

сегодняшний день на фронтах железных дорог работают 94 машины ПРСМ-3,4,5,6 и одна КСМ-005. Машины ПРСМ (рис. 3) предназначены для контактной сварки рельсов пульсирующим оплавлением (рис. 4) в «полевых» условиях на фронтах ремонта пути. Сварка может производиться как в уложенных в путь рельсовых плетей, непосредственно по которому передвигаются машины, так и плетей, уложенных вдоль пути – внутри и снаружи колеи. Машины оборудованы современным сварочным оборудованием, а именно, подвесными сварочными головками К-922, МСР 120.01 и др., а также путевыми установками индукционного нагрева УИН.



Рис. 3. Машины ПРСМ предназначены для контактной сварки рельсов.



Рис. 4. Внешний вид сварного соединения

#### Список литературы

1. <https://vunivere.ru/work7455/>
2. Развитие конструкций железнодорожных рельсов, их стыковых соединений и технологий обработки: диссертация ... кандидата технических наук: 07.00.10 / Воронина Ольга Николаевна; [Место защиты: МГУПС (МИИТ)]. - Москва, 2014. - 228 с.

### ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

Д.М.Соатов<sup>1</sup>, студент, Т.А. Куренбин<sup>2</sup>, инженер-технолог, И. М. Гончаренко<sup>1,3</sup>, к.т.н, доц.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, г Томск, пр. Ленина 30, тел. (3822)-12-34-56

<sup>2</sup>ООО ПК МИОН 634034, г Томск, ул. Вершинина, 46/6, тел. (3822)-99-6501

<sup>3</sup>Институт сильноточной электроники СО РАН  
634055, г. Томск, пр.-т Академический, 2/3, тел. (3822)-49-13-00

E-mail: Dalersoatov01@yandex.ru

В данной статье экспериментально исследуется получение тонких диборидных покрытий на подслои TiN, ZrN, CrN, Cr методом магнетронного распыления. Выявлено оптимальные адгезионные свойства подслоя для диборидных покрытий.

this article experimentally investigates the production of thin diboride's coatings on base coating, Crn, CrN, Cr sublayer by magnetron sputtering. The optimal adhesion properties of the base coat for diboride's coatings are revealed.

Диборид титана обладает уникальными физико-механическими свойствами [1,2]. Это, прежде всего, высокая твердость, высокая температура плавления, высокая теплопроводность, низкое электрическое сопротивление, стойкость к абразивному износу и воздействию агрессивных сред. Благодаря таким свойствам диборид титана используется в качестве износостойкого защитного покрытия на обрабатываемом инструменте [3]. Целью работы является получение и исследование эксплуатационных свойств тонких диборидных покрытий, осажденных методом магнетронного распыления в условиях высокого вакуума.

В настоящей работе проведено изучение особенностей нанесения тонких ( $h \sim 2$  мкм) жаропрочных покрытий TiB<sub>2</sub> на образцы из инструментального сплава. Для выявления оптимальных адгезионных свойств указанного типа покрытия, подложки предварительно модифицировали путем нанесения переходящего подслоя. Были нанесены пленки следующих материалов: TiN, ZrN, CrN, Cr. Толщина всех подслоев составляла  $\sim 1$  мкм. Указанные промежуточные покрытия наносили на установку ионно-плазменного напыления ННВ-6,6 дуговым методом. Перед напылением с целью очист-

ки и активации поверхности образца, все образцы подвергались бомбардировке ионами титана при подаче отрицательного потенциала порядка  $U \sim 1000$  В.

Для нанесения, следующего слоев  $TiB_2$  использовали магнетронную распылительную систему APEL-MRE-95/100 (рис. 1.) с источником питания APEL-M-3BP-100-2. Мишень диборида титана для данного типа магнетрона изготовлена в виде круглой шайбы со следующими параметрами:  $d=70$  мм;  $b=5$  мм;  $m=80$  гр.



Рис. 1 Магнетрон с мишенью  $TiB_2$

При нанесении  $TiB_2$  покрытия на образцы, все они находились в равных условиях.

**Процесс нанесения покрытия проходил при следующих параметрах:**

Давление:.....  $P = 2 \cdot 10^{-1}$  Па ( $2 \cdot 10^{-3}$  мм. рт. ст.)

