

**ERFORSCHUNG VON BIOKOMPATIBLEN UND KORROSIONSBESTÄNDIGEN
BESCHICHTUNGEN, DIE AUF TITANLEGIERUNG VT6 DURCH
ELEKTROEROSIVEMETALLBEARBEITUNG AUFGETRAGEN WERDEN**

A.M. Pavlenko, V.A. Vinokurov

Wissenschaftsleiter: Dr. habil. E.V. Naydenkin, Laborleiter IPFS SA RAW

Sprachberaterin: Fr. Dr. E.K. Prochorets

Polytechnische Universität Tomsk, Russland, Tomsk, Lenin-Pr., 30, 634050

Institut für Physik der Festigkeit und Stoffkunde SA RAW,

Russland, Tomsk, Akademicheskij-Pr., 2/4, 634021

E-mail: lewako.punfaf@gmail.com

**ИССЛЕДОВАНИЕ БИОСОВМЕСТИМЫХ И КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ,
НАНЕСЕННЫХ НА ТИТАНОВЫЙ СПЛАВ VT6 МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО
ЛЕГИРОВАНИЯ**

A.M. Павленко, В.А. Винокуров

Научный руководитель исследования: зав.лаб. ИФПМ СО РАН, д.ф.-м.н. Е.В. Найденкин

Статья на нем. языке выполнена под руководством: к.пед.наук, доцента ТПУ Е.К. Прохорец

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,

Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4, 634021

E-mail: lewako.punfaf@gmail.com

В статье рассмотрены фазовый и химико-элементный составы покрытия для ортопедии и дентальной медицины, нанесенного на титановый сплав VT6 методом электроискровой обработки металлов с целью предотвращения попадания с поверхности сплава в организм человека химических элементов, оказывающих токсическое воздействие.

Titan und Titanlegierungen werden wegen ihrer hohen Korrosionsbeständigkeit, vorteilhaften mechanischen Eigenschaften und biokompatiblen Interaktion mit dem menschlichen Körper als Biomaterial in der Orthopädie bereits seit dem Ende der 70er Jahre des vergangenen Jahrhunderts verwendet [1].

Ein grundsätzlicher Nachteil von metallischen Biomaterialien besteht in der Diffusion cytotoxischer Elemente aus dem Implantat in das umliegende Körpergewebe und nachfolgender Reizung des Implantatlagers bis hin zur Entzündung. Außerdem neigt vor allem Titan bei kurzzeitiger Verwendung im Körper und besonders in anspruchsvollen Geometrien mit selbstschneidenden Schrauben in winkelstabilen Schraube-Platte-Kombinationen zu erhöhten Loslösemomenten bei der Entfernung des Implantats. Dies kann zu Gewebereizungen mit der Gefahr einer Entzündung, zu einem erhöhtem Risiko eines Sekundärbruchs beim Versuch der Implantatentfernung und damit in der Summe zu einem verlängerten Krankenhausaufenthalt führen [1].

In unserer Arbeit führen wir die Erforschung der Methode der elektroerosiven Metallbearbeitung von biokompatibler Beschichtung durch, die Auswirkungen der chemischen Elemente auf den menschlichen Körper reduziert (Al und V).

Das Ziel des Artikels ist es, die biokompatiblen und korrosionsbeständigen Beschichtungen näher zu betrachten.

Nach WHO-Statistiken sterben in der Welt jedes Jahr infolge der Arbeitsunfällen etwa 200.000 Menschen und 120 Millionen Menschen werden verletzt. Außer Verletzungen gibt es eine große Anzahl von Krankheiten, bei denen Gewebe notwendig ist, um verschiedene kranke Endoprothesen zu ersetzen. Außerdem eine große Anzahl von Menschen in der Welt mit Krankheiten der Zähne verlangen auch Prothetik [2].

Die Titanbasis-Legierungen entsprechen den Anforderungen der Implantologie nur teilweise [3]. In dieser Arbeit wurde Titanlegierung VT6 [4] als Substratmaterial verwendet.

Als Elektrodenmaterialien für die Beschichtung wurde Zirkonium ausgewählt [5]. Zirkonium hat eine hohe Stabilität gegenüber biologischen Umgebungen, die sogar höher als die von Titan ist, und eine ausgezeichnete Biokompatibilität [6]. In Versuchszwecken wurde die Oberfläche VT 6 von Graphit mit dem Verfahren der elektroerosiven Metallbearbeitung vorbehandelt.

Testverfahren und Beschichtung war auf der Anlage SE 5.01 gemacht worden [7], die von IFFS SA RAW entwickelt und produziert wurde.

Die Analyse der aufgetragenen Beschichtungen wurde auf einem Shimadzu Bestrahlungsanlage XRD-6000 durchgeführt, die eine multifunktionale Bestrahlungsanlage und ein senkrechten Winkelmesser hat. Untersuchung der Struktur und der chemischen Zusammensetzung von Beschichtungen ist auf dem Ionen-Elektronen-Raster-Mikroskop Quanta 200-3D mit Anschlussgerät EDAX durchgeführt worden. Rasterelektronenmikroskopie ist in einem Vakuum mit einer Beschleunigungsspannung von 20 kV auf der Fläche von $60 \times 60 \mu\text{m}$ mittels des EDAX-Systems durchgeführt worden.

