

КЕРАМИКА		
Физико-механические и электрические свойства	ВК94-1 (22ХС)	ВК100-2 (КМ)
Объемная масса, г/см <sup>3</sup> , не менее	3,65	3,88
Водопоглощение, %, не более	0,02	0,02
Предел прочности при статическом изгибе, кг/см <sup>2</sup> , не менее	3200	3200
Диэлектрическая проницаемость при 10 <sup>6</sup> Гц и 25 <sup>o</sup> С, не более	10,3	10,5
Тангенс угла диэлектрических потерь при 10 <sup>6</sup> Гц и 25 <sup>o</sup> С, не более	6 · 10 <sup>-4</sup>	2 · 10 <sup>-4</sup>
Диэлектрическая проницаемость при 10 <sup>10</sup> Гц и 25 <sup>o</sup> С, не более	10,3	10,1
Тангенс угла диэлектрических потерь при 10 <sup>10</sup> Гц и 25 <sup>o</sup> С, не более	15 · 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом·см, при 100 <sup>o</sup> С, не менее	10 <sup>13</sup>	10 <sup>14</sup>
МЕТАЛЛОКЕРАМИКА		
Свойства	На основе керамики ВК94-1	На основе керамики ВК100-2
Швы вакуумплотные	+	+
Сопротивление изоляции, не менее	10 <sup>11</sup>	5·10 <sup>12</sup>
Сохранение герметичности	После 5 термоциклов: (25±10 <sup>o</sup> С — (600±20 <sup>o</sup> С) — (25±10 <sup>o</sup> С)	

УДК 533.62.293

Бычек А.Н.

## СТРУКТУРНО-ФАЗОВАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО СПЛАВА Т15К6 НА ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННОЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ «МПК»

*БНТУ, Минск*

*Научный руководитель: Асташинский В.М.*

В настоящее время интенсивно исследуются новые методы изменения состояния поверхностей различных материалов с целью придания им требуемых свойств, так как возможности традиционных методов химико-термической обработки практически исчерпаны.

Перспективными способами обработки различных материалов являются плазменные методы, основанные на технике получения плазмы с помощью плазмотронов, плазменных дуг, плазменных ускорителей и других устройств. В то же время

получение плазменных потоков с параметрами, достаточными для существенной модификации материалов, не является тривальной задачей.

Разработанные и созданные в лаборатории физики плазменных ускорителей квазистационарные плазодинамические системы нового поколения, генерирующие компрессионные плазменные потоки, по совокупности параметров превосходящие все существующие в мире системы, открывают принципиально новые возможности для эффективной модификации (улучшения) поверхностных свойств различных материалов.

Среди известных способов упрочнения твердых сплавов особое место занимают методы поверхностной обработки материалов концентрированными потоками энергии (мощными ионными пучками, компрессионными плазменными потоками, лазерным лучом, сильноточными электронными пучками). Такого рода воздействие эффективно повышает механические и технологические свойства твердых сплавов за счет формирования их высокодисперсной структуры в результате плавления и последующей сверхбыстрой закалки из расплава. Степень модифицирования поверхностных слоев определяется параметрами высокоэнергетического воздействия – плотностью поглощенной энергии, числом, частотой и длительностью импульсов. Твердые сплавы получили большое применение в тех отраслях промышленности, где необходимо высокое сопротивление износу.

Поскольку воздействие на образцы проводится в замкнутом объеме под вакуумом, с напуском азота, либо любого другого инертного газа, то вредные воздействия на окружающую среду исключаются, и проведение дополнительных мероприятий направленных на охрану окружающей среды не требуется.

Обработка исследуемых образцов проводится одним или серией импульсов воздействия компрессионного плазменного потока на поверхность, число которых в различных

экспериментах может изменяться от 2 до 8. Типичная фотография процесса воздействия компрессионного плазменного потока на образец, установленный на расстояние 16 см от среза разрядного устройства МПК, представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Фотография процесса воздействия компрессионного плазменного потока на образец

Согласно проведенным калориметрическим измерениям, значения плотности энергии, поглощаемой поверхностью образца, в зависимости от его удаления от среза разрядного устройства МПК и начального напряжения накопителя энергии ускорителя изменяется от 3 до 25 Дж/см<sup>2</sup> за импульс, рисунок 4, что в условиях экспериментов соответствует изменению плотности мощности потока в диапазоне  $(0,3 \div 2,5) \cdot 10^5$  Вт/см<sup>2</sup>.