ГАЗ:..... Аргон, расход – 12%, (1,08 л/ч)

Ток разряда:.....  $I_{\text{разряда}} = 0.49$  А

Напряжение разряда:.....  $U_{\text{разряда}} = 520 \rightarrow 540$  В

Мощность:.....  $W = 0.25$  kW (250 Вт)

Частота:.....  $f = 80$  kHz

Время нанесения покрытия:..... 60 мин.

Все полученные в работе образцы подверглись измерению на микротвердость, адгезионную стойкость и толщины полученного слоя.

Первый этап – измерение толщины полученного слоя. Для измерения толщины слоя использовалась оборудование CALOTEST. В результате измерений было получено покрытие  $TiB_2$  толщиной  $\approx 2$  мкм (табл. 1.)

Таблица 1.

Результаты измерений толщин покрытий.

№	Материал покрытия	Толщина мкм
1	Cr	1,36
2	CrN	1,8
3	ZrN	1,8
4	TiN	1,3
5	$TiB_2$	1,8
6	Cr+ $TiB_2$	1,82
7	CrN+ $TiB_2$	1,9
8	ZrN+ $TiB_2$	2,38
9	TiN+ $TiB_2$	1,7

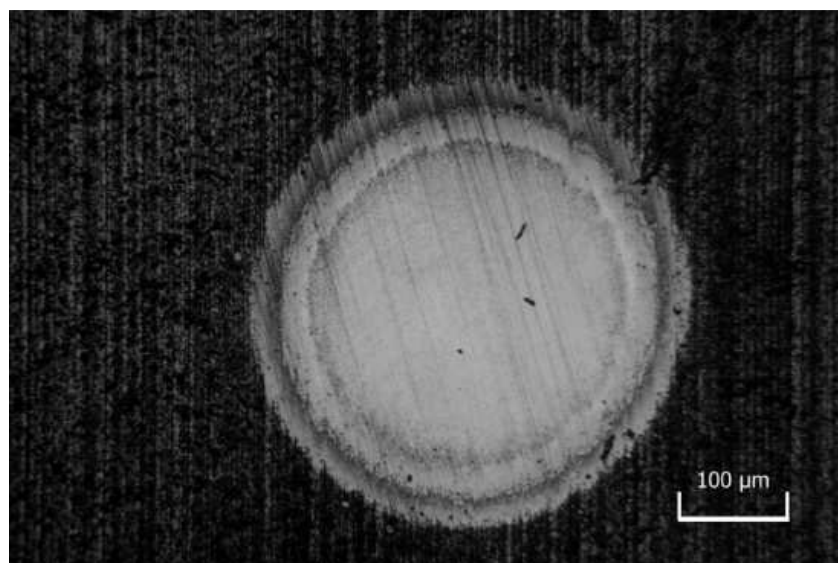


Рис. 2. Характерное изображение лунки полученной прибором CALOTEST на поверхности исследуемого образца с покрытием TiN+ TiB<sub>2</sub>.

Второй этап – измерение микротвёрдости покрытия TiB<sub>2</sub>. Измерение микротвёрдости проводилась по методу Виккерса, с помощью прибора ПМТ-3 при разных величинах испытательной нагрузки в диапазоне от 20 до 100 г. Результаты измерения микротвёрдости покрытий сведены в (табл. 2).

Таблица 2.

Результаты измерений микротвёрдости покрытий.

№	Материал покрытия	Твёрдость по Виккерсу Кг/мм <sup>2</sup>
1	Cr	953
2	CrN	1035
3	ZrN	1561
4	TiN	1812
5	TiB <sub>2</sub>	2105
6	Cr+ TiB <sub>2</sub>	1520
7	CrN+ TiB <sub>2</sub>	1643
8	ZrN+ TiB <sub>2</sub>	1762
9	TiN+ TiB <sub>2</sub>	2096

По результатам измерения микротвёрдости установлено, что твёрдость поверхности образцов с покрытием составила 1500-2000 кг/мм<sup>2</sup> (15-20 ГПа).

Третий этап – измерения адгезии покрытия в зависимости от состава промежуточного слоя. Адгезия покрытия определялась визуально при увеличении оптического микроскопа 100X по нарушению целостности покрытия в процессе испытания на твёрдость по Роквеллу при нагрузке 60 кг. (рис.2) Существует классификация HF1-6, по которой определяется класс качества полученного отпечатка. Результаты проведенных работ представлены в табл. 3.