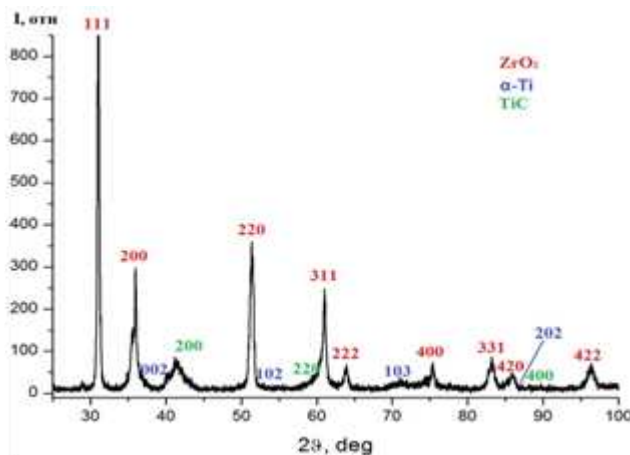


Abb. 1. Das XRD-Muster der Zirkonbeschichtung

Das Ergebnis war eine Beschichtungsstärke von etwa $45 \mu\text{m}$.

Die Ergebnisse zeigten auf der Probenoberfläche mit einer Beschichtung aus Zr drei Phasen: ZrO_2 -cub, Ti-hexag, TiC (Abb. 1). Die in der Beschichtung von Zirkondioxid enthaltene Modifikation hat ein fcc-Gitter. Die Größe der Gittermicros (microdistortion), die zur Erweiterung von Bragg Peaks definiert wurde, ist $e = 3,62 \times 10^{-3}$ gleich. Dieser Wert e weist hohe innere Spannungen in der Beschichtung auf, die offenbar des

thermischen Ursprungs sind, die beim schnellen Abkühlen wesentlich (typischerweise über $0,8 T_m$) erhitzten Materials entstehen.

Die Zirkonium-Beschichtung hat eine schuppige Struktur. Teilchengröße variiert von 200 bis 500 Mikrometer. Untersuchungen von einzelnen Flocken bei hoher Vergrößerung zeigten, dass diese Mikrorisse und Diskontinuität-Felder haben.

Wie es aus dem Vergleich der linken und rechten Spalte der Tabelle 1 zu ersehen ist, variiert die chemische Zusammensetzung der Zirkonium-Beschichtung stark in Abhängigkeit von dem Grundstück der Beschichtung. Offensichtlich, dass im Gegensatz zu der kontinuierlichen Flächendeckung, in einem diskontinuierlichen Bereich

Ti-Massenanteil erhöht sich von ~13% bis~30%. Die Massenanteile der Legierungselemente VT6 Legierung (Al und V) ändern sich auch. Diese Änderung in der chemischen Zusammensetzung in verschiedenen Bereichen zeigt den Unterschied in den Dicken der Beschichtung auf diesen Abschnitten.

Tabelle 1. Gewicht und atomare Zusammensetzung der Beschichtung

Im kontinuierlichen Bereich			Im diskontinuierlichen Bereich		
Element	Gewicht, %	Atomar, %	Element	Gewicht, %	Atomar, %
C	14,32	46,22	C	14,67	38,98
O	5,19	12,58	O	10,24	20,43
Al	1,65	2,37	Al	5,16	6,10
Zr	64,86	27,56	Zr	38,00	13,29
Ti	13,10	10,60	Ti	30,08	20,04
V	0,88	0,67	V	1,86	1,16

Untersuchung der Struktur der Beschichtung mit Hilfe der Rasterelektronenmikroskopie zeigte, dass bei den ausgewählten Auftragsmodi eine quasi-gleichmäßige Beschichtung gebildet wird. Zugleich hat sie einen schuppigen Charakter. Bei hohen Vergrößerungen können Mikrorisse in der Beschichtung aufgrund einer thermischen Beanspruchung durch XRD identifiziert werden.

Durch Verwendung des XRD-Verfahrens wurde auch die Bildung biokompatiblen Oxiden von Hochtemperaturen mit einem kubischen Gitter des Elektrodenmaterials aufgrund der hohen Prozesstemperatur der elektroerosiven Metallbearbeitung entdeckt.

Verfahren zum Elektronenstrahlmikroanalyse wurde die chemische Zusammensetzung der Beschichtung in verschiedenen Bereichen untersucht. Es wurde entdeckt, dass es im Spektrum der elementaren Zusammensetzung die Anwesenheit von Sauerstoff zu beobachten sei, was gut mit XRD Oxide übereinstimmt. Es wird gezeigt, dass in den Oberflächenschichten aus Al und V zu beobachten sind, was mit der Erfassung bei der Analyse der Tiefe der Diffusionszone verbunden ist. Jedoch senkt sich der Massenanteil dieser Komponenten mehrfach.

QUELLENVERZEICHNIS

1. Schrader C. et al. Erzeugung von Oberflächen auf Titanimplantaten mit biologisch funktionellen Eigenschaften zur Verbesserung der Biokompatibilität und Osteoinduktivität //Galvanotechnik. – 2011. – T. 102. – №. 2. – C. 242.
2. Weltgesundheitsorganisation [elektronische Ressource]. – Zugriffsmodus: <http://www.who.int/ru/> – 14.04.2012.
3. Sidel'nikov A.I. "Vergleichende Eigenschaften der Titangruppe Materialien in der Produktion moderner Zahnimplantate eingesetzt." // M. m. Info-Dent, № 5, 2000, S. 10-12.
4. GOST 19807-91.Titan und Titanlegierungengewirkt.Briefmarken. 01.07.1992 DatumderEinführung.
5. Zirkonium-Jodid. TB 95, 46-97.
6. Bundes Portal PROTOWN.RU. Die Verwendung von Zirkonium und Zirkonium Verbindungen[elektronische Ressource]. – Zugriffsmodus: <http://protown.ru/information/hide/5624.html> – 01.03.2014.
7. Patent RF №2271913. Ein Verfahren zur Wiederherstellung und zur Verbesserung der Verschleißfestigkeit der Verschleißteile von Stahl und Gusseisen / Kolobov Yu.R. ,Erklärung 05.03.2004.Veröffentlicht20.03.2006, Blatt № 8. – 6 S.