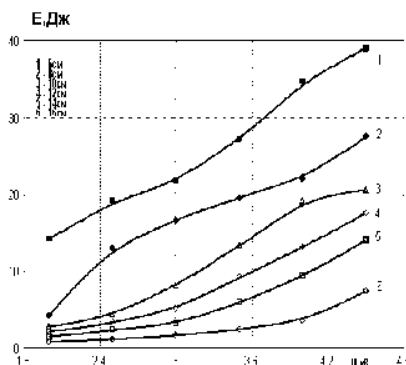


Рисунок 4 – Зависимость поглощенной образцом энергии от начального напряжения накопителя МПК и от расстояния до мишени

Одним из основных факторов, определяющих структурно-фазовые изменения в модифицированном слое, формируемом в образцах под воздействием компрессионных плазменных потоков, является давление, оказываемое этим потоком на поверхность. Поэтому были проведены прямые измерения давления компрессионного плазменного потока на мишень в различных режимах работы магнитоплазменного компрессора с помощью оптического датчика, нечувствительного к электромагнитным наводкам. Азотирование является одним из эффективных способов повышения износостойкости инструментов на основе спеченных твердых сплавов. Помимо модификации структурно-цветфазового состояния поверхностных слоев материала, воздействие компрессионными плазменными потоками, плазмообразующим веществом которых является азот, приводит также к диффузии азота в их поверхностные слои, однако этот процесс протекает за более короткое время по сравнению с традиционными методами. Таким образом, путем варьирования параметров компрессионного плазменного потока можно эффективно осуществлять как азотирование поверхностного слоя твердого сплава, так и изменять его структуру, что способствует улучшению механических характеристик.

Воздействие серией из 10 импульсов компрессионного плазменного потока с плотностью энергии  $50 \text{ Дж/см}^2$  за один импульс на образец твердого сплава Т15К6 приводит к плавлению поверхностного слоя глубиной 5–8 мкм, рисунок 1б.

После окончания воздействия происходит быстрая кристаллизация расплавленного слоя, что приводит к существенным структурно-фазовым изменениям материала и улучшению его эксплуатационных характеристик. Как показали исследования, в результате воздействия происходит азотирование поверхностного слоя глубиной до 1 мкм, причем содержание азота составляет 17–23 % ат. доли. При этом в случае воздействия компрессионным плазменным потоком

с плотностью энергии в импульсе  $40 \text{ Дж/см}^2$  в модифицированном слое были обнаружены нитридные фазы вольфрама ( $\text{WN}$ ,  $\text{W}_{4,6}\text{N}_4$ ) и карбонитрид титана  $(\text{Ti,W})\text{C}_x\text{N}_y$ . При увеличении плотности энергии в импульсе до  $50 \text{ Дж/см}^2$  фазовый состав модифицированного слоя образцов соответствует преимущественно пересыщенному вольфрамом твердому раствору  $(\text{Ti,W})\text{C}$ .

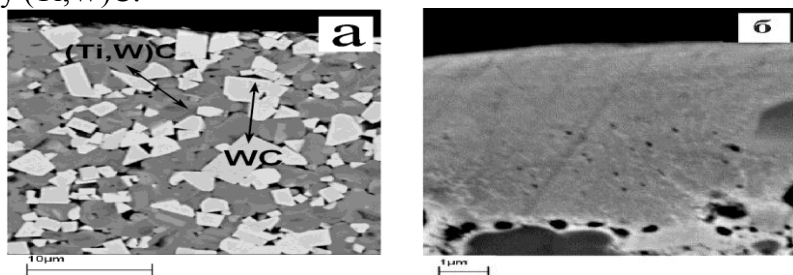


Рисунок 1 – Микрофотографии поперечного сечения образца Т15К6 до (а) и после (б) воздействия компрессионного плазменного потока

Следствием таких структурно-фазовых изменений модифицированного слоя твердого сплава Т15К6 после воздействия компрессионного плазменного потока является увеличение твердости поверхности в 2–3 раза. Одновременно существенно снизился коэффициент трения модифицированной поверхности с  $\sim 0,7$  (необработанный сплав) до  $0,15-0,3$ . Таким образом, существенное улучшение эксплуатационных характеристик твердого сплава после воздействия компрессионного плазменного потока связано с формированием более однородного по структуре и составу слоя, обладающего повышенной микротвердостью и низким коэффициентом трения модифицированной поверхности, что должно препятствовать абразивному и адгезионно-усталостному видам износа.