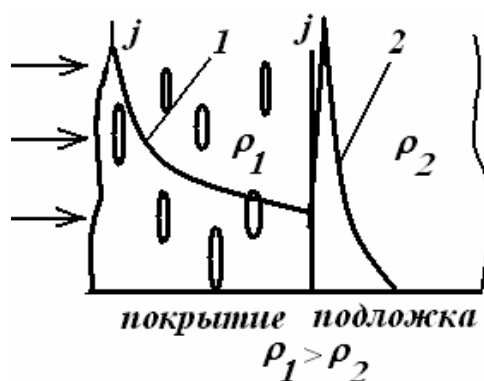


Рис. 1. Распределение плотности тока в двухслойной структуре при индукционном нагреве: 1 – в напыленном покрытии; 2 – в подложке;  $\rho_1, \rho_2$  - удельные электрические сопротивления напыленного слоя и подложки, соответственно

Как видно из рис. 1, на границе раздела покрытие – подложка при соотношении удельных электрических сопротивлений материалов  $\rho_1 \gg \rho_2$  плотность тока резко возрастает, что дает возможность производить оплавление материалов в зоне сцепления подложки с покрытием.

В свете этой проблематики был проведен ряд экспериментов следующего содержания.

На первом этапе деталь цилиндрической формы из нержавеющей стали X18Н9 прошла обработку пескоструйной машиной, чтобы удалить с ее поверхности загрязнения.

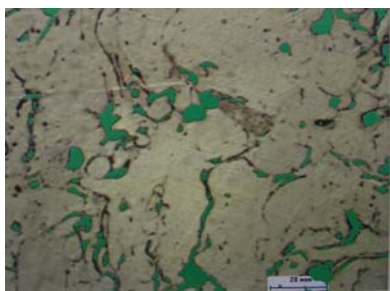
Следующим этапом эксперимента стало нанесение различных покрытий методом воздушно-плазменного напыления. Исследовалось три вида покрытий:

1. Порошок ПТЮ-10Н. Это порошок никель - алюминия, он образует защитное, жаропрочное, терморегулирующее покрытие детали.

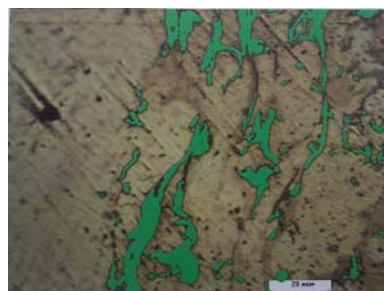
2. Второе покрытие комбинированное. Первый слой это ПТЮ-10Н, обеспечивающий возможность усадки материала детали после остывания и защиту второго слоя – керамики от растрескивания. Второй слой это керамика - оксид циркония  $ZrO_2$  стабилизированный кальцием (диаметр частиц 40-100 мкм). Этот порошок является термозащитным.

3. Порошок ПГ-СР2. Это порошок никеля, диаметр частиц 40-100 мкм.

Далее деталь с напыленным на нее покрытием подвергалась оплавлению (нагреву) токами высокой частоты. Исследовался следующий диапазон частот: 440 кГц, 1.76 МГц, 5.28 МГц и 27 МГц. Исследование проводилось также для различных температур, в диапазоне от 500 до 1500, 1700  $^{\circ}C$ .



a)



б)

Рис. 2. Шлифы покрытий: а) Ni-Gr-B-Si (ПГСП2), пористость – 6,3%, 1,76 МГц, T=800 °С; б) Ni-Al (ПТЮ-10Н), пористость – 9,2 %, 27,12 МГц, T=900 °С

Следующим этапом эксперимента стало изготовление шлифов (рис. 2) для этого из детали вырезался сегмент, который в дальнейшем и подвергался исследованию по ряду параметров.

Выбор режима индукционного нагрева покрытий из различных (в основном, композиционных) материалов во многом определяется частотой тока и продолжительностью нагрева. В результате использования индукционного нагрева (рис. 3) получены покрытия, отличающиеся улучшенными свойствами.



Рис. 3. Индукционный нагрев заготовок до регулируемой температуры на частотах: 440 кГц, 1,6 – 27,12 МГц

Так для покрытий толщиной 100-200 мкм на стальной основе получено: для структур покрытий из материалов Ni, FeCr, Cr<sub>2</sub>B, CrB, Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> твердость HRC - 60-65, объемная плотность – 6,5-7 Г/см<sup>3</sup>, открытая пористость 6-7% (рис. 2), микротвердость 8100 -8290 Мпа, содержание кислорода 0,1-0,2%, частично распадаются бориды и карбиды; для структуры Cu<sub>3</sub>Al<sub>4</sub> – плотность – 6,4 Г/см<sup>3</sup>, пористость 5-6%, микротвердость 1100-2500 МПа, содержание кислорода – 0.02-0.1%; для WC, Co твердость 60-64 HRC, плотность 13,5-15,5 Г/см<sup>3</sup>, пористость 2.5-3%, микротвердость 7697-12146 МПа, содержание кислорода 0.08-0,15%, частичное разложение WC на W и W<sub>2</sub>C, Co – растворяется в WC с образованием Co<sub>3</sub>W<sub>3</sub>C; для Ni<sub>3</sub>Al - твердость 30-35 HRC, плотность 6,45-6,85 Г/см<sup>3</sup>, пористость 8-10% (рис. 2), микротвердость 3430-6810 Мпа, содержание кислорода 0,2-0,25%, появляются фазы NiAl<sub>32</sub>O<sub>49</sub> и NiAl<sub>36</sub>O<sub>46</sub>.

Исследования показали, что подобное “оплавление” покрытия детали позволяет упрочнить сцепление материала покрытия и материала основы – адгезию, а также повысить когезионные свойства покрытия, улучшить ряд других показателей. Все это говорит о необходимости дальнейших исследований в этой области.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Клубникин В.С., Карасев М.В., Петров Г.К. Плазменное напыление покрытий в активных средах. // Изд-во ЛДНТП, Л., 1990.– 19 с.
2. Кудинов В.В., Бобров Г.В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. М.: «Металлургия», 1992.– 432 с.