Таблица 3.

Результаты испытаний на адгезию полученных покрытий.

Материал покрытия	Cr+ TiB <sub>2</sub>	CrN+ TiB <sub>2</sub>	TiB <sub>2</sub>	ZrN+ TiB <sub>2</sub>	TiN+ TiB <sub>2</sub>
Класс качества	HF6	HF5	HF6	HF6	HF3

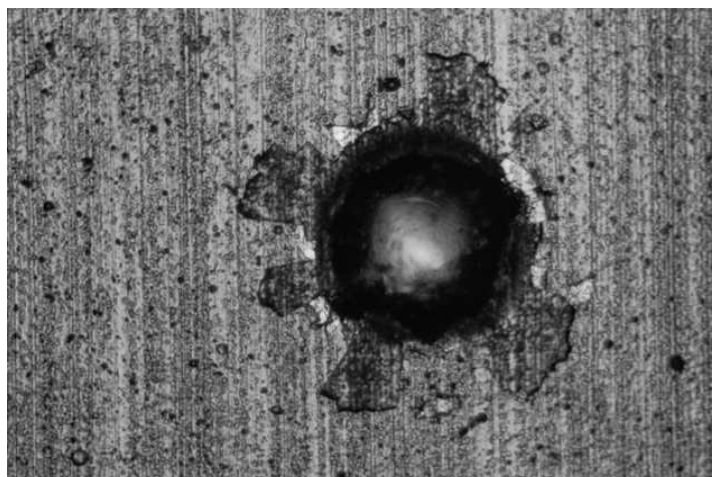


Рис. 3. Характерное изображение отпечатка пирамиды Роквелла на поверхности исследуемого образца с покрытием  $ZrN + TiB_2$ , отпечаток соответствует классу HF6.

Результат показал, что адгезия полученного покрытия на подслоях CrN, Cr, ZrN и без подслоя соответствуют 5-6 класс. Об этом свидетельствуют обширные радиальные трещины и большие площади деламинации фрагментов покрытия вокруг испытательного кратера.

На подслое TiN адгезия соответствует 3 классу, это видно по незначительным нарушениям целостности материала вокруг кратера. Для этого случая адгезию можно считать удовлетворительной удовлетворительная.

В заключение отметим, что в целом результаты получения TiB<sub>2</sub> покрытия магнетронным методом напыления получились весьма удовлетворительными. Что касается самого покрытия TiB<sub>2</sub>, то результат измерения микротвердости показал не лучший результат. Так как обычная твердость TiB<sub>2</sub> составляет 30 ГПа, а в результате работы было получено 20 ГПа. Так же можно выделить, что лучшим адгезионным подслоем из четырех исследованных выше, в результате показал TiN.

#### Список литературы

1. Гончаров А.А, Коновалов В.А, Ступак В.А. Влияние потенциала смещения на структуру тонких пленок диборида тантала//Письма в ЖТФ. – 2007. – Т. 33. – С. 12-17.
2. Гончаров А.А, Характерные особенности формирования структуры, состава и свойств пленок диборидов переходных металлов PVD-Методами//ФП ФИП PSE. - 2011. – Т. 9. – С. 4-10.
3. Ф.В. Кирюханцев-Корнеев, Н.А. Ширманов, А.Н. Шевейко, Е.А. Левашов и др., Наноструктурирование износостойкие покрытия для металлорежущего инструмента, полученные методами электронного испарения и магнетронного распыления// Вестник Машиностроения. – 2010. №9 – С. 62-73.

### ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ

*М.С. Зубков, студент группы 10А42,*

*научный руководитель: Зернин Е.А.*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

В статье рассмотрены преимущества и недостатки газотермического напыления.

В виду того, что к рабочим поверхностям деталей машин, при разных условиях эксплуатации требуются определенные свойства: износостойкости, жаростойкости, коррозионной стойкости и т.д., и для того чтобы обеспечить деталям требуемые свойства не обязательно использовать другие материалы для детали, возможно использование напыления на поверхность детали для придания защитных свойств [1].

Напыление – это процесс нанесения на обрабатываемую поверхность покрытия с помощью высокотемпературной скоростной струи, которая содержит капли или частицы порошка напыляемого материала. Эти частицы (капли) оседают на поверхности обрабатываемой детали [